

УДК 616-037:616-053.5/.7

## ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ ШКОЛЬНИКОВ СТАРШЕГО ВОЗРАСТА

Зарытовская Н.В., Калмыкова А.С., Хрипунова А.А.

ГБОУ ВПО «Ставропольский государственный медицинский университет Минздрава России»,  
Ставрополь, e-mail: leda54@mail.ru

Разработаны и проверены на прогностическую пригодность математические модели уровня индивидуального здоровья школьников на основе комплекса независимых предикторов для получения прогноза состояния индивидуального здоровья и определения лиц, нуждающихся в проведении оздоровительных мероприятий. В качестве параметров моделей использовали набор наиболее информативных признаков, включающих антропометрические характеристики, основные показатели гемодинамики, вегетативный статус, а также экспресс-оценку уровня физического здоровья с определением индексов Кетле, Робинсона, Скибинского, Руфье, Шаповаловой, а также набор показателей психологического состояния: акцентуация характера, ситуативная тревожность, личностная тревожность, нейротизм, экстравертность – интровертность, притязания, самооценка, социальная адаптированность. Проверка прогностической состоятельности полученных моделей по различным критериям прогноза показала, что точность прогноза составила: при экспресс-оценке уровня физического развития школьников – 76,8%, при комплексной оценке функционального состояния ВНС и уровня физического развития – 82,1%, при комплексной оценке состояния адаптационных возможностей организма – 91,3%; эффективность прогностической модели выхода за рамки «оптимального уровня» здоровья составила 92,8%. Полученные результаты свидетельствуют о достаточной информативности анализируемых показателей индивидуального здоровья и подтверждают возможность качественного раннего прогноза возникновения хронических заболеваний по результатам общего обследования старшеклассников с помощью разработанных прогностических математических моделей.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, прогностические модели, индивидуальное здоровье школьников

## PROGNOSTIC MODEL OF INDIVIDUAL HEALTH OF SENIOR SCHOOLCHILDREN

Zarytovskaya N.V., Kalmykova A.S., Khripunova A.A.

The State Budget Educational Institution of Higher Professional Training «Stavropol State Medical University» of the Ministry of Health of Russia, Stavropol, e-mail: leda54@mail.ru

We developed and tested for prognostic suitability the mathematical models of the level of schoolchildren individual health based on a set of independent predictors for prognosis of individual health status and identification of those who requires recreational measures. As the parameters of the models, we used a set of the most informative features, including anthropometric characteristics, basic hemodynamic parameters, vegetative state, and express-evaluation of the level of physical health with definition of indices of Quetelet, Robinson, Skibinski, Rufe, Shapovalova, and a set of indicators of psychological state: accentuation of character, situational anxiety, person's anxiety, neuroticism, extroversion – introversion, pretensions, self-esteem, and social adaptation. Prognostic consistency check of the obtained models based on various forecast criteria showed that the accuracy of prognosis was: at express-evaluation of the level of physical development of pupils – 76.8%, at a comprehensive assessment of the functional state of VNS and the level of physical development – 82.1%, at a comprehensive state adaptation capacity of the organism – 91.3%; the efficiency of prognostic model of going beyond the «optimal level» of health was 92.8%. The obtained results suggest that analyzed indicators of individual health are quite informative and support the possibility of high-quality early prognosis of chronic diseases on the results of a general examination of senior pupils using the developed prognostic mathematical models.

**Keywords:** mathematical modeling, prognostic models, the individual health of schoolchildren

Оценка соматического здоровья подростков 16-17 лет с точки зрения прогноза адаптационного потенциала организма имеет важное значение для ранней донозологической диагностики отклонений в развитии, а также определения эффективности оздоровительных программ. Использование методов математического моделирования физического и психоэмоционального развития подростков позволяет эффективнее осуществлять профилактику, прогнозировать возникновение заболеваний и их осложнений [2, 3, 4].

**Цель исследования.** Разработать математические модели уровня индивидуально-го здоровья школьников на основе комплек-

са независимых предикторов для получения прогноза состояния индивидуального здоровья и определения лиц, нуждающихся в проведении оздоровления.

### Материалы и методы исследования

Исследуемые дети были разделены на 2 группы в зависимости от принадлежности к I, II (I группа), и III группам здоровья (II группа). I группу составили 202 ребенка, II – 91 подростка. Критериальные прогностические оценки рассматривались как отдельные критерии экспресс-оценки уровня физического здоровья, как совокупность критериев уровня физического здоровья и функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, как совокупность критериев уровня физического здоровья, функциональных показателей сердечно-сосудистой системы и психохарак-

терологических особенностей личности. Для сравнительного анализа групп по показателям физического здоровья использовали многофункциональный непараметрический критерий сравнения процентных долей (критерий Фишера,  $\varphi_{эмп}$ ). Сравнительный анализ групп по физиологическим константам проводили с использованием параметрического Z-критерия сравнения средних значений показателей двух независимых выборок. По результатам сравнительного анализа определяли идентификаторы прогноза. Качество критериев прогноза оценивали по прогностическим характеристикам (чувствительность, специфичность, прогностическая ценность, точность).

**Результаты исследования и их обсуждение**

На этапе прогноза влияния показателей физического здоровья на снижение адапта-

ционного потенциала использовались показатели физического развития (соматотип и индекс Кетле II) и физического здоровья (индексы Руфье, Скибинского, Робинсона, Шаповаловой) [1, 5].

При статистической обработке данных между группами выявлены значимые различия по следующим значениям показателей: индекс Руфье ( $\varphi_{эмп} = 5,1, p < 0,01$ ); Скибинского ( $\varphi_{эмп} = 4,7, p < 0,01$ ); соматотип ( $\varphi_{эмп} = 4,2, p < 0,01$ ); индекс Робинсона ( $\varphi_{эмп} = 3,6, p < 0,01$ ); Кетле II ( $\varphi_{эмп} = 3,4, p < 0,01$ ); Шаповаловой ( $\varphi_{эмп} = 3,3, p < 0,01$ ). Для построения прогноза физического здоровья использовали таблицу коэффициентов веса для каждого параметра (табл. 1).

**Таблица 1**

Весовые коэффициенты параметров, идентифицирующих уровень физического здоровья подростков 16-17 лет

Наименование параметра	Значение параметра	Значение Н	Коэффициент веса $\alpha_i$
Индекс Руфье	высокий	1	1
	средний	2	1
	низкий	3	1,5
Индекс Скибинского	высокий	1	1
	средний	2	1
	низкий	3	1,5
Соматотип	микросоматический	1	1
	мезосоматический	2	1
	макросоматический	3	1
Индекс Робинсона	высокий	1	1
	средний	2	1
	низкий	3	1,5
Кетле Ii	Избыточная масса тела	1	1,5
	норма	2	1
	недостаточная масса тела	3	1,5
Индекс Шаповаловой	высокий	1	1
	средний	2	1
	низкий	3	1,5

По каждому подростку составляли характеристический индекс Н как среднее статистическое (с учетом весовых коэффи-

циентов) по параметрам: индексы Руфье, Скибинского, соматотип, индексы Робинсона, Кетле II, Шаповаловой:

$$N = \frac{1}{6} \sum_{i=1,6} \alpha_i H_i = \frac{1}{6} (\alpha_1 H_1 + \alpha_2 H_2 + \dots + \alpha_6 H_6),$$

где  $H_i$  – значение  $i$ -го показателя, всего 6 идентификационных параметров,  $\alpha_i$  соответствующий весовой коэффициент.

Расчет параметров прогноза проводился в отношении вероятности выявления отрицательного прогноза в I группе (чувствительность, Ч), вероятности выявления положительного прогноза в группе II (специфичность, С), вероятности попадания детей с положительным прогнозом в группу II (прогностическая ценность положительного результата, П), вероятности

попадания детей с отрицательным прогнозом в группу I (прогностическая ценность отрицательного результата, О), вероятности безошибочного прогноза (точность прогноза, Т). В результате получены данные:

$$\begin{aligned} Ч &= 75,8\%; \quad С = 81,3\%; \quad П = 78,2\%; \\ О &= 79,4\%; \quad Т = 76,8\%. \end{aligned}$$

Таким образом, уже при экспресс-оценке уровня физического развития старшеклассников можно с точностью 76,8% прогно-

зировать у них снижение адаптационного потенциала, и, следовательно, возможность развития хронических заболеваний.

Введение в прогностическую оценку функциональных показателей индекса Кердо и индекса Хильдебранта, оценивавших функциональное состояние сердечнососудистой

системы, позволило повысить точность прогноза. При проведении сравнительного анализа функционального состояния в 2-х группах подростков по вегетативному индексу Кердо с использованием многофункционального критерия сравнения процентных долей (критерия Фишера) получены следующие результаты.

**Таблица 2**

Сравнение 1 и 2 групп подростков 16-17 лет по вегетативному индексу Кердо

Показатели		Процент в группах		Коэффициент Фишера ( $\phi_{эмп}$ )	Уровень значимости различий
Наименование	Значение	Группа 1 $n = 202$	Группа 2 $n = 91$		
Вегетативный индекс Кердо	нормо- и эйтония	38,9%	18,5%	8,4	$P < 0,01$
	ваготония	32,6%	39,8%	2,9	$P > 0,05$
	симпатикотония	28,5%	41,7%	7,3	$P < 0,01$

По параметру «Вегетативный индекс Кердо» выявлены существенные различия между группами. Так, в группе II процент школьников с симпатикотонией достоверно больше, чем в группе I (41,7% против 28,5%). При этом в группе I нормо- и эйтония выявлялась достоверно чаще, чем во II (38,9% против 18,5%). Поэтому целесообразно прогнозировать адаптационный потенциал подростков с учетом вегетативного статуса и первоначального прогноза, основанного на уровне физического здоровья.

Критерий прогноза 2 (вегетативный статус и уровень физического здоровья): если для школьника  $H \geq 1$  и выявлена симпатикотония, то он относится к группе риска (неблагопри-

ятный прогноз),  $H < 1$  – прогноз положительный. Характеристики прогноза с расчетом параметров прогноза были следующие:

$$\begin{aligned} Ч &= 86,1\%; \text{ С} = 83,2\%; \text{ П} = 79,4\%; \\ \text{О} &= 80,6\%; \text{ Т} = 82,1\%. \end{aligned}$$

Таким образом, точность прогноза при комплексной оценке функционального состояния ВНС и уровня физического развития составляет уже 82,1%.

Сравнительный анализ индекса межсистемных взаимоотношений Хильдебранта в обеих группах проводили с использованием параметрического критерия сравнения средних ( $Z$  критерия).

**Таблица 3**

Сравнение групп по индексу межсистемных взаимоотношений Хильдебранта ( $Q$ )

Показатель	Среднее значение показателя		Значение $Z$ -критерия	Значимость различий
	Группа 1	Группа 2		
Индекс рассогласования Хильдебранта	$4,3 \pm 0,5$	$4,81 \pm 0,7$	3,6	$P < 0,01$

Установлено, при уровне значимости  $p < 0,01$  индекс межсистемных взаимоотношений Хильдебранта в группе II был больше, чем в группе I, что указывало на наличие рассогласования в функционировании кардиореспираторной системы.

Критерий прогноза 3 (совокупность функциональных критериев и показателей физического здоровья): если индекс межсистемных взаимоотношений Хильдебранта меньше 4,8, то подростка можно к группе I; более или равно 4,8 – к группе II. Оценка

прогноза с расчетом параметров прогноза была следующей:

$$\begin{aligned} Ч &= 92,1\%; \text{ С} = 86,4\%; \text{ П} = 83,8\%; \\ \text{О} &= 84,6\%; \text{ Т} = 91,3\%. \end{aligned}$$

Таким образом, применение совокупности полученных прогностических критериев, отражающих соматическое здоровье подростков, обеспечивает высокую точность прогноза состояния адаптационных возможностей организма (91,3%).

Для полной и объективной оценки и прогноза индивидуального здоровья необходимо учитывать не только морфофункциональные, но также и психохарактерологические особенности личности. Выборка факторов с наибольшим количеством перекрёстных значимых взаимосвязей между показателями физического и психического здоровья, проводилась на основании корреляционной

матрицы, с последующим определением значений векторной нагрузки изучаемых переменных. В табл. 4 и табл. 5 использованы следующие обозначения: АХ – акцентуация характера; СТ – ситуативная тревожность; ЛТ – личностная тревожность; НТ – нейротизм; ЭВ – экстраверт; ИВ – интроверт; ПТ – притязания; СО – самооценка; СА – социальная адаптированность.

**Таблица 4**

Интеркорреляционная матрица (группа I)

	АХ	СТ	ЛТ	НТ	ЭВ	ИВ	ПТ	СО	СА
АХ	1,000	0,289	0,152	0,387	0,245	0,324	0,243	0,246	0,326
СТ	0,289	1,000	0,345	0,324	0,213	0,321	0,214	-0,265	0,128
ЛТ	0,152	0,345	1,000	0,542*	0,243	0,423	-0,326	-0,465*	-0,216
НТ	0,387	0,324	0,542*	1,000	0,324	0,453*	-0,346	-0,523*	-0,425*
ЭВ	0,245	0,213	0,243	0,324	1,000	0,124	0,426*	0,567*	0,537*
ИВ	0,324	0,321	0,423	0,453*	0,124	1,000	0,352	0,231	0,264
ПТ	0,243	0,214	-0,326	-0,523*	0,426*	0,352	1,000	0,653*	0,589*
СО	0,246	-0,265	-0,465*	-0,425*	0,567*	0,231	0,653*	1,000	0,695*
СА	0,326	0,128	-0,216	-0,425*	0,537*	0,264	0,589*	0,695*	1,000

Примечание: \* – достоверность различий при  $p < 0,05$ .

В целях отбора наиболее информативных признаков оценена информативность каждого признака в однофакторном анализе. Получены статистически достоверные логистические регрессионные

модели, описывающие уровень индивидуального здоровья подростка с учетом физического развития, психохарактерологических особенностей и вегетативного статуса.

**Таблица 5**

Интеркорреляционная матрица (группа II)

	АХ	СТ	ЛТ	НТ	ЭВ	ИВ	ПТ	СО	СА
АХ	1,000	0,489*	0,352	0,487*	0,265	0,424	0,284	0,296	0,357
СТ	0,489*	1,000	0,445*	0,424*	0,217	0,421*	0,214	-0,368	0,179
ЛТ	0,352	0,445*	1,000	0,681*	0,243	0,534*	-0,426*	-0,465*	-0,457*
НТ	0,487*	0,424*	0,681*	1,000	0,324	0,453*	-0,346	-0,523*	-0,425*
ЭВ	0,265	0,217	0,243	0,324	1,000	0,124	0,426*	0,567*	0,537*
ИВ	0,424	0,421*	0,534*	0,453*	0,124	1,000	-0,389	-0,268	-0,164
ПТ	0,284	0,214	-0,426*	-0,523*	0,426*	-0,389	1,000	0,689*	0,613*
СО	0,296	-0,368	-0,465*	-0,425*	0,567*	-0,268	0,689*	1,000	0,695*
СА	0,357	0,179	-0,457*	-0,425*	0,537*	-0,164	0,613*	0,695*	1,000

Примечание: \* – достоверность различий при  $p < 0,05$ .

Признаки, полученные в ходе исследования, их градации и коэффициенты составили итоговые уравнения окончательной математической модели раннего прогноза выхода здоровья человека за границы оптимальной зоны (таблица 6).

Типичное уравнение логистической регрессии имело вид:

$$\hat{y} = \exp(2,36 + X_1 \times 0,76 + X_2 \times 0,63 + X_3 \times 0,52 + X_4 \times 0,48 + X_5 \times 0,53 + X_6 \times 0,63 + X_7 \times 0,49 + X_8 \times 0,54) / (1 + \exp(2,36 + X_1 \times 0,76 + X_2 \times 0,63 + X_3 \times 0,52 + X_4 \times 0,48 + X_5 \times 0,53 + X_6 \times 0,63 + X_7 \times 0,49 + X_8 \times 0,54)),$$

$$\hat{y} = 100 \exp(c + bx) / (1 + \exp(c + bx)),$$

где  $\hat{y}$  – вероятность возникновения события ( $0 \leq \hat{y} \leq 100$ );  $c$  – константа;  $b$  – коэффициент фактора  $X$ ;  $x$  – текущее значение фактора  $X$ .

С учетом информативных критериев уравнение регрессии принимало следующий вид:

где « $\hat{y}$ » – вероятность развития заболеваний, выход за рамки «оптимального уровня» здоровья;  $\exp$  – функция, соответствующая числу « $e$ » (константе 2,71828182845904),

возведенной в степень, равную результату вычисления внутри скобок;  $X_1$ – $X_7$  – переменные, характеризующие наличие ФР, оцениваемые в баллах.

Таблица 6

Независимые предикторы выхода из «безопасной зоны» здоровья

Прогностические факторы	Коды	$p$ ( $\chi^2$ )	Exp ( $B$ )	95% ДИ
Индекс Руфье < 2 баллов	$X_1$	0,001	0,76	0,61; 0,84
Индекс Скибинского < 2 баллов	$X_2$	0,001	0,63	0,49; 0,76
Индекс Робинсона < 2 баллов	$X_3$	0,001	0,52	0,45; 0,82
Индекс Шаповаловой < 2 баллов	$X_4$	0,001	0,48	0,29; 0,54
Нейротизм >13 баллов	$X_5$	0,001	0,53	0,43; 0,68
Личностная тревожность >45 баллов	$X_6$	0,001	0,63	0,48; 0,87
Симпатикотония	$X_7$	0,001	0,49	0,37; 0,73
Индекс Хильдебрандта $\geq 4,8$	$X_8$	0,001	0,54	0,41; 0,69

Примечания:

<sup>1</sup> – при значении индекса Руфье менее 2 баллов в формулу подставляется 1, при большем значении – 0;

<sup>2</sup> – при значении индекса Скибинского менее 2 баллов в формулу подставляется 1, при большем значении – 0;

<sup>3</sup> – при значении индекса Робинсона менее 2 баллов в формулу подставляется 1, при большем значении – 0;

<sup>4</sup> – при значении индекса Шаповаловой менее 2 баллов в формулу подставляется 1, при большем значении – 0;

<sup>5</sup> – при уровне нейротизма более 13 баллов в формулу подставляется 1, при меньшем значении – 0;

<sup>6</sup> – при уровне личностной тревожности более 45 баллов в формулу подставляется 1, при меньшем значении – 0;

<sup>7</sup> – при наличии симпатикотонии в формулу подставляется 1, при отсутствии – 0;

<sup>8</sup> – при значении индекса Хильдебрандта  $\geq 4,8$  в формулу подставляется 1, при меньшем значении – 0.

Для прогнозирования риска выхода за рамки «оптимального уровня» здоровья в уравнение подставлялись «0» или «1» – вместо кодов  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$  и  $X_8$ , соответствующих особенностям анализируемых признаков. При расчете вероятности возникновения заболеваний в случае, если рассчитанное значение « $\hat{y}$ »  $\geq 0,5$ , считали,

что у подростка высокий риск, а при величине « $\hat{y}$ » стремящейся к 1,0, прогнозировали крайне высокий риск, требующий проведения оздоровительных программ.

Диагностическая ценность полученных моделей определена на основании сравнения прогнозов, полученных с их помощью, с результатами обследования детей (табл. 7).

Таблица 7

Классификационная таблица прогностической модели возникновения заболеваний и выхода за рамки «оптимального уровня» здоровья

Группа наблюдения	Результаты прогноза с использованием математической модели		Частота совпадений, %
	Отсутствие хронической патологии	Наличие хронической патологии	
I группа, $n = 202$	187	15	92,5 %
II группа, $n = 91$	8	83	91,2 %
Всего в прогнозе, $n = 293$			92,1 %

Высокая информативность включённых в прогностическую модель предикторов (табл. 8) обусловила достаточные уровни значимости модели и низкую вероятность

ошибочного прогноза (ложноположительных и ложноотрицательных результатов), что позволяет рекомендовать ее к применению в педиатрической практике.

Таблица 8

Показатели качества полученной модели, %

Показатель	Значение показателя на обучающей выборке, $n = 293$
Чувствительность	95,8
Специфичность	94,5
Диагностическая эффективность (безошибочность)	92,1
Уровень ложноотрицательных ответов	8,8
Уровень ложноположительных ответов	7,5

### Заключение

Установлены высокоинформативные прогностические показатели для прогнозирования риска развития нарушений индивидуального здоровья старшеклассников. В экспресс-оценке прогностических рисков при использовании 2 показателей физического развития (соматотип и индекс Кетле II) и 4 функциональных индексов адаптации сердечнососудистой системы (индексы Руфье, Скибинского, Робинсона, Шаповаловой) точность прогноза составила 76,8%, а при включении в прогноз показателей функционального состояния сердечнососудистой системы (индексы Кердо и Хильдебрандта), точность прогноза риска нарушений индивидуального здоровья составила 91,3 %, что свидетельствует о прогностической состоятельности самой модели и использованных в ней показателей. Эффективность прогностической модели выхода за рамки «оптимального уровня» здоровья составила 92,8%, что подтверждает возможность качественного раннего прогноза возникновения хронических заболеваний по результатам общего обследования старших школьников.

Ранний индивидуальный прогноз с использованием математических моделей позволит выделять группу повышенного риска развития хронических заболеваний на основе физиологических, гомеостатических констант и психохарактерологических особенностей. Этот подход может являться теоретической базой для разработки новой тактики и стратегии первичной профилактики хронических заболеваний у подростков 16–17 лет.

### Список литературы

1. Бабенко, Т.И., Каминский И.И. Экспресс-оценка физического здоровья школьников, условий их обучения и воспитания. – Ростов-на-Дону, 1995. – 27с.
2. Наследов А. Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. – СПб, 2004. – 392 с.
3. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. – М., 2005. – 320 с.
4. Финагин В.Г. Математические модели и алгоритмы построения и функционирования системы мониторинга здоровья учащихся: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 19 с.
5. Шестакова, В.Н. Многофакторное прогнозирование состояния здоровья детей и подростков в процессе школьного обучения: автореф. дис. ... докт. мед. наук. – Иваново, 2000. – 51 с.