

О.В. Сорокин, Е.В. Маркова, С.В. Труфакин, В.В. Абрамов, В.Ю. Куликов, В.А. Козлов

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ДЕТЕЙ

Лаб. нейроиммунологии

ГУ НИИ клинической иммунологии СО РАМН, Новосибирск

На основании факторного анализа 13 исходных вегетативных индексов, полученных при анализе кардиоинтервалограммы у 91 ребёнка (возраст 10–14 лет), создана математическая модель вегетативной регуляции. Выведены показатели, отдельно описывающие активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. В рамках трёхмерной модели дополнительно проведено разделение симпатического компонента на фактор центральных эрготропных влияний и фактор, отражающий активность сегментарного отдела. Предложенная модель стратификации “вегетативного пространства” может быть использована для изучения конкретного вклада отделов вегетативной нервной системы в процессах нейроиммуномодуляции.

Ключевые слова: вегетативная нервная система, кардиоинтервалография, факторный анализ, подростки

Важная роль вегетативной нервной системы (ВНС) в поддержании гомеостаза [12] и приспособлении к изменяющимся условиям окружающей среды направляла теоретические и прикладные исследования на поиск методик, позволяющих адекватно оценивать активность отделов ВНС. После пионерских работ Р.М. Баевского, посвящённых изучению колебательных процессов гемодинамики, был создан математический аппарат многоуровневой системы вегетативной регуляции, позволивший выявить и прогнозировать закономерности адаптивных процессов в организме [2]. При этом изменения сердечного ритма рассматриваются в связи с адаптационной реакцией целостного организма – как проявление различных стадий общего адаптационного синдрома. Созданная модель неинвазивного мониторинга активности отделов ВНС экстраполировалась на вегетативный баланс организма в целом. Колебания длительности кардиоинтервалов рассматриваются как результат влияния многоуровневой системы управления физиологическими функциями организма. Этот подход основан на положениях биологической кибернетики [8] 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.

В практике применения кардиоинтервалографии часто встречается необходимость отдельно определить активность симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Так, для понимания причинно-следственных взаимоотношений в нейроиммунологических исследованиях необходимо качественно оценить активность структур вегетативной регуляции отдельно [6]. Однако это не так просто, поскольку связано с индивидуальными колебаниями абсолютных значений вегетативных индексов и представ-

ляет определённые трудности для их системной (групповой) интерпретации.

Как известно, описание симпатической активности имеет ряд нерешённых методологических проблем, в частности, LF (низкочастотный диапазон) отражает не только барорефлекторный механизм, но и включает в себя компоненты парасимпатической регуляции. Некоторые индексы Р.М. Баевского при их увеличении или снижении действительно отражают активность симпатического контура, однако их применение и интерпретация требуют физиологического подтверждения в модельных экспериментах.

Существующий в организме баланс активности парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы сложно описать исходными вегетативными индексами, полученными при использовании большинства кардиоинтервалографических приборов. Обычно анализ останавливается на выделении оппозиционных групп (исходя из реципрокного характера взаимодействия отделов ВНС): симпатотоников, парасимпатотоников и эутоников, однако это выделение в определённой мере условно, так как спектр взаимодействия отделов ВНС значительно сложнее. Например, при изометрическом напряжении происходит усиление симпатических структур при неизменных парасимпатических влияниях. В том числе подобный подход не позволяет оценить одновременно активность симпатического и парасимпатического отделов, в частности группу с одновременно высоким симпатическим и парасимпатическим тонусом. Понятно, что эта группа будет качественно отличаться в спектре биологических реакций от других.

Все это явилось предпосылкой создания новой математической модели вегетативной регуляции.

Методика. Было обследовано 90 школьников (46 мальчиков и 44 девочки в возрасте 10–14 лет). Основ-

ным критерием отбора являлось отсутствие соматических и психических заболеваний.

Протокол исследования соответствовал этическим стандартам и был регламентирован комитетом по биоэтике ГУ ИКИ СО РАМН в соответствии с Хельсинской декларацией от 1975 года и её пересмотром от 1983 года.

Активность отделов ВНС оценивали по изменению вариабельности ритма сердца методом кардиоинтервалографии. Запись кардиоинтервалограммы производили в условиях, соответствующих требованиям, описанным в руководствах по изучению ВНС и основного обмена [5, 9]. 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 вариабельности 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.), и 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 [15].

Математический анализ проводился с использованием статистического пакета “SPSS 10.0 for Windows” с использованием модулей ANOVA, факторного анализа, t-критерия для независимых выборок.

Результаты. Использование факторного анализа исходит из предположения о том, что изменение исходных (первичных) параметров является отражением системообразующих факторов более высокого порядка. При анализе главных компонент, полученных с использованием ортогонального вращения с нормализацией Кайзера, в рамках двухмерной модели нами выделены два фактора (табл. 1). При этом в качестве исходных переменных были взяты 13 вегетативных параметров, исчерпывающе описанных в руководствах по кардиоинтервалографии [7].

Установлено, что в рядах, соответствующих фактору симпатической активности (ФСА) и фактору парасимпатической активности (ФПА), существуют индивидуальные нагрузки первичных вегетативных параметров. При этом чем выше абсолютное значение нагрузки, тем в большей степени фактор влияет на данный параметр. Знак перед значениями определяет прямую (+) или обратную (–) зависимость. Так, например, RR интервал, являясь интегральным отражением влияния регуляторных систем на синусовый

узел, в большей степени зависит от активности ФСА (отражая фазические влияния эрготропных структур) и лишь незначительно увеличивается при усилении парасимпатических влияний (ФПА). Аналогично оцениваются и другие первичные параметры. Суммарно ФСА и ФПА объясняют 75% разнообразия выборки.

Показано, что фактор симпатической активности отражает степень вовлечения симпатической нервной системы в вегетативный баланс по следующему неравенству:

$$f_{са} < 0 < ФСА, \quad (1)$$

где $f_{са}$ – низкая симпатическая активность; ФСА – высокая симпатическая активность.

Другими словами, если индивидуальная факторная нагрузка ФСА больше нуля, то можно считать, что имеется относительно высокая симпатическая активность – и наоборот. В подтверждение этому приведём средние значения первичных параметров при делении выборки относительно указанного неравенства (табл. 2). Сразу отметим, что они с высокой степенью достоверности различаются по большинству параметров, что позволяет по значению одного фактора выделить группу с высокой и низкой симпатической активностью.

Таблица 1

Матрица 2-факторного анализа

Параметры	Выделенные компоненты	
	ФСА	ФПА
ПАПР	0,927	–0,294
ИН	0,892	–0,219
ИБР	0,873	–0,246
Амо	0,872	–0,329
RR	–0,784	0,248
Мо	–0,737	–
Ах	–0,671	0,486
LFper	0,508	–
HFper	–0,415	0,887
VLFper	–	–0,883
IC	–	0,837
HFnu	–0,544	0,712
LFnu	0,542	–0,702

Примечание. Метод экстракции: анализ главных компонент. Метод ротации: ортогональное вращение с нормализацией и центрированием Кайзера.

RR – интервал RR; Ах – вариационный размах; Мо – мода; Амо – амплитуда моды; ИН – индекс напряжения; ИБР – индекс вегетативного равновесия; ПАПР – показатель активности процессов регуляции; LFper – мощность низкочастотного диапазона в процентах; HFper – мощность высокочастотного диапазона в процентах; VLFper – мощность очень низкочастотного диапазона в процентах; HFnu – нормализованные значения высокочастотного диапазона; LFnu – нормализованные значения низкочастотного диапазона; IC – индекс централизации; ФСА – фактор симпатической активности; ФПА – фактор парасимпатической активности.

В группах с разной симпатической активностью нет различий по параметру VLFper (мощность очень низкочастотного диапазона в процентах) и IC (индекс централизации) [4]. Это объясняется тем обстоятельством, что в рамках ФСА заключены два векторно-однонаправленных воздействия – центральных эрготропных структур и структур сегментарного уровня (кардиотонический центр), что может являться предпосылкой к рандомизации выборки с учётом разной активности структур надсегментарного и сегментарного контура.

Фактор парасимпатической активности отражает степень вовлечения парасимпатической нервной системы в вегетативный баланс по следующему неравенству:

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

где фпа – низкая парасимпатическая активность; ФПА – высокая парасимпатическая активность.

Таким образом, положительные значения ФПА соответствуют относительно высокой парасимпатической активности. Средние значения исходных параметров в оппозиционных по парасимпатическому тону групп показаны в табл. 3.

На основании полученных факторов нами выведен индекс вегетативного баланса (ИВБ_г), который учитывает активность обоих отделов вегетативной нервной системы.

$$\text{ИВБ}_g = (\text{ФСА} - \text{ФПА}) / \text{Abs}(\text{ФСА} + \text{ФПА}), \quad (3)$$

где Abs – модальное значение.

При этом учитывается следующее неравенство:

$$\text{ивб}_g < 0 < \text{ИВБ}_g,$$

где ивб_г – ваготония; ИВБ_г – симпатикотония.

При положительных значениях данный индекс отражает преобладание симпатического тонуса над парасимпатическим, а при отрицательных значениях – наоборот.

При анализе приведённых различий обращает на себя внимание большой разброс стандартного отклонения по ряду вегетативных индексов (в частности, по индексу напряжения – ИН). Это свидетельствует о необходимости анализа взаимодействия ФСА и ФПА для более тщательной рандомизации выборки.

В двухмерном пространстве, образованном осью симпатической активности ФСА и осью парасимпатической активности ФПА, выделяются четыре группы (рис.).

Объективность подобного деления “вегетативно-го пространства” на четыре сектора подтверждается приведёнными средними первичных вегетативных параметров и факторов (табл. 4). Был проведен анализ различий по выделенным факторам. Установлено, что группы 2–3 и 1–4 являются оппозиционными и полностью различаются по ФСА, ФПА и ИВБ_г. В группах 2 и 4 выявлена одинаково высокая симпатическая активность ФСА, однако указанные группы достоверно различаются по парасимпатическому тону (ФПА), что отражается на ИВБ_г.

При более детальном анализе дискретной структуры вегетативной регуляции нами выделена трёхмерная модель, описывающая 85,4% разнообразия выборки (табл. 5).

Фактор центральных эрготропных влияний (ФЦЭВ) отражает активность надсегментарных эрготропных структур; фактор трофотропных влияний (ФТВ) отражает активность трофотропных структур

Таблица 2

Значения средних и стандартных отклонений (M±SD) для первичных параметров в группах с низкой (группа 1) и высокой (группа 2) симпатической активностью

Параметры	Группа 1 (фса < 0)	Группа 2 (ФСА > 0)
RR	774,6±76,1*	645,9±60,9
Ax	267±86,7*	159±80,2
Mo	760±85,8*	638±58,7
Amo	16,6±5,5*	29,7±8,1
ИВР	76,1±51,8*	240±162
ПАПР	22,2±7,9*	47,3±15,5
HFper	45,4±16,8*	31,7±17,9
LFper	25,7±8,3*	33,4±10,8
VLFper	28,9±16,2	34,6±16,9
HFnu	62,0±14,5*	45,8±17,2
LFnu	38,0±14,5*	53,6±17,7
IC	3,7±2,9	3,3±4,5
ИН	51,4±35,9*	194±147

Примечание. * – статистически значимые различия по t-критерию для независимых выборок между группами (под контролем Levene's Test for Equality of Variances); p<0,001. Интерпретации параметров см. в сноске к табл. 1.

Таблица 3

Значения средних и стандартного отклонений (M±SD) для первичных параметров в группах с низкой (группа 1) и высокой (группа 2) парасимпатической активностью

Параметры	Группа 1 (фпа < 0)	Группа 2 (ФПА > 0)
RR	695,0±102,0*	746,6±80,8
Ax	184,6±79,5*	257,4±103,4
Mo	689,5±105,3	728,2±85,4
Amo	25,2±9,0*	19,0±8,5
ИВР	176,7±123,4*	112,5±142,2
ПАПР	38,4±17,6*	27,1±14,6
HFper	25,4±11,2*	52,7±13,4
LFper	28,7±9,0	28,9±11,0
VLFper	45,5±12,2*	18,4±6,5
HFnu	45,5±15,7*	64,3±14,0
LFnu	54,0±16,1*	35,7±14,1
IC	1,4±0,8*	5,5±4,1
ИН	138,1±111,7*	83,3±121,6

Примечание. * – статистически значимые различия по t-критерию для независимых выборок между группами (под контролем Levene's Test for Equality of Variances); p<0,05. Интерпретации параметров см. в сноске к табл. 1.

в целом, а фактор сегментарных влияний (ФСВ) – активность сегментарных структур и, возможно, метасимпатической нервной системы.

Полученные факторы отражают взаимозависимость 13 исходных вегетативных параметров. Хотя в целом первичные параметры структурируются в общую векторную направленность; их одновременный анализ в рамках клиники внутренних болезней затруднён из-за выраженных индивидуальных особенностей. Поэтому для практических задач более удобно использование двух–трёх интегральных факторов, суммарно отражающих вегетативный баланс. Однако предложенная методика не является исключительно клинически ориентированной моделью вегетативного баланса. Необходимо отметить, что редукция переменных до нескольких факторов не теряет информативности, а, наоборот, позволяет уточнить дискретную природу вегетативной регуляции в рамках научного поиска. 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).

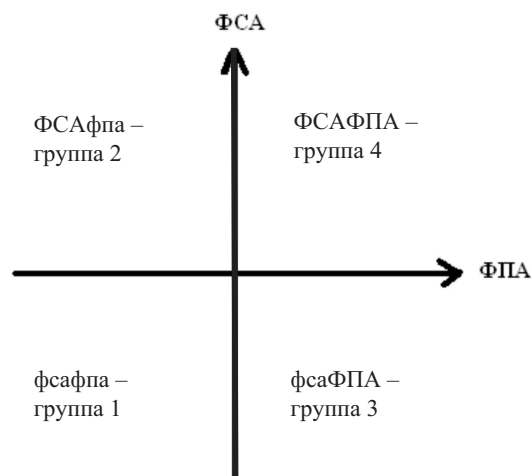


Рис. Двухмерное пространство, образованное взаимодействием ФСА и ФПА.

Группа 1 (фсафпа) – умеренная активность симпатического и парасимпатического отделов ВНС; отражает сбалансированный тип регуляции (эйтония покоя). Группа 2 (ФСАфпа) – высокая активность симпатического отдела при сопутствующей низкой активности парасимпатического отдела ВНС; выраженная фоновая симпатикотония (истощение ресурсов адаптации). Группа 3 (фсаФПА) – высокая активность парасимпатического отдела и низкая симпатического отдела ВНС; фоновая ваготония (избыток адаптации). Группа 4 (ФСАФПА) – высокая активность симпатического и парасимпатического отделов ВНС; отражает напряжённое регулирование (гиперэргоз, компенсированная стадия общего адаптационного синдрома)

Таблица 4

Групповые значения средних и стандартного отклонений ($M \pm SD$) для первичных параметров и факторов в рамках двухфакторной модели (интерпретация групп в подписях к рис.)

Параметры	1–фса/фпа	2–ФСА/фпа	3–фса/ФПА	4–ФСА/ФПА
RR	757,8±91,8 ^{2,3}	629,3±64,2 ¹	786,1±62,1	667,6±50,1 ⁶
Ax	229,4±82,9 ³	137,6±39,1 ¹	293,1±80,5 ⁴	186,2±109,4 ⁶
Mo	750,4±100,6 ^{2,3}	625,8±65,4 ¹	765,8±75,1	652,9±46,1 ⁶
Amo	19,0±5,7 ^{2,3}	31,6±7,3 ^{1,5}	14,9±4,7 ⁴	27,3±8,6 ⁶
IVR	99,8±57,4 ^{2,3}	257,2±123,3 ¹	59,8±41,0	217,8±205,3 ⁶
PAPR	26,1±9,1 ^{2,3}	51,2±15,0 ^{1,5}	19,5±5,9 ⁴	42,2±15,2 ⁶
HFPER	29,7±11,3 ^{2,3}	21,0±9,4 ^{1,5}	56,1±10,0 ⁴	45,8±16,7 ⁶
LFPER	25,2±7,4 ^{2,3}	32,4±9,3 ¹	26,0±9,0	34,6±12,7 ⁶
VLFPER	45,1±12,5 ^{2,3}	45,9±12,1 ^{1,5}	17,9±5,3 ⁴	19,6±8,5
HFNU	52,8±14,5 ³	37,8±13,2 ^{1,5}	68,3±10,8 ⁴	56,3±16,5 ⁶
LFNU	47,2±14,5 ³	61,0±14,8 ^{1,5}	31,7±10,8 ⁴	43,8±16,6 ⁶
IC	1,4±0,9 ²	1,3±0,7 ^{1,5}	5,3±2,8 ⁴	6,0±5,9
IN	69,6±42,3 ^{2,3}	209,9±117,4 ¹	38,8±24,6	172,2±180,2 ⁶
ФСА	–0,7±0,6 ^{2,3}	0,9±0,8 ¹	–0,6±0,4	1,0±0,9 ⁶
ФПА	–0,9±0,6 ²	–0,7±0,6 ^{1,5}	0,7±0,5 ⁴	0,8±1,0
ИБВ ₁₂	0,2±0,6 ³	6,3±14,9 ^{1,5}	–4,5±6,8 ⁴	0,2±0,6

Примечание. * – статистические различия между группами оценивались по F-критерию (ANOVA); множественные сравнения (Post Hoc Multiple Comparisons) приведены с поправкой – LSD, под контролем t-критерия для независимых выборок.

¹ – показывает различия между 2 и 3 группами; $p < 0,001$, ² – показывает различия между 1 и 4 группами; $p < 0,001$, ³ – показывает различия между 1 и 2 группами; $p < 0,05$, ⁴ – показывает различия между 3 и 1 группами; $p < 0,05$, ⁵ – показывает различия между 2 и 4 группами; $p < 0,05$, ⁶ – показывает различия между 4 и 3 группами; $p < 0,05$.

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

Таблица 5

Матрица 3-факторного анализа

Параметры	Компоненты		
	1-ФЦЭВ	2-ФТВ	3-ФСВ
ПАПР	0,913	-0,226	0,276
ИН	0,877	-0,154	0,250
ИВР	0,865	-0,186	0,238
Амо	0,860	-0,263	0,272
RR	-0,791	0,207	-0,182
Мо	-0,757	—	—
Ах	-0,704	0,464	-0,161
VLfper	0,252	-0,928	—
IC	-0,140	0,861	—
HFpper	-0,348	0,766	-0,514
LFper	0,213	—	0,934
LFnu	0,367	-0,485	0,773
HFnu	-0,375	0,499	-0,759

Примечание. Метод экстракции: анализ главных компонент. Метод ротации: ортогональное вращение с нормализацией Кайзера.

ФЦЭВ – фактор центральных эрготропных влияний, ФТВ – фактор трофотропных влияний, ФСВ – фактор сегментарных влияний.

стратегии реагирования, что приближает нас к понятию индивидуальной биологической реакции на возмущение.

Выделенный фактор симпатической активности способен примирить как сторонников исключительного использования спектральных параметров, так и сторонников, исключительно ориентированных на индексы Р.М. Баевского, так как включает в себя и те и другие показатели. Кроме того, непротиворечивая интерпретация полученной корреляционной матрицы факторного анализа позволяет однозначно говорить об активности симпатического отдела на основании изменения всего одного фактора. При этом мы должны чётко представлять, что за этим фактором стоит одновекторное изменение сразу 13 вегетативных параметров. Понятно, что одновременно отследить их системное изменение в группе трудно как из-за большого количества, так и из-за индивидуальных особенностей.

Предложенная математическая модель вегетативной регуляции позволяет выделить не только оппозиционные группы с высокой симпатической или парасимпатической активностью, но и группы с одновременно высокой (ФСА/ФПА, группа 4) и низкой (ФСА/ФПА, группа 1) активностью обоих отделов вегетативной нервной системы, что позволит глубже разобраться в тонкостях вегетативной регуляции эффекторных органов.

Если 1-й (ФЭВ) и 2-й (ФТВ) факторы являются оппозиционными по содержанию, то отличия 1-го и 3-го (ФСВ) факторов требуют отдельного рассмотрения. RR-интервал как интеграл вегетативной регуляции, а также вероятный уровень функционирования синусового узла (Моде) и вариационный размах в несравнимо большей степени зависят от 1-го фактора (ФЦЭВ), отражая фазические влияния надсегментарных эрготропных структур, необходимых для быстрой адаптации организма. В свою очередь, тонические влияния стволовых структур отражены в меньших абсолютных значениях этих параметров. И хотя суммарно в покое 1-й (ФЦЭВ) и 3-й (ФСВ) факторы отражают симпатическую активность, они принципиально различаются по степени влияния на синусовый узел. Выделение отдельно фактора, отражающего активность центральных эрготропных и сегментарных структур, обосновано и морфофункциональными причинами. В частности, надсегментарные структуры имеют прямые синаптические контакты с вегетативными ядрами спинного мозга. При этом нейротрансмиссия этих путей осуществляется не только норадреналином, но и другими моноаминами – дофамином, серотонином, нейропептидами, в частности вазопрессинном.

Мощность спектра в диапазоне низкочастотных колебаний (LF) – преимущественно отражает барорецепторный механизм, локализованный на уровне ствола мозга. В нашем случае именно низкочастотная компонента спектра вносит основной вклад в 3-й фактор (ФСВ) и в свою очередь зависит от его активности. Существует предположение, что 3-й фактор не является в прямом смысле самостоятельным и зависит от активности 1-го и 2-го факторов, что в целом отражает центральную субординацию сегментарного отдела и, в том числе, метасимпатической нервной системы. Так, возможно, при пробах, усиливающих парасимпатическую активность, его (ФСВ) факторная матрица может изменяться.

Для детализации функционально-анатомических элементов факторного анализа вегетативной регуляции необходимо обратиться к данным по организации структур, участвующих в поддержании вегетативного баланса. Непосредственное участие в регуляции работы сердца принимают ядра гипоталамуса, ядра блуждающего нерва в продолговатом мозге, нейроны дыхательного центра и симпатические ядра сосудодвигательного центра в ретикулярной формации [11], а также симпатические нейроны спинного мозга. Импульсация блуждающего нерва складывается из фазических центральных и тонических влияний генератора дыхательного ритма, а импульсация симпатических нервов – из тонических влияний генераторов сердечного и дыхательного ритмов, расположенных в ретикулярной формации ствола головного мозга, и фазических влияний центральных структур. Если упростить реальные взаимосвязи, то стратификация вегетативного управления может быть представлена двумя уровнями регуляции – сегментарным и надсегментарным.

Сегментарный уровень вегетативной регуляции включает следующий комплекс образований ЦНС: преганглионарные симпатические нейроны, расположенные в промежуточной зоне пояснично-грудного отдела серого вещества спинного мозга (к этой зоне относится промежуточно-боковое, вставочное и центральное вегетативное ядра); тела преганглионарных парасимпатических нейронов, расположенных в дорсальном и боюдном ядре продолговатого мозга; пара- и превертебральные (СНС) и интрамуральные (ПНС) ганглии, откуда берут начало тонкие немиелинизированные постганглионарные аксоны, направляющиеся к метасимпатическому модулю исполнительных органов [10].

Бульбостволовые структуры, вегетативные ядра спинного мозга и метасимпатическая система представляют собой сегментарный (нижний) уровень вегетативной регуляции сердца, обуславливающие в определённой степени автономную регуляцию, необходимую для выживания организма. В рамках предложенной модели “вегетативного пространства” активность этого контура управления отражена в факторе сегментарного влияния и, в определённой степени, в факторе симпатической активности. Таким образом, по индивидуальным значениям данных факторов можно судить о степени вовлечения этих структур в вегетативную регуляцию. Однако этому отделу не свойственна функциональная пластичность и поэтому указанные структуры могут обеспечить жизнедеятельность только в условиях постоянства окружающей среды. Поэтому бульбостволовая регуляция, в свою очередь, субординируется высшими (надсегментарными) отделами головного мозга, в частности гипоталамусом, лимбической системой и неокортексом.

Надсегментарный уровень вегетативной регуляции представлен центральными структурами, расположенными выше ствола мозга. Так, регуляция со стороны гипоталамуса осуществляется при всех наиболее сложных вегетативных реакциях, для управления которыми саморегуляции сегментарных структур недостаточно.

В недостаточно изученных нервных цепях гипоталамуса заложены многочисленные программы, активация которых под влиянием нервных сигналов от вышележащих отделов мозга (например, лимбической системы) и/или сигналов от рецепторов внутренней среды организма может приводить к различным поведенческим и нейрогуморальным регуляторным реакциям.

В течение длительного времени предполагали, что краниальные отделы гипоталамуса ответственны за вегетативные и эндокринные реакции, способствующие восстановлению и сохранению резервов организма. Эти функции связывали с возбуждением парасимпатической системы и, в совокупности, называли трофотропной реакцией (см. фактор трофотропных влияний и фактор парасимпатической активности). Считали также, что возбуждение каудальных частей гипоталамуса приводит к активации норадренергиче-

ской симпатической системы, активации катоболических процессов и повышению толерантности к физической нагрузке. Такие эффекты получили название эрготропных реакций.

Активность надсегментарных эрготропных структур отражена в 1-м факторе трёхфакторной структуры вегетативной регуляции – факторе центральных эрготропных влияний и факторе симпатической активности. Согласно подобным представлениям, введённым W.R. Hess [13], гипоталамус состоит из двух различных морфофункциональных отделов и их взаимодействие отражает антагонизм между симпатическим и парасимпатическим отделами на уровне сегментарной регуляции.

Существуют выраженные реципрокные связи между гипоталамусом и лимбической системой. Обеспечивая общее усовершенствование приспособления организма к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды, лимбическая система и гипоталамус вместе способны изменять и преодолевать жёсткие генетически детерминированные программы вегетативной регуляции сегментарных структур [10]. Лимбическая система сообщается с новой корой в области лобной и височной долей. Вероятно, лобные доли служат основным отделом новой коры, регулирующей деятельность лимбической системы. Кроме того, из всей новой коры только эти области непосредственно связаны с гипоталамусом.

В неокортексе, преимущественно на подсознательном уровне, обрабатываются сигналы от внутренних органов. Кроме того, в неокортексе происходит пространственно-временной анализ информации из окружающей среды и построение концепций и схем поведенческих актов. Именно этот отдел отвечает за программирование и вносит изменения в “консервативные”, “традиционные” программы поведения, заложенные в старом мозге млекопитающих [14]. Перечисленные структуры составляют морфофункциональную основу выделенных факторов, которые, согласно данному допущению, отражают степень их активности и вовлечения в процессе индивидуальной адаптации.

Предложенная нами двухфакторная модель хорошо объясняет гипотезу о двухконтурной системе управления ритмом сердца [3], которая исходила из наличия дыхательной и недыхательной компонент синусовой аритмии. Дыхательная компонента полностью зависит от деятельности “низшего” контура, названный автономным, поскольку его элементы (синусовый узел, ядра блуждающего нерва, дыхательный центр) представляют собой систему со своей независимой специфической периодикой, определяемой частотой дыхания. При этом высший контур рассматривается как центральный, с учетом того, что недыхательные 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, действитель-

но описывает центральный контур по Р.М. Баевскому [4]. При этом второй фактор – фактор парасимпатической активности – предположительно несёт информацию не только об автономном контуре, но и центральных трофотропных структурах, расположенных в гипоталамусе и коре.

Данная модель полностью удовлетворяет потребности клинических исследований, поскольку позволяет обоснованно оценить симпатические и парасимпатические влияния отдельно, с учетом вклада каждого из них в вегетативный баланс. Основанный на разнице между ФСА и ФПА индекс вегетативного баланса (ИБВ₁₂) позволит однозначно судить о преобладании того или иного звена вегетативной регуляции. В этом случае исходное состояние верифицируется на основании неравенства (формула 3). Возможна и более сложная детерминация (рис.) с выделением четырёх групп, отражающих взаимодействие этих факторов.

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.

Анализ трёхфакторной структуры вегетативной регуляции позволяет обоснованно судить о надсегментарных симпатических и парасимпатических влияниях, а также отдельно выделить сегментарный контур управления.

Данная модель стратификации “вегетативного пространства” может быть использована для выяснения причинно-следственных связей в рамках нейроиммунологических исследований.

THE FACTORIAL ANALYSIS OF VEGETATIVE REGULATION PARAMETERS OF THE HEART RATE VARIABILITY AT CHILDREN

O.V. Sorokin, E.V. Markova, S.V. Trufakin, V.V. Abramov, V.Yu. Kulikov, V.A. Kozlov

On the basis of the factorial analysis of 13 initial vegetative indexes received at the analysis of Heart Rate Variability at 91 children (age of 10–14 years), the mathematical model of vegetative regulation is created. The parameters separately describing activity sympathetic and parasympathetic departments of vegetative nervous system are deduced. Within the framework

of three-dimensional model the division of a sympathetic component into the factor central influences and the factor reflecting activity of a segmentary department is carried out. The offered model of stratification of “vegetative space” can be used for study of the specific contribution of vegetative nervous system departments in the neuroimmunoregulation processes.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. Принципы системной организации функций / П.К. Анохин. М., 1973.
2. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский. М., 1984.
3. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. М., 1984.
4. Анализ variability ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекоменд. / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин и др. // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 1–23.
5. Вейн А.М. Клиника, диагностика, лечение. М., 1998.
6. Высшая нервная деятельность и иммунитет / В.В. Абрамов, Т.Я. Абрамова, Д.Н. Егоров, К.В. Вардосанидзе. Новосибирск, 2001.
7. Михайлов В.М. Variability ритма сердца: Опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. Иваново, 2000.
8. Парин В.В., Баевский Р.М. Введение в медицинскую кибернетику. М., 1966.
9. Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике / А.Н. Флейшман. Новосибирск, 1999.
10. Шмидт Р. Физиология человека. М., 1996, Т. 2.
11. Barman S.M. Brainstem control of cardiovascular function. Brainstem Mechanisms of Behavior. New York, 1990.
12. Cannon W.B. The wisdom of the body. - NY. W.W. Norton & Co., Inc., 1939
13. Hess W.R. Die funktionelle Organisation des vegetativen Nervensystems. Basel, Benno Schwabe, 1948.
14. MacLean P.D. The triune brain, emotion and scientific bias: Intensive Study Program in the Neurosciences: Neurosciences Research Program. NY., Rockefeller University Press. 1970. P. 336–349.
15. Task Force of the European of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. 1996.