
МАТЕМАТИКА

MATHEMATICS

УДК 519.2:[591.139:004]

ББК 22.172 с51

А 66

Андрухаев Х.М.

Кандидат физико-математических наук, профессор кафедры информатики и вычислительной техники факультета математики и компьютерных наук Адыгейского государственного университета, тел. (8772) 59-39-01

О методе шкал регрессии оценки уровня физического развития детей

(Рецензирована)

Аннотация

Предлагается усовершенствованная методика разработки нормативных таблиц по оценке уровня физического развития детей на основе шкал регрессии. При этом использован пакет компьютерных программ, созданный автором.

Ключевые слова: *нормативные таблицы, уровень физического развития, компьютерная программа, алгоритм.*

Andrukhaev Kh.M.

Candidate of Physics and Mathematics, Professor of Informatics and Computer Equipment Department of Mathematics and Computer Science Faculty at Adyghe State University, ph. (8772) 59-39-01

Regression scale method for assessment of children's physical development

Abstract

Improved method is proposed to develop normative tables to assess the level of children's physical development on the basis of regression scales. For this a software package created by the author is used.

Key words: *standard tables, level of physical development, computer program, algorithm.*

Введение

В санитарной статистике оценка уровня физического развития практически здорового человека определенного пола и возраста проводится путем совместного, взаимосвязанного рассмотрения трех основных параметров: рост (x), вес (y) и окружность грудной клетки (z). При этом рост считается основным (ведущим, независимым от других) параметром, а вес и окружность грудной клетки – как зависимые от роста, точнее как коррелирующие с ростом.

Для этой цели предварительно разрабатываются нормативно-оценочные таблицы путем обследования практически здоровых, однородных групп населения и сбора антропометрических данных по каждой возрастно-половой группе данного региона с последующей статистической обработкой этих данных. В Республике Адыгея такие таблицы для детей дошкольного возраста (2–7 лет) были разработаны и опубликованы нами в 1998 г. [1]. Работа по сбору и предварительной сортировке данных была организована в Роспотребнадзоре по Республике Адыгея.

На кафедре информатики и вычислительной техники Адыгейского государственного университета нами был разработан первый вариант пакета компьютерных программ, который использовался для окончательной сортировки данных по каждой возрастно-половой группе и вывода нормативно-оценочных таблиц. При этом использовался метод шкал регрессии (см. [2]). По каждой возрастно-половой группе было охва-

чено несколько сот детей, что обеспечивало достаточную репрезентативность.

В предлагаемой статье мы публикуем нормативно-оценочные таблицы для детей школьного возраста (7–16 лет). Был использован усовершенствованный пакет программ, позволяющий за короткий промежуток машинного времени рассчитать таблицы, требующие большого объема вычислительной работы.

1. Метод шкал регрессии

Поясним суть метода шкал регрессии в нашем варианте.

Напомним, что рост в *см*, вес в *кг* и окружность грудной клетки в *см* соответственно обозначаем: *x*, *y* и *z*. Для каждого параметра *x*, *y* и *z* вводится понятие уровня:

w_x – уровень роста,

w_y – уровень веса,

w_z – уровень окружности грудной клетки.

Уровень каждого параметра подразделяется на 7 градаций, которые кодируются (коды нужны, в основном, для компьютерного варианта определения уровня физического развития без использования таблиц):

средний уровень (код «0»),

уровень ниже среднего (код «-1»),

уровень выше среднего (код «1»),

уровень низкий (код «-2»),

уровень высокий (код «2»),

уровень атипично низкий (код «-3»),

уровень нетипично высокий (код «3»).

Вектор $w = (w_x, w_y, w_z)$ назовем вектором уровня физического развития.

Происхождение уровней можно объяснить следующим образом. Ученые давно заметили, что рост (*x*) внутри данной возрастно-половой группы является величиной случайной, приближенно распределенной по так называемому нормальному закону, который однозначно определяется двумя параметрами: *m* – среднее значение и σ – среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение). По выборке x_1, x_2, \dots, x_n объема *n* для данной возрастно-половой группы указанные параметры приближенно находят по формулам:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}.$$

Далее, для нормально распределенной случайной величины *x* с параметрами *m* и σ справедливо «правило трех сигм»:

68% всех возможных значений *x* попадают в промежуток $[m - \sigma; m + \sigma]$;

95% – в промежуток $[m - 2\sigma; m + 2\sigma]$;

99,7% – в промежуток $[m - 3\sigma; m + 3\sigma]$;

лишь 0,3% – вне промежутка $[m - 3\sigma; m + 3\sigma]$.

(Отсюда и название «Правило трех сигм».)

В нашем случае, если *x* – рост обследуемых внутри данной возрастно-половой группы, то $m \approx m_x$ и $\sigma \approx \sigma_x$ и правило трех сигм означает, что у 99,7% детей данной группы рост *x* удовлетворяет двойному неравенству $m_x - 3\sigma_x \leq x \leq m_x + 3\sigma_x$ (см. рисунок 1.).

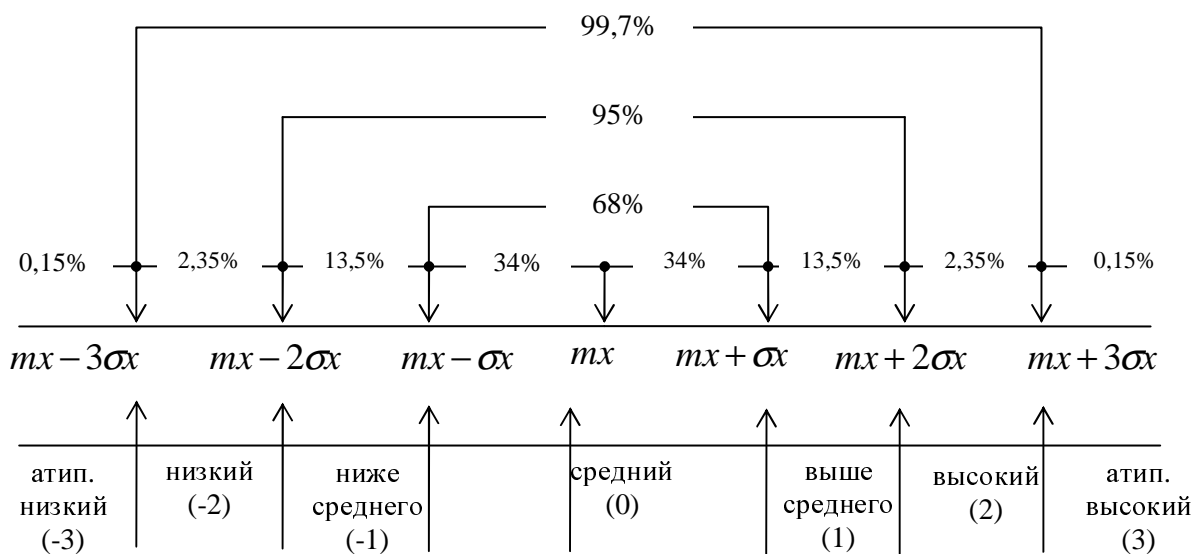


Рис. 1.

На этом рисунке коды уровней указаны в круглых скобках. Легко понять, что у:

- 68% детей уровень роста средний,
- 13,5% – уровень роста ниже среднего,
- 2,35% – уровень роста низкий,
- 0,15% – уровень роста атипично низкий,
- 13,5% – уровень роста выше среднего,
- 2,35% – уровень роста высокий,
- 0,15% – уровень роста атипично высокий.

Уровни веса (y) и окружности грудной клетки (z) определяются так же на основе правила трех сигм, но с учетом их корреляции с ростом. Отметим, что в оценочных таблицах рост от минимально низкого до максимально высокого меняется с шагом в 1 см, вес и окружность грудной клетки соответственно с шагом, равным их коэффициенту регрессии на рост, который учитывает корреляцию их с ростом.

Для более полной информации о числовых характеристиках физического развития в таблицах, соответствующих каждой возрастно-половой группе, указаны также для всех трех параметров:

- минимальное (min) и максимальное (max) значения;
- среднее значение (m) и стандартная ошибка среднего (sm);
- среднее квадратическое отклонение (s);
- коэффициент вариации ($v\%$);
- коэффициент корреляции (k);
- средние квадратические отклонения веса и окружности грудной клетки с учетом корреляции их с ростом (sk);
- коэффициент регрессии r ;
- уравнения линейной регрессии веса на рост и окружности грудной клетки на рост (см. внизу таблицы).

В качестве иллюстрации приводим оценочную таблицу для 10-летних мальчиков (табл. 1.).

Таблица 1

Числовые характеристики параметров физического развития

Мальчики, 10 лет

Параметр	n	min	max	m	sm	s	v%	kx	s/x	r/x
Рост (x)	320	115	157	135.91	0.38	6.73	4.95	1	0	1
Масса (y)	=	15	45	30.31	0.28	5.01	16.53	0.73	3.42	0.54
Отк (z)	=	50	77	63.56	0.25	4.43	6.96	0.54	3.73	0.36

ОЦЕНОЧНАЯ ТАБЛИЦА

Уровень роста (код)	Рост x (см)	масса y (кг)				Отк z (см)	
		m/x-s/x	m/x	m/x+s/x	m/x-s/x	m/x	m/x+s/x
Низк. (-2)	115	15.52	18.94	22.37	52.41	56.14	59.86
	116	16.06	19.49	22.91	52.77	56.49	60.22
	117	16.61	20.03	23.45	53.12	56.85	60.57
	118	17.15	20.57	24.00	53.48	57.20	60.93
	119	17.69	21.12	24.54	53.83	57.56	61.28
	120	18.24	21.66	25.08	54.19	57.91	61.64
	121	18.78	22.20	25.63	54.54	58.27	61.99
Н.ср. (-1)	122	19.33	22.75	26.17	54.90	58.62	62.35
	123	19.87	23.29	26.72	55.25	58.98	62.70
	124	20.41	23.84	27.26	55.61	59.33	63.06
	125	20.96	24.38	27.80	55.96	59.69	63.41
	126	21.50	24.92	28.35	56.32	60.04	63.77
	127	22.04	25.47	28.89	56.67	60.40	64.12
	128	22.59	26.01	29.43	57.03	60.75	64.48
Сред. (0)	129	23.13	26.55	29.98	57.38	61.11	64.83
	130	23.67	27.10	30.52	57.74	61.46	65.19
	131	24.22	27.64	31.06	58.09	61.82	65.54
	132	24.76	28.19	31.61	58.45	62.17	65.90
	133	25.31	28.73	32.15	58.80	62.53	66.25
	134	25.85	29.27	32.70	59.16	62.88	66.61
	135	26.39	29.82	33.24	59.51	63.24	66.96
	136	26.94	30.36	33.78	59.87	63.59	67.32
	137	27.48	30.90	34.33	60.22	63.95	67.67
	138	28.02	31.45	34.87	60.58	64.30	68.03
	139	28.57	31.99	35.41	60.93	64.66	68.38
140	29.11	32.54	35.96	61.29	65.01	68.74	
141	29.66	33.08	36.50	61.64	65.37	69.09	
В.ср. (1)	142	30.20	33.62	37.05	62.00	65.72	69.45
	143	30.74	34.17	37.59	62.35	66.08	69.80
	144	31.29	34.71	38.13	62.71	66.43	70.16
	145	31.83	35.25	38.68	63.06	66.79	70.51
	146	32.37	35.80	39.22	63.42	67.14	70.87
	147	32.92	36.34	39.76	63.77	67.50	71.22
	148	33.46	36.88	40.31	64.13	67.85	71.58
Высок. (2)	149	34.01	37.43	40.85	64.48	68.21	71.93
	150	34.55	37.97	41.40	64.84	68.56	72.29
	151	35.09	38.52	41.94	65.19	68.92	72.64
	152	35.64	39.06	42.48	65.55	69.27	73.00
	153	36.18	39.60	43.03	65.90	69.63	73.35
	154	36.72	40.15	43.57	66.26	69.98	73.71
	155	37.27	40.69	44.11	66.61	70.34	74.06
	156	37.81	41.23	44.66	66.97	70.69	74.42
	157	38.36	41.78	45.20	67.32	71.05	74.77

Уравнение регрессии y на x: $m_y/x = 30.31 + 0.54 \cdot (x - 135.91)$
 * * * z на x: $m_z/x = 63.56 + 0.36 \cdot (x - 135.91)$

Кроме оценочных таблиц программа также выводит сводную таблицу динамики значений числовых характеристик для каждого из трех основных параметров физического развития детей при переходе от одной возрастной группы к другой, фрагмент которой представлен в таблице 2.

Таблица 2

Динамика значений числовых характеристик параметров
физического развития детей школьного возраста

Мальчики. Рост (x)

Возр.гр.	n	min	max	razm	m	s	sm	v(%)	kx	r/x	s/x
7	265	103	141	38	122	6.1	0.37	5.0	1	1	0
8	320	109	144	35	127	5.7	0.32	4.5	1	1	0
9	309	113	151	38	132	6.2	0.35	4.7	1	1	0
10	320	115	157	42	136	6.7	0.38	4.9	1	1	0
11	327	120	162	42	141	7.0	0.39	4.9	1	1	0
12	370	125	169	44	147	7.1	0.37	4.9	1	1	0
13	252	128	176	48	152	7.8	0.49	5.2	1	1	0
14	250	138	193	55	165	9.0	0.57	5.4	1	1	0
15	273	140	195	55	168	8.9	0.54	5.3	1	1	0
16	308	149	193	44	171	7.2	0.41	4.2	1	1	0

Мальчики. Масса (y)

Возр.гр.	n	min	max	razm	m	s	sm	v(%)	kx	r/x	s/x
7	265	13	33	20	23	3.3	0.20	14.1	0.78	0.42	2.05
8	320	14	36	22	25	3.6	0.20	14.3	0.70	0.44	2.57
9	309	14	42	28	28	4.6	0.26	16.3	0.75	0.56	3.05
10	320	15	45	30	30	5.0	0.28	16.5	0.73	0.54	3.42
11	327	17	51	34	34	5.7	0.31	16.6	0.69	0.56	4.11
12	370	20	56	36	38	6.1	0.32	16.1	0.70	0.60	4.33
13	252	20	64	44	42	7.4	0.47	17.5	0.75	0.71	4.89
14	250	24	84	60	54	10.1	0.64	18.6	0.61	0.69	7.93
15	273	25	89	64	57	10.7	0.65	18.7	0.64	0.76	8.22
16	308	31	89	58	60	9.6	0.55	16.0	0.54	0.72	8.09

Мальчики. Ок. гр. (z)

Возр.гр.	n	min	max	razm	m	s	sm	v(%)	kx	r/x	s/x
7	265	48	68	20	58	3.3	0.20	5.7	0.46	0.25	2.94
8	320	48	71	23	60	3.8	0.21	6.3	0.40	0.27	3.47
9	309	49	74	26	62	4.3	0.24	7.0	0.49	0.34	3.75
10	320	50	77	27	64	4.4	0.25	7.0	0.54	0.36	3.73
11	327	53	81	28	67	4.6	0.26	7.0	0.59	0.39	3.75
12	370	54	84	29	69	4.9	0.26	7.1	0.57	0.39	4.04
13	252	55	89	34	72	5.6	0.35	7.8	0.59	0.42	4.51
14	250	54	103	49	78	8.1	0.51	10.3	0.63	0.57	6.28
15	273	55	104	50	79	8.3	0.50	10.4	0.52	0.48	7.09
16	308	61	105	44	83	7.4	0.42	8.9	0.48	0.49	6.46

2. Правило определения уровней роста, массы и окружности грудной клетки

Уровень роста x_0 и его код определяется вне связи с другими параметрами в соответствии с выше приведенной в пункте 1 градацией на основе правила трех сигм по первым двум столбцам таблицы, соответствующей данной возрастно-половой группе.

Для определения уровней массы и окружности грудной клетки сначала находят их соответствующие коды, а затем по найденным кодам определяются и уровни. Например, для массы это делается так: в строке, соответствующей значению роста x_0 , в четвертом столбце находят среднее значение массы m обследуемого, вычитают его из массы y_0 обследуемого, полученную разность (она может быть нулем, положительной и отрицательной) делят на частное среднее квадратическое отклонение (sk). Если полученное частное находится в промежутке $[-1; 1]$, то код уровня массы такой же, как и код уровня роста; если полученное частное находится в промежутке $[-2; -1)$, то код уровня массы на единицу меньше кода уровня роста; если частное находится в промежутке $(1; 2]$, то код уровня массы на единицу больше кода уровня роста; если частное находится в промежутке $[-3; -2)$ или $(2; 3]$, то, соответственно, код массы на две единицы меньше или больше кода уровня роста. Если же в результате код уровня массы принимает значение меньше -3 или больше 3 , то код массы принимается равным, соответственно, -3 или 3 . Таким образом, определив код уровня массы, определяем и сам уровень массы. Совершенно аналогично определяется код уровня и уровень окружности грудной клетки (z_0) и в итоге получаем вектор $w_0 = (wx_0, wy_0, wz_0)$, коэффициентами которого являются коды уровней роста массы и окружности грудной клетки обследуемого.

3. Определение уровня физического развития обследуемого

Уровень физического развития определяется в зависимости от комбинаций трех уровней wx_0 , wy_0 и wz_0 параметров x_0 , y_0 , z_0 .

Так как каждая из координат вектора w_0 может принимать любое из семи значений: $-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$, то теоретически возможно $7 \cdot 7 \cdot 7 = 343$ различные комбинации.

В санитарной статистике принято считать уровень физического развития обследуемого атипичным, если хотя бы одна из координат вектора w_0 атипично низкая (-3) или атипично высокая (3). Количество таких комбинаций равно $343 - 5 \cdot 5 \cdot 5 = 218$.

Следовательно, остается 125 возможных комбинаций уровней параметров физического развития, т.е. векторов w_0 , координаты которых могут принимать любое значение из совокупности кодов: $-2, -1, 0, 1, 2$.

Принято также считать уровень физического развития обследуемого атипичным, если все три параметра имеют различные уровни (различные коды). Таких $5 \cdot 4 \cdot 3 = 60$ комбинаций. Следовательно, остается $125 - 60 = 65$ возможных комбинаций, когда уровень физического развития обследуемого следует считать не атипичным. Начнем с того, когда коды, следовательно, и уровни трех параметров совпадают. Таких комбинаций 5:

$$w = (-2, -2, -2), \quad w = (-1, -1, -1), \quad w = (0, 0, 0), \quad w = (1, 1, 1), \quad w = (2, 2, 2).$$

Ясно, что в этих случаях уровень физического развития соответственно оценивается: низкий, ниже среднего, средний, выше среднего и высокий.

Остается еще $65 - 5 = 60$ комбинаций, в которых коды, а значит и уровни двух параметров совпадают, а код (уровень) третьего с ними не совпадает. Например, $w_0 = (-2, -2, -1)$, $w_0 = (-2, 0, 0)$, $w_0 = (0, 0, 1)$ и т.д.

Принятые в санитарной статистике оценки уровней физического развития, например, в приведенных выше комбинациях, такие:

$w_0 = (-2, -2, -1)$ – «уровень физического развития низкий при ниже среднем уровне окружности грудной клетки»;

$w_0 = (-2, 0, 0)$ – «уровень физического развития средний при низком уровне роста»;

$w_0 = (0, 0, 1)$ – «уровень физического развития средний при выше среднем уровне окружности грудной клетки» и т.д.

Заметим, что основная часть оценки уровня физического развития делается по двум совпадающим кодам (уровням) трех параметров, с оговоркой уровня третьего параметра, не совпадающего с остальными двумя совпадающими.

4. Примеры определения уровня физического развития (табличный вариант) (в качестве примера приводим таблицу для 10-летних мальчиков)

1). Пол: мальчик;

дата обследования: 2011 г. 09 м. 05 дн.;

дата рождения: 2001 г. 11 м. 10 дн.;

возраст: 9 л. 09 м. 25 дн.;

возрастная группа: 10 лет.

(Возраст округляется до целого числа лет по правилам округления чисел.)

Рост (x_0) 124 см. Масса (y_0) 28 кг. Окружность грудной клетки 60 см.

Обратимся к таблице для 10-летних мальчиков: во втором столбце (рост) находим 124 см и замечаем, что уровень роста попадает в промежуток ниже среднего (код «-1»). Далее, в строке, где находится 124 в четвертом столбце (m) находим 23,89 кг – это табличное значение средней массы. Из массы обследуемого 28 кг вычитаем табличное значение среднего массы: $28 - 23,89 = 4,11$; полученную разность делим на частное среднее квадратическое отклонение $sk = 3,42$ для массы: $4,11 : 3,42 \approx 1,2$. Полученное частное попадает в промежуток (1; 2). Следовательно, код уровня массы на 1 больше кода уровня роста, т.е. $-1 + 1 = 0$. Теперь в той же строке в седьмом столбце (m) находим табличное значение среднего окружности грудной клетки 59,31; вычитаем его из окружности грудной клетки обследуемого: $60 - 59,31 = 0,69$. Полученную разность делим на частное среднее квадратическое отклонение $sk = 3,81$ для окружности грудной клетки: $0,69 : 3,81 \approx 0,18$, так как 0,18 попадает в промежуток (-1; 1), то код уровня окружности грудной клетки совпадает с кодом уровня роста, т.е. -1. Итак, $w_0 = (-1; 0; -1)$.

Уровень физического развития обследуемого мальчика: ниже среднего при среднем уровне массы.

2). Пол: мальчик;

дата обследования: 2011 г. 09 м. 05 дн.;

дата рождения: 2001 г. 06 м. 15 дн.;

возраст: 10 л. 02 м. 20 дн.;

возрастная группа: 10 лет.

Рост 138 см. Масса 30 кг. Окружность грудной клетки 62 см.

По таблице 138 относится к промежутку средних уровней код «0»; далее, так же как и в примере 1): $30 - 31,45 = -1,45$; $-1,45 : 3,42 \approx -0,4$; -0,4 попадает в промежуток (-1; 1). Следовательно, код уровня массы совпадает с кодом уровня роста, т.е. «0». Далее: $62 - 64,35 = -2,35$; $-2,35 : 3,81 \approx -0,6$; -0,6 попадает в промежуток (-1; 1). Следовательно, код уровня окружности грудной клетки также совпадает с кодом уровня рос-

та, т.е. «0». Итак, $w_0 = (0; 0; 0)$.

Уровень физического развития: «средний».

3). Пол: мальчик;

возрастная группа: 10 лет.

Рост 144 см. Масса 27 кг. Окружность грудной клетки 60 см.

Рост 144 см относится к промежутку выше средних уровней; код уровня роста «1»; $27-34,69=-7,69$; $-7,69:3,42 \approx -2,2$. Полученное число попадает в промежуток (-3; -2). Следовательно, код уровня массы на 2 меньше, чем код уровня роста: $1-2=-1$. Таким образом, код уровня массы «-1». Далее: $60-66,51=-6,51$; $-6,51:3,81 \approx -1,7$. Так как $-1,7$ попадает в промежуток (-2; -1), то код уровня окружности грудной клетки на 1 меньше кода уровня роста: $1-1=0$. Получаем $w_0 = (1;-1;0)$. Вывод: несмотря на то, что среди кодов уровней всех трех параметров нет атипичного, уровень физического развития оценивается как «атипичный» из-за того, что уровни параметров попарно различны.

4). Пол: мальчик;

возрастная группа: 10 лет;

Рост 114 см. Масса 30 кг. Окружность грудной клетки 60 см.

Посмотрев в таблицу, видим, что для данной возрастной группы рост имеет атипично низкий уровень. Поэтому, независимо от уровней массы и окружности грудной клетки, уровень физического развития оценивается как атипичный.

Заключение

Можно заметить из сказанного выше, что даже при наличии готовых оценочных таблиц, оценка уровня физического развития конкретного человека сопряжена с некоторыми трудностями вычислительного и сравнительного характера, которых в табличном варианте обойти нельзя и поэтому затруднено использование оценочных таблиц. Более того, некоторые пользователи, которым не привычны простейшие арифметические расчеты, затрудняются производить простые вспомогательные расчеты с использованием шкал регрессии. В связи с этим пользователей данных оценочных таблиц информируем о том, что нами разработана программа, которая после ввода фамилии, имени, отчества, пола, даты обследования, даты рождения, роста, массы и окружности грудной клетки выдает на экран возраст, возрастную группу, уровни и коды уровней роста, массы и окружности грудной клетки в отдельности и итоговую оценку уровня физического развития обследуемого.

С программой можно ознакомиться на кафедре информатики и вычислительной техники факультета математики и компьютерных наук Адыгейского государственного университета.

Примечания:

1. Марков А.М., Поляков Л.Е. Санитарная статистика. Л.: Медицина, 1974.
2. Андрухаев Х.М., Чамокова А.Я. Новые оценочные таблицы общего физического развития детей дошкольного возраста Республики Адыгея // Вестник АГУ. 1999. Вып. 3. С. 65-78.

References:

1. Markov A.M., Polyakov L.E. Medical statistics. L.: Medicine, 1974.
2. Andrukhaev Kh.M., Chamokova A.Ya. New estimation tables of the general physical development of preschool age children of the Republic of Adygheya // The AGU Bulletin. 1999. Iss. 3. P. 65-78.