

УДК 612.014

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА СТУДЕНТОВ

Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Раваева М.Ю.

Статья посвящена обоснованию эффективности применения системы комплексного компьютерного исследования «Омега-М» для экспресс-диагностики функционального состояния студентов. Установлена высокая эффективность применения комплекса «Омега-М» для оценки функционального состояния организма на различных уровнях регуляции (вегетативном, нейро-гуморальном, центральном), адаптационных возможностей и функциональных резервов организма студентов.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца, кардиоритмограмма, индекс напряженности, нормотоники, симпатотоники, ваготоники.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование функционального состояния человека занимает приоритетное место в современной науке. Однако, несмотря на многочисленные исследования в данной области, до сих пор нет ни одной унифицированной методики и критериев для качественной оценки функционирования организма человека. Существующие в настоящее время методы исследования функционального состояния человека являются либо недостаточно эффективными, либо высокоспецифичными к какому-либо одному состоянию организма. Работу исследователя ограничивает еще и тот факт, что значительная часть методов характеризуется узко направленным спектром выявляемой информации и, в большинстве случаев, невозможностью интегрального суждения о состоянии организма в целом. Важное место занимает поиск чувствительных скрининговых методов диагностики общего функционального состояния человека. Особый интерес представляет извлечение информации о физиологическом состоянии организма посредством выявления интегральных характеристик отдельных биологических сигналов с их последующей обработкой и выделением соответствующих алгоритмов. Эта возможность вытекает из представлений об информационном единстве внутриорганизменных связей, что дает основание использовать биологические сигналы для интегрального суждения не только о состоянии конкретного органа, являющегося источником данного сигнала, но и о состоянии иных органов, систем органов и организма как единого целого [1].

Перспективным методом изучения механизмов регуляции физиологических функций организма человека является оценка вариабельности ритма сердца (ВРС). Математический анализ ВРС с применением методов автокорреляционного, фрактального, факторного и спектрального анализов лежит в основе нового комплексного компьютерного исследования функционального состояния организма

человека «Омега-М» («Динамика» Санкт-Петербург). Теоретическую основу данной технологии составляют представления об информационных взаимосвязях клеточных образований, органов и систем органов, обеспечиваемых не только системами регуляции и иммунитета, но и электромагнитно-частотными колебаниями и биологическими ритмами структур организма. «Омега-М» отвечает всем требованиям, предъявляемым к системам регистрации и анализа ВРС, и имеет ряд преимуществ: наличие скрининг диагностики, позволяющей в динамике контролировать изменение функционального состояния испытуемых, программы картирования биоритмов мозга путем сплайн-интерполяции, программы «фрактальной нейродинамики», которая позволяет судить о состоянии вегетативного тонуса, адаптации, энергетического баланса, центральной нервной системы [2]. Данная программа позволяет автоматически рассчитывать интегральные количественные критерии, свидетельствующие о качестве здоровья человека [3].

Подобный программный комплекс с 2000 г. используется в клинике для скрининг-диагностики внутренних заболеваний (острая пневмония, язвенная болезнь, острый бронхит, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь, дефицит массы тела и др.) и оценки эффективности лечебно-профилактических мероприятий в системе [4]. Применение программно-аппаратного комплекса показало его высокую диагностическую и экономическую эффективность в клинической практике. Однако любая патология, зарождаясь задолго до появления органических изменений в организме, проходит доклинические (функциональные) этапы своего развития. Поэтому представляется целесообразным применение комплекса «Омега-М» для оценки функционального состояния здоровых людей, в частности студентов.

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось обоснование эффективности применения программного комплекса «Омега-М» для экспресс-диагностики функционального состояния студентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 50 студентов-волонтеров в возрасте 20-22 года, условно здоровых, не имеющих хронических заболеваний. Исследование проводилось в утренние часы в тихом, хорошо проветриваемом помещении с постоянной температурой $+20 - +22 \text{ C}^0$. Перед началом исследования испытуемым давали время расслабиться, успокоиться. Работу начинали с регистрации ЭКГ сигнала в первом стандартном отведении с помощью системы комплексного компьютерного исследования функционального состояния человека «Омега-М» производства научно-исследовательской лаборатории «Динамика» г. Санкт-Петербург. Регистрацию проводили в положении сидя при спокойном дыхании в течение 3-5 минут, то есть времени, необходимого для набора 300 кардиокомплексов.

Главная идея используемой методики заключена в том, что любые вегетативные функции, будь-то ритмическая активность сердца, изменение температуры, колебание уровня сахара и так далее, содержат в себе всю полноту информации о протекании данных процессов на всех уровнях управления ими. И что важнее, в них будет отражаться функция всего организма в целом [5]. Поэтому,

использованный в системе анализ электрокардиосигнала – удобная модель для получения всей полноты информации о функциональном состоянии организма.

При анализе ритмов сердца возможно получение информации с 4-х уровней управления:

1. периферического или автономного – отражает состояние регуляции сердечной деятельности на уровне сердца;
2. вегетативного – отражает соотношение симпатических и парасимпатических влияний на уровне выше периферического и до центров вегетативной иннервации в продолговатом мозге;
3. гипоталамо-гипофизарного – отражает состояние высших вегетативных центров, которые объединяют в себе регуляцию обоих отделов вегетативной нервной системы (ВНС). На этом уровне будет проявляться двоякая природа регуляции: нервная и гуморальная - в силу двуединой природы клеток гипоталамуса, являющихся нервными и секретирующими одновременно;
4. центрального – отражает регуляцию функций организма со стороны нейрогуморальной системы и осуществляет связь организма как единого целого с условиями окружающей среды, то есть, адаптационные перестройки организма[4].

Для аппаратно-программной реализации метода из электрокардиосигнала выделяют 5 ритмов. В каждом из них определяются волны первого порядка, представляющие собой огибающие этих ритмов. Последующая нейродинамическая обработка этих ритмов – это преобразование сигналов в кодовую комбинацию по двоичному основанию, состоящую из последовательности импульсов, все параметры которых одинаковы (рис 1).

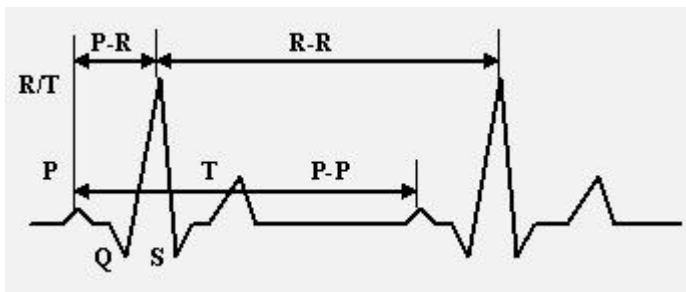


Рис. 1. Нейродинамический метод обработки ритмограммы.

Методически такой алгоритм позволяет получить в реальном масштабе времени одномоментную информацию о состоянии организма человека со всех основных уровней регуляции на примере анализа ритмической активности сердца.

Корректный и адекватный биобибернетический подход к анализу электрокардиосигналов позволяет определить уровень гипоталамической регуляции, уровень консолидации не только вегетативной, но и эндокринной сферы; оценить биоритмическую активность мозга, которая по определению должна быть сопряжена с ритмической активностью сердца, без чего немыслима системная организация [5]. Колебания длительности интервалов между кардиоциклами, обусловленные нейрогуморальными влияниями, адекватно отражают общее

(текущее) функциональное состояние организма и могут использоваться для разработки тактики и прогнозирования динамики изменения функционального состояния испытуемых. Помимо этого ВРС позволяет дать количественную оценку уровня адаптации и функциональных резервов организма, оценить вклад центральной и вегетативной регуляции в работу сердечно-сосудистой системы, дать характеристику симпато-парасимпатического баланса отделов ВНС.

Известно, что оценка сердечного ритма и тонуса вегетативной нервной системы по Р.М. Баевскому дает возможность судить об уровне функциональной адаптации, а варианты дезадаптации организма могут иметь связь с патогенетическими механизмами многих патологических синдромов и заболеваний (и не только сердечно-сосудистых) [6]. В свою очередь, уровень адаптации организма в целом должен быть тесно связан с состоянием гипоталамо-гипофизарного уровня регуляции. Благодаря проведению фрактального анализа ритмограмм сердца возможно выделить эту связь и закономерно перейти от одного ритмического процесса (ритмограмма сердца) к другому (ритмограмма мозга) [5].

В целом для оценки функционального состояния человека с помощью аппаратного комплекса «Омега-М» возможно использование следующих методов:

- методы временного анализа ВРС (статистические и геометрические);
- нелинейные методы анализа ВРС (анализ корреляционной ритмографии; автокорреляционный анализ);
- вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому;
- анализ волновой структуры сердечного ритма (спектральный анализ);
- нейродинамический и фрактальный анализы;
- картирование биоритмов мозга.

Статистические методы применялись для количественной оценки ВРС в данный промежуток времени и базировались на статистическом анализе измерений длительности последовательных R-R интервалов между нормальными синусовыми кардиоциклами [7]. С помощью геометрических методов анализа ВРС осуществляли построение и анализ гистограмм распределения интервалов R-R.

К методам корреляционной ритмографии относится графическое отображение последовательных пар кардиоинтервалов (предыдущего и последующего) в двумерной координатной плоскости. При этом по оси абсцисс откладывается величина $R-R$, а по оси ординат величина $R-R_{n+1}$. График и область точек, полученных таким образом, называется скатерограммой.

Вариационный анализ, использующий данные, полученные геометрическими методами и методами корреляционной ритмографии, применяли для расчета интегральных характеристик активности центрального и автономного контура регуляции

Автокорреляционный анализ основан на построении автокорреляционной функции динамического ряда кардиоинтервалов.

В спектральном анализе использовано преобразование Фурье функции $R-R(t)$. Применяется для выявления периодичности ряда кардиоинтервалов. Физический смысл спектрального анализа состоит в разделении на отдельные составляющие суммарного времени процесса, полученного в результате сложения или вычитания амплитуд этих составляющих [5].

Нейродинамический анализ позволяет извлечь из R-R ритмограмм фракталы, т.е. фрагменты, содержащие исчерпывающую информацию о характере данного ритмического процесса. Интерполяция полученных данных в программу картирования биоритмов мозга позволяет построить сплайн-карты активности мозга испытуемых.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ «Омега-М» («Динамика» г. Санкт-Петербург) и «Статистика 6.0». Достоверность различий полученных данных определяли с помощью критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ВРС студентов-волонтеров позволил сформировать динамический ряд значений, которые визуально отображались в виде кардиоинтервалограммы (ритмограммы) (рис. 2), т.е. о графического представления последовательного временного ряда межсистолических интервалов в виде отрезков прямой линии, эквивалентных по длине продолжительности пауз между сокращениями сердца [7]. Ритмограмма отображает зависимость длительности R-R интервалов от номера цикла измерения.

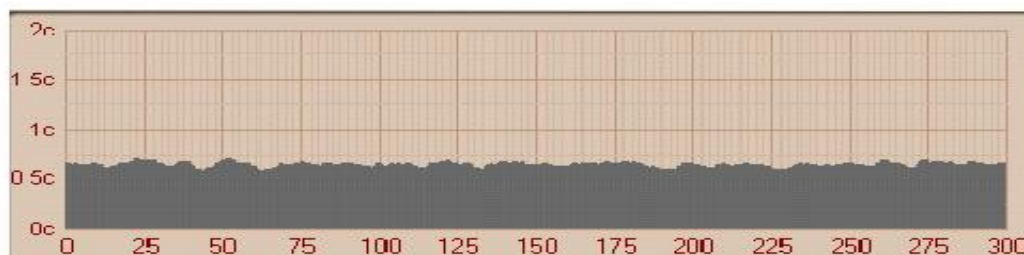


Рис 2. Пример записи кардиоритмограммы у испытуемого К. (По оси абсцисс – номер цикла измерения, по оси ординат – время (с)).

В результате анализа ритмограммы методом вариационной пульсометрии у испытуемых студентов в относительно спокойный учебный день семестра установлена высокая вариабельность индекса напряженности (ИН) (табл. 1). Известно [7], что ИН чрезвычайно чувствителен к усилению тонуса симпатической нервной системы. Небольшая нагрузка (физическая или эмоциональная) увеличивают ИН в 1,5-2 раза. При значительных нагрузках он возрастает в 5-10 раз. В соответствии с Международным стандартом [8] в норме ИН колеблется в пределах от 50 до 200 условных единиц. Анализ значений ИН позволил всех испытуемых разделить на 3 группы: ваготоники – 26% ($ИН \leq 50$ усл.ед), нормотоники – 50% ($50 \leq ИН \leq 200$ усл.ед), и симпатотоники – 24% ($ИН \geq 200$ усл.ед) (табл. 1). Как показали результаты исследования, остальные показатели вариационной пульсометрии имели достоверные отличия у испытуемых выделенных групп (табл. 1).

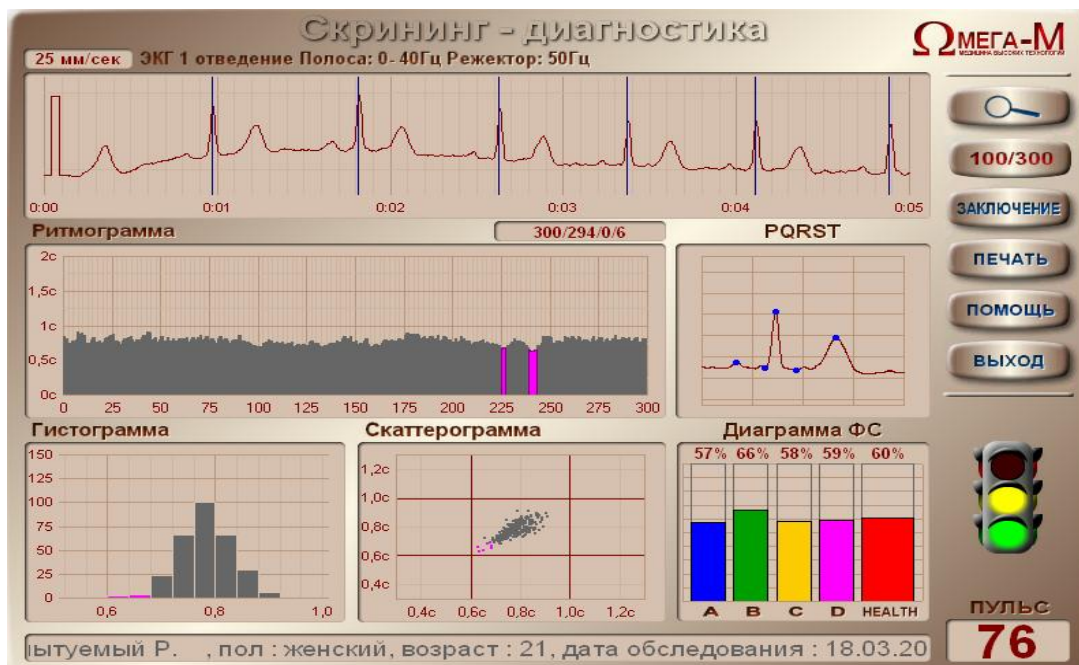
Таблица 1.
Показатели вариационной пульсометрии у испытуемых выделенных групп
($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

Показатель	Физиологический смысл	Группы		
		Нормотоники (I) n=25	Симпатоники (II) n=13	Ваготоники (III) n=12
Индекс напряженности (ИН= $A_{Mo}/2\Delta X * Mo$)	Отражает степень централизации управления сердечным ритмом. Суммарная характеристика гистограммы распределения R-R интервалов.	105,27±6,88 $p_{II}<0,01$, $p_{III}<0,001$	346,81±53,35 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,01$	46,17±4,71 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,01$
Мода (Mo)	Диапазон значений наиболее часто встречающихся кардиосигналов. Указывает на вероятный уровень функционирования системы кровообращения (синотриального узла).	748,33±15,74 $p_{II}<0,001$, $p_{III}<0,01$	657,14±20,81 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$	852,31±40,86 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,001$
Среднее значение интервалов	Отражает конечный результат всех регуляторных влияний на сердце и систему кровообращения.	769,91±13,63 $p_{II}<0,01$, $p_{III}<0,01$	678,36±20,55 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,001$	866,96±35,89 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,001$
Индекс вегетативного равновесия (ИВР= $A_{Mo}/\Delta X$)	Указывает на соотношение активностей симпатического и парасимпатического отделов ВНС.	155,67±9,13 $p_{II}<0,01$, $p_{III}<0,001$	422,27±45,27 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,01$	77,26±7,11 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,01$
Вегетативный показатель ритма (ВПР= $1/Mo * \Delta X$)	Указывает на вегетативный баланс, но с точки зрения автономного контура.	0,31±0,01 $p_{II}<0,001$, $p_{III}<0,01$	0,21±0,01 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$	0,38±0,02 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,001$
Показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР= A_{Mo}/Mo)	Отражает соответствие между активностью симпатического отдела ВНС и ведущим уровнем функционирования синотриального узла.	47,15±2,14 $p_{II}<0,001$, $p_{III}<0,001$	83,59±7,05 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$	28,22±2,23 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$
Амплитуда моды (Amo)	Число R-R, соответствующих значению Mo; Отражает эффект управления ритмом сердца, в основном симпатического звена ВНС.	34,84±1,27 $p_{II}<0,001$, $p_{III}<0,001$	52,43±2,54 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$	23,60±1,67 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$
Вариационный размах (dX)	Разность максимальных и минимальных значений кардиосигналов.	232,21±6,58 $p_{II}<0,05$, $p_{III}<0,001$	136,29±6,27 $p_I<0,05$, $p_{III}<0,001$	314,38±9,81 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$
Среднеквадратичное отклонение (СКО)	Указывает на суммарный эффект влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов ВНС.	46,38±1,81 $p_{II}<0,01$, $p_{III}<0,001$	26,00±1,4 $p_I<0,01$, $p_{III}<0,001$	68,56±3,24 $p_I<0,001$, $p_{III}<0,001$

Примечание: p_{I-III} — достоверность по критерию Стьюдента при сравнении значений в группах испытуемых, обозначенных I-III соответственно.

Использование геометрических методов анализа ВРС совместно с методами корреляционной ритмографии позволило получить гистограммы и скатерограммы для трех выделенных групп испытуемых. Выявлено, что у испытуемых со средними значениями индекса напряженности (нормотоников) преобладал первый тип гистограмм (рис. 3-А), у симпатотоников - второй тип гистограмм (рис. 3-Б), а у ваготоников – третий тип (рис.3-В).

А



Б



В

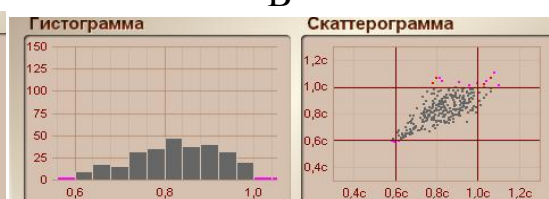


Рис. 3. Интерфейс программы скрининг-диагностики. А - для испытуемого Р., – нормотоника; Б – гистограмма и скатерограмма симпатотоника; В – ваготоника.

Первый тип гистограмм указывает на переходный процесс между преобладанием тонуса симпатического и парасимпатического отделов ВНС [3, 8]. Высокая степень вариативности R-R интервалов указывает на относительно слабую централизацию управления сердечным ритмом, то есть на преобладание автономного контура регуляции.

Второй тип гистограмм характеризует избыточность симпатических влияний. Тот факт, что все значения кардиоинтервалов размещались в четырех диапазонах гистограммы (рис 3-Б), означает высокую степень мобилизации системы кровообращения и высокий уровень ее функционирования у испытуемых, отнесенных к группе симпатотоников. Третий тип указывает на преобладание тонуса парасимпатического отдела ВНС (рис. 3-В).

Аналогичную картину распределения наблюдали по отношению к типам скатерограмм. Так у испытуемых – симпатотоников (рис. 3-Б) выявлено более плотное скопление точек в паттерне скатерограмм, чем у испытуемых первой (рис. 3-А) и третьей (рис. 3-В) групп. Точки в скатерограмме ваготоников имели наибольшую разобщенность и занимали большую площадь (рис. 3-В). Известно [2] что зажатость облака скатерограммы может свидетельствовать о преобладании симпатического отдела ВНС, напротив значительный разброс точек скатерограммы говорит о преобладании влияний блуждающего нерва на синусовый узел и, следовательно, активации парасимпатической нервной системы.

Проведение спектрального анализа модуляционных характеристик биоэлектрических сигналов показало статистически достоверные различия мощности спектров между группами испытуемых.

У нормотоников наблюдалось преобладание высокочастотного LF (65%) над низкочастотным компонентом HF (35%) спектра, у симпатотоников регистрировали значительно большее преобладание LF компонентов спектра над HF (табл. 2) в соотношении 74:26%, а ваготоники напротив характеризовались преобладанием HF компонента над LF (54:46%). Известно, что основной составляющей HF компонента спектра является вагусная активность [2], тогда как LF компонент является количественным маркером симпатической модуляции. [8]. Таким образом, данные о преобладании LF компонента у испытуемых – нормотоников (табл. 2) могут свидетельствовать о значительной активации у волонтеров данной группы симпатических влияний на сердечный ритм.

Полученные нами данные, могут быть дополнены данными сравнения спектральной плотности с данными, представленными в Международном стандарте. Так, выяснилось, что общая мощность спектра у нормотоников значительно меньше эталонной (табл. 2). Из литературных данных известно, что во время симпатической активации тахикардия обычно сопровождается снижением общей мощности спектра, в то время как во время вагусной стимуляции наблюдается обратная картина. Так, снижение общей мощности спектра у студентов – нормотоников может быть связано со значительной активацией центров симпатической регуляции и большим влиянием центрального контура регуляции на сердечный ритм, чем у испытуемых, чьи данные спектрального анализа, представлены в Международном стандарте. Значения общей мощности спектра, полученные у ваготоников, оказались наиболее близки к значениям, представленным в Международном стандарте, в то время как симпатотоники демонстрировали наименьшую мощность спектра и наибольшее отличие от эталонной мощности. Полученные нами данные согласуются с данными, представленными некоторыми другими авторами [7], и могут быть обусловлены индивидуальными особенностями студентов.

Таблица 2.

Сравнительный анализ спектральных характеристик ритмограмм в разных группах испытуемых ($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

Показатели (мс ²)	Группы			Нормальные значения по Международному стандарту
	Нормотоники (I)	Симпатотоники (II)	Ваготоники (III)	
Вклад высокочастотных волн (HF)	497,46±53,66 p _{II} <0,001 p _{III} <0,001	92,85±11,62 p _I <0,001 p _{III} <0,001	1355,99±261,74 p _I <0,001 p _{II} <0,001	975±203
Вклад низкочастотных волн (LF)	910,05±125,45 p _{II} <0,001	264,01±42,10 p _I <0,001 p _{III} <0,001	1173,03±135,11 p _{II} <0,001	1170±416
LF/HF	2,31±0,33 p _{II} <0,01	4,86±1,23 p _I <0,05 p _{III} <0,05	1,72±0,55 p _{II} <0,05	1,5±2,0
Общая мощность спектра (Total)	2041,51±167,72 p _{II} <0,001, p _{III} <0,001	640,72±61,98 p _I <0,001 p _{III} <0,001	4165,20±427,88 p _I <0,001 p _{II} <0,001	3466±1018

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 1.

Данные нейродинамического и фрактального анализов, суть которых заключается в извлечении из приведенных R-R ритмограмм фракталов, позволили судить о характере ритмических процессов организма студентов всех трех групп (рис. 4). Полученные фракталы представлены в виде матриц и гистограмм, которые характеризуют информационное взаимодействие между ритмами сердца.

Визуальная оценка результатов нейродинамического анализа показала наличие значительного количества цветов матрице нормотоников. Для матрицы у симпатотоников было характерно преобладание красных и оранжевых, а ваготоников – зеленых и синих цветов нейродинамической матрицы (рис. 4).

Известно, что нейродинамическая матрица характеризует информационное взаимодействие между ритмами сердца. Отдельные элементы матрицы соответствуют различным окнам экспозиции нейродинамического кода. Цвет элемента определяет степень нарушения структуры кода. Градации цветовой шкалы соответствуют различным степеням нарушения структуры кода от патологического (серые, красные цвета) до оптимального (зеленые, синие цвета).

Как показали наши результаты, ваготоники демонстрировали наиболее оптимальный, а симпатотоники – самый неудовлетворительный набор цветов нейродинамических кодов (рис 4).

Полученные гистограммы представляют собой распределение нейродинамических кодов по степени нарушения их структуры. Испытуемые первой группы характеризовались примерно одинаковым соотношением кодов (рис. 4-А; 5-А), попавших во все три диапазона. Испытуемые второй группы демонстрировали преобладание в гистограмме кодов с нарушенной структурой (рис 4-Б; 5-А), тогда как, для испытуемых третьей группы (рис 4-В; 5-А) характерным

было преобладание кодов с нормальной структурой. Известно [4], что в красную область попадают коды с нарушенной структурой, в желтую – с измененной, в зеленую – коды, структура которых соответствует нормальному функционированию организма (рис. 4-А).

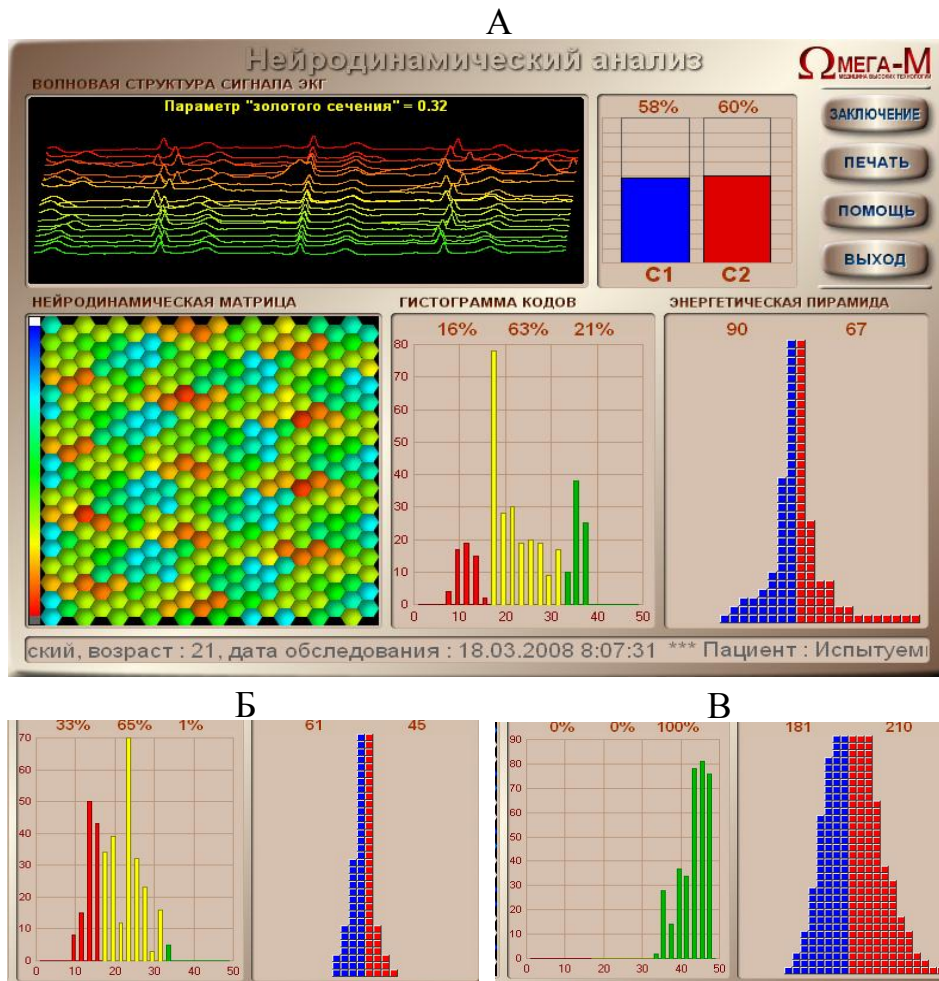


Рис. 4. Примеры интерфейсов программы нейродинамического анализа: А - для испытуемого Р. – нормотоника; Б – симпатотоника; В – ваготоника.

Подобную картину распределения можно было наблюдать и при визуальной оценке энергетических пирамид. Испытуемые – ваготоники (рис. 4-В; 5-Б) демонстрировали наиболее полные и широкие пирамиды в отличие от испытуемых остальных групп (рис 4-А, Б; 5-Б). Известно [4], что энергетическая пирамида – это динамическое отображение энергетического баланса в системах управления на гипоталамо-гипофизарном уровне. Этот компонент регуляции отражает затраты, связанные с синтезом гормонов, необходимых для осуществления регуляторных

функций. Соотношение площадей левой и правой частей пирамиды характеризует динамику анаболических и катаболических процессов. Левая часть пропорциональна времени накопления энергии, правая часть – времени потребления энергии. В целом, чем больше объем пирамиды тем меньше уровень энергетических затрат, что соответствует минимальному участию данного уровня регуляции в управлении.

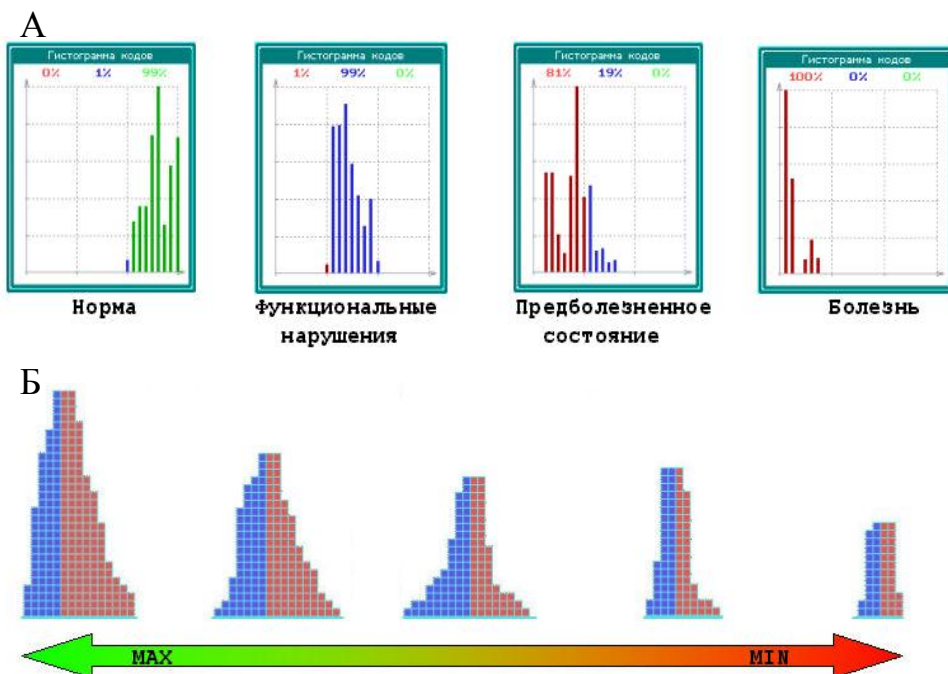


Рис. 4. Примеры интерфейсов программы нейродинамического анализа: А - для испытуемого Р. – нормотоника; Б – симпатотоника; В – ваготоника.

Фрактальный анализ предназначен для выделения и визуальной оценки степени гармонизации биоритмов различных органов и систем организма, имеющих фракталоподобную структуру с целью выявления функциональных и патологических изменений, оценки иммунного статуса организма и прогноза изменения состояния здоровья пациента на сравнительно длительный (до 10 дней) период.

Фрактальный портрет (в центре) строится по биоритмам, выделяемым в процессе регистрации из электрокардиосигнала пациента (рис 6). В окнах, слева на право, приведены эталоны (от 1 до 8), соответствующие различным уровням гармонизации биоритмов, имеющих фрактальную структуру, от максимального – 1 типа (левое окно) до минимального – 8 типа (правое окно). В наших исследованиях у ваготоников было зарегистрировано преобладание 1 и 2 типов, у симпатотоников – 4 и 5 типов; у нормотоников – 2 и 3 типов паттернов фрактального портрета. Известно [5], что фрактальные портреты 1 и 2 типов указывают на гармонизацию биоритмов на всех уровнях модуляции R-R интервалограммы, на высокие

энергетические ресурсы организма, оптимальный баланс энергетического обеспечения и благоприятный прогноз в изменениях состояния здоровья. Фрактальные портреты других типов соответствуют разной степени истощению энергетических ресурсов организма и свидетельствуют о развитии патологических изменений в органах и системах. Таким образом, анализируя характерные типы фрактальных портретов можно заключить, что наиболее оптимальный баланс энергетического обеспечения продемонстрировали студенты – ваготоники (рис. 6-В).

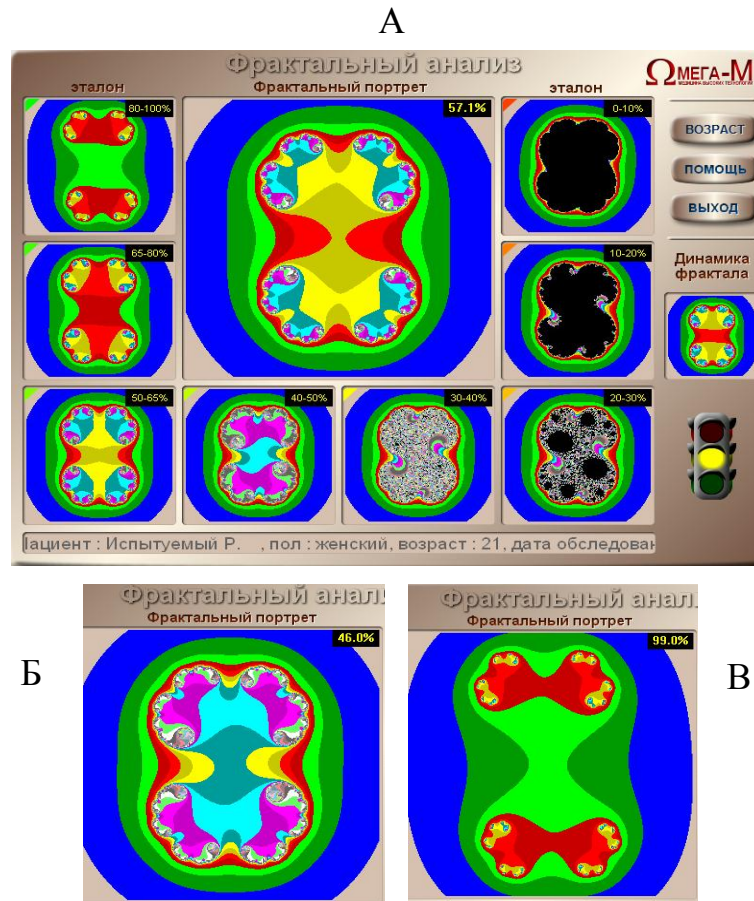


Рис. 6. Примеры интерфейсов программы фрактального анализа: А – для испытуемого Р., – нормотоника; Б – симпатотоника; В – ваготоника.

Для получения информации об активности центрального контура регуляции использовали транспозицию результатов нейродинамического анализа ритмограммы сердца в программу картирования биоритмов мозга.

Применение такого подхода вытекает из представлений о спайковой активности нейронов как генератора волновой структуры управляющего сигнала. Фракталоподобные структуры в динамике сердечной и мозговой деятельности

свидетельствуют, что в каждой из систем находится информация о каждой и может быть выделена с помощью математических методов анализа. При математической обработке ритмограммы мозга выделяются две составляющие: первая (фазовый спектр) представляет собой двухмерное отображение распределения ритмов ЦНС в функциональных пространствах головного мозга и характеризует интегральную активность в этих пространствах (рис. 7; 8-Б); вторая (сплайн карты) – двухмерное отображение, но уже модуляций соответствующих частотных составляющих спектра (рис. 7; 8-А) [5]. Полученные данные дают возможность охарактеризовать два компонента адаптации, так называемых, «быстрого» и «медленного», или нервного и обменного.

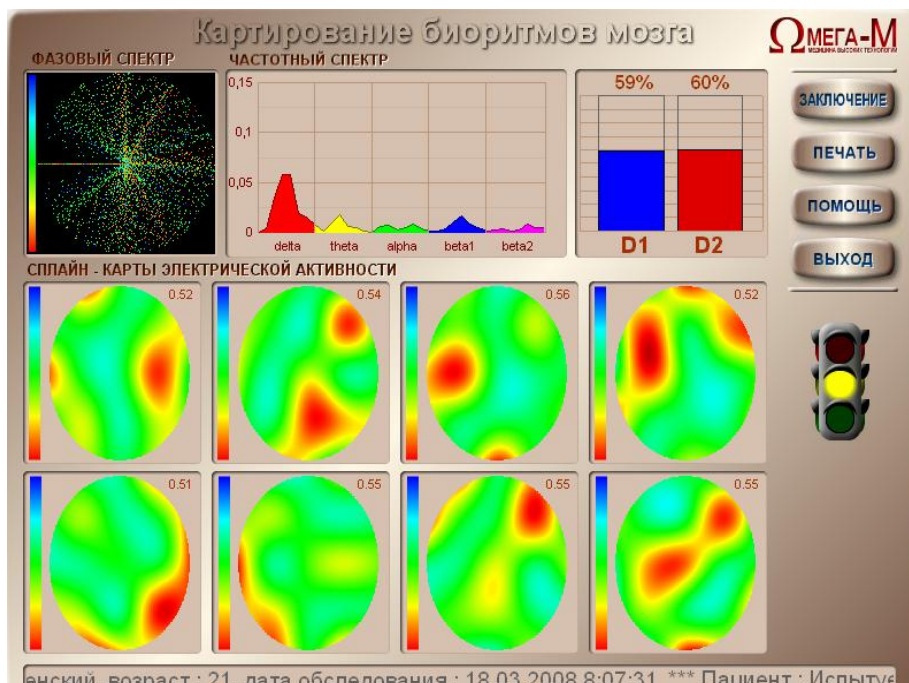


Рис.7. Пример интерфейса программы картирования биоритмов мозга для испытуемого Р. – нормотоника.

Сплайн-карты формируются в результате интерполяции амплитудных значений основных ритмов мозга относительно друг друга и представляют собой матрицы переходов основных ритмов в функциональных пространствах головного мозга (рис. 8-А).

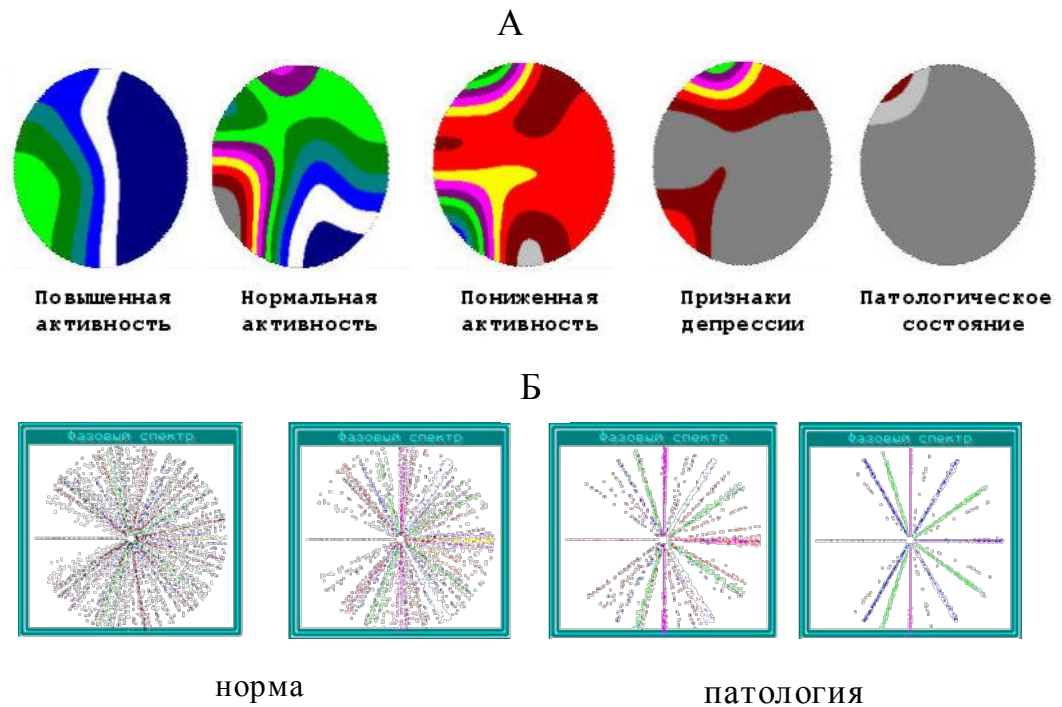


Рис. 8. Примеры сплайн-карт (А) и фазовых секторов (Б) картирования биоритмов мозга.

«Медленный», или обменный, компонент адаптации находит своё отражение в фазовом портрете ритмов головного мозга. Цвета соответствуют различным ритмам, а ширина секторов определяется индексами модуляции соответствующих частотных составляющих спектра (рис. 7; 8-Б). Нормальной активности ЦНС соответствует максимальное цветовое насыщение. При функциональных и патологических нарушениях уровень цветовой насыщенности и ширина лучей фазового портрета уменьшаются (рис. 8-Б).

Наши исследования показали, что для ваготоников и нормотоников был характерен паттерн сплайн-карт, отражающий повышенную и нормальную активность и наиболее полное цветовое насыщение фазовых секторов (рис. 8). У симпатотоников, наоборот, регистрировались паттерны фазовых секторов и сплайн-карт, отражающих пониженную активность и патологическое состояние. Данные оценки являются важнейшей характеристикой состояния системы с самого верхнего уровня регуляции (уровень центральной нервной системы) и в совокупности с интегральными показателями фрактального анализа ритмов сердца (уровень гипоталамо-гипофизарной системы) и вариационного анализа ритмов сердца (уровень вегетативной нервной системы), дают исчерпывающую информацию о состоянии центрального контура регуляции и, в конечном счёте, об адаптационных возможностях организма человека.

Заключительная часть анализа заключалась в формировании сводной таблицы результатов оценки и прогноза показателей функционального состояния (табл. 3; рис. 9), которая дает возможность свести в единое целое информацию со всех уровней регуляции организма испытуемых.

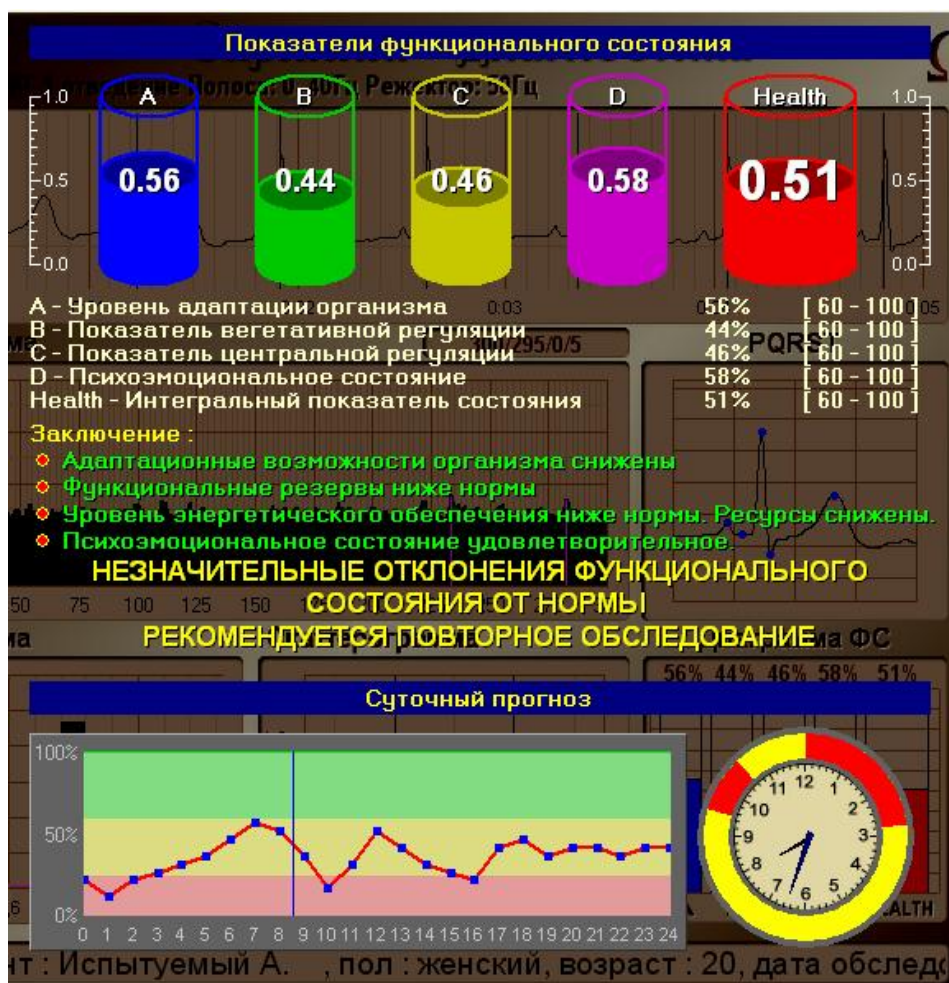


Рис. 9. Пример интерфейса программы динамики и прогноза показателей функционального состояния, у испытуемого А.

Оценка системы регуляции организма дается в пяти вариантах градации от оптимального до неудовлетворительного состояния. Так, симпатотоники характеризовались наименьшими значениями всех интегральных показателей, нормотоники демонстрировали средние значения, а ваготоники наиболее высокие значения интегральных коэффициентов, отражающих уровень функционального состояния (табл. 3).

Таблица 3.
Интегральные показатели функционального состояния организма испытуемых
($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

Показатели	Нормотоники (I)	Симпатотоники (II)	Ваготоники (III)
Уровень адаптации (A)	63,17±2,46 p _{II} <0,001 p _{III} <0,001	26,46±2,73 p _I <0,001 p _{III} <0,001	82,32±3,45 p _I <0,001 p _{II} <0,0
Уровень вегетативной регуляции (B)	65,83±3,12 p _{II} <0,001 p _{III} <0,001	25,88±3,18 p _I <0,001 p _{III} <0,001	94,22±2,21 p _I <0,001 p _{II} <0,0
Уровень центральной регуляции (C)	60,18±2,28 p _{II} <0,001 p _{III} <0,01	27,79±4,1 p _I <0,001 p _{III} <0,001	72,53±1,77 p _I <0,01 p _{II} <0,0
Показатель психоэмоционального состояния (D)	61,01±1,95 p _{II} <0,001 p _{III} <0,001	30,28±3,25 p _I <0,001 p _{III} <0,001	73,26±2,43 p _I <0,001 p _{II} <0,001
Интегральный коэффициент здоровья (Health)	62,55±2,1 p _{II} <0,001 p _{III} <0,001	27,60±2,93 p _I <0,001 p _{III} <0,001	80,58±1,77 p _I <0,001 p _{II} <0,001

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 1.

Таким образом, использование аппаратно-программного метода «Омега-М», основанного на углубленном анализе ритмической активности сердца, дает возможность получить информацию с 4-х основных уровней регуляции функций организма. Известно [5], что живой организм представляет собой многоуровневую, самоорганизующуюся систему с динамической иерархией управления. Каждый уровень такой системы – это самостоятельная система, динамическая организация которой включает в себя все уровни управления. Взаимодействие между ними осуществляется путём обмена информации по каналам прямой и обратной связи. Чем сильнее воздействие на организм, тем более высокий уровень участвует в управлении.

При оптимальной регуляции задействовано минимальное количество уровней системы для обеспечения адаптации организма. Автономная деятельность низших уровней «освобождает» высшие от необходимости постоянно «вмешиваться» в локальные регуляторные процессы. Их включение обусловлено неспособностью последних справиться со своими функциями, когда необходима координация работы нескольких подсистем [5].

Таким образом по результатам наших исследований выделены группы студентов с нарушениями функционального состояния организма, а следовательно нуждающиеся в дальнейших корригирующих мероприятиях. К таким группам относятся, в первую очередь, симпатотоники, и, в меньшей степени, нормотоники. Программно-аппаратный комплекс «Омега-М» позволяет проводить

корректирующие мероприятия, в основе которых лежит метод управляемой дыхательной гимнастики. Значительной особенностью данной методики является индивидуальный расчет параметров управляемого дыхания по ритмограмме, записанной непосредственно перед сеансом. Изучению влияния управляемой дыхательной гимнастики на физиологический статус студентов будут посвящены дальнейшие наши исследования. Однако, основываясь на полученных результатах, можно предположить наличие разнонаправленных реакций у испытуемых с разным исходным уровнем вегетативной регуляции на данное корректирующее воздействие.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенного исследования доказали высокую эффективность применения системы комплексного компьютерного исследования «Омега-М» для оценки функционального состояния организма на различных уровнях регуляции (вегетативном, нейро-гуморальном, центральном) и оценить адаптационные возможности и функциональные резервы организма студентов.
2. Полученные результаты позволили выделить три основные группы студентов: нормотоники (50%), симпатотоники (26 %) и ваготоники (24 %).
3. Анализ полученных характеристик позволяет заключить, что студенты – ваготоники характеризуются наиболее высокими, а симпатотоники – низкими интегральными показателями функционального состояния организма.
4. Преобладание в спектре низкочастотных волн, снижение значений показателя общей мощности спектра, а также низкие значения интегральных характеристик функционального состояния организма у студентов – симпатотоников свидетельствует о неудовлетворительном уровне адаптации физиологических функций испытуемых данной группы.
5. Подобраны условия для индукции каллусогенеза в изолированной культуре листовых эксплантов астрагала шерстистоцветкового (*Astragalus dasyanthus* Pall.) на питательной среде Мурасиге и Скуга, дополненной 2,4-Д (2,0 мг/л), БАП (0,5мг/л) и кинетином (1,0 мг/л).
6. Дана цитологическая характеристика каллусных культур, показано присутствие в них клеток меристематического и паренхимного типов, различающихся по размерам и морфологии.

Список литературы

1. Маргулис А.Р. Значение методов диагностической визуализации изображений для здравоохранения // Информационный бюллетень по вопросам военно-медицинской службы иностранных армий и флотов. – СПб: Изд-во ВМА. – 1995. – № 91. – С. 131-138.
2. Смирнов К.Ю., Смирнов Ю.А. Разработка и исследование методов математического моделирования и анализа биоэлектрических сигналов. – С-Пб, 2001. – 43с.
3. Голофеевский В.Ю. Теоретические основы информационной диагностики заболеваний и преморбидных состояний. – С-Пб, 2001. – 28 с.
4. Обоснование аппаратно-программных методов, предназначенных для скрининг-диагностики внутренних заболеваний и для оценки эффективности лечебно-профилактических мероприятий в системе диспансеризации военнослужащих и пенсионеров МО. Отчет о научно-исследовательской работе. – СПб: Изд-во ВМА С-Пб, 2002 – 77 с.

5. Ярилов С.В. Физиологические аспекты новой информационной технологии анализа биоэлектрических сигналов и принципы технической реализации. – С-Пб, 2001. – 48с.
6. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний.– М.: Медицина, 1997. – 236 с.
7. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения. Иваново: Иван. гос. мед. Академия, 2002.– 290 с.
8. Heart rate variability. Standatds of Measurement, Physiological interpretation and clinical use// Circulation. – 1996. – V.93. – P.1043-1065.

Чуян О. М., Бірюкова О.А., Раваєва М.Ю. Комплексний підхід до оцінки функціонального стану студентів // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2008. – Т. 21 (60). – № 1. – С. 123-139..

Стаття присвячена обґрунтуванню ефективності застосування системи комплексного комп'ютерного дослідження «Омега-М» для експрес - діагностики функціонального стану студентів. Встановлена висока ефективність застосування комплексу «Омега-М» для оцінки функціонального стану організму на різних рівнях регуляції (вегетативному, нейро-гуморальному, центральному) та адаптаційних можливостей і функціональних резервів організму студентів.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, кардіоритмограма, індекс напруги, нормотоніки, сімпатотоніки, ваготоніки.

Chuyan E.N., Birjukova E.A., Ravaeva M.U. Complex approach to estimation of the student's functional condition // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2008. – V.21 (60). – № 1. – P. 123-139.

The Article is dedicated to efficiency motivation of the system of the complex computer study "Omega-M" using for express-diagnostics of the student's functional condition. High efficiency of the using the complex "Omega-M" will Installed for estimation of the functional condition of the organism on different level of regulation (the vegetative, neuro-gumoral, central) and adaptive possibilities and functional reserve of the student's organism.

Keywords: heart rate variability, cardiorhythmogram, index of a strain, subjects with vagal predominance, subjects with sympathetic predominance, normal subjects.

Пост упила в редакцію 11.04.2008 г.