



ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ У ПОДРОСТКОВ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ

А.А. Иванова, М.Н. Лебедева

*Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия*

Цель исследования. По данным анализа вариабельности сердечного ритма на предоперационном этапе установить типы вегетативной регуляции у пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом.

Материал и методы. У 69 подростков с идиопатическим сколиозом с целью оценки резервов вегетативной регуляции провели регистрацию кардиоинтервалограмм с последующим спектральным анализом в состоянии покоя и при проведении активной ортостатической пробы. Анализировали очень низкочастотные колебания спектрограммы, индекс напряжения регуляторных систем — стресс-индекс и общую мощность спектра. Определены 4 типа вегетативной регуляции: I — с умеренным преобладанием симпатической и центральной регуляции, II — с выраженным преобладанием симпатической и центральной регуляции, III — с умеренным преобладанием парасимпатической регуляции, IV — с выраженным преобладанием парасимпатической регуляции.

Результаты. У 15 (22 %) пациентов в покое установлено умеренное преобладание симпатической активности и центральной регуляции с умеренным напряжением регуляторных систем, соответствующее I типу регуляции, у 2 (3 %) — резкое увеличение активности центральной регуляции с развитием состояния вегетативной дисфункции (II тип), у 39 (56 %) — умеренное преобладание парасимпатической активности (III тип), у 13 (19 %) — выраженное преобладание парасимпатической регуляции с перенапряжением регуляторных систем (IV тип). После ортостатической пробы большинство обследованных имели I тип регуляции — 44 (64 %), тип II зарегистрирован у 7 (10 %) пациентов, тип III — у 14 (20 %), тип IV — у 4 (6 %).

Заключение. Фоновое состояние вегетативной регуляции сердечного ритма у большинства подростков с идиопатическим сколиозом отражает устойчивость адаптационных механизмов. Проведение ортостатической пробы позволяет выявить случаи неустойчивости системы регуляции с риском гемодинамической нестабильности из-за регистрации у большинства пациентов умеренного преобладания симпатической вегетативной регуляции.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз; вариабельность сердечного ритма; ортостатическая проба; адаптационный резерв.

Для цитирования: Иванова А.А., Лебедева М.Н. Предоперационное экспресс-определение типов вегетативной регуляции у подростков с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 4. С. 42–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.4.42-48>

PREOPERATIVE RAPID DETERMINATION OF TYPES OF AUTONOMIC REGULATION IN ADOLESCENTS WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS

A.A. Ivanova, M.N. Lebedeva

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Objective. To establish the types of autonomic regulation in patients with adolescent idiopathic scoliosis based on the analysis of heart rate variability at the preoperative stage.

Material and Methods. The study included 69 adolescents with idiopathic scoliosis, who underwent cardiointervalogram recording with subsequent spectral analysis at rest and during an active orthostatic test in order to assess the reserves of autonomic regulation. Very low frequency oscillations of the spectrogram, stress index of regulatory systems, and the total power of the spectrum were analyzed. Four types of autonomic regulation were determined: type I with moderate predominance of sympathetic and central regulation, type II with pronounced predominance of sympathetic and central regulation, type III with moderate predominance of parasympathetic regulation, and type IV with pronounced predominance of parasympathetic regulation.

Results. At rest, a moderate predominance of sympathetic activity and central regulation with moderate stress of regulatory systems, or type I regulation was observed in 15 (22%) patients; a sharp increase in the activity of central regulation with the development of a state of vegetative dysfunction, or type II regulation — in two (3%) patients; a moderate predominance of parasympathetic activity, or type III regulation — in 39 (56%) examined patients; and a pronounced predominance of parasympathetic regulation with overstrain of the regulatory systems, or type IV regulation — in 13 (19%) patients. After the orthostatic test, most of the examined patients, 44 (64%), had type I regulation, while type II was registered in seven (10%) patients, type III — in 14 (20%), and type IV — in four (6%) patients.

Conclusion. The background state of autonomic regulation of the heart rate in most adolescents with idiopathic scoliosis reflects the stability of adaptation mechanisms. Orthostatic testing allows identifying cases of instability of regulatory system associated with the risk of hemodynamic instability due to the moderate predominance of sympathetic autonomic regulation observed in most patients.

Key Words: idiopathic scoliosis; heart rate variability; orthostatic test; adaptation reserve.

Please cite this paper as: Ivanova AA, Lebedeva MN. Preoperative rapid determination of types of autonomic regulation in adolescents with idiopathic scoliosis. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(4):42–48. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.4.42-48>

Распространенность идиопатического сколиоза (ИС) среди подростков составляет 2–4 %. [1]. Хирургическая коррекция деформации позвоночника связана с длительным нефизиологичным положением пациента во время операции, агрессивными манипуляциями, значительной кровопотерей и высоким риском развития интраоперационной гемодинамической нестабильности [2, 3]. На интраоперационный гемодинамический статус также оказывают влияние исходное состояние сердечно-сосудистой системы и вегетативной нервной системы (ВНС) пациента, а также препараты, используемые для анестезии [4–6]. В этой связи обеспечение интраоперационной гемодинамической стабильности является приоритетной задачей анестезиологического обеспечения [7]. Риск развития жизнеугрожающих послеоперационных осложнений может быть минимизирован путем поддержания адекватного перфузионного давления как на этапах анестезии, так и в ходе хирургического вмешательства [8], что необходимо и для ускоренного восстановления пациентов после коррекции деформации позвоночника [9–11].

Для повышения безопасности корригирующих операций у подростков с ИС значимой является оценка состояния регуляторных систем организма посредством определения вариабельности сердечного ритма (ВСР) [12–14]. Нарушения ВСР указывают на высокий риск развития жизнеугрожающих осложнений, в том числе гемодинамических [15, 16]. Известно, что у подростков функциональное состояние регуляторных систем и их реактивность определяются в первую очередь типом вегетативной регуляции, что координирует работу сердечно-сосудистой системы [17, 18].

Преобладание центрального или автономного контура в управлении ритмом сердца определяет различные адаптационные резервы организма. Известно, что преобладание центрального контура регуляции сердечного ритма и высокая активность симпатического отдела ВНС свидетельствуют о низких адаптационных возможностях сердечно-сосудистой системы [17].

В настоящее время в научных источниках имеются немногочисленные сведения о состоянии вегетативной регуляции ритма сердца у подростков с ИС: одни авторы отмечают преобладание симпатического [19], другие – парасимпатического компонента ВНС [20, 21], в том числе с проявлениями энергодифицитного состояния после активной ортостатической пробы [21].

Представленные в научных источниках сведения неоднозначны и требуют уточнения, особенно с позиций оценки адаптационных резервов у пациентов с ИС перед плановым хирургическим вмешательством.

Цель исследования – по данным анализа ВСР на предоперационном этапе установить типы вегетативной регуляции у пациентов с подростковым ИС.

Материал и методы

В проспективное одноцентровое исследование вошли 69 пациентов подросткового возраста: 58 (84 %) женского пола, 11 (16 %) – мужского, поступившие для планового хирургического лечения ИС в отделение детской ортопедии Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна. Период проведения исследования: январь 2021 г. – октябрь 2024 г.

Критерии включения: подростковый возраст (11–17 лет); основной

диагноз – ИС; планируемая первичная хирургическая коррекция деформации позвоночника; наличие письменного информированного согласия пациента и/или законного представителя (при возрасте пациента менее 15 лет) на участие в исследовании.

Критерии не включения: состояние после хирургической коррекции пороков сердца в анамнезе; наличие аритмий, требующих антиаритмической терапии; отсутствие письменного информированного согласия пациента и/или законного представителя.

Критерии исключения: ухудшение общего состояния (головокружение, потеря сознания) при проведении активной ортостатической пробы; отказ от продолжения исследования при начале исследования.

Запись кардиоинтервалограмм проводили на аппарате «ВНС-микро», программное обеспечение «Поли-Спектр. NET», (Нейрософт, Россия). В палате соблюдалась максимально возможная тишина. Пациенты находились в положении лежа на спине, сохраняли спокойное дыхание, молчали. Электроды располагали на предплечьях, запись кардиоинтервалограмм осуществляли в течение 5 мин, что является стандартной продолжительностью для данной методики.

С целью оценки состояния реактивности регуляторных систем проводили активную ортостатическую пробу: пациенты по команде, без задержек, с наложенными на руки электродами принимали вертикальное положение рядом с кроватью; запись продолжалась еще в течение 5 мин. Протокол записи ВСР с последующим спектральным анализом формировался автоматически.

Для определения принадлежности обследуемого к типу вегетативной

Таблица 1
Типы регуляции сердечного ритма

Тип	Критерии	
	SI, усл. ед.	VLF, мс ²
Умеренное преобладание симпатической и центральной регуляции — I тип	>100	>240
Выраженное преобладание симпатической и центральной регуляции — II тип	>100	<240
Умеренное преобладание парасимпатической регуляции — III тип	>30 и < 100	>240
Выраженное преобладание парасимпатической регуляции — IV тип	<30	>240
		TP >8000

SI — стресс-индекс; VLF — очень низкочастотные колебания; TP — общая мощность спектра.

регуляции сердечного ритма использовали метод экспресс-диагностики, предполагающий анализ следующих показателей: очень низкочастотных колебаний спектрограммы VLF (мс²) как маркера степени влияния центрального контура регуляции; индекса напряжения регуляторных систем – стресс-индекса SI (усл. ед.) и общей мощности спектра TP (мс²) (табл. 1) [17].

Дополнительно анализировали возраст, рост, массу тела пациентов и величину основной дуги деформации позвоночника (в градусах по Cobb).

Статистический анализ проводили в базовых пакетах языка R (версии 4.2.0). Средние значения непрерывных переменных описывали медианой (Me), разброс – интерквартильным интервалом [Q1; Q3] по причине малых размеров выборок и ненормальности распределений согласно критерию Шапиро – Уилка. Перемен-

ные в группах типов вегетативной регуляции сравнивали U-критерием Манна – Уитни, при этом ошибки множественного сравнения в достигнутых уровнях значимости *p* корректировали методом Хохберга. Для *p* < 0,05 разницу считали статистически значимой. Расчета размера выборки не проводили.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России (выписка из протокола 011/20 № 047/20 от 16.12.2020). Все участники исследования или их законные представители дали письменное информированное добровольное согласие на участие в исследовании и публикацию результатов исследования в открытом доступе.

Результаты

Результаты распределения пациентов по типам вегетативной регуляции

после анализа данных ВСР, полученных в покое, представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что фоновое предоперационное состояние регуляции ритма сердца у большинства пациентов характеризовалось умеренным преобладанием парасимпатической активности, что является оптимальным типом регуляции и свидетельствует о достаточных компенсаторных возможностях организма.

Основные характеристики пациентов, соответствующие установленным типам вегетативной регуляции в состоянии покоя, представлены в табл. 3.

Как видно из данных, представленных в табл. 3, при сравнительном анализе основных характеристик пациентов с установленными типами вегетативной регуляции статистически значимых различий в показателях не выявлено, что свидетельствует об однородности исследуемого материала.

Таблица 2
Распределение пациентов по типам вегетативной регуляции в состоянии покоя, Me [Q1; Q3]

Тип вегетативной регуляции	Пациенты, n (%)	VLF, мс ²	SI, усл. ед.	TP, мс ²
I	15 (22)	624,0 [508,0; 911,5]	179,9 [167,4; 242,6]	1580,0 [1154,0; 3824,0]
II	2 (3)	134,5 [126,2; 142,8]	501,5 [483,9; 519,1]	397,0 [300,5; 493,5]
III	39 (56)	1106,0 [777,0; 1444,0]	59,0 [48,0; 78,1]	3689,0 [2878,5; 4538,0]
IV	13 (19)	2900,0 [2578,0; 18402,0]	13,4 [7,6; 14,6]	15922,0 [9085,0; 110850,0]
U-критерий Манна – Уитни,	—	I/III: 0,006	I/III: <0,001	I/III: 0,005
<i>p</i> -уровень различий между типами вегетативной регуляции		I/IV: <0,001	I/IV: <0,001	I/IV: <0,001
		III/IV: <0,001	III/IV: <0,001	III/IV: <0,001

Me — медиана; [Q1; Q3] — интерквартильный интервал; VLF — очень низкочастотные колебания; SI — стресс-индекс; TP — общая мощность спектра.

Таблица 3

Основные характеристики пациентов, соответствующие установленным типам вегетативной регуляции в состоянии покоя, Ме [Q1; Q3]

Тип вегетативной регуляции	Пациенты, n (%)	Возраст, лет	Рост, см	Масса тела, кг	Основная дуга деформации позвоночника по Cobb, град.
I	15 (22)	15,0 [13,5; 16,0]	163,0 [160,0; 166,0]	53,0 [45,5; 59,0]	56,0 [52,0; 65,5]
II	2 (3)	13,5 [13,2; 13,8]	163,5 [162,8; 164,2]	48,5 [47,2; 49,8]	89,5 [68,2; 110,8]
III	39 (56)	15,0 [14,0; 16,0]	160,0 [155,5; 167,0]	48,0 [45,0; 57,5]	67,0 [51,0; 78,5]
IV	13 (19)	15,0 [13,0; 16,0]	165,0 [151,0; 168,0]	53,0 [43,0; 61,0]	62,0 [53,0; 75,0]
U-критерий Манна — Уитни, p-уровень различий между типами вегетативной регуляции	—	I/III: 0,836 I/IV: 0,925 III/IV: 0,923	I/III: 0,492 I/IV: 0,908 III/IV: 0,719	I/III: 0,511 I/IV: 0,747 III/IV: 0,983	I/III: 0,284 I/IV: 0,580 III/IV: 0,540

Ме — медиана; [Q1; Q3] — интерквартильный интервал.

Данные ВСП при проведении ортостатической пробы отражены в табл. 4.

Как видно из данных, в ответ на нагрузку изменилось процентное соотношение установленных типов вегетативной регуляции сердечного ритма. Регуляция сердечного ритма после нагрузочной пробы у большинства пациентов обеспечивалась активностью симпатического отдела ВНС с подключением центрального контура регуляции.

Обсуждение

Эффективность использования метода анализа ВСП для оценки механизмов

вегетативной регуляции сердечного ритма с целью выявления снижения адаптационных возможностей организма в норме и при патологических состояниях определялась в различных исследованиях [16, 22, 23]. Известно, что на фоновые показатели вегетативной регуляции оказывают влияние стрессовые факторы, приводящие к активации симпатического отдела ВНС. Ранее выполненные исследования показали, что повышенный симпатический тонус вегетативной регуляции сердечного ритма значительно снижает индивидуальную устойчивость к стрессовым ситуациям, тогда как умеренное преобладание парасим-

патических влияний рассматривается в качестве фактора повышения индивидуальной устойчивости [17, 24, 25].

Оценка баланса между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС перед предстоящей операцией — важная задача для анестезиолога [2, 3, 21]. Эта информация является необходимой для выбора оптимального метода анестезиологического обеспечения, поскольку интраоперационные показатели системной гемодинамики зависят не только от типа вегетативной регуляции сердечного ритма, но и от препаратов, используемых для анестезии [26–28]. Кроме того, прогнозирование адекватности

Таблица 4

Распределение пациентов по типам вегетативной регуляции при проведении ортостатической пробы, Ме [Q1; Q2]

Тип вегетативной регуляции	Пациенты, n (%)	VLF, мс ²	SI, усл. ед.	TP, мс ²
I	44 (64)	718,5 [504,0; 983,0]	174,9 [137,6; 323,9]	1709,5 [1179,2; 2271,0]
II	7 (10)	182,0 [122,5; 192,5]	708,6 [380,0; 1051,2]	436,0 [298,0; 722,0]
III	14 (20)	3423,0 [1516,8; 13009,2]	46,3 [36,2; 62,2]	14028,5 [5059,0; 52475,5]
IV	4 (6)	9203,0 [4478,2; 22260,0]	5,4 [4,8; 7,4]	38221,5 [20843,5; 88202,8]
U-критерий Манна — Уитни, p-уровень различий между типами вегетативной регуляции	—	I/II: <0,001 I/III: <0,001 I/IV: <0,001 II/III: <0,001 II/IV: 0,006 III/IV: 0,645	I/II: <0,001 I/III: <0,001 I/IV: <0,001 II/III: <0,001 II/IV: 0,006 III/IV: <0,001	I/II: <0,001 I/III: <0,001 I/IV: <0,001 II/III: <0,001 II/IV: 0,006 III/IV: 0,442

Ме — медиана; [Q1; Q3] — интерквартильный интервал; VLF — очень низкочастотные колебания; SI — стресс-индекс;

TP — общая мощность спектра.

симптоадреналового ответа позволяет минимизировать возможные интраоперационные и послеоперационные гемодинамические осложнения, а также создавать условия для ускоренного восстановления [7].

Для оценки фонового предоперационного вегетативного статуса по данным ВСР мы использовали критерии экспресс-диагностики типа вегетативной регуляции, предложенные Н.И. Шлык и Е.А. Гавриловой [17]. В нашем исследовании большинство пациентов в покое имели умеренное преобладание парасимпатического компонента, что является оптимальным состоянием для системы адаптации. На преобладание с возраста 13 лет у пациентов со сколиозом парасимпатического компонента ВНС в регуляции сердечного ритма указывают и другие авторы [20].

Однако для анестезиолога важно иметь представления о механизмах адаптации гемодинамики при воздействии факторов, влияющих на сердечный выброс. В условиях хирургического вмешательства при сколиозе таковыми являются положение пациента на животе, кровопотеря и влияние средств для анестезии. С целью воспроизведения такого состояния может применяться легко выполняемая активная ортостатическая проба, которая, воздействуя на венозный возврат крови к сердцу, позволяет изучать компенсаторные гемодинамические и вегетативные сдвиги [16, 17, 27]. По показателям ВСР при ортостатическом воздействии можно судить о степени вклада различных звеньев ВНС в процессы регуляторных механизмов

[29, 30]. Так, проведение ортостатической пробы в выполненном нами исследовании продемонстрировало у 74 % пациентов ответную реакцию в виде разной степени усиления активности симпатического отдела ВНС с подключением центрального контура регуляции (I и II типы регуляции), что является физиологически невыгодным, свидетельствует об увеличении напряжения регуляторных систем и рассогласованности автономного и центрального контуров регуляции. Указанное обстоятельство требует устранения или снижения воздействия возможных факторов риска. Применительно к изучаемой категории пациентов это означает своевременное выявление симпатовагусного дисбаланса и осуществление индивидуального подбора методики анестезии с учетом ваголитического либо симпатомиметического механизма действия используемых для анестезиологического обеспечения препаратов. На важность определения типа вегетативной регуляции у конкретного индивида в условиях нагрузочных тестов с целью получения достоверной информации о состоянии процессов регуляции организма указывают и другие авторы [29, 31, 32].

Результаты представленного исследования не противоречат выводам, сделанным нами ранее, о том, что у подростков с ИС регистрируется предоперационное напряжение регуляторных систем, являющееся фактором риска интраоперационной гемодинамической нестабильности [21]. Однако методология проведенного нами ранее исследования не подразумевала диф-

ференцировку степени преобладания симпатического и парасимпатического компонентов ВНС и определения типов регуляции, а представленные результаты явились результатом анализа единого массива данных.

Основным ограничением выполненного исследования считаем отсутствие анализа всего спектра показателей ВСР. Однако такой подход был выбран осмысленно, тем самым мы избежали обилия цифрового материала, а избранные для анализа показатели ВСР позволили получить информацию, полностью отвечающую цели исследования.

Заключение

Метод экспресс-определения типов вегетативной регуляции сердечного ритма может применяться для предоперационной оценки состояния ВНС. Индивидуально-типологические особенности ВНС у подростков с ИС демонстрируют разные адаптивные реакции вегетативной регуляции в состоянии покоя и при нагрузке. Принадлежность пациента к типу вегетативной регуляции следует определять по результатам активной ортостатической пробы.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Литература/References

1. Addai D, Zarkos J, Bowey AJ. Current concepts in the diagnosis and management of adolescent idiopathic scoliosis. *Childs Nerv Syst.* 2020;36:1111–1119. DOI: 10.1007/s00381-020-04608-4
2. Yang YJ, Huang X, Gao XN, Xia B, Gao JB, Wang Ch, Zhu XL, Shi XJ, Tao HR, Luo ZJ, Huang JH. An optimized enhanced recovery after surgery (ERAS) pathway improved patient care in adolescent idiopathic scoliosis surgery: a retrospective cohort study. *World Neurosurg.* 2021;145:e224–e232. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.10.009
3. Andrzejewski A, Miegion J, Zacha S, Skonieczna-Zydecka K, Jarosz K, Zacha W, Biernawska J. The impact of intraoperative haemodynamic monitoring, prediction of hypotension and goal-directed therapy on the outcomes of patients treated with posterior fusion due to adolescent idiopathic scoliosis. *J Clin Med.* 2023;12:4571. DOI: 10.3390/jcm12144571
4. Котова Т.В., Гришан М.А. Физиологические характеристики организма в условиях сколиоза. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс».* 2019;21(11):76–81. [Kotova TV, Grishan MA. Physiological characteristics of the body in conditions of scoliosis. *Medical & Pharmaceutical Journal Pulse.* 2019;21(11):76–81]. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2019-21-11-76-81 EDN: FCECOE

5. Туманян С.В., Моисеенко Т.И., Орос О.В., Чекмезова С.А., Шепеленко А.В. Влияние мультимодальной анестезии и анальгезии на механизмы адаптации кровообращения онкогинекологических больных в послеоперационном периоде. *Медицинский вестник юга России*. 2018;9(1):80–85. [Tumanyan SV, Moiseenko TI, Oros OV, Chekmезova SA, Shepelenko AV. Influence of multimodal anesthesia and analgesia on mechanisms of blood circulation adaptation of oncogynecologic patients in the postoperative period. *Medical Herald of the South of Russia*. 2018;9(1):80–85]. DOI: 10.21886/2219-8075-2018-9-1-80-85 EDN: YSTFOG
6. Микаелян К.П., Зайцев А.Ю., Светлов В.А., Гурьянов В.А., Дубровин К.В. Автономная нервная система и система кровообращения – гомеостаз и гомеокинез при хирургических вмешательствах на позвоночнике. *Анестезиология и реаниматология*. 2012;(3):41–44. [Mikaelian KP, Zaitsev AY, Svetlov VA, Gur'yanov VA, Dubrovин KV. The autonomous nervous system and circulatory system – homeostasis and homeokinesis during spine surgery. *Anesteziologiya i reanimatologiya*. 2012;(3):41–44]. EDN: PEOMBD
7. Хмельницкий И.В., Горбачев В.И., Горбачева С.М. Оценка variability ритма сердца в анестезиологической практике. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2016;13(1):53–58. [Khmel'nitskiy IV, Gorbachev VI, Gorbacheva SM. Evaluation of the heart rhythm variability in anesthesiological practice. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*. 2016;13(1):53–58]. DOI: 10.21292/2078-5658-2016-13-1-53-58 EDN: VRWBHB
8. Welte M, Saugel B, Reuter DA. [Perioperative blood pressure management: What is the optimal pressure?] *Anaesthesist*. 2020;69:611–622. In German. DOI: 10.1007/s00101-020-00767-w
9. Gornitzky AL, Flynn JM, Muhly WT, Sankar WN. A rapid recovery pathway for adolescent idiopathic scoliosis that improves pain control and reduces time to inpatient recovery after posterior spinal fusion. *Spine Deform*. 2016;4:288–295. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.01.001
10. Muhly WT, Sankar WN, Ryan K, Norton A, Maxwell LG, DiMaggio T, Farrell S, Hughes R, Gornitzky A, Keren R, McCloskey JJ, Flynn JM. Rapid recovery pathway after spinal fusion for idiopathic scoliosis. *Pediatrics*. 2016;137:e20151568. DOI: 10.1542/peds.2015-1568
11. Vommario F, Ciani G, Cini C, Maccaferri B, Carretta E, Boriani L, Martikos K, Scarale A, Parciante A, Leggi I, Griffoni C, Gasbarrini A. Minimally invasive surgery versus standard posterior approach in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a 2-year follow-up retrospective study. *Eur Spine J*. 2024;33:2495–2503. DOI: 10.1007/s00586-024-08225-6
12. Jarczok MN, Kleber ME, Koenig J, Loerbroks A, Herr RM, Hoffmann K, Fischer JE, Benyamini Y, Thayer JF. Investigating the associations of self-rated health: heart rate variability is more strongly associated than inflammatory and other frequently used biomarkers in a cross sectional occupational sample. *PLoS One*. 2015;10:e0117196. DOI: 10.1371/journal.pone.0117196
13. Young HA, Benton D. Heart-rate variability: a biomarker to study the influence of nutrition on physiological and psychological health? *Behav Pharmacol*. 2018;29:140–151. DOI: 10.1097/FBP.0000000000000383
14. Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Curr Cardiol Rev*. 2021;17:e160721189770. DOI: 10.2174/1573403X16999201231203854
15. Бавевский Р.М., Иванов Г.Г. Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2001;(3):108–127. [Bayevsky RN, Ivanov GG. Cardiac rhythm variability: the theoretical aspects and the opportunities of clinical application (lecture). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2001;(3):108–127]. EDN: VWTHLT
16. Михайлов В.М. Variability ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново, 2002. [Mikhailov VM. *Heart Rate Variability. The Experience of Practical Application of the Method*. Ivanovo, 2000]. EDN: UBBQTR
17. Шлык Н.И., Гаврилова Е.А. Variability ритма сердца в экспресс-оценке функционального состояния спортсмена. *Прикладная спортивная наука*. 2015;(2):115–125. [Shlyk NI, Gavrilova EA. Heart rate variability in express-evaluation of the functional state of athlete. *Applied Sports Science (Prikladnaya sportivnaya nauka)*. 2015;(2):115–125]. EDN: VSELKZ
18. Шлык Н.И. Управление тренировочным процессом спортсменов с учетом индивидуальных характеристик variability сердечного ритма. *Физиология человека*. 2016;42(6):81–91. [Shlyk NI. Management of athletic training with consideration of individual heart rate variability characteristics. *Human Physiology (Fiziologiya cheloveka)*. 2016;42(6):81–91]. DOI: 10.7868/S0131164616060187 EDN: XGWDHD
19. Салаева О.В., Перепелкин А.И., Жидких А.Н. Циркадный индекс и variability сердечного ритма как параметры оценки вегетативной нервной системы при идиопатическом сколиозе у девочек. *Символ науки: международный научный журнал*. 2015(12-2):221–223. [Salaeva OV, Perepelkin AI, Zhidkikh AN. Circadian index and heart rate variability as assessment parameters of the autonomic nervous system in idiopathic scoliosis in girls. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2015;(12-2):221–223]. EDN: VDWMBP
20. Крылов В.Н., Мамонова С.Б., Сабурцев С.А., Сабурцев А.И. Физиологические изменения при адаптации у школьников со сколиозом. *Новые исследования*. 2017;3(52):41–50. [Krylov VN, Mamonova SB, Saburtsev SA, Saburtsev AI. Physiological changes in schoolchildren with scoliosis. *New Study (Novye Issledovaniya)*. 2017;(3):41–50]. EDN: UPDNMY
21. Иванова А.А., Хорев И.А., Лебедева М.Н. Предоперационное состояние вегетативной регуляции у пациентов с идиопатическим подростковым сколиозом. *Хирургия позвоночника*. 2022;19(3):14–21. [Ivanova AA, Khorev IA, Lebedeva MN. Preoperative state of autonomic regulation in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2022;19(3):14–21]. DOI: 10.14531/ss2022.3.14-21 EDN: OKJWAC
22. Щуров А.Г., Куликов А.В., Грибченко С.П., Цветков С.В. Применение экспресс-оценки типов вегетативной регуляции сердечного ритма для контроля функционального состояния военнослужащих. *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2024;(4):232–235. [Shchurov AG, Kulikov AV, Gribchenko SP, Tsvetkov SV. The use of rapid analysis of heart rate variability for monitoring functional status of military personnel. *Actual Problems of Physical and Special Training of Law Enforcement Agencies*. 2024;(4):232–235]. EDN: EDQLVJ
23. Perrone MA, Volterrani M, Manzi V, Barchiesi F, Iellamo F. Heart rate variability modifications in response to different types of exercise training in athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2021;61:1411–1415. DOI: 10.23736/S0022-4707.21.12480-6
24. Boyle SL, Moodley A, Al Azazi E, Dinsmore M, Massicotte EM, Venkatraghavan L. Preoperative heart rate variability predicts postinduction hypotension in patients with cervical myelopathy: a prospective observational study. *Neurol India*. 2022;70(Suppl):S269–S275. DOI: 10.4103/0028-3886.360911
25. Спитин А.П., Першина Т.А. Особенности гемодинамики у студентов с разным уровнем эмоционального баланса в зависимости от типа ВНС. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2017;(4):146–152. [Spitsin AP, Pershina TA. Peculiarities of hemodynamics in students with different levels of emotional balance depending on the type of their nervous system. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*. 2017;(4):146–152]. DOI: 10.23648/UMBJ.2017.28.8753 EDN: YLCIOU
26. Радышевская Т.Н., Старикова И.В., Питерская Н.В. Анализ показателей вегетативной регуляции и системной гемодинамики у студентов на различных этапах адаптации к учебному процессу. *Вестник Волгоградского*

- государственного медицинского университета. 2020;(1):102–105. [Radyshevs-kaja TN, Starikova IV, Piterskaja NV. Analysis of indices of autonomic nervous regulation and system hemodynamics in students at various stages of adaptation to the educational process. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2020;(1):102–105]. DOI: 10.19163/1994-9480-2020-1(73)-102-105 EDN: JRUMFA
27. **Беляева В.А.** Вариабельность сердечного ритма у молодых лиц при проведении ортостатической пробы. *Вестник новых медицинских технологий*. 2024;18(5):91–97. [Belyaeva VA. Heart rate variability in young adults during orthostatic test. *Journal of New Medical Technologies, Edition*. 2024;18(5):91–97]. DOI: 10.24412/2075-4094-2024-5-3-2 EDN: YJVBES
28. **Александрович Ю.С., Рыбьянов В.В., Пшениснов К.В., Александрович И.В.** Вариабельность ритма сердца у детей во время оториноларингологических операций в условиях общей анестезии. *Анестезиология и реаниматология*. 2021;(1):17–24. [Aleksandrovich YuS, Rybyanov VV, Pshenisnov KV, Aleksandrovich IV. Heart rhythm variability in children undergoing otorhinolaryngological surgery under general anesthesia. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2021;(1):17–24]. DOI: 10.17116/anaesthesiology202101117 EDN: MSAQAC
29. **Максимов А.Л., Аверьянова И.В.** Особенности гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей-европеоидов при проведении активной ортостатической пробы. Сообщение 1. *Экология человека*. 2021;28(1):22–31. [Maksimov AL, Averyanova IV. Hemodynamics and heart rate variability under orthostatic challenge test in young caucasian men: part 1. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(1):22–31]. DOI: 10.33396/1728-0869-2021-1-22-31 EDN: WPTYOM
30. **Бурт А.А., Сандалов И.Ю.** Вегетативная регуляция у несовершеннолетних осужденных в воспитательных колониях ФСИН России по данным вариабельности ритма сердца. *Профилактическая медицина*. 2021;24(7):37–42. [Burt AA, Sandalov IYu. Vegetative regulation according to heart rate variability data in juvenile convicts in educational colonies of Federal Penitentiary Service of Russia. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2021;24(7):37–42]. DOI: 10.17116/profmed20212407137 EDN: SANKFI
31. **Park Y, Lee JW, Yoon SH, Hwang WM, Yun SR, Son JY, Chung BH, Min J.** Usefulness of the heart rate variability test in predicting intradialytic hypotension in patients undergoing chronic haemodialysis. *Clin Kidney J*. 2024;17:sfae102. DOI: 10.1093/ckj/sfae102
32. **Ботова Л.Н., Кириллова Т.Г.** Индивидуально-типологические особенности вегетативной регуляции сердечного ритма и центральной гемодинамики в тренировочном процессе юных гимнасток. *Теория и практика физической культуры*. 2013;(7):76–79. [Botova LN, Kirillova TG. Individually-typological characteristics of vegetative regulation of heart rate and central hemodynamics in training process of young female gymnasts. *Teoriya i Praxtika Fizicheskoy Kultury*. 2013;(7):76–79]. EDN: QCBNUH

Адрес для переписки:

Иванова Анастасия Александровна
630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна,
aivanova.nsk@yandex.ru

Address correspondence to:

Ivanova Anastasia Aleksandrovna
Novosibirsk Research Institute of Traumatology
and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyvan
17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,
aivanova.nsk@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11.09.2025

Рецензирование пройдено 16.10.2025

Подписано в печать 25.11.2025

Received 11.09.2025

Review completed 16.10.2025

Passed for printing 25.11.2025

Анастасия Александровна Иванова, канд. мед. наук, ученый секретарь, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации с палатами интенсивной терапии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 4062-3718, ORCID: 0000-0002-7815-8487, aivanova.nsk@yandex.ru;

Майя Николаевна Лебедева, д-р мед. наук, доцент, начальник научно-исследовательского отдела анестезиологии и реаниматологии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 5169-5532, ORCID: 0000-0002-9911-8919, MLebedeva@niito.ru.

Anastasia Aleksandrovna Ivanova, MD, PhD, academic secretary, anesthesiologist-resuscitator of the Anesthesiology and Resuscitation Department with Intensive Care Wards, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsiyvan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 4062-3718, ORCID: 0000-0002-7815-8487, aivanova.nsk@yandex.ru;

Mayya Nikolaevna Lebedeva, DMSc, Associate Professor, Head of the Research Department of Anesthesiology and Reanimatology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsiyvan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 5169-5532, ORCID: 0000-0002-9911-8919, MLebedeva@niito.ru.