

УДК 599.88.+ 612.134.2+612.821.3+612.821.6+612.833.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА РЕБЕНКА 4–5 ЛЕТ И ШИМПАНЗЕ В ПРОЦЕССЕ ЦЕЛЕДОСТИЖЕНИЯ

© 2007 Т.Г. Кузнецова,¹ М.В. Радченко,² Е.А. Родина,³
С.Д. Солнушкин,¹ В.Н. Чихман,¹ В.Т. Шуваев¹

Достижение цели и стремление к ней — это динамичное интегральное функциональное состояние, где реализация каждого последующего поведенческого цикла сопровождается реакциями активационных систем — ориентировочной, сосредоточением, положительными или отрицательными эмоциями, имеющими собственные сердечно-сосудистые паттерны. В сравнительно-физиологическом эксперименте выявлена сходная четкая корреляция между включением активационных систем у детей и шимпанзе и динамическими изменениями скаттерограммы, отражающими перестройку центральных и собственных механизмов регуляции сердечного ритма в процессе достижения цели. Наглядность изменения их формы, площади и расположения на плоскости координат позволяют в реальном масштабе времени видеть и оценивать динамику механизмов регуляции сердечного ритма и, следовательно, функционального состояния ребенка, регулировать степень эмоциональной нагрузки — трудности задания в ходе его выполнения, а при необходимости экстренно менять программу эксперимента (обучения), уменьшая или увеличивая нагрузку, предупреждая развитие стресса. Дальнейшие исследования позволят создать реальные условия для выполнения прогностических оценок функционального состояния ребенка дошкольного возраста.

Введение

Основа интеллекта и образованности человека закладывается в первые годы жизни — от рождения до 4–5 лет. Обучение и воспитание именно в этот период имеет решающее значение для всей будущей жизни ребенка. Однако раннее обучение имеет как свои положительные, так и отрицательные стороны. Если повышенная сензитивность ребенка к восприятию нового и большого объема информации помогает ему быстро и успешно усваивать ее, то нагрузки, не соответствующие индивидуальным психофизиологическим и физическим особенностям малыша, нередко приводят к

¹Кузнецова Тамара Георгиевна (tkuznets@infran.ru), Солнушкин С.Д., Чихман В.Н., Шуваев В.Т., Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, набер. Макарова, 6.

²Радченко Мария Владимировна, Кузьмина Вера Ефимовна, кафедра физиологии человека и животных Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

³Родина Е.А., ГДОУ №81, Санкт-Петербург, Россия.

нарушениям в его развитии. Отсюда вопросы оптимизации процесса обучения и воспитания требуют разработки анализа и своевременной диагностики функционального состояния ребенка в процессе познания.

Наиболее четко и тонко на изменения функционального состояния организма реагируют сердечный ритм (СР), его вариабельность (ВСР) [1]. Он адекватно и градуально отражает динамику эмоционального напряжения регуляторных механизмов [2,3,4], но его анализ сопряжен с длительными вычислениями и производится, как правило, **после** выполнения задания.

Необходимость детального анализа комплексного поведенческого акта, организованного по принципу полистемности, побудила нас к поиску математических методов оценки сердечного ритма, позволяющих отслеживать динамику напряженности активационных систем (системы эмоций, сосредоточения-внимания, ориентировочного рефлекса) и сравнение характеристик регистрируемых параметров в реальном масштабе времени.

Таковым, с нашей точки зрения, может быть геометрический метод оценки сердечного ритма [1,5,6,7,8]. В отсутствии внешнего раздражителя скаттерограмма характеризуется стабильностью концентрации графического отображения интервалов R-R. "Рассыпание" ее во время наркоза — плохой прогностический признак. Это позволяет использовать этот метод в клинике интенсивной терапии и при диагностике заболеваний сердца [9,10 и др.].

В то же время, динамичность локализации на плоскости, форма и размер скаттерограммы (аттрактора) дает визуальное представление о напряженности активационных систем в данный конкретный момент исследования [11,12,13].

В дальнейшем не исключается оценка комплекса таких показателей, как аритмия, вариабельность, надежность и напряженность механизмов регуляции СР, отражающие изменения функционального состояния организма при выполнении испытуемыми задач различной степени сложности [14].

Учитывая актуальность проблемы раннего обучения детей дошкольного возраста, в работе были поставлены задачи: 1) найти корреляцию между сложностью выполняемой задачи и визуальным отражением степени напряженности активационных систем мозга ребенка, 2) найти корреляцию между сложностью выполняемой аналогичной задачи и визуальным отражением степени напряженности активационных систем мозга шимпанзе и 3) провести сопоставление и сравнительный анализ динамичности скаттерограммы в ходе решения одинаковых по степени сложности экспериментальных задач у детей и шимпанзе, учитывая, что антропоиды являются наиболее удобной природной моделью для исследования психофизиологии ребенка на ранних этапах его развития.

1. Методика

Исследование проведено на 25 детях 4–5 лет, 4 детенышах и 4 взрослых шимпанзе с использованием методики приближающейся цели [15]. Экспери-

ментальная установка состояла из ленты транспортера, на которую на расстоянии 500 мм от испытуемых ставилась цель-приманка (конфета), кнопки для его запуска у испытуемого и пульта переключения скоростей (250, 125, 50, 25 и 10 мм/с) у экспериментатора.

Кроме манипуляций с кнопкой испытуемого, направленных на достижение цели, должно было быть обеспечено интерактивное участие экспериментатора для управления ходом эксперимента в зависимости от оперативного анализа текущих результатов. Это, в свою очередь, требовало автоматизации эксперимента, для чего была создана измерительно-вычислительная система, где осуществлялись: 1. регистрация электрофизиологических сигналов (ЭКГ), снимаемых с испытуемого; 2. сигналов, отражающих выполнение испытуемым различных действий; 3. сигналов, подаваемых экспериментатором для фиксирования различных эмоциональных состояний испытуемого 4. вычислительная обработка сигналов в ходе эксперимента и отображение ее результатов в реальном времени 5. архивация результатов опыта вместе с сопроводительным протоколом в памяти ЭВМ для отсроченной обработки.

Эксперимент состоит из нескольких серий, включающих до 10 записей. Начало каждой записи определяется эмоциональным состоянием испытуемого и осуществляется экспериментатором нажатием кнопки "пуск" на графическом интерфейсе. Конец записи определяется либо временем накопления, заданным экспериментатором, либо — принудительно нажатием кнопки "стоп". Максимальная длительность записи равна 10 мин. По окончании записи данные автоматически архивируются вместе с сопроводительной информацией на жестком диске в файле с именем `poname.txt`. Файл может содержать до 10 записей, которые сохраняются под любым удобным экспериментатору именем.

Для регистрации эмоциональных состояний (всего двенадцать состояний) использовались клавиши клавиатуры компьютера (от 0 до 9, Q, W), а для фиксации экстренной отметки, подаваемой экспериментатором с выносной кнопки, — еще один из TTL — входов АЦП. АЦП обеспечивало различные виды обмена с ЭВМ (программный, с прерыванием программы, в режиме прямого доступа к памяти) и был ориентирован на подключение к магистрали ISA [16].

В программе предусмотрена регистрация сердечного ритма, которая заключалась в измерении и анализе одного канала кардиосигнала, снимаемого с испытуемого во 2-м грудном отведении (aVL), и осуществлялась по одному из аналоговых каналов АЦП. Графический интерфейс содержит инструменты (кнопки, стрелки, окна) для калибровки регистрируемого кардиосигнала, т.е. установки амплитудного порога, задающего уровень амплитуды фиксации импульсов сердечного ритма; и окна для заполнения различных разделов протокола (имя испытуемого, пол, возраст, параметры эксперимента и т.д.). Ранее записанный файл можно открывать для

просмотра и передачи через буфер обмена в другие приложения Windows, например Excel, для последующей обработки.

Для уменьшения влияния на результаты измерений шума, присутствующего в кардиосигнале, предусмотрено выполнение цифровой фильтрации входного сигнала. Графический интерфейс включает радиогруппу индикаторов, обеспечивающую выбор одной из взаимоисключающих опций — ввод сигнала с фильтрацией или без нее. Для фильтрации сигнала применяется реализация рекурсивного цифрового фильтра второго порядка. Используемая программа (Digital Filter Design System – QEDesign 1000, Windows Version Release 3.04) позволяет выбрать вид (полосовой, низкой или высокой частоты, пробка), тип фильтра (Бесселя, Баттерворта, Чебышева, эллиптический) и рассчитать, исходя из задаваемых параметров, коэффициенты нужного нам цифрового фильтра [19].

$$y_n = \sum_{k=0}^M b_k x_{n-k} - \sum_{k=1}^N a_k y_{n-k}$$

Представления о биологических объектах, как открытых, нелинейных системах, обусловили использование динамических методов обработки R-R интервалов ЭКГ [8,18,19,20,21]. Метод кардиоритмографии дает визуальное представление о динамике интервалов R-R в процессе реализации задания, но неудобен в эксперименте. Корреляционная ритмография, основанная на анализе геометрических параметров скаттерограммы (рис. 1), позволяет видеть перестройку работы активационных систем мозга, симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, центральных и автономных механизмов регуляции сердечного ритма в реальном масштабе времени за счет перемещения "облака" аттрактора по биссектрисе на плоскости координат и изменения его размеров и формы [11,12,13].

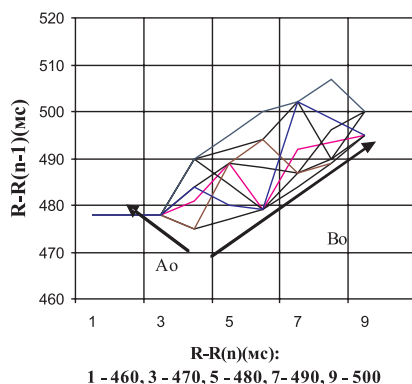


Рис. 1. Фрагмент скаттерограммы. Обозначения: по оси X – последующий интервал R-R, мс, по оси Y – текущий интервал. R-R, мс. A_0 – величина аритмии, B_0 – величина вариабельности

Последующая математическая обработка позволяет оценить формирование прямых и косвенных комплексных показателей деятельности сердечно-

го ритма при изменении функционального состояния испытуемого в процессе различной деятельности.

Прямые показатели:

- а) показатель variability сердечного ритма $B = B_0 \times \cos 45^\circ$, где B_0 – длина аттрактора;
- б) показатель аритмии $A = A_0 \times \cos 45^\circ$, где A_0 – ширина аттрактора;
- в) среднее значение R–R интервала – X_{R-R} .

Косвенные показатели:

- а) коэффициент формы аттрактора – $k_1 = B/A$;
- б) показатель напряженности сердечного ритма – $K_1 = B/A - 1,618$, где число 1,618 – физическая константа, характеризующая форму аттрактора для "базового" золотого R–R интервала. $R_{зол2}$. (детеныш шимпанзе и ребенок) = $R_{зол1} = 952$ мс (взрослый шимпанзе и человек) / 1,618 = 589 мс [18,19,20,22,23]. Положительное значение K_1 соответствует вариативной напряженности, отрицательное – аритмической;
- в) показатель надежности – K_2 – степень отклонения сердечного ритма (X_{R-R}) от "базового" золотого ($R_{зол.}$). В случае, если $X_{R-R} < R_{зол.}$, $K_2 = X_{R-R}/R_{зол.}$, если $X_{R-R} > R_{зол.}$, $K_2 = R_{зол.}/X_{R-R}$ и, наконец, если $X_{R-R} = R_{зол.}$, $K_2 = 1$.

Сердечный ритм проанализирован: 1) в исходном состоянии после наложения кардиоэлектродов на грудь испытуемым и их успокоения, 2) при сосредоточении внимания на приближающейся цели, 3) при возникновении эмоционально положительных реакций при достижении цели с высокой скоростью и 4) при возникновении эмоционально отрицательных реакций при достижении цели с низкой скоростью. Впервые при изучении механизмов достижения цели у шимпанзе указанный метод оценки сердечного ритма был применен нами [10].

Достоверность оценки динамики сердечного ритма и изменения поведенческих реакций проводилась с помощью программы "Statistica (Statsoft.Ink.99)" с использованием t-критерия Стьюдента.

2. Результаты исследования

При достижении цели, приближающейся со скоростью 250 мм/с, в поведении детей преобладал спокойный эмоционально положительный настрой. Они ритмично постоянно нажимали на кнопку, в результате чего коэффициент продуктивности составил 1,0, а частота сердечных сокращений (ЧСС) достоверно ($P < 0,05$) уменьшилась относительно исходного состояния. Незначительно снизилась variability CP (B) и увеличилась аритмичность (A). при этом показатель напряженности (K_1) регуляторной системы сердца снизился, а показатель надежности (K_2) повысился.

При сосредоточении внимания на цели, движущейся со скоростью 125 мм/сек, дети продолжали спокойно нажимать на кнопку, держа ее в поле зрения. Иногда комментировали словами "Что медленно едет!" КП составил 0,95 на фоне достоверного учащения CP относительно предыдущего состо-

яния, приблизившись к исходной величине. При этом вариабельность (В) сократилась и возросла аритмичность (А) СР. Показатель напряженности (К1) приобрел отрицательное значение, т.е. с вариативного поменялся на аритмический, а показатель надежности (К2) вернулся к исходной величине.

При приближении цели, двигающейся со скоростью 25 мм/с, практически все дети отворачивались от цели, закусывали губы, почесывались и даже отказывались от продолжения эксперимента, что свидетельствовало о нарастающем негативном состоянии. Резко изменились тактики и способы манипуляции с кнопкой. Они меняли пальцы, которыми нажимали на кнопку, увеличивали степень нажатия, нередко нажимали всей ладонью или двумя руками и даже всем туловищем пытаясь таким образом ускорить приближение цели. Коэффициент продуктивности снизился до 0,3.

Отрицательное реагирование на низкую скорость сопровождалось достоверным сокращением интервалов R-R ($P < 0,01$) — учащением сердечного ритма — относительно всех предыдущих состояний, вариабельность (В) СР не изменилась, а его аритмичность (А) несколько сократилась. Показатель напряженности — K_1 , сохраняя отрицательное значение, снизился почти в 1,4 раза, а показатель надежности — K_2 сократился на 10% относительно исходного состояния и сосредоточения (табл. 1).

Сходную картину изменения поведенческих, инструментальных и сердечно-сосудистых реакций мы наблюдали и у шимпанзе в аналогичной экспериментальной ситуации не зависимо от их возраста и пола, хотя и были некоторые индивидуальные отличия.

Так, при достижении цели, приближающейся со скоростью 250 мм/с, у них преобладал эмоционально положительный настрой. Они спокойно и ритмично нажимали на кнопку одним пальцем, издавали контактные или пищевые звуки, не реагировали на внешние раздражители (телефонные звонки, разговор, перемещение сотрудников).

Таблица 1

**Усредненные показатели обработки скаттерограмм
у детей 4–5 лет в процессе достижения цели**

Состояние, реакция	В (мс)	А (мс)	К1	К2	X_{R-R} , (мс)
Исходное состояние	$57,5 \pm 3,5$	$27,7 \pm 8,0$	$0,46 \pm 0,07$	$0,87 \pm 0,1$	$515,9 \pm 16,9$
эмоционально положительная реакция (скорость 250 мм/с)	$51,5 \pm 6,3^*$	$31,3 \pm 1,8^*$	$0,027 \pm 0,18^{**}$	$0,93 \pm 0,16$	$549,0 \pm 12,5^*$
сосредоточение	$48,5 \pm 2,4^{**}$	$39,8 \pm 0,8^{**}$	$(-0,4) \pm 0,1^{**}$	$0,86 \pm 0,021$	$510,5 \pm 9,2^*$
эмоционально отрицательная реакция (скорость 25 мм/с)	$48,07 \pm 11,1^*$	$35,65 \pm 2,7^*$	$(-0,28) \pm 0,27^{**}$	$0,79 \pm 0,05$	$467,3 \pm 18,6^{**}$

КП составлял 0,95. Средняя продолжительность интервалов R-R незначительно возросла относительно исходного состояния (табл. 2).

Таблица 2

Усредненные показатели обработки скаттерограмм шимпанзе в процессе достижения цели

Состояние, реакция	B, (мс)	A, (мс)	K1	K2	R, (мс)
состояние после усаживания в кресло (фон)	$48,0 \pm 3,5$	$24,0 \pm 28,0$	$0,32 \pm 0,01$	$0,840 \pm 0,012$	$495,0 \pm 12,3$
эмоционально положительная реакция (скорость 250 мм/с)	$41,5 \pm 6,3$	$21,3 \pm 3,8$	$(-0,42) \pm 0,03$	$0,88 \pm 0,1^*$	$519,0 \pm 1,13$
сосредоточение (собираение пирамиды)	$17,4 \pm 2,4$	$14,8 \pm 0,8$	$(-0,32) \pm 0,012$	$0,864 \pm 0,01^*$	$509,0 \pm 0,97^*$
эмоционально отрицательная реакция (скорость 25 мм/с)	$39,9 \pm 11,1$	$28,5 \pm 4,7$	$(-0,22) \pm 0,011$	$0,808 \pm 0,025^{**}$	$476,0 \pm 0,33^{**}$

Вариабельность и аритмичность СР снизились, показатель напряженности регуляторных систем сердца приобрел отрицательное значение, т.е. появилась тенденция перехода напряженности (K1) с вариативной на аритмическую, а показатель надежности (K2) возрос на 5%.

В момент сосредоточения на движущейся со скоростью 125 мм/сек цели, шимпанзе слегка замирали, внимательно следили за приближающейся прищипкой, продолжая ритмично нажимать на кнопку. Вокализация отсутствовала. КП составлял 0,8–0,9. Сократились относительно предыдущего состояния все показатели, отражающие механизм регуляции сердечного ритма.

При изменении скорости на низкую у всех шимпанзе усилилась потливость, появились почесывания, отвлечения от работы и частичные отказы от деятельности. Резко изменилась тактика нажатий на кнопку и способы манипуляции с ней. Шимпанзе нажимали на кнопку более резко, меняли пальцы, нажимали кулаком, зубами и даже ногами. КП не превышал 0,3–0,25. Все это свидетельствовало о нарастании отрицательного эмоционального напряжения.

Средняя продолжительность интервалов R–R достоверно сократилась относительно всех предыдущих состояний. Вариабельность (B) и аритмичность (A) СР возросли соответственно более, чем в 2 раза относительно предыдущего состояния, а показатели напряженности и надежности сократились.

В табл. 1 приведены усредненные данные изменения сердечного ритма у детей, а в табл. 2 — у шимпанзе.

На рис. 2 и в табл. 3 представлены наиболее демонстративные скаттерограммы и их числовые характеристики у детей и шимпанзе, отражающие

этапы изменения состояния регуляторных механизмов СР в исходном состоянии (а), при достижении цели, приближающейся с высокой скоростью (250 мм/сек) — положительная эмоциональная реакция (б), в момент сосредоточения внимания (в) при слежении за целью и при достижении цели, приближающейся с низкой скоростью (25 мм/сек) — отрицательная эмоциональная реакция (г).

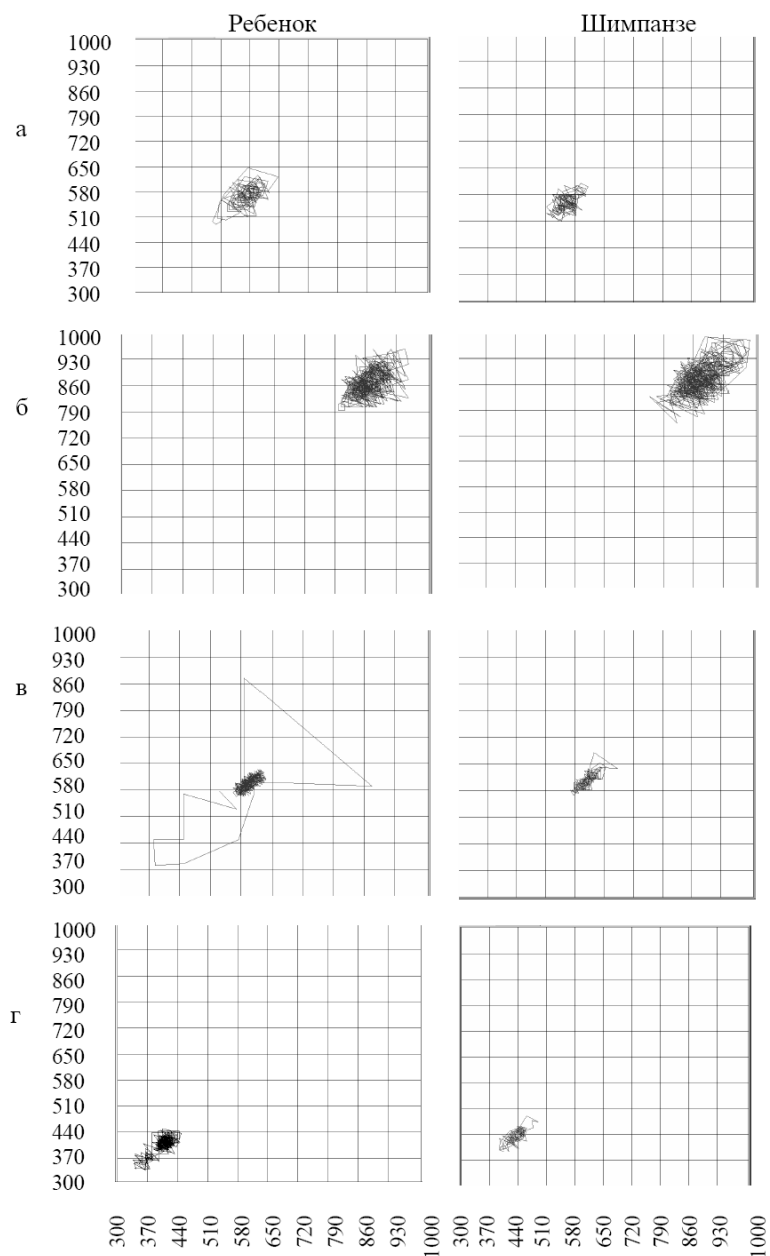


Рис. 2.

Видно, что в исходном состоянии и у ребенка, и у шимпанзе скаттерограмма имеет вид достаточно плотного облака, несколько вытянутого в центре биссектрисы, перекрывающего центр плоскости координат у ребенка в диапазоне интервалов R–R 605–690, у шимпанзе — 520–605 мсек (рис. 2).

При доминировании положительной эмоциональной реакции и у детей, и у шимпанзе скаттерограмма оказалась выше центра плоскости координат, сместившись в верхний правый квадрант.

При спокойном сосредоточении на цели на эмоционально положительном фоне "облако" аттрактора вновь оказалось в центре плоскости координат, как и в исходном состоянии, но оно сжалось у детей и у шимпанзе.

И, наконец, при возникновении отрицательной эмоциональной реакции в ответ на предъявление низкой скорости "облако" аттрактора в обоих случаях спустилось по биссектрисе угла в левый нижний квадрант, почти к началу плоскости координат.

Данные табл. 3 свидетельствуют о близости размерности каждого "облака" и разницы между максимальной и минимальной величиной интервала R–R, характеризующих различные состояния у ребенка и шимпанзе.

Таблица 3

Изменение величины аттрактора у ребенка и шимпанзе при различных функциональных состояниях в процессе реализации достижения цели

Состояние	Испытуемый	Диапазон RR интервалов, мсек	Разность между максимальной и минимальной величиной RR интервалов (Δ , мсек)	Максимальный и минимальный диаметры "облака" аттрактора, мм
исходное	Ребенок	605–690	85	17/16
	шимпанзе	520–605	85	20/16
Положительная эмоция	Ребенок	800–930	130	40/20
	шимпанзе	840–965	140	40/18
сосредоточение	Ребенок	510–650	75	17/16
	шимпанзе	510–620	70	20/16
Отрицательная эмоция	Ребенок	400–500	60	14/9
	шимпанзе	400–480	60	17/6

Таким образом выяснилось, что у детей и шимпанзе при активации систем положительных, отрицательных эмоций и сосредоточения интервалы R–R оказывались примерно в одних и тех же диапазонах.

Некоторые различия объясняются тем, что у шимпанзе, в отличие от группы детей, была неоднородная возрастная группа. Близкие значения имела не только разность между максимальными и минимальными значениями интервалов R–R, но и величина самого "облака" в каждом из анализируемых случаев.

Индивидуальные скаттерограммы ребенка и шимпанзе, характеризующие различные состояния активационных систем в процессе достижения цели. Обозначения: а – исходное состояние, б – эмоционально положитель-

ная реакция, в – реакция сосредоточения, г – эмоционально отрицательная реакция. Цифры горизонтальные и вертикальные – интервалы R–R мсек.

3. Обсуждение

Итак, в работе еще раз подтверждены факты, полученные ранее на шимпанзе, о том, что высокие скорости достижения цели, активируя систему положительных эмоций, улучшают процесс целедостижения. Использование низких скоростей достижения цели не только снижает продуктивность инструментальной деятельности и ухудшает обучение, но затормаживает и само стремление к ее достижению. Аналогичным образом действует и экстренное введение высоких скоростей после низких. За счет снижения эмоционального напряжения и усиления мотивации достижения улучшался процесс достижения цели [2,24]. В наших предыдущих работах было показано, что после нескольких тренировок, когда низкие скорости перемежались с высокими, шимпанзе справлялись с заданием в ситуации, когда даже мало значимая цель (например, деревянная фишка) находилась от них на расстоянии 1 м (1000 мм), а скорость движения составляла 5 мм/сек, коэффициент продуктивности (КП) составлял 0,3–0,4 (КП инструментальной реакции в данной ситуации является количественным выражением мотивации достижения [2,4]). Это согласуется с представлениями ряда авторов о роли эмоций в организации обучения [25–29]

Реализованный вариант автоматизации поведенческого эксперимента позволяет экстренно менять программу эксперимента в реальном масштабе, уменьшая или увеличивая нагрузку путем изменения реальной скорости движения цели в зависимости от состояния испытуемого. При этом после 2–3 пердъявлений средних и/или низких скоростей появляется возможность прогнозировать способность к достижению цели у каждого конкретного индивида, т.е. определять его целеустремленность [15] а при необходимости и тренировать.

Наряду с возможностью коррекции мотивации достижения цели автоматизация эксперимента позволила более подробно проанализировать и вегетативное обеспечение процесса целедостижения.

Установлено, что сосредоточение, положительные и отрицательные эмоциональные реакции различаются не только по средней продолжительности интервалов R–R, что согласуется с ранее полученными фактами [14,15,25], но и по таким показателям, характеризующим скаттерограмму ребенка, как вариабельность и аритмия сердечного ритма, напряженность и надежность функционирования регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы.

Сравнение индивидуальных скаттерограмм антропоида и ребенка (класс приматов) показало однонаправленность в их изменении, где в ходе одного эксперимента в реальном масштабе времени видны перестройки механизмов регуляции СР, отражающие реакции саморегуляции, включение активаци-

онных систем мозга и взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Независимо от вида испытуемого для спокойного эмоционально положительного состояния характерны нормосистолия, относительно высокая надежность механизмов регуляции СР и средние показатели его вариабельности, аритмии, напряженности (В, А, К1), тогда как эмоционально отрицательное состояние у всех приводило к учащению ритма (тахисистолии), повышению показателей В, А и К1 с явной тенденцией в направлении к смене вариативной напряженности на аритмическую, снижению его надежности.

Иными словами, и у шимпанзе, и у ребенка изменение знака эмоции в процессе обучения достижению цели не только приводит к динамическим перестройкам в регуляции сердечного ритма, определяемым степенью нагрузки, но при резком увеличении этой нагрузки (в данном случае медленной скоростью приближения цели) снижают надежность работы механизмов его регуляции.

Однонаправленность усредненных математических характеристик скаттерограмм у детей и шимпанзе свидетельствуют о сходных механизмах, управляющих этими процессами в ходе достижения цели.

Снижение вариабельности СР свидетельствует о сдвиге вегетативного баланса в сторону доминирования симпатической вегетативной нервной системы, что согласуется с данными [1,6,7] и нашими собственными результатами [2], полученными на шимпанзе. Переход регуляции с вариативного типа на аритмический (изменение знака на отрицательный), вероятно, свидетельствует о преобладании автономного контура в механизме регуляции СР в процессе достижения цели, приближающейся с различными скоростями, учитывая, что используемая методика исключает какую-либо интеллектуальную нагрузку.

Использование аттракторного метода анализа сердечного ритма испытуемого дает возможность перейти от интегрального анализа к дифференцированному с проведением сравнительного анализа эмоциональных и сердечно-сосудистых реакций в отдельные эпизоды эксперимента в рамках отдельно взятого вида деятельности или поведенческой реакции, визуализируя происходящие изменения у приматов. Динамические изменения скаттерограммы, отражающие перестройку центральных и собственных механизмов регуляции сердечного ритма, позволяют своевременно визуализировать, а следовательно и диагностировать изменение состояния испытуемого во время любой деятельности независимо от вида испытуемого (ребенок, человекообразная обезьяна) и его возраста, проводить диагностику текущего изменения функционального состояния регуляторных механизмов СР.

Таким образом, используемая методика позволяет количественно определять стремление (мотивацию) к достижению цели.

Автоматизация самого эксперимента дает возможность экстренного изменения программы предъявления скоростей, т.е. усиления или снижения

трудности задания и, следовательно, снижения эмоциональной напряженности испытуемого.

Дальнейшие исследования позволят создать реальные условия для выполнения прогностических оценок функционального состояния ребенка дошкольного возраста, а однонаправленные изменения поведенческих реакций и механизма регуляции сердечного ритма шимпанзе позволяет использовать их в целях изучения приспособительных функций организма ребенка к эмоциональным и интеллектуальным нагрузкам

В целом, появляется возможность перейти от интегрального анализа функционального состояния испытуемого после эксперимента к дифференцированному с проведением сравнительного анализа эмоциональных и сердечно-сосудистых реакций в отдельные эпизоды исследования в рамках отдельно взятого вида деятельности или поведенческой реакции, визуализируя изменения со стороны механизмов регуляции сердечного ритма, происходящие в процессе достижения цели в реальном масштабе времени, а при необходимости экстренно менять программу эксперимента, уменьшая или увеличивая нагрузку, не допуская срыва ВНД, стресса, вызванных повышением трудности задания.

Высокое сходство включения активационных систем мозга, реакций саморегуляции и механизмов регуляции сердечного ритма у детей и шимпанзе позволяет использовать последних в качестве адекватной биологической модели для изучения процесса обобщенного достижения цели и приспособительных функций организма ребенка к эмоциональным и интеллектуальным нагрузкам ребенком на ранних стадиях формирования второй сигнальной системы.

4. Заключение

- 1) Выявлена четкая корреляция между степенью эмоциональной нагрузки (сложностью выполняемой задачи) и визуальным отражением напряженности активационных систем мозга ребенка и шимпанзе по данным динамики сердечного ритма;
- 2) сопоставление и сравнительный анализ продуктивности инструментальной реакции и динамичности скаттерограммы в ходе достижения цели, приближающейся с различной скоростью, детьми и шимпанзе показало высокое сходство включения активационных систем мозга и механизмов регуляции СР при достижении цели;
- 3) совокупность автоматизированного варианта методики приближающейся цели и визуальной оценки скатерограмм по различным параметрам (расположения на плоскости координат, занимаемая площадь, разброс максимальных минимальных значений интервалов R-R) позволяют в реальном масштабе времени оценить функциональное состояние ребенка и регулировать степень эмоциональной нагрузки (трудности) в ходе выполнения конкретного задания.

- 4) правомочно использование шимпанзе в качестве адекватной биологической модели в сравнительно-физиологическом эксперименте для изучения процесса обобщенного достижения цели ребенком на уровне довербального развития.

Литература

- [1] Баевский, Р.М. Анализ variability сердечного ритма в космической медицине / Р.М. Баевский // Физиол. чел. – 2002. – Т. 28. – № 2. – С. 70–82.
- [2] Кузнецова, Т.Г. Шимпанзе. Онтогенетическое и интеллектуальное развитие в условиях лабораторного содержания / Т.Г. Кузнецова, В.И. Сыренский, Н.С. Гусакова. – СПб.: Политехника, 2006. – 450 с.
- [3] Поборский, А.Н. Оценка степени напряжения регуляторных механизмов у школьников в условиях Севера / А.Н. Поборский // Гигиена и санитария. – 2001. – № 4. – С. 49–51
- [4] Сыренский, В.И. Рефлекс цели у приматов / В.И. Сыренский, Т.Г. Кузнецова. – Л., 1990. – 194 с.
- [5] Дембо, А.Г. Эхокардиография и корреляционная ритмография в оценке функционального состояния спортсменов / А.Г. Дембо, Э.В. Земцовский, В.А. Фролов: учеб. пособие. – Л., 1979. – 60 с.
- [6] Михайлов, В.М. Variability ритма сердца: опыт практического применения / В.М. Михайлов. – Иваново, 2002. – 288 с.
- [7] Исследование влияния выполнения задач пространственно-образного типа на variability сердечного ритма / А.Ю. Степанян [и др.] – ЖВНД. – 2005. – Т. 55 – № 4. – С. 472–477
- [8] Яблчанский, Н.И. Основы практического применения неинвазивной технологии исследования регуляторных систем человека / Н.И. Яблчанский, А.В. Мартыненко, А.С. Исаев. Харьков: Основа, 2000. – 88стр.
- [9] Федяев, В.А. Метод кардиоинтервалографии в детской токсикологии / В.А. Федяев, Г.Н. Суходолова // Педиатрия. – 1988. – 7. – С. 37–39.
- [10] Яковлев, И.С. Прогностическое значение средней частоты сердечных сокращений и variability ритма сердца, оцененных за короткое время в стандартных условиях в ранние сроки инфаркта миокарда / И.С. Яковлев, Е.Е. Деев, Н.А. Грацианский // Кардиология. – 1999. – 6. – С. 6–15.
- [11] Кузнецова, Т.Г. Визуализация функционального состояния испытуемого по данным сердечного ритма (патент №2005114249/20 9016343)
- [12] Кузнецова, Т.Г. Диагностика функционального состояния испытуемого при решении задач различной степени сложности 2005114250/20 (9016343)
- [13] Кузнецова, Т.Г. Диагностика устойчивости внимания по данным сердечного ритма 2005114251/20 (9016343))

- [14] Сердечный ритм шимпанзе при различных эмоциональных состояниях в процессе целенаправленной деятельности / В.В. Иванов [и др.] // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2002. – Т. 88. – № 9. – С. 1225–1229.
- [15] Способ определения целеустремленности А.с. 1410948 СССР. МКИ4 А61В5/16 / Т.Г. Кузнецова, В.И. Сыренский, Б.А. Наулайнен // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 27. – С. 44–46
- [16] Молодцов, В.О. Аппаратурно-программное обеспечение физиолога. Приборы и системы управления / В.О. Молодцов, В.Н. Чихман, С.Д. Солнушкин. 1999. – № 3. – С. 15–19
- [17] Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоупд. М.: Мир, 1978. – 848 с.
- [18] Арнольд, В.Н. Теория катастроф / В.Н. Арнольд. М., Наука, 1990. 28с. Абуладзе, Г.В. Сердце, активное избегание и эмоции / Г.В. Абуладзе, Н.А. Чучулашвили. – Тбилиси. Мицниереба, 1981. – 193 с.
- [19] Васютинский, Н. Золотая пропорция / Н. Васютинский. – М.: Молодая гвардия. – 1990. – 239 с.
- [20] Власов, Ю.А. Метод последовательного парного анализа ритма сердца по интервалам R-R / Ю.А. Власов, В.Г. Яшков, А.В. Якименко // Радиоэлектроника, физика, математика в биологии и медицине. – Новосибирск, 1971. – С. 9–14.
- [21] Гласс, Л. От часов к хаосу. Ритмы жизни: пер. с англ. / Л. Гласс, М. Мэки; под ред. Е. Селькова. М.: Мир, 1991. – 248 с.
- [22] Филиппов, А.Т. Многоликий солитон / А.Т. Филиппов. – М.: Наука, 1990. – 288 с.
- [23] Цветков, В.Д. Ряды Фибоначчи и оптимальная организация сердечной деятельности млекопитающих / В.Д. Цветков // Препринт. Пущино: НЦ биологических исследований АН СССР, 1984. – 19 с.
- [24] Кузнецова, Т.Г. Функциональная организация поведенческих реакций у детей дошкольного возраста в сложных условиях досижения цели / Т.Г. Кузнецова, М.В. Радченко, В.К. Кузьмина // Вестник Самарского Государственного Университета. – 2006. – № 2(42). – С. 189–202.
- [25] Абуладзе, Г.В. Сердце, активное избегание и эмоции / Г.В. Абуладзе, Н.А. Чучулашвили. Тбилиси: Мицниереба, 1981. – 193 с.
- [26] Анохин, П.К. Системогенез, как общая закономерность развития функции в эмбриогенезе / П.К. Анохин // Очерки по физиологии плода и новорожденного. – М., 1966. – 9–31 с.
- [27] Бериташвили, И.С. Нервные механизмы поведения высших позвоночных / И.С. Бериташвили. – М. Наука, 1961. – 367 с.
- [28] Симонов, П.В. Эмоциональный мозг / П.В. Симонов. – М.: Наука, 1981. – 297 с.

- [29] Симонов, П.В. Мотивированный мозг / П.В. Симонов. – М.: Наука, 1987. – 253 с.

Поступила в редакцию 12/*IX*/2006;
в окончательном варианте — 26/*XII*/2006.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFANTS AND CHIMPANZEES HEART RATE VARIABILITY IN PURPOSEFULNESS

© 2007 T.G. Kuznetsova, S.D. Solnushkin, V.N. Chihman, V.T. Shuvaev⁴
M.V. Radchenko⁵ E.A. Rodina⁶

The goal approaching and striving for it are dynamic integral functional states, where the realization of each following behavior cycle are accompanying of activation systems reactions - orienting, concentration, positive and negative reactions. This reactions has own heart correlations. We came to light similar and precise correlation between including activation systems in children and chimpanzees and its scatterograms dynamic change, which reflected rebuilding central and own mechanisms heart rate regulation. The clearness of changing its form, area, place on the coordinate plane allow to see and estimate of the dynamic of regulative heart rate mechanisms in the real time scale, estimate child's functional state, regulate of degree emotional tension in the process learning. We may to change of experimental program emergency, to bring down or to rise of playing load and to prevent of stress evolution if it is necessary. The further research will allow to be created the real conditions for carrying-out of prognostics estimate of functional infant states.

Paper received 12/*IX*/2006.

Paper accepted 26/*XII*/2006.

⁴Kuznetsova Tamara Georgievna (tkuznets@infran.ru), Solnushkin S.D., Chihman V.N., Shuvaev V.T. Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, 199034, Russia.

⁵Radchenko Mariya Vladimirovna, Kuznetsova Tamara Georgievna, Dept of Human and Animals Physiology, Samara State University, Samara, 443011, Russia.

⁶Rodina E.A., GDOU No.81, St. Petersburg, Russia.