

ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ВЕГЕТАТИВНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПОДРОСТКОВОМ ВОЗРАСТЕ

О.В. Сорокин, В.Ю. Куликов, В.Ю. Дружинин,
М.Г. Пустоветова, В.В. Абрамов

*ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет»
Минздравсоцразвития (г. Новосибирск)*

Предложена двухфакторная модель вегетативной регуляции, которую можно использовать в практических целях. При этом фактор симпатической активности отражает активность эрготропных структур, а фактор парасимпатической активности — активность трофотропных структур.

Ключевые слова: вегетативная нервная система, школьники, вегетативное пространство.

Куликов Вячеслав Юрьевич — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой нормальной физиологии ГОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития», e-mail: Kulikov_42@mail.ru

Сорокин Олег Викторович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет Росздрава», рабочий телефон: (383) 225-07-37

Дружинин Владимир Юрьевич — ассистент кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет Росздрава», рабочий телефон: (383) 225-07-37

Пустоветова Мария Геннадьевна — доктор медицинских наук, профессор кафедры патологической физиологии, заведующая Центральной научно-исследовательской лабораторией ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет», e-mail: patophysiology@mail.ru

Абрамов Владимир Васильевич — бывший заведующий лабораторией нейроиммунологии ГУ «НИИ клинической иммунологии СО РАМН»

Введение. Важная роль вегетативной нервной системы (ВНС) в поддержании гомеостаза [2] и приспособлении к изменяющимся условиям окружающей среды стимулировала исследования на поиск методик, позволяющих адекватно оценивать не только активность, но и баланс между различными отделами ВНС. Был создан

математический аппарат многоуровневой системы вегетативной регуляции, позволивший выявить и прогнозировать закономерности адаптивных процессов в организме [2]. Этот подход основан на положениях биологической кибернетики [5] и теории функциональных систем [1]. При этом изменения показателей variability сердечного ритма можно считать обусловленными формированием различных функциональных систем, соответствующих требуемому на данный момент результату.

Существующий в организме баланс активности парасимпатического и симпатического отделов ВНС сложно описать известными вегетативными индексами, поскольку используемые подходы не позволяют оценить одновременно активность симпатического и парасимпатического отделов, что и определило цели и задачи настоящего исследования.

Методика. Было обследовано 90 школьников (46 мальчиков и 44 девочки в возрасте 10–14 лет). Основным критерием отбора являлось отсутствие соматических и психических заболеваний.

Активность отделов ВНС оценивали по изменению variability ритма сердца методом кардиоинтервалографии [3]. Исходное состояние (фоновая активность) регистрировалось при спокойном бодрствовании, лёжа на кушетке в течение пяти минут после предварительной 10-минутной адаптации к исследованию. Для регистрации и анализа использовали аппаратно-программный комплекс «Карди» (фирма «Медицинские компьютерные системы», Зеленоград) с программным приложением «Hi-test» для регистрации и анализа variability ритма сердца. Данный аппаратно-программный комплекс рекомендован группой экспертов, созданной в соответствии с решением Комиссии по диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике Минздрава России (протокол № 4 от 11 апреля 2000 г.). Он соответствует стандартам и инструкциям для серийно выпускаемых в нашей стране электрокардиографических систем для анализа так называемых коротких записей сердечного ритма [4]. Спектрально-частотный анализ проводился в диапазонах: VLF (0,0033–0,04 Гц), LF (0,04–0,15 Гц); HF (0,15–0,4 Гц), рекомендованных Европейским обществом кардиологии и Североамериканским электрофизиологическим обществом [5]. Математический анализ проводился с использованием статистического пакета «SPSS 10.0» с использованием модулей ANOVA, факторного анализа, t-критерия для независимых выборок.

Результаты. При анализе главных компонент, полученных с использованием ортогонального вращения с нормализацией и центрированием Кайзера, в рамках двухмерной модели были выделены два фактора (табл. 1), суммарно объясняющие 81,6 % разнообразия дисперсии первичных вегетативных параметров. При этом в качестве исходных переменных были взяты 13 вегетативных параметров, исчерпывающе описанных в руководствах по кардиоинтервалографии. Для дифференцированного анализа активности симпатического (СНС) и парасимпатического (ПНС) отделов ВНС были выделены оппозитные группы на основании значения суммарной симпатической (ФСА) и парасимпатической (ФПА) активности.

Множественные корреляционные связи вегетативных параметров с выделенными компонентами при факторном анализе

Первичные вегетативные параметры	Компоненты многофакторного анализа	
	ФСА	ФПА
ПАПР	0,921	-0,330
ИН	0,901	-0,399
Амо	0,872	-0,360
ИБР	0,870	-0,419
ТР	-0,829	0,436
Ах	-0,818	0,453
RR	-0,799	0,219
Мо	-0,744	0,112
LFper	0,502	—
IC	-0,160	0,979
VLfper	0,160	-0,979
HFper	-0,443	0,786
% вариации	51,9	29,7

Примечание: * — метод экстракции: анализ главных компонент. Метод ротации: ортогональное вращение с нормализацией и центрированием Кайзера; ФСА — фактор симпатической активности (у. е.); ФПА — фактор парасимпатической активности (у. е.).

Установлено, что в рядах, соответствующих ФСА и ФПА, существуют множественные корреляционные взаимоотношения первичных вегетативных параметров с выделенными компонентами факторного анализа. Так, например, RR интервал, являясь интегральным отражением влияния регуляторных систем на синусовый узел, в большей степени зависит от активности ФСА (отражая фазические влияния симпатических структур) и лишь незначительно увеличивается при усилении парасимпатических влияний (ФПА). Аналогично оцениваются и другие первичные параметры. Показано, что ФСА отражает степень вовлечения симпатической нервной системы в вегетативный баланс по следующему неравенству:

$$f_{ca} < 0; \text{ФСА} > 0, \quad (1)$$

где f_{ca} — низкая симпатическая активность; ФСА — высокая симпатическая активность.

Другими словами, если индивидуальная факторная нагрузка ФСА у конкретного ребёнка больше нуля, то можно считать, что имеется относительно высокая симпатическая активность и наоборот. В подтверждение этому приведены средние значения первичных параметров при делении выборки относительно указанного неравенства (табл. 2).

Значения вегетативных параметров у подростков в группах с высокой и низкой симпатической активностью (ФСА)

Параметр	Группа	n	M ± ДИ; Me (LQ-UQ)	Т-критерий; U-критерий	p	тест Левена	
						F	p
RR	1	45	783 ± 22*	7,82	5,2E-12	0,044	0,835
	2	46	663 ± 21				
Амо	1	45	14,7 (11,6–17,5)*	102,5	1,3E-13	–	–
	2	46	26,8 (23,8–32,9)				
ИБР	1	45	53,8 (31,5–77,7)*	125	5,1E-13	–	–
	2	46	186 (123–263)				
ПАПР	1	45	20,0 (15,5–23,9)*	68,5	1,7E-14	–	–
	2	46	41,8 (33,6–50,0)				
ИН	1	45	34 (22–54)*	98	1,0E-13	–	–
	2	46	133 (100–200)				
TP	1	45	4758 (3162–7409)*	175	8,7E-12	–	–
	2	46	1305 (874–2092)				
LFper	1	45	24,5 ± 2,5*	–4,46	2,4E-05	1,48	0,227
	2	46	33,0 ± 2,9				
LFnu	1	45	35,6 ± 4,0*	–5,40	5,5E-07	1,80	0,183
	2	46	52,9 ± 5,1				
HF	1	45	2173 (1302–4405)*	256	6,3E-10	–	–
	2	46	466 (170–705)				
HFper	1	45	47,4 ± 5,1*	4,25	5,2E-05	0,034	0,853
	2	46	32,4 ± 4,0				
HFnu	1	45	64,4 ± 4,0	5,64	2E-07	1,21	0,275
	2	46	46,6 ± 4,0				

Примечания: * — статистически значимые различия между группами по t-критерию для независимых выборок с оценкой равенства вариаций (тест Левена) и U-критерию Манна-Уитни; 1 — группа с относительно низкой симпатической активностью (фса); 2 — группа с относительно высокой симпатической активностью (ФСА).

Следует отметить, что первичные вегетативные индексы с высокой степенью достоверности различаются по большинству параметров, что позволило впервые по значению одного фактора объективно выделить группу с высокой (ИН = 133) и низкой (ИН = 34) симпатической активностью. ФПА отражает степень вовлечения парасимпатической нервной системы в вегетативный баланс по следующему неравенству:

$$\text{фпа} < 0; \text{ФПА} > 0, \quad (2)$$

где фпа — низкая; ФПА — высокая парасимпатическая активность.

Таким образом, положительные значения ФПА у детей соответствуют относительно высокой парасимпатической активности. Средние значения исходных вегетативных параметров с высокой достоверностью различаются в оппозиционных по парасимпатическому тону групп (табл. 3).

Значения вегетативных параметров у подростков в группах с высокой и низкой парасимпатической активностью (ФПА)

Параметр	Группа	n	M ± ДИ; Me (LQ–UQ)	Т-критерий; U-критерий	p	Тест Левена	
						F	p
RR	3 4	42 49	688 ± 28* 752 ± 25	–3,38	0,001	5,8E-06	0,998
Амо	3 4	42 49	24,6 (19,6–31,6)* 17,1 (12,8–24,3)	516	3,3E-05	–	–
ИБР	3 4	42 49	149 (97–246)* 65 (36–137)	524	5,7E-05	–	–
ПАПР	3 4	42 49	38,3 (27,2–48,8)* 22,4 (16,4–32,1)	534	8,1E-05	–	–
ИН	3 4	42 49	110 (68–189)* 45 (22–103)	526	6,1E-05	–	–
TP	3 4	42 49	1711 (929–2462)* 3467 (1584–7213)	541	1,0E-04	–	–
VLFper	3 4	42 49	46,9 (37,4–54,0)* 18,4 (14,6–22,0)	0,001	2,5E-16	–	–
LFnu	3 4	42 49	53,1 ± 5,2* 36,8 ± 4,2	4,96	3,3E-06	0,462	0,498
HF	3 4	42 49	476 (162–723)* 1957 (766–4003)	343	4,7E-08	–	–
HFper	3 4	42 49	25,4 ± 3,5* 52,1 ± 4,0	–9,98	2,0E-18	2,39	0,125
HFnu	3 4	42 49	46,3 ± 5,1* 63,2 ± 4,2	–5,21	1,2E-06	0,150	0,700

Примечания: * — статистически значимые различия между группами по Т-критерию для независимых выборок с оценкой равенства вариаций (тест Левена) и U-критерию Манна-Уитни; 3 — группа с низкой парасимпатической активностью (фпа); 4 — группа с высокой парасимпатической активностью (ФПА).

В итоге, каждый из 90 здоровых детей, включённых в анализ, получил индивидуальную факторную нагрузку по каждой выделенной компоненте анализа. При этом положительные абсолютные значения фактора соотносятся с его более высокой активностью, а отрицательные, соответственно, с низкой, что имеет проявление в виде различий в вегетативном балансе у этих детей. Таким образом, в двухмерном пространстве, образованном осью симпатической активности (ФСА) и осью парасимпатической активности (ФПА), выделяются четыре группы (рис. 1):

- группа 1 (фса/ФПА) — высокая активность парасимпатического отдела и низкая симпатического отдела ВНС, фоновая ваготония;
- группа 2 (фса/фпа) — умеренная активность симпатического и парасимпатического отдела ВНС, отражает сбалансированный тип регуляции, эутонаия покоя;
- группа 3 (ФСА/ФПА) — высокая активность симпатического и парасимпатического отделов ВНС, отражает напряжение регуляции;
- группа 4 (ФСА/фпа) — высокая активность симпатического отдела при сопутствующей низкой активности парасимпатического отдела ВНС, выраженная фоновая симпатикотония.

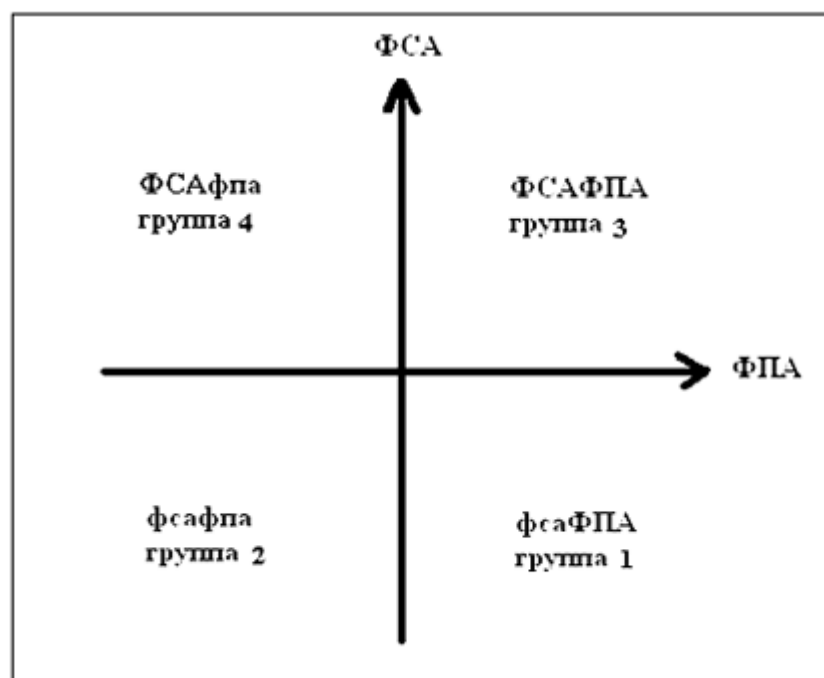


Рис. 1. Двухмерное вегетативное пространство, образованное взаимодействием симпатической (ФСА) и парасимпатической (ФПА) осей

Обоснованность подобного выделения продемонстрирована на рис. 2, 3.

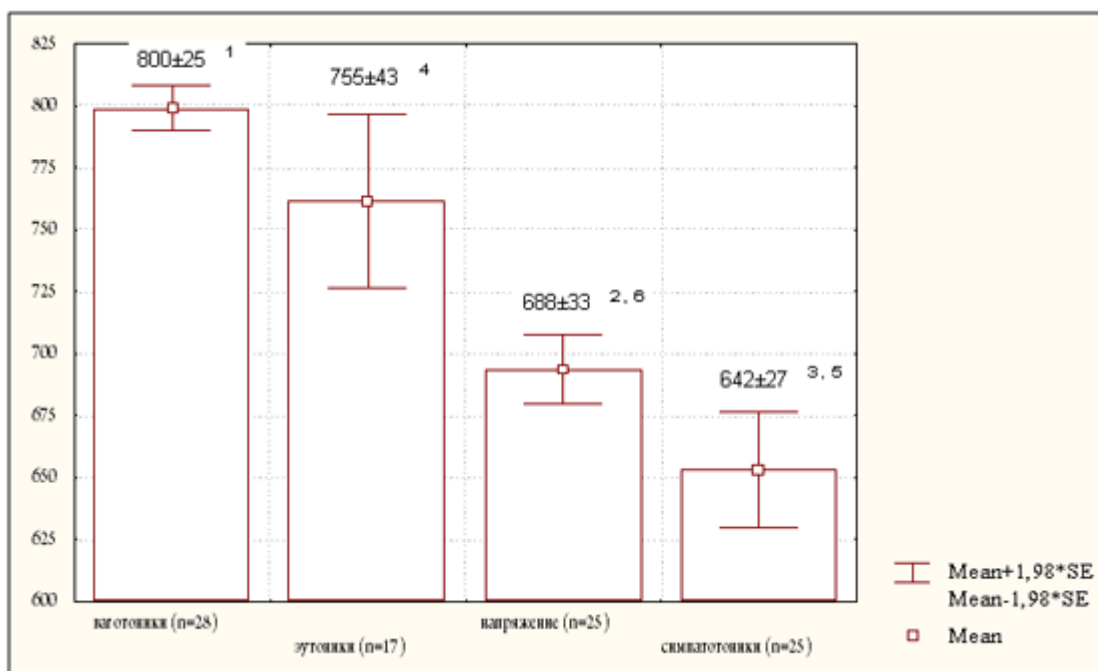


Рис. 2. Длительность сердечного цикла (RR, мс) в типологических вегетативных группах у детей; * — статистически значимые при множественных сравнениях получены с использованием критерия наименьшей значимой разности — LSD (ANOVA), $p < 0,05$;
 1 — значимые различия между 1 и 2 группами; 2 — значимые различия между 1 и 3 группами; 3 — значимые различия между 1 и 4 группами; 4 — значимые различия между 2 и 3 группами; 5 — значимые различия между 2 и 4 группами; 6 — значимые различия между 3 и 4 группами

Интегральный параметр вегетативной регуляции длительности сердечного цикла (RR-интервал), который лежит в основе расчёта всех остальных вегетативных параметров, достоверно различается во всех исследуемых группах, отражая индивидуальный характер биологической реактивности в этих группах. Действительно, в условиях прессинга катехоламинов (группа 4) длительность сердечного цикла — наименьшая, при ваготонии — наибольшая. Для группы напряжения адаптации (группа 3) при одновременном прессинге катехоламинов и ацетилхолина спектр биологических реакций будет иной, чем при эутонии, несмотря на кажущуюся сбалансированность активности отделов ВНС.

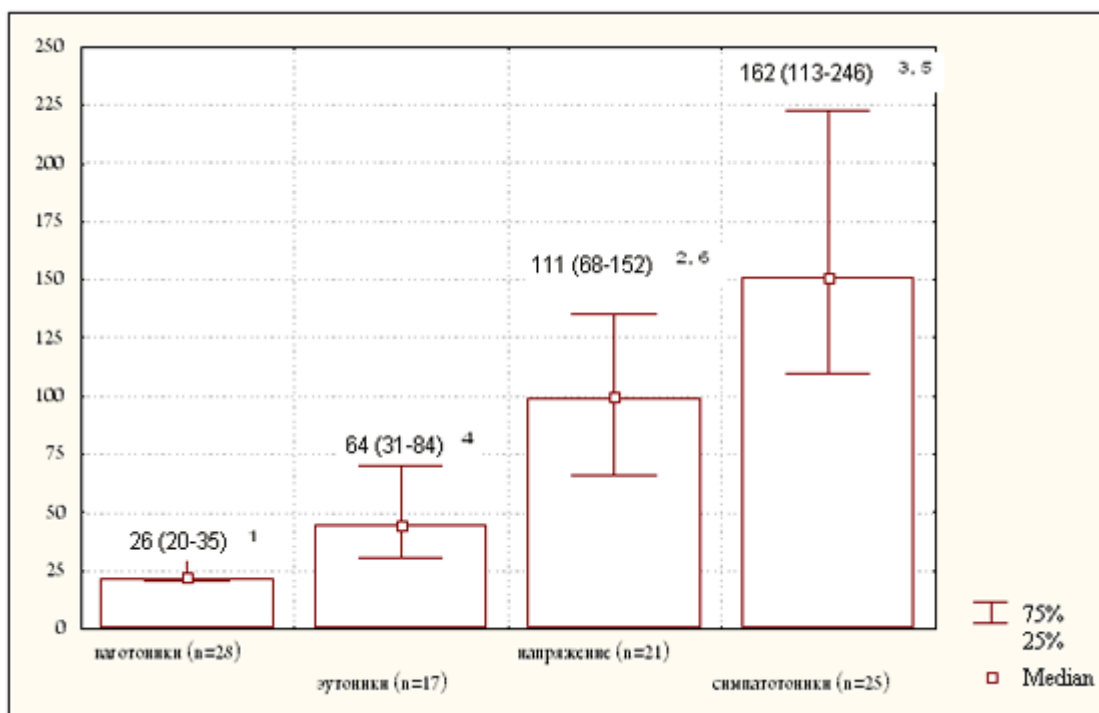


Рис. 3. Значения индекса напряжения (ИН, у. е.) в типологических вегетативных группах у детей * — статистически значимые различия при множественных сравнениях получены с использованием U-критерия Манна-Уитни, различия между внутригрупповой и межгрупповой вариацией оценивались ранговым анализом вариаций по Краскелу-Уоллису, (критерий χ^2), $p < 0,001$; 1 — значимые различия между 1 и 2 группами; 2 — значимые различия между 1 и 3 группами; 3 — значимые различия между 1 и 4 группами; 4 — значимые различия между 2 и 3 группами; 5 — значимые различия между 2 и 4 группами; 6 — значимые различия между 3 и 4 группами.

Кроме того, данные группы достоверно различаются между собой по интегральному индексу Баевского (наиболее часто встречаемому в отечественной литературе в качестве эквивалента симпатической активности) — индексу напряжения (рис. 3).

Обсуждение. Нами впервые сделана попытка объединить эвристически ценные индексы Р.М. Баевского и экспериментально обоснованные спектральные показатели в рамках одной математической модели — «вегетативного пространства».

Введённое нами понятие «вегетативное пространство» человека представляет самодовлеющий фактор, включённый в иерархию регуляции и опосредующий двунаправленные векторы взаимодействия сверху вниз (субординирующие влияния

центральных структур головного мозга) и, по принципу обратной связи кибернетики, — снизу вверх (от исполнительных органов к центральным структурам мозга).

Выделяя тип вегетативного пространства, мы определяемся с возможными вариантами реагирования биологической системы в процессах адаптации и учитываем предпочтение организмом определённой стратегии реагирования.

Предложенная нами двухфакторная модель хорошо объясняет гипотезу о двухконтурной системе управления ритмом сердца [3], которая исходит из наличия дыхательной и недыхательной компонент синусовой аритмии. Дыхательная компонента полностью зависит от деятельности «низшего» контура, названного автономным, поскольку его элементы представляют собой систему со своей независимой специфической периодикой, определяемой частотой дыхания. При этом высший контур рассматривается как центральный с учетом того, что не дыхательные компоненты синусовой аритмии представляют собой суперпозицию колебаний с различными периодами и трендом, обусловленным непрерывными функциональными перестройками системы управления ритмом сердца. Фактор, названный нами как фактор симпатической активности, описывает центральный контур по Р.М. Баевскому [2], в то время как второй — предположительно несёт информацию не только об автономном контуре, но и центральных трофотропных структурах. Данная модель позволяет в комплексе оценить как симпатические и парасимпатические влияния отдельно, так и их вклад в вегетативный баланс.

Выводы. Предложена двухфакторная модель вегетативной регуляции, которую можно использовать в практических целях. При этом фактор симпатической активности отражает активность эрготропных структур, а фактор парасимпатической активности — активность трофотропных структур.

Список литературы

1. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. Принципы системной организации функций / П. К. Анохин. — М., 1973. — 561 с.
2. Анализ variability ритма при использовании различных электрокардиографических систем : методические рекомендации. Ч. 1 / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестн. аритмологии. — 2001. — № 24. — С. 65–87.
3. Михайлов В. М. Variability ритма сердца : опыт практического применения метода / В. М. Михайлов. — Иваново, 2000. — 200 с.
4. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике / А. Н. Флейшман. — Новосибирск, 1999. — 264 с.
5. Cannon W. B. The wisdom of the body / W. B. Cannon. — New York : W. W. Norton & Co., Inc., 1939. — 119 p.

FACTORIAL MODEL OF VEGETATIVE SPATIUM AT ADOLESCENCE

O.V. Sorokin, V.Y. Kulikov, V.Y. Druzhinin, M.G. Pustovetova, V.V. Abramov

SEI HPE «Novosibirsk State Medical University Minhealthsocdevelopment» (Novosibirsk c.)

The two-factorial model of vegetative regulation which can be used for practical purposes is offered. Herewith the sympathetic activity factor reflects the activity of ergotropic structures, and the parasympathetic activity factor shows the activity of trophotropic structures.

Keywords: vegetative nervous system, schoolchildren, vegetative spatium.

About authors:

Kulikov Viacheslav Yurjevich — doctor of medical sciences, professor, honored scientist RF, head of normal physiology department SEE HPE «Novosibirsk State Medical University Minhealthsocdevelopment», e-mail: Kulikov_42@mail.ru

Sorokin Oleg Viktorovich — candidate of medical sciences, assistant professor of normal physiology chair at SEI HPE «Novosibirsk State Medical University Minhealthsocdevelopment», office number: 8 (383) 225-07-37

Druzhinin Vladimir Yurevich — assistant of normal physiology chair at SEI HPE «Novosibirsk State Medical University Minhealthsocdevelopment», office number: 8 (383) 225-07-37

Abramov Vladimir Vasilievich — former head of neuroimmunology laboratory at SE «Scientific research institute of clinical immunology of the RAMS»

Pustovetova Maria Gennadievna — doctor of medical sciences, professor of pathological physiology chair, head of Central research laboratory SEI HPE «Novosibirsk State Medical University Minhealthsocdevelopment», e-mail: patophysiolog@mail.ru

List of the Literature:

1. Anokhin P. K. Principle questions of functional systems general theory. Principles of functions system organization / P. K. Anokhin. — M, 1973. — 561 P.
2. Analysis of rhythm variability at use of various electrocardiographic systems: methodical references. P.1 / R. M. Baevsky, G. G. Ivanov, L. V. Chireykin [etc.] // Bull. of arrhythmology. — 2001. — № 24. — P. 65–87.
3. Mikhailov V. M. Variability of heart rhythm: experience of practical method application / V. M. Mikhajlov. — Ivanovo, 2000. — 200 P.
4. Fleyshman A. N. Slow fluctuations of hemodynamic. Theory, practical application in clinical medicine and preventive care / A. N. Fleyshman. — Novosibirsk, 1999. — 264 P.
5. Cannon W. B. The wisdom of the body / W. B. Cannon. — New York : W. W. Norton & Co., Inc., 1939. — 119 p.