

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
Института мозга человека РАН
доктор медицинских наук, Лауреат
Премии Аничков А.Д.



» декабря _____ 2004г

АКТ

о валидности неинвазивной методики экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма

В период с 01.03.2004 по 01.11.2004 в Институте мозга человека РАН проведены психофизиологические исследования валидности неинвазивной методики экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы (Index regulatly a reserve of cardiovascular system - RRCS) по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма.

Основание для проведения исследований: СОГЛАШЕНИЕ о научно-практическом сотрудничестве между ЗАО Транзас и Институтом Мозга человека РАН от 01.03.2004.

1. Исследования проводились в соответствии с программой и методикой разработанной совместно Институтом Мозга и ЗАО Транзас.
2. Для проведения психофизиологические исследований ЗАО Транзас были представлены:
 - методика экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы (RRCS) по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма;
 - программное обеспечение для IBM PC (WindowsXP), реализующее вышеуказанную методику и обеспечивающее накопление экспериментальных данных в базе данных;
 - аппаратный модуль для ввода длительностей кардиоинтервалов на основе регистрации плетизмограммы с пальца руки;
 - модуль ввода кардиоимпульсов совместно с кардиодатчиком фирмы POLAR, выполненным в виде пояса.

3. **Методика экспресс-диагностики** заключается в оценке регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы человека по сердечному ритму, путем измерения мощности низкочастотной и высокочастотной составляющих спектра динамического ряда кардиоинтервалов, измерения суммарной мощности в низкочастотной и высокочастотной областях спектра динамического ряда кардиоинтервалов. При этом оценку регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы человека проводят по индексу RRCS, вычисляемому по формуле

$$RRCS = \frac{1787.5}{LF + HF} * \frac{LF}{HF},$$

где LF - мощность низкочастотной составляющей спектра динамического ряда кардиоинтервалов,

HF - мощность высокочастотной составляющих спектра динамического ряда кардиоинтервалов,

и при стандартных условиях измерения (покой, лежа на спине) значение индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы для среднестатистического человека считают равным 1.

4. **Цель работы:** Изучение возможностей и ограничений предлагаемой ЗАО «Транзас» методики экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма у здоровых и больных лиц разных возрастных групп.

В число конкретных задач совместных исследований входил сравнительный анализ индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы, определяемого по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма и соизмеримых интегральных, взаимодополняющих параметров сверхмедленной информационно-управляющей системы организма, в том числе параметров, обеспечивающих объективную оценку:

-уровня бодрствования, стрессорной устойчивости и адаптационного ресурса организма, определяемых по устойчивому потенциалу милливольтового диапазона в отведении вертекс-тенар (метод омегаметрии, защищен Авторскими свидетельствами РФ, золотой и 2 серебряными медалями ВДНХ);

-вегетативного, гемодинамического и кислородзависимого энергообеспечения уровня бодрствования, определяемых по интегральным параметрам – вегетативному индексу Кердо (ВИК), минутному объему кровообращения (МОК), коэффициенту Хильдебранта

(КХ), показателю устойчивости к транзиторной гипоксии (по длительности произвольного порогового апноэ при пробе Штанге).

5. Алгоритм проведения эксперимента включал следующие блоки:

-Оценка показателей вегетативного тонуса, центральной гемодинамики и внешнего дыхания. Измерение вегетативных показателей (АД, ЧСС, ЧД) проводится в покое в комфортной обстановке в положении сидя. В протокол обследования включаются измеряемые и расчетные интегральные показатели вегетативного тонуса и центральной гемодинамики (ВИК, МОК, КХ).

-Проводится синхронная регистрация сверхмедленных биопотенциалов (частотная полоса от 0 до 0,05 Гц) в отведении вертекс-тенар в покое (поминутно) измерительной системой и кардиоинтервалов с помощью компьютера в течение 10 минут. На основе двухминутного ряда кардиоинтервалов автоматически рассчитывается индекс регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы.

-После десятиминутной регистрации выше перечисленных интегральных параметров проводится проба Штанге.

Результаты эксперимента, связанные с расчетными параметрами кардиоинтервалов заносятся в компьютерную базу данных, а связанные с обследованием испытуемого, в том числе измеряемые и расчетные показатели сверхмедленных биопотенциалов (СМБП), вегетативные показатели, длительность произвольного порогового апноэ (ППА) при пробе Штанге заносятся в протокол.

По результатам корреляционного анализа показателей СМБП, длительности ППА при пробе Штанге, интегральных вегетативных, гемодинамических показателей (ВИК, МОК, КХ) и индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы определяется наличие и характер корреляционных связей.

На основе анализа результатов эксперимента дается заключение о выраженности корреляционных связей между индексом регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы человека и исследуемыми интегральными физиологическими параметрами уровня бодрствования, его вегетативного, гемодинамического и кислородзависимого энергообеспечения.

6. Анализ результатов исследования. Полученные данные, внесенные в протокол, вводились в компьютер. Анализ результатов осуществляли с использованием стандартных прикладных программ. Исходные данные и показатели степени их валидности приведены в "Приложении".

7. Результаты. В группу испытуемых были включены лица от 12 до 65 лет. По результатам случайной выборки испытуемых установлена корреляционная связь между

индексом регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы и данными омегаметрии в покое на уровне 0.53. Линеаризация индекса за счет операции логарифмирования позволяет повысить корреляционную связь между индексом RRCS и омега-потенциалом в отведении вертекс-тенар до 0.6. Установлена высокая корреляционная связь (0.8) индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы с возрастом обследованных лиц.

По результатам сравнительных исследований показателей индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы и интегральных параметров уровня бодрствования, его вегетативного и гемодинамического обеспечения установлены следующие основные закономерности:

1. Установлено, что **оптимальные значения индекса** в пределах 0.91-1.54 (1.0-2.0) обнаружены у лиц с истинно оптимальным уровнем бодрствования (ОП от -25 до -40 мВ), при сбалансированности механизмов его вегетативного, гемодинамического и кислородзависимого энергообеспечения. Эти лица характеризуются высокой устойчивостью к стрессогенным воздействиям, хорошо обучаются и реализуют обученное.
2. Отклонение индекса от указанных пределов со **снижением** до 0.26-0.79 обнаружено: а) у быстроутомляемых лиц молодого возраста (20-30 лет) с низким и умеренно сниженным (ОП от -12 до -24 мВ) уровнем бодрствования, быстрой истощаемостью механизмов его регуляции, выраженной психоэмоциональной неустойчивостью, при симпатoadренальной направленности вегетативных расстройств (вегето-сосудистая дистония, невротоподобные состояния); б) у быстроутомляемых лиц той же возрастной группы (0.32-0.58) с напряжением механизмов регуляции уровня бодрствования (ОП от -43 до -59 мВ), выраженным психоэмоциональным напряжением и ареактивностью механизмов обеспечения стрессорных реакций, при выраженной парасимпатикотонии (ВИК от -42.9 до -51.8). Указанные лица плохо переносят психические и физические нагрузки, у них имеются трудности в обучении и реализации обученного.
3. **Повышение индекса** (от 1 до 3.10) было обнаружено: а) у лиц молодого возраста (24-32 года) с высоким АД и вегетативными расстройствами по вагоинсулярному типу, при рассогласовании компенсаторных механизмов обеспечения условно «оптимального» уровня бодрствования; б) у молодых быстроутомляемых лиц (31-35 лет) с низким уровнем бодрствования (ОП до -10 мВ), психоэмоциональной неустойчивостью, вегетативно-сосудистыми расстройствами по вагоинсулярному типу, индекс варьировал от 2.33 до 2.5.
4. **Умеренно высокий индекс** регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы (2.67-8.53) был выявлен у быстроутомляемых лиц 52-57 лет с низким уровнем бодрствования

(ОП от -12 до -20 мВ), психоэмоциональной неустойчивостью, вегетативными расстройствами по вагоинсулярному типу (неврозоподобное состояние).

5. **Высокий индекс** регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы (32.5-37.6) наблюдали у больных 64-67 лет с хронической сосудисто-мозговой недостаточностью, при нарушении механизмов вегетативного, гемодинамического и кислородзависимого энергообеспечения уровня бодрствования.

Заключение.

По итогам психофизиологических исследований методики экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы по соотношению сверхмедленных составляющих кардиоритма установлено:

Актуальность применения. В настоящее время продолжает оставаться актуальной проблема сохранения высокого уровня работоспособности, сохранения состояния здоровья и трудового долголетия летчиков гражданской авиации, несмотря на наличие большого количества результатов ранее проведенных многоплановых исследований. Постоянное усложнение авиационной техники с переходом на современные типы воздушных судов сопровождается сокращением числа членов экипажа воздушного судна, с одной стороны, а с другой - увеличением продолжительности полетов. Обеспечение безопасности таких полетов у летчиков существенно повышает уровень интенсивности нервно-психических и эмоциональных нагрузок, а также приводит к возрастанию продолжительности их воздействия на функциональное состояние различных систем организма пилотов в течение всего рабочего времени и, особенно, в период полетного времени.

Известно, что нервно-эмоциональное напряжение и хронический эмоциональный стресс, обусловленные сложностью управления воздушным судном, систематические сдвиги физиологических функций, не соответствующие биологическим ритмам, продолжительная летная нагрузка без полноценного отдыха являются главными причинами развития такого неблагоприятного состояния, как перенапряжение регуляторных систем организма пилотов, сопровождающееся снижением резервных возможностей физиологических систем. Все это обуславливает развитие у данного контингента психосоматической патологии, заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем.

В настоящее время отсутствуют результаты исследований сокращенного по численности экипажа (до двух пилотов) и усиленного экипажа (два пилота и инструктор), выполняющих продолжительные полеты более 8 часов.

В этих условиях продолжают оставаться актуальными вопросы оптимизации труда летного состава на основе совершенствования режима труда и отдыха, оптимальной организации и условий проведения отдыха, профилактических и реабилитационных мероприятий.

Достоинства. Несомненным достоинством предлагаемого индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы является его нормированность, что выражается в совпадении оптимальных значений индекса с интегральными параметрами оптимального уровня бодрствования его вегетативного и гемодинамического обеспечения. Кроме того, единичное оптимальное значение индекса RRCS соответствует экспериментальным данным ($LF=1170$ [мс^2], $HF=975$ [мс^2]), приведенным в работе (Heart Rate Variability Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use// European Heart Journal. – 1996. - V. 17. – p. 354-381), и полученных в стандартных условиях записи (покой, лежа на спине) для большой популяции людей независимо от пола, возраста и других факторов и принимаемых за норму. Значения $LF=1170$ [мс^2], $HF=975$ [мс^2], подставленные в выражение для индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы, дают значение индекса равное 1. Экспериментально доказано, что оптимальные значения индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы находятся в пределах от 1 до 2.

Индекс RRCS может служить индикатором снижения адаптивных резервов организма при астенизации, невротической и невротической симптоматике, эмоциональном напряжении с элементами аффективных расстройств.

Экспериментально установлена корреляционная связь между возрастом и компенсаторно-приспособительными возможностями человека по индексу RRCS на уровне 0.82. Показано, что каждому календарному возрасту соответствует среднестатистическое значение индекса RRCS. Под психофизиологическим возрастом V_{pf} человека, обладающего индивидуальным компенсаторно-приспособительным резервом, понимается такой календарный возраст человека, среднестатистический уровень резерва адаптации которого соответствует регуляторному резерву сердечно-сосудистой системы. Психофизиологический возраст V_{pf} определяют по формуле

$$V_{pf} = -16.923 + 40.234 * SS \text{ [год]},$$

где

$$SS = 0.215 * \ln(S) + 1.$$

Возраст, рассчитанный на основе индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы, будет являться для данного индивидуума психофизиологическим и будет определять уровень компенсаторно-приспособительных возможностей его

организма. Последнее имеет большое практическое значение, поскольку наличие объективно зарегистрированной положительной разницы между психофизиологическим и календарным возрастом свидетельствует об имеющемся снижении или нарушении соматического или психологического здоровья.

Использование методики экспресс-диагностики, учитывающей особенности психофизиологического обеспечения деятельности человека-оператора, обеспечивает возможность: а) сравнительной оценки изменений психофизиологического состояния отдельного индивидуума и группы людей; б) улучшать сравнение деятельности пилотов, работающих на различных типах воздушных судов; в) определять рейтинг пилотов по качеству вождения воздушного судна. Обеспечивает возможность получения ранее несравнимых характеристик: какой из пилотов является лучшим.

При осуществлении контроля психофизиологического состояния у группы людей на основе значений индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы можно ранжировать психофизиологическое состояние и приспособительные возможности человека.

Использование индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы позволяет: а) прогнозировать качество деятельности пилота на тренажере в условиях специфических рабочих перегрузок; б) оценивать направленность изменений его функционального состояния в процессе управления летательным аппаратом; в) определять способность организма мобилизовать и экономно расходовать адаптационные ресурсы. Показатели индекса RRCS позволяют оценивать состояние напряжения и утомления пилота во время тренировочных занятий на тренажере, влияние эргономических особенностей панелей управления и фаз полета.

Основная цель этих оценок заключается в выявлении внутренних резервов и снижении нагрузок на пилота, в более точном анализе пилотной динамики освоения новой техники и ее усовершенствования с учетом динамики полета. В условиях тренировочного процесса эти оценки позволяют скорректировать методы и объемы тренировок для отдельных процедур тренировочного задания, объективно оценить качество проведения тренировки на основе результатов операторской деятельности, выявить критические ситуации, связанные с состоянием пилота, при моделировании летных происшествий.

Использование методики экспресс-диагностики индекса регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы в сочетании с интегральными параметрами вегетативного тонуса, центральной гемодинамики и устойчивости к транзиторной гипоксии существенно повышает точность и объективность:

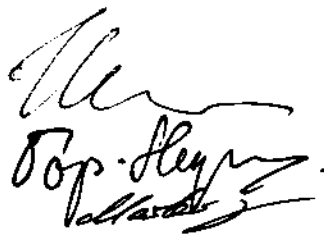
- оценки эффективности оптимизации визуальных интерфейсов, эргономических решений, относящихся к рабочему месту пилота и организации его работы, на основе сравнения физиологических затрат организма;
- отбора пилотов для выполнения специальных заданий и ранжирования во время тренировочных полетов на тренажере;
- исследования различных вопросов динамики полета воздушных судов с летчиком в контуре управления на различных режимах полета с учетом влияния человеческого фактора на точность и эффективность выполняемых операций и процедур;
- определения эффективности новых программ подготовки летного состава;
- прогнозирования и предупреждения аварийные и внештатных ситуаций;
- прогнозирования индивидуальных периодов снижения работоспособности и разработки оптимальных графиков планируемых тренировочных полетов на тренажере.

Индекс регуляторного резерва сердечно-сосудистой системы может быть использован при создании новых методик оперативного контроля операторской деятельности на основе количественных методов оценки сложности задач, индивидуальных способностей и психофизиологического состояния пилота.

Индекс RRCS может служить эффективным физиологическим параметром для контроля и управления процессом психологической разгрузки и донологической диагностики патологических изменений в функциональном состоянии человека.

Научный руководитель
Зав. лабораторией., д.б.н.,
профессор, Лауреат
Гос. Премии СССР

Исполнители:
Некрасов Б.Б.
Матвеев Ю.К. , нс, кбн
Шапгилей М.А., мнс



Илюхина В.А.