

УДК 612.176.2

doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.1.51

*МАМОНОВА Светлана Борисовна, аспирант Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Автор 10 научных публикаций*

*САБУРЦЕВ Сергей Александрович, кандидат биологических наук, доцент Арзамасского филиала Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Автор более 60 научных публикаций*

*КРЫЛОВ Василий Николаевич, доктор биологических наук, профессор Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Автор более 300 научных публикаций*

## **ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА У ШКОЛЬНИКОВ 7–15 ЛЕТ С ДЕФОРМИРУЮЩИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

В настоящей статье представлены анатомо-физиологические особенности школьников с деформирующими заболеваниями костно-мышечной системы (ДЗКМС). Дана оценка некоторых антропометрических параметров у школьников пре- и пубертатного возраста, страдающих сколиозом и плоскостопием. Установлена причинно-следственная связь развития ДЗКМС у детей с дефицитом массы тела. Астенизация телосложения у школьников выступает предрасполагающим фактором, приводящим к развитию деформации позвоночника и плоскостопия. Выявленные конституционные особенности необходимо учитывать при формировании группы риска детей с низким развитием жировой, мышечной и костной массы. Проведена оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы и механизмов регуляции по 16 показателям вариабельности сердечного ритма (ВСР). Выявлена децентрализация вегетативного баланса, но данные не манифестируются, а маскируются компенсаторными возможностями организма ребенка. В возрасте 7–12 лет выявленное изменение регуляторных механизмов в сторону преобладания быстрой регуляции свидетельствует об активизации автономных уровней управления и подкоркового сердечно-сосудистого центра. С 13-летнего возраста, по мере развития плоскостопия, на первый план выходит изменение регуляторных механизмов в сторону средней и медленной регуляции, что проявляется в активизации центрального уровня управления с усилением активности симпатического отдела, снижением активности центров энергометаболического обмена, увеличением степени напряжения регуляторных систем. Благополучное внешнее состояние здоровья при плоскостопии в пубертатном периоде обеспечивается напряжением адаптационно-компенсаторных механизмов. Как метод донозологической диагностики для раннего распознавания заболеваний, а также для решения прогностических и лечебных целей можно использовать кардиоинтервалографию.

**Ключевые слова:** деформирующие заболевания костно-мышечной системы, сколиоз, плоскостопие, физическое развитие, вариабельность ритма сердца, вегетативная нервная система.

В современном мире в связи с низким уровнем социально-экономических условий жизни, негативным влиянием на организм различного рода интоксикаций, увеличением умственных нагрузок на фоне невысокой двигательной активности отмечается снижение доли здоровых детей с одновременным увеличением их заболеваемости [1, 2]. ДЗКМС занимают особое место.

Актуальность настоящего исследования определяется распространенностью деформации позвоночника и стоп: у 86 % детей школьного возраста диагностированы ДЗКМС [3]. Опорно-двигательный аппарат оказывает определяющее влияние на формирование организма. Позвоночный столб является не только важным элементом обеспечения ортостаза, но и нормализует деятельность внутренних органов и в целом здоровье всего организма. Стопа, являясь опорой всего тела, создает осанку, определяет нормальное соотношение частей тела, их статику и динамику.

В работе ставится вопрос об изменениях и реакциях на деформацию позвоночного столба и стоп со стороны сердечно-сосудистой системы. В современных компьютерных технологиях диагностики функционального состояния организма наиболее часто применяется метод анализа ВСР. Связано это с тем, что, во-первых, сердечный ритм является одним из наиболее удобных показателей как для регистрации, так и анализа и, во-вторых, позволяет получить ценную информацию не только о сердечно-сосудистой системе, но и о функциональном состоянии организма в целом.

Анализируя ВСР, мы можем оценить функциональное состояние организма при костно-мышечной патологии на ранних стадиях заболевания [4–13]. Именно на этой стадии патологии малосимптомны и изменения существуют только на рентгенографии. В научной литературе вопрос о вегетативной регуляции при деформирующих заболеваниях не освещен, поэтому исследование функциональных нарушений у детей с плоскостопием и сколиозом является актуальным как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Цель исследования – изучить особенности variability ритма сердца у школьников 7–15 лет с различными антропометрическими характеристиками при ДЗКМС г. Арзамаса.

**Материалы и методы.** В основу работы положен ретроспективный анализ медицинских карт школьников пре- и пубертатного возраста, что определило состав экспериментальной группы, при формировании которой учитывалось наличие у школьников сколиоза и плоскостопия при отсутствии сопутствующих заболеваний органов кардиореспираторной системы. Также проведено проспективное исследование, позволяющее представить контрольную группу школьников, не страдающих данной патологией. Выборка составила 562 чел., было сформировано 3 группы. Две экспериментальные группы составили дети с плоскостопием (175 чел.) и со сколиозом (145 чел.). В третью вошли дети (242 чел.), не страдающие патологией КМС.

В группах школьники были разделены согласно возрастной периодизации, принятой Международным симпозиумом по возрастной периодизации в Москве (1965 год), по уровню физического развития, который оценивался стандартным набором антропометрических инструментов, прошедших метрический контроль. Определялись масса (кг) и длина тела (м), рассчитывался индекс массы тела Кетле (ВОЗ, 1997) (табл. 1).

Оценку вегетативных функций проводили по показателям математического и спектрального анализа ВСР с помощью компьютерной системы «ПОЛИ-СПЕКТР» (компания «Нейрософт»). Для регистрации ряда кардиоинтервалов производилась запись ЭКГ-сигнала в 3 стандартных отведениях. Для непосредственной количественной оценки ВСР использовали статистические характеристики динамического ряда кардиоинтервалов: SDNN, мс; RMSSD, мс; CV, %; AMo, %; BP, мс; ПАПР, усл. ед.; ВПР, усл. ед. (табл. 2).

Для оценки частотных составляющих колебаний ритма сердца использовали спектральный анализ ВСР, отражающий активность определенных звеньев регуляторного механизма.

Таблица 1

## ВОЗРАСТНАЯ И АНТРОПОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШКОЛЬНИКОВ 7–15 лет г. АРЗАМАСА, чел.

| Экспериментальная группа | Возраст                     |                                 | Масса тела                    |                               |                                |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                          | Младший школьный (7–11 лет) | Подростковый период (12–15 лет) | Дефицит (индекс 18,9 и менее) | Нормальная (индекс 18,5–24,9) | Избыточная (индекс 25 и более) |
| Здоровые дети            | 164                         | 78                              | 161                           | 73                            | 8                              |
| Больные сколиозом        | 43                          | 102                             | 77                            | 64                            | 4                              |
| Больные плоскостопием    | 99                          | 76                              | 120                           | 48                            | 7                              |
| Всего                    | 306                         | 256                             | 358                           | 185                           | 19                             |

Таблица 2

## ВРЕМЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВСР У ЗДОРОВЫХ ШКОЛЬНИКОВ 7–15 лет и с ДЗКМС г. АРЗАМАСА

| Возраст |   | Показатель |            |           |            |             |               |                |               |              |
|---------|---|------------|------------|-----------|------------|-------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
|         |   | АМо, %     | ВР, с      | CV, %     | SDNN, мс   | RMSSD, мс   | ИВР, усл. ед. | ПАПР, усл. ед. | ВПР, усл. ед. | ИН, усл. ед. |
| 7-8 лет | 1 | 34,3±1,7   | 0,51±0,04  | 8,8±1,2   | 67,7±14    | 76,1±13,0   | 103,8±7,3     | 50,4±12,5      | 4,22±0,05     | 62,4±16,0    |
|         | 2 | 36,6±1,9   | 0,6±0,02*  | 10,7±2,4* | 77,4±10    | 78,1±14,0   | 67,9±6,8*     | 56,2±6,7       | 2,98±0,02*    | 52,9±16,3    |
|         | 3 | 42,8±8,7*  | 0,37±0,09  | 8,53±1,7  | 61,28±11,0 | 69,7±15,8   | 131,7±9,1     | 66,0±15,3*     | 4,28±0,08     | 102,0±3,66*  |
| 9 лет   | 1 | 30,1±2,5   | 0,48±0,02  | 10,1±1,7  | 74,2±13,4  | 79,9±15,0   | 74,0±18,3     | 52,35±9,1      | 3,75±0,08     | 59,8±17,4    |
|         | 2 | 27,6±7,9   | 0,54±0,02  | 11,2±2,1  | 88,4±11,9* | 99,4±18,0*  | 54,91±6,1*    | 36,87±6,3*     | 2,59±0,01*    | 36,9±12,7*   |
|         | 3 | 25,9±4,25* | 0,82±0,07  | 11,3±3,2* | 86,2±13,6* | 101,0±23,4* | 60,6±18,6     | 34,9±9,2*      | 3,0±0,02      | 39,8±8,4*    |
| 11 лет  | 1 | 37,7±1,2   | 0,66±0,02  | 8,9±1,7   | 65,1±24,9  | 68,1±12,6   | 61,3±17,2     | 50,29±8,2      | 2,65±0,08     | 49,6±19,7    |
|         | 2 | 40,7±2,2   | 0,46±0,05* | 9,5±2,3   | 70,5±18,5  | 71,5±8,15   | 103,7±29,6*   | 50,85±12,1     | 3,28±0,04*    | 70,96±18,3   |
|         | 3 | 33,1±9,4   | 0,4±0,04   | 8,65±1,8  | 68,5±13,2  | 73,0±13,1   | 101,8±7,3*    | 43,3±4,6       | 3,68±0,04*    | 66,9±4,1     |
| 12 лет  | 1 | 34,3±4,5   | 0,4±0,02   | 8,9±1,4   | 62,3±9,5   | 57,0±12,0   | 173,08±20,8   | 64,98±18,8     | 5,48±0,03     | 69,03±18,9   |
|         | 2 | 37,6±1,8   | 0,48±0,01  | 10,0±1,9  | 69,4±13,9  | 63,0±16,0   | 77,94±12,5*   | 65,6±16,4      | 3,37±0,01*    | 64,7±17,6    |
|         | 3 | 36,3±3,3   | 0,40±0,02  | 8,19±2,3  | 66,3±7,5   | 76,5±19,9   | 122,2±19,9    | 48,16±16,0     | 3,97±0,04     | 104,7±3,8*   |
| 13 лет  | 1 | 32,5±5,3   | 0,49±0,03  | 9,84±1,7  | 71,5±12,7  | 56,7±7,03   | 82,1±18,9     | 44,1±6,83      | 3,36±0,05     | 52,7±5,6     |
|         | 2 | 38,7±6,1   | 0,36±0,01  | 9,05±1,3  | 60,0±210,7 | 42,6±2,5*   | 123,1±23,8    | 33,9±9,4       | 4,42±0,04*    | 85,9±8,7     |
|         | 3 | 32,9±2,3   | 0,35±0,01* | 8,99±3,2  | 60±11,7*   | 68,1±4,3    | 106,8±3,7     | 44,5±1,5       | 3,95±0,01     | 75,3±5,43    |
| 15 лет  | 1 | 36,2±6,2   | 0,32±0,01  | 7,98±1,9  | 58,7±14,9  | 49,8±13,8   | 186,2±18,2    | 56,6±15,1      | 5,75±0,02     | 94,0±9,4     |
|         | 2 | 43,1±1,2   | 0,32±0,02  | 5,8±1,4   | 42,5±13,5  | 37,8±13,9   | 218,0±13,5    | 63,3±14,2      | 7,09±0,03     | 164,3±10,3*  |
|         | 3 | 43,0±8,8*  | 0,64±0,04* | 10,9±4,6  | 89,0±13,7* | 83,2±23,2*  | 80,9±17,0*    | 44,9±17,6*     | 2,62±0,05*    | 50,54±6,8*   |

Примечания. АМо – амплитуда моды, ВР – амплитуда вариабельности пульса, CV – коэффициент вариации, SDNN – среднее отклонение «нормальных» интервалов RR, RMSSD – среднеквадратичное различие между длительностью соседних R-R интервалов, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции, ВПР – вегетативный показатель ритма, ИН – степень напряжения регуляторных систем. Здесь и далее в табл. 3: 1 – здоровые дети, 2 – дети с плоскостопием, 3 – дети со сколиозом; достоверно при  $p \leq 0,05$ : \* – между контрольной группой детей и детьми, страдающими плоскостопием и сколиозом.

## ФИЗИОЛОГИЯ

Согласно основной системе спектрального анализа ВСР, подверглись анализу следующие показатели: TP, VLF, LF, HF, LF/HF (табл. 3). С целью оценки степени централизации управления ритмом сердца использовали индексы, предложенные Р.М. Баевским: напряжения и вегетативного равновесия.

Математический анализ результатов проведен на персональном компьютере в программе «Статистика». Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента, считая их достоверными при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** Выявлено несколько факторов, влияющих на развитие ДЗКМС. Установлена взаимосвязь между заболеваемостью сколиозом, плоскостопием и биологической характеристикой школьников. Количество случаев заболевания сколиозом I степени у лиц женского пола в пре- и пубертатный периоды в 1,8–2,3 раза превышает заболеваемость

сколиозом у школьников мужского пола (рис. 1). При этом при плоскостопии значимых различий по половому признаку не выявлено. Количество случаев достаточно высокое и одинаково во всех обследуемых группах.

Установлена корреляционная связь между дефицитом массы тела и развитием сколиоза и плоскостопия у детей ( $r = 0,9$ ). Процент диагностирования детей с низким физическим развитием в препубертатный период в 3,8 раза превышает процент школьников со средним физическим развитием. Определено увеличение в 1,7 раза случаев заболеваемости плоскостопием в препубертатный период по сравнению с пубертатным. Недостаток в массе тела у детей препубертатного возраста при сколиозе выражен на 43–45 % по сравнению с детьми с нормальным физическим развитием. При этом при плоскостопии недобор в массе тела у детей 7-8 лет составил 54 % – с уменьшением

Таблица 3

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВСР У ЗДОРОВЫХ ШКОЛЬНИКОВ 7–15 лет и с ДЗКМС г. АРЗАМАСА

| Показатель | HF, мс <sup>2</sup> | HF, %       | LF, мс <sup>2</sup> | LF, %       | VLF, мс <sup>2</sup> | VLF, %       | LF/HF     |            |
|------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------|--------------|-----------|------------|
| 7-8 лет    | 1                   | 3211,3±77,0 | 56,8±2,8            | 1430,1±95,0 | 22,7±1,6             | 1210±77,0    | 22,8±1,7  | 0,43±0,02  |
|            | 2                   | 3563,4±47,0 | 44,1±9,5*           | 2083,7±49,0 | 27,4±1,8*            | 1894±82*     | 28,6±1,5  | 0,9±0,09*  |
|            | 3                   | 2489,8±60,2 | 44,16±2,1           | 1249,8±69,1 | 26,6±1,9*            | 1115,6±96,1  | 29,1±3,2  | 0,75±0,03* |
| 9 лет      | 1                   | 3201±81,0   | 47,2±5,1            | 2064,1±61,0 | 29,3±2,9             | 1361,7±75,0  | 23,5±1,58 | 0,7±0,02   |
|            | 2                   | 4028,2±25,0 | 53,9±6,7*           | 2186,2±76,0 | 25,7±3,8*            | 1760,8±82,0  | 20,2±2,9* | 0,52±0,01* |
|            | 3                   | 3255±82,1   | 56,2±7,3*           | 1726,0±63,0 | 24,5±3,7             | 1410,4±88,0  | 19,3±3,6  | 0,51±0,03* |
| 11 лет     | 1                   | 2200±83,0   | 44,8±1,5            | 1230,7±91,0 | 24,3±5,6             | 1593±46,0    | 30,8±1,9  | 0,58±0,02  |
|            | 2                   | 3311±99,0   | 52,5±4,4*           | 1447,8±90,0 | 24,6±3,6             | 1430±93,0    | 22,85±5,6 | 0,55±0,04  |
|            | 3                   | 3247±34,1   | 48,9±9,2            | 1417±71,1   | 26,1±7,5             | 1183,8±34,8* | 25,05±6,3 | 0,67±0,04  |
| 12 лет     | 1                   | 1434±83,0   | 30,4±1,8            | 1008±40,0   | 21,3±8,7             | 2323,6±40,0  | 48,3±6,7  | 0,7±0,01   |
|            | 2                   | 2676,3±94,0 | 39,2±5,8            | 1552,4±55,0 | 26,3±10,5*           | 2031,8±74    | 34,4±2,3* | 0,9±0,02   |
|            | 3                   | 2627,8±33,1 | 53,5±7,0*           | 1297,7±87,2 | 23,4±6,3             | 1064±54,5*   | 23,0±5,3* | 0,45±0,06* |
| 13 лет     | 1                   | 2395,2±68,0 | 36,2±7,3            | 1867±79,0   | 31,8±4,62            | 2771±71,0    | 29,7±6,6  | 0,91±0,04  |
|            | 2                   | 1635,8±84,0 | 28,6±9,6            | 2018±63,0   | 31,02±9,7            | 1983±52,0    | 40,4±7,9  | 1,55±0,03* |
|            | 3                   | 2163,7±66,1 | 37,9±7,6            | 1287,9±67,1 | 26,8±8,1*            | 2314±31,1    | 35,1±3,6  | 0,88±0,05  |
| 15 лет     | 1                   | 1685±98     | 36,7±               | 1102,7±35,0 | 21,1±7,1             | 1923±78,0    | 42,2±4,4  | 0,58±0,02  |
|            | 2                   | 818±97      | 30,3±3,7            | 1052,5±46,0 | 48,8±1,7*            | 4958±89**    | 20,9±6,2* | 2,14±0,06* |
|            | 3                   | 2045±32,1   | 35,16±7,2           | 1980±88,1*  | 25,78±10,3           | 3015,8±85,2  | 39,07±8,7 | 0,76±0,02* |

*Примечание:* HF, мс<sup>2</sup> – мощность быстрых волн, HF, % – процент колебаний быстрых волн, LF, мс<sup>2</sup> – мощность медленных волн, LF, % – процент колебаний медленных волн, VLF, мс<sup>2</sup> – мощность очень медленных волн, VLF, % – процент колебаний очень медленных волн.

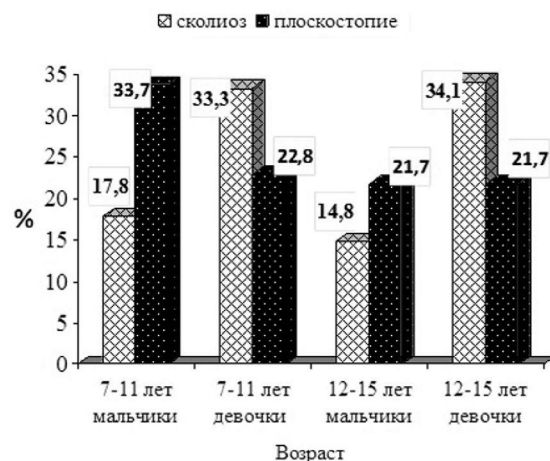


Рис. 1. Частота встречаемости ДЗКМС по половозрастному диапазону у школьников 7–15 лет г. Арзамаса

данного показателя в возрасте 9-11 лет до 13, 23, 36 % соответственно.

Обращает на себя внимание увеличение диагностирования сколиоза у школьников в препубертатном возрасте при дефиците массы тела в 1,3 раза, а при среднем значении физического развития – в 6 раз по сравнению с детьми пубертатного возраста (рис. 2). Потеря массы тела у школьников с 12 до 15 лет не превышает 22-24,6 % при сколиозе и 28-34,7 % при плоскостопии по сравнению с детьми со средним физическим развитием.

Сочетание неокрепшего костного аппарата, соединенного растяжимыми связками, и слабых мышц, сопровождающих дефицит массы тела, приводит к кумулятивному эффекту. Именно это влечет за собой опущение сводов стопы с перемещением центра тяжести и потерей стопы всех ее функций, с одной стороны, и невозможность мышечного корсета удерживать позвоночник, с другой. Кроме того, мы полагаем, что возникшее несоответствие между ростом костной и мышечной масс в пубертатном периоде приводит к диспропорции между темпами роста,



Рис. 2. Антропометрическая характеристика школьников 7–15 лет с ДЗКМС г. Арзамаса

создавая опасность нарушений и возникновения заболеваний КМС. Таким образом, дефицит массы тела является дополнительным фактором риска развития сколиоза и плоскостопия, поэтому необходимо контролировать значения массы тела в детском возрасте, чтобы правильно направлять деятельность в организации и проведении мероприятий по укреплению мышечного корсета и костной ткани у детей.

Результаты первой части работы дали определенные основания для изучения особенностей variability ритма сердца при данных патологиях.

При сколиозе и плоскостопии в начальной степени заболевания выявленное смещение вегетативной регуляции представляет собой неспецифический компонент адаптационной реакции в ответ на патологический процесс. Именно благодаря доминированию рефлекторно-вегетативной регуляции обеспечивается адекватный гомеостаз при данной патологии.

При исследовании степени напряжения регуляторных систем как интегрального ответа организма на комплекс факторов установлено повышение активности стресс-реализующих систем, обусловленное преобладанием тонуса симпатического звена регуляции у школьников в 15-летнем возрасте при плоскостопии (увеличение ИН на 75 %;  $p < 0,05$ ) и при сколиозе в 8 и 12 лет (увеличение ИН на 103–117 %;  $p < 0,05$ ). Компенсаторный дистресс с тенденцией к преобладанию активности стресс-лимитирующих

систем зафиксирован у школьников 8-9 лет, больных плоскостопием, и при сколиозе в возрастной категории 9, 14 и 15 лет (рис. 3).

Наиболее приспособительным с позиции физиологической регуляции при ДЗКМС является 10-летний возраст, соответствующий вегетативному равновесию.

Амплитуда моды, свидетельствующая о стабилизирующем эффекте централизации управления сердечным ритмом, соответствует физиологической норме. О мобилизации функциональных резервов свидетельствуют высокие значения RMSSD как показателя активности парасимпатического звена вегетативной регуляции.

В 8-летнем возрасте изменения вегетативной регуляции зависят от нозологической формы ДЗКМС. При плоскостопии отмечается вагусное влияние на сердечный ритм, о чем свидетельствует изменение временных и спектральных показателей (снижение АМО, ИН, ИВР, ВПР с увеличением показателей variability ВР, ПАПР, SDNN, а также спектральных показателей LF, VLF, LF/HF на фоне снижения дыхательной составляющей от уровня здоровых детей). При этом при сколиозе в данной возрастной категории ВСР была ниже, чем у здоровых сверстников. Увеличение ИН, АМО, ПАПР, VLF, LF, LF/HF с одновременным снижением ВР, HF сигнализирует о включении в процесс вегетативной регуляции надсегментарного уровня управления.

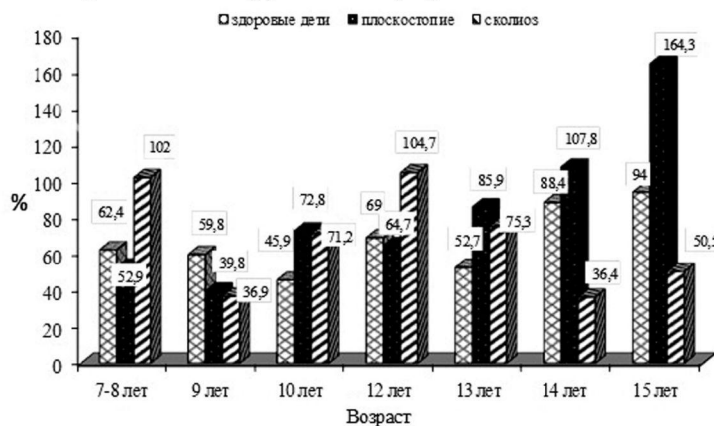


Рис. 3. Индекс напряжения у детей с ДЗКМС по сравнению со здоровыми детьми г. Арзамаса

Ю.В. Микадзе установлено, что миелинизация нервных волокон завершается только к 9-летнему возрасту [14]. Это позволяет предположить, что адаптация физиологических систем организма в 8-летнем возрасте объясняется морфологической и функциональной незрелостью структур ЦНС, недостаточностью механизмов торможения и возбуждения. Кардиоинтервалографию в этот возрастной период при сколиозе можно использовать для контроля проведения медикаментозной терапии, направленной на уменьшение симпатического влияния ВНС.

При сколиозе и плоскостопии в 9-летнем возрасте зафиксирована децентрализация процессов регуляции в сторону преобладания парасимпатического тонуса ВНС, что, предположительно, говорит о стабилизации всех сил адаптации к изменившимся условиям. Так, значения временных показателей при сколиозе и плоскостопии отличаются от контрольной группы. Снижение временных показателей (АМо, ИН, ИВР, ПАПР, ВПР) привело к повышению таких показателей, как ВР, CV, SDNN, RMSSD.

С 11-летнего возраста при ДЗКМС обнаруживаются признаки мобилизации функциональных резервов для противостояния патологии. При сколиозе и плоскостопии значения временных показателей (ИВР, ИН, ВПР) были выше, чем у здоровых детей. Мощность очень медленных волн VLF, отражающих энергодефицитное состояние, была ниже, чем у детей из контрольной группы. Характер изменений является свидетельством перехода регуляции с гуморально-метаболической на рефлекторно-вегетативную, способную обеспечить при данной патологии адекватный гомеостаз.

В пубертатном периоде показатели ВСР при ДЗКМС изменяются в зависимости от нозологической формы и возрастного признака. При сколиозе у школьников 12-13 лет сохраняется тенденция к переходу регуляции на рефлекторно-вегетативный уровень с умеренной активацией симпатoadреналового влияния, гуморального и парасимпатического звеньев регуляции (смешанный тип регуляции), что находит

подтверждение в увеличении АМо с одновременным снижением ИВР, ПАПР, ВПР, LF/HF, CV, RMSSD. Увеличение дыхательной составляющей спектра привело к уменьшению вагосимпатического индекса LF/HF. При этом значимое снижение абсолютного и процентного показателя VLF по сравнению со здоровыми сверстниками свидетельствует о сохранении тенденции перехода регуляции на рефлекторно-вегетативный уровень.

В 14-15 лет у школьников при сколиозе зафиксировано смещение процессов регуляции сердечного ритма в сторону преобладания парасимпатического отдела вегетативной регуляции. Значения всех 9 временных показателей отличаются от значений у здоровых детей. Действительно, одни временные показатели (RMSSD, SDNN, CV) увеличились с тенденцией повышения этих значений в 15 лет на 36-67 % по сравнению со здоровыми детьми. Значения других временных показателей (ИВР, ПАПР, ВПР) снизились на 24-57 %. Вариационный размах увеличился по сравнению со здоровыми сверстниками в 2 раза. О ваготонической направленности функционирования сердечного ритма позволяет судить повышение показателей спектрального анализа (LF, LF/HF).

При плоскостопии в 12-летнем возрасте у школьников превалирует влияние парасимпатического и гуморального звеньев регуляции, на что указывает снижение временных показателей ВПР, ИВР и повышение SDNN, RMSSD. С 13 лет при плоскостопии, с сохранением тенденции в 14-15 лет, ВСР снижается, о чем свидетельствует факт статистически значимого увеличения вагосимпатического индекса до 1,5 с последующим подъемом в 14 лет до 1,89. В 15 лет индекс возрастает до 2,14, что в 3,6 раз превышает значение индекса у здоровых сверстников. Адаптация физиологических систем при плоскостопии с 13 лет происходит путем напряжения регуляторных механизмов.

Усиление расхода энергии и излишней мобилизации организма подтверждается изменением временных и спектральных показателей.

Увеличение одних временных показателей (ИН, АМО, ВПР, ИВР) влечет за собой снижение других показателей временной области (ПАПР, RMSSD, SDNN, BP). Со стороны спектральных показателей об усилении активности симпатического звена говорит снижение дыхательного компонента HF в 13 лет с сохранением тенденции уменьшения данного показателя в абсолютном и процентном соотношении в 15-летнем возрасте. Снижение данного показателя привело к повышению мощности низких частот LF с последующим возрастанием данного показателя в 15 лет в 2,3 раза (до  $48,8 \pm 11,7$ ) по сравнению со здоровыми сверстниками.

В целом можно сказать, что дестабилизация физиологических процессов при сколиозе в сторону преобладания вагусного влияния обеспечивает максимальное напряжение функционирования организма в целях мобилизации энергетических усилий для противостояния надвигающейся патологии.

Считаем, что автономная деятельность низких уровней при сколиозе без включения высшего уровня свидетельствует о локальном изменении регуляторных механизмов. Кроме того, незначительные изменения при сколиозе I степени, отсутствие признаков сердечно-сосудистой недостаточности объясняются тем, что в грудном отделе при сколиозе чаще наблюдается правосторонняя дуга. При этом патологическая ротация и деформация грудной клетки идут так, что левая половина грудной клетки претерпевает меньше изменений, чем правая. А истощение резервных возможностей сердечно-сосудистой системы, по данным литературы, наблюдается при сколиозе III–IV степени, когда наступает транслокация крупных сосудов.

С точки зрения анатомии грудного отдела позвоночника при деформации позвоночника должна увеличиваться симпатико-адреналовая активность, т. к. в грудном отделе преобладают симпатические вегетативные нервы.

Полагаем, что причиной активизации парасимпатического звена ВНС при сколиозе в начальной степени, по-видимому, являются восходящие патологические рефлекторные влияния

или снижение рефлекторной возбудимости. Нельзя исключать и нарушения кровообращения нервных корешков за счет патологической нервно-рефлекторной дуги. Именно благодаря активизации парасимпатического отдела при сколиозе в начальной стадии обеспечивается сохранение кровоснабжения спинного мозга за счет расширения сосудистого русла в целом и в спинном мозге в частности. С другой стороны, ВНС не регулирует сокращения скелетных мышц, но обеспечивает функцию сосудов и сердца. Плоскостопие характеризуется изменением тонуса сосудов, перенапряжением и несостоятельностью мышц и связок. Тем самым оно вызывает рефлекторные реакции сердца, что определяется межнейронными связями, регулирующими сердечную деятельность и сосудистый тонус.

Мы полагаем, что переутомленные мышцы наряду с растущими нагрузками на стопы вызывают изменения параметров нейронной активности, что обуславливает постоянную микротравматизацию мелких суставов, связок и увеличивает риск возникновения воспалительных процессов и ущемления нервных веточек. Все это определяет появление трофических нарушений в стопе.

Считаем, что повышенные сигналы от перенапряженных афферентных рецепторов при плоскостопии вовлекают в процесс ограниченное число сегментов спинного мозга. Активизация вагусных нейронов сердца осуществляется за счет рецепторов, возбуждаемых рефлексом отрицательной обратной связи. Выявленное преобладание парасимпатической регуляции ВНС при плоскостопии способствует сохранению гомеостаза, выполняя трофическую функцию, способствуя, на наш взгляд, сохранению и накоплению энергии в организме за счет активации анаболических и ограничения катаболических процессов с уменьшением энергозатрат.

Сосудорасширяющий эффект парасимпатической нервной системы обеспечивает оптимальное снабжение стоп кислородом. Кроме того, мы полагаем, что длительное перенапряжение мышц с нарастающими статическими нагрузками посылает неправильные патологические импульсы.



По данным Т.Ю. Карташовой, суммация постсинаптических импульсов приводит к развитию в их центре процесса торможения, т. е. неспособности поддержания полноценного напряжения мышц с ослаблением биоэлектрической активности [15]. Рефлексы с большим латентным периодом при плоскостопии вовлекают в реакцию практически все сегменты спинного мозга с включением вегетативных центров головного мозга. Характер изменений позволяет предположить, что суммация постсинаптических процессов, возникших более интенсивным притоком афферентации, активизирует надсегментарные механизмы с преобладанием симпатического отдела ВНС. Симпатическая регуляция ВНС начинает превалировать у школьников с 13-летнего возраста. Данные изменения направлены уже не на сохранение гомеостаза, а на изменение скорости метаболических процессов в поврежденных тканях стоп.

Неинвазивный метод (кардиоинтервалография), позволяющий оценить состояние вегетативной регуляции сердечного ритма, целесообразно использовать для прогностических целей

с выделением групп риска детей для осуществления коррекционно-профилактических мероприятий, направленных на уменьшение рессорной функции при плоскостопии и противостояние прогрессированию сколиоза. При плоскостопии особое внимание нужно уделять детям с 13-летнего возраста, когда начинается снижение функциональных возможностей организма на противостояние патологии. Режимы двигательной активности, подбор адекватной терапии больным следует проводить с учетом выявленных особенностей функционирования ВНС.

**Заключение.** Во-первых, установленная корреляционная связь развития ДЗКМС у детей с дефицитом массы тела указывает на то, что низкое значение мышечного и костного компонентов является дополнительным фактором в развитии сколиоза и плоскостопия. Во-вторых, установленные нами нарушения регуляции при сколиозе и плоскостопии указывают на увеличение затрат функционального резерва для поддержания нормального уровня функционирования организма.

## Список литературы

1. *Сабгайда Т.П., Окунев О.Б.* Изменение заболеваемости российских детей, подростков и взрослого населения болезнями основных классов в постсоветский период // Соц. аспекты здоровья населения. 2012. № 1(23). С. 1–20.
2. *Гончарова О.В., Соколовская Т.А.* Заболеваемость детей 0–14 лет в Российской Федерации: лонгитудинальное и проспективное исследования // Мед. совет. 2014. № 6. С. 6–8.
3. *Бубновский С.М.* Профилактика заболеваний костно-мышечной системы у школьников средствами кинезитерапии: дис. ... д-ра мед. наук. М., 2007. 288 с.
4. *Сабанчиева Л.А.* Вариабельность сердечного ритма у детей младшего школьного возраста: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ставрополь, 2007.
5. *Назаренко С.Ю.* Вариабельность сердечного ритма у подростков Архангельской области: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Архангельск, 2007.
6. *Кондратьева М.В.* Вариабельность сердечного ритма в раннем неонатальном периоде у здоровых детей и перенесших гипоксию // ВСР: теоретические аспекты и практическое применение: материалы IV Всерос. симп., г. Ижевск, 19–21 ноября 2008 года. Ижевск, 2008. С. 145–146.
7. *Кушнир С.М., Стручкова И.В., Макарова И.И., Антонова Л.К.* Состояние вегетативной регуляции сердечного ритма у здоровых детей в различные периоды детства // Науч. вед. Белгород. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2012. Вып. 18. № 3(122). С. 161–165.
8. *Овечкина А.В., Дрожжина Л.А.* Физическая реабилитация детей со сколиозом в специализированной школе-интернате // Актуальные вопросы детской травматологии и ортопедии: материалы совещ. глав. дет. ортопедов-травматологов России. СПб., 2002. С. 120–122.

9. Егоров М.В. Состояние сердечно-сосудистой системы и механизмы его регуляции при искривлениях позвоночного столба у девушек 15–16 лет: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Челябинск, 2006. 122 с.
10. Ермошкина А.Ю., Фефелова В.В., Манчук В.Т., Казакова Т.В. Клинико-антропометрическая характеристика и вегетативная регуляция у лиц юношеского возраста, больных сколиозом. Красноярск, 2011. 107 с.
11. Коваленко В.С., Джандарова Т.И. Минеральный обмен и показатели сердечно-сосудистой системы у детей с врожденным сколиозом и косолапостью. М., 2011.
12. Белоусова Н.А. Особенности variability сердечного ритма у девочек препубертатного возраста со сколиозом на начальных этапах деформации // Вестн. РАЕН. 2012. № 1. С. 57–60.
13. Дронь А.Ю. Биоинформационный анализ состояния сердечно-сосудистой системы при функциональных нарушениях позвоночника: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сургут, 2012. 115 с.
14. Микадзе Ю.В. Нейрофизиология детского возраста: сб. ст. по исслед. псих. явлений. СПб., 2008.
15. Карташова Т.Ю. Эффективность использования биомеханической и электростимуляции для профилактики и коррекции плоскостопия у детей 5–7 лет в условиях дошкольного учреждения: дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 130 с.

### References

1. Sabgayda T.P., Okunev O.B. *Izmenenie zabolevaemosti rossiyskikh detey, podrostkov i vzroslogo naseleniya boleznyami osnovnykh klassov v postsovetский period* [Trends of Incidence and Prevalence for the Main Classes of Diseases Among Russian Child, Adolescent and Adult Population During the Post-Soviet Period]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2012, no. 1(23), pp. 1–20.
2. Goncharova O.V., Sokolovskaya T.A. *Zabolevaemost' detey 0–14 let v Rossiyskoy Federatsii: longitudinal'noe i prospektivnoe issledovaniya* [Morbidity Among Children Aged 0–14 Years in the Russian Federation: Longitudinal and Prospective Studies]. *Meditsinskiy sovet*, 2014, no. 6, pp. 6–8.
3. Bubnovskiy S.M. *Profilaktika zabolevaniy kostno-myshechnoy sistemy u shkol'nikov sredstvami kineziterapii*: dis. ... d-ra med. nauk [Prevention of Musculoskeletal Disorders in Schoolchildren by Means of Kinesitherapy: Dr. Med. Sci. Diss.]. Moscow, 2007. 288 p.
4. Sabanchieva L.A. *Variabel'nost' serdechnogo ritma u detey mladshogo shkol'nogo vozrasta*: avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Heart Rate Variability in Children of Primary School Age: Cand. Med. Sci. Diss. Abs.]. Stavropol, 2007.
5. Nazarenko S.Yu. *Variabel'nost' serdechnogo ritma u podrostkov Arkhangel'skoy oblasti*: avtoref. dis. ... kand. med. nauk [Heart Rate Variability in Adolescents Living in the Arkhangelsk Region: Cand. Med. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangel'sk, 2007.
6. Kondrat'eva M.V. *Variabel'nost' serdechnogo ritma v rannem neonatal'nom periode u zdorovykh detey i perenesshikh gipoksiyu* [Heart Rate Variability in the Early Neonatal Period in Healthy Children and in Those That Had Hypoxia]. *VSR: teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primeneniye: materialy IV Vseros. simp.* [Heart Rate Variability: Theoretical Aspects and Practical Use: Proc. 4th Russia-Wide Symp. with Int. Participation]. Izhevsk, 19–21 November 2008. Izhevsk, 2008, pp. 145–146.
7. Kushnir S.M., Struchkova I.V., Makarova I.I., Antonova L.K. *Sostoyaniye vegetativnoy regulyatsii serdechnogo ritma u zdorovykh detey v razlichnye periody detstva* [State of Vegetative Regulation of Heart Rhythm in Healthy Children in Different Periods of Childhood]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2012, vol. 18, no. 3(122), pp. 161–165.
8. Ovechkina A.V., Drozhzhina L.A. *Fizicheskaya reabilitatsiya detey so skoliozom v spetsializirovannoy shkole-internate* [Physical Rehabilitation of Children with Scoliosis in a Specialized Boarding School]. *Aktual'nye voprosy detskoy travmatologii i ortopedii: materialy soveshch. glav. det. ortopedov-travmatologov Rossii* [Current Issues of Pediatric Orthopedics and Traumatology: Proc. Meeting of Main Children's Orthopedic Traumatologists of Russia]. St. Petersburg, 2002, pp. 120–122.
9. Egorov M.V. *Sostoyaniye serdechno-sosudistoy sistemy i mekhanizmy ego regulyatsii pri iskrivleniyakh pozvonochnogo stolba u devushek 15–16 let*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [State of the Cardiovascular System and Mechanisms of Its Regulation in Girls Aged 15–16 Years with Spinal Curvatures: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Chelyabinsk, 2006. 122 p.

10. Ermoshkina A.Yu., Fefelova V.V., Manchuk V.T., Kazakova T.V. *Kliniko-antropometricheskaya kharakteristika i vegetativnaya regulyatsiya u lits yunosheskogo vozrasta, bol'nykh skoliozom* [Clinical-Anthropometric Characteristics and Autonomic Regulation in Adolescents with Scoliosis]. Krasnoyarsk, 2011. 107 p.
11. Kovalenko V.S., Dzhandarova T.I. *Mineral'nyy obmen i pokazateli serdechno-sosudistoy sistemy u detey s vrozhdennym skoliozom i kosolapost'yu* [Mineral Metabolism and Indicators of the Cardiovascular System in Children with Congenital Scoliosis and Clubfoot]. Moscow, 2011.
12. Belousova N.A. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u devochek prepubertatnogo vozrasta so skoliozom na nachal'nykh etapakh deformatsii [Characteristic Features of Heart Rate Variability in Prepubescent Girls with Scoliosis at the Initial Stage of Deformation]. *Vestnik RAEN*, 2012, no. 1, pp. 57–60.
13. Dron' A.Yu. *Bioinformatsionnyy analiz sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy pri funktsional'nykh narusheniyakh pozvonochnika: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Bioinformatic Analysis of the State of the Cardiovascular System in Functional Disorders of the Spine: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Surgut, 2012. 115 p.
14. Mikadze Yu.V. *Neyrofiziologiya detskogo vozrasta: sb. st. po issled. psikh. yavleniy* [Childhood Neurophysiology: Collected Articles on Mental Phenomena Studies]. St. Petersburg, 2008.
15. Kartashova T.Yu. *Effektivnost' ispol'zovaniya biomekhanicheskoy i elektrostimulyatsii dlya profilaktiki i korrektsii ploskostopiya u detey 5–7 let v usloviyakh doshkol'nogo uchrezhdeniya: dis. ... kand. biol. nauk* [The Effectiveness of the Use of Biomechanical and Electrical Stimulation for the Prevention and Correction of Flat Feet in Children Aged 5–7 Years in Preschool Institutions: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Moscow, 2005. 130 p.

doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.1.51

**Mamonova Svetlana Borisovna**

Postgraduate Student, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
23 prosp. Gagarina, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation;  
e-mail: ya-sveta-mamonova@ya.ru

**Saburtsev Sergey Aleksandrovich**

Arzamas Branch of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
36 Karla Marksa St., Arzamas, 607220, Russian Federation;  
e-mail: saburtsev@mail.ru

**Krylov Vasily Nikolaevich**

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
23 prosp. Gagarina, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation;  
e-mail: kfg@bio.unn.ru

**HEART RATE VARIABILITY IN SCHOOLCHILDREN AGED 7–15 YEARS  
WITH DEFORMING DISEASES OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM**

This paper presents anatomic and physiological characteristics of schoolchildren with deforming diseases of the musculoskeletal system. It evaluates some of the anthropometric parameters in prepubescent and pubertal schoolchildren with scoliosis and flat feet. We established a cause-and-effect relationship between the development of deforming diseases of the musculoskeletal system and weight deficit in children. Asthenic constitution in schoolchildren acts as a predisposing factor leading to spinal deformity and flat feet. These constitutional characteristics must be considered when determining a risk group of children with low fat, muscle and bone mass. In this paper, we evaluated the functional state of the cardiovascular system and regulation mechanisms according to 16 indicators of heart rate variability. We found decentralization of the autonomic balance; however, these data are not manifested but masked by the compensation abilities of the child's body. At the age of 7–12 years, the revealed changes in the regulatory mechanisms towards predominance of fast regulation indicate activation of autonomous control levels and of the subcortical cardiovascular centre. Since 13 years of age, with the development of flat feet, schoolchildren showed changes in the regulatory mechanisms towards medium and slow regulation,

which is manifested by the activation of the central control level accompanied by increased sympathetic activity, decreased activity of centres of metabolic energy exchange, and increased strain on the regulatory systems. The seemingly problem-free state of health in pubertal children with flat feet is provided by the strain on adaptive and compensatory mechanisms. Cardiointervalography can be used as a method of preclinical diagnosis for early detection of diseases, as well as for prognostic and therapeutic purposes.

**Keywords:** *deforming diseases of the musculoskeletal system, scoliosis, flat feet, physical development, heart rate variability, autonomic nervous system.*

*Контактная информация:*

Мамонова Светлана Борисовна

*адрес:* 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23;

*e-mail:* ya-sveta-mamonova@ya.ru

Сабурцев Сергей Александрович

*адрес:* 607220, г. Арзамас, ул. Карла Маркса, д. 36;

*e-mail:* saburtsev@mail.ru

Крылов Василий Николаевич

*адрес:* 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23;

*e-mail:* kfg@bio.unn.ru