

УДК 159.91

СООТНОШЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ДИНАМИКИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И СИСТЕМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕДЕНИЯ¹⁾

© 2018 г. А. В. Бахчина^{1*}, А. В. Демидовский^{2**}, Ю. И. Александров^{1***}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии РАН; 129366, г. Москва, ул. Ярославская, 13, Россия.

²Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”; 603155, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, д.25/12, Россия.

*Кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова. E-mail: nastya18-90@mail.ru

**Аспирант кафедры информационных технологий. E-mail: ademidovskij@hse.ru

***Доктор психологических наук, профессор, чл.-корр. РАО, заведующий лабораторией психофизиологии им. В.Б. Швыркова. E-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Поступила 19.02.2018

Аннотация. В рамках актуальной проблемы описания процессов формирования и актуализации функциональных систем поведенческих актов изучались различия характеристик variability сердечного ритма при реализации индивидом поведения, сформированного на разных этапах индивидуального развития: относительно более раннем и более позднем. Участники исследования с высшим образованием по специальности физико-математического профиля (35 человек (5 женщин) 23–37 лет ($M = 27.78$, $Me = 28$)) выполняли задачу — вставить пропущенное слово в предложение. Предложения составляли два набора: 1-ый включал предложения с узкоспециальной математической лексикой — словами, возраст “понимания” которых соответствовал периоду обучения в вузе; 2-ой включал предложения с общеупотребительной лексикой — словами, используемыми уже детьми дошкольного и школьного возраста. Сравнение сложности динамики сердечного ритма в двух задачах, оцененной вычислением выборочной энтропии последовательностей RR-интервалов, показало, что при реализации поведения, сформированного на более ранних стадиях онтогенеза, сложность динамики сердечного ритма была ниже, чем при реализации поведения, сформированного позднее в индивидуальном развитии. С позиций системно-эволюционного подхода такое отличие объясняется разницей наборов функциональных систем, актуализируемых при реализации поведения, сформированного на разных этапах индивидуального развития. При обратимой системной дедифференциации, индуцированной приемом алкоголя, наблюдаемые отличия становились менее выраженными. Сделан вывод о том, что сложность динамики сердечного ритма отражает некоторые системные характеристики реализуемого поведения.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, системная дифференциация, обратимая дедифференциация, сложность, алкоголь.

DOI: 10.31857/S020595920000834-3

Согласование динамики нервных и других висцеральных процессов давно является областью исследований, выполняемых в русле теории функциональных систем в физиологии [7]. В психологии эта проблема возникает при описании процессов формирования и реализации функциональных систем поведенческих актов. Функциональная система (ФС) поведенческого

акта — это совокупность кооперативно действующих (взаимосодержащих) элементов организма разной морфологической принадлежности, организуемая моделью будущего соотношения организма со средой, то есть результатом поведения [16]. Вопрос о закономерностях системного взаимодействия физиологических (не только нервных, но и других организменных)

¹⁾ Исследование поддержано РФФИ (грант № 16-36-60044 мол_а_дк “Соотношения характеристик variability сердечного ритма и степени дифференцированности системной организации реализуемого поведения”).

процессов в организации поведения является важным для психофизиологии, в особенности системной психофизиологии [2].

Анализируя литературу по данному вопросу, можно прийти к выводу о том, что при рассмотрении физиологических процессов на уровне целого организма не существует ни одного независимого от характеристик реализуемого поведения физиологического процесса [23]. Например, показано, что ЭЭГ-осцилляции в коре головного мозга включают компоненты, связанные с этапами дыхательного цикла [26], а обучение происходит эффективнее, если предъявлять стимулы в моменты совпадения фаз инспирации дыхания и систолы сердечных сокращений [11].

Отдельное направление в этой области составляют исследования с использованием метода анализа вариабельности сердечного ритма. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) — это изменчивость временных интервалов между ударами сердца, длина которых с физиологических позиций зависит от эфферентной активности автономной нервной системы, гормонального состава циркулирующей крови [33], колебаний соотношения кислорода и углерода в крови [34], процессов терморегуляции [24], активности нейронов интеркардиальной нервной системы [36] и прочего. Чувствительность и одновременно интегративность активности сердца позволяют обосновывать гипотезы о специфичности ее режимов к различным поведенческим состояниям или событиям. Например, показано, что вербальное поведение разного рода (свободный разговор, чтение вслух или чтение про себя) сопровождается разными изменениями ВСР [20].

Сейчас большая часть работ с регистрацией активности сердца в поведенческих задачах содержит интерпретации результатов в соответствии с концепцией нейровисцеральной интеграции *J. Thayer* [35]. Эта концепция предполагает, что префронтальная кора (ПК), имеющая тормозные ГАМК-эргические проекции к нейронам миндалины, которая, в свою очередь, имеет тормозные выходы к парасимпатическим нейронам в ядрах продолговатого мозга и возбуждающие — к нейронам симпатических ядер спинного мозга, осуществляет регуляцию активности сердца для интеграции его в когнитивные и эмоциональные процессы. Активация нейронов ПК, включая орбитофронтальную и медиальную ПК, ингибирует активность миндалины, тем самым деингибируя тоническую активность нейронов двойного ядра и дорсального парасимпатического моторного ядра, что ведет к снижению частоты сердечных сокращений (ЧСС) и возрастанию ВСР (ВСР при этом оценивается как спектральная мощность

высокочастотных колебаний (0.15–0.6 Гц) последовательных *RR*-интервалов² — показатель *HF*). Торможение ПК, напротив, деингибирует активность миндалины, что ведет к снижению активности нейронов парасимпатических ядер и активации симпатических возбуждательных нейронов в рострально-вентральных ядрах спинного мозга, с общим итогом в увеличении ЧСС и снижении ВСР. Коротко говоря, торможение и возбуждение ПК приводит к снижению или увеличению ВСР соответственно.

Приведенная концепция хорошо описывает фазические изменения сердечного ритма: кратковременные повышения ЧСС и снижения ВСР при эмоциональных состояниях и патологиях разного генеза, а также то, что более высокая ВСР (измеренная в фоновых условиях) сопряжена с большей успешностью решения различных типов (практически всех) задач, выполняемых участниками исследований в экспериментах. Однако эта концепция не объясняет природы постоянных нестационарных изменений сердечного ритма, различающихся при реализации индивидуальном разного поведения.

В системно-эволюционном подходе (см., например, [1; 3; 4; 6; 9; 13; 16]) изменчивость сердечного ритма рассматривается как отражение включенности сердца в функциональные системы, наборы которых меняются при реализации разного поведения. Изменения сердечного ритма отражают постоянную “адаптацию” активности сердца к активности остальных компонентов актуализируемых функциональных систем в поведенческом континууме. Поэтому можно предполагать, что чем более разнообразное поведение реализуется индивидом, тем большая вариативность будет наблюдаться в динамике сердечного ритма. Напротив, в условиях отсутствия поведения (сон, наркоз, кома) или длительного повторения “одного и того же” простого поведения (монотония) наблюдается сниженная ВСР или постоянно периодическая структура изменений сердечного ритма [38].

Показано (см., например, [1; 3; 4; 6; 16]), что реализация конкретного поведенческого акта обеспечивается активностью набора ФС в их взаимодействии. ФС как элемент структуры индивидуального опыта фиксирована в специализации распределенной группы нейронов. В актах, направленных на достижение разных целей, набор ФС, и следовательно, набор активирующихся специализированных нейронов разный. Поэтому можно предполагать, что активность сердца, согласуясь, в частности, с активностью разных наборов центральных нейронов и разной активностью периферических нейронов, зависит от цели поведения. Отсюда следует, что ВСР является параметром, отражающим динамику процесса со-

²Интервалы между *R*-зубцами соседних кардиокомплексов.

гласования, и зависит от базовых характеристик системной организации реализуемого поведения.

Поскольку фиксация новой ФС в процессе научения не вытесняет ранее сформированные ФС из уже имеющегося набора, а модифицирует их, то развитие индивида проявляется в структуре индивидуального опыта как формирование новых ФС, обеспечивающих все более дифференцированные соотношения индивида со средой, чем ранее сформированные ФС [3; 4; 16]. Поведение, сформированное на более поздних этапах развития, является, как правило, более дифференцированным соотношением организма со средой (более точным и детализированным) и обеспечивается сравнительно большим набором систем и межсистемных взаимодействий [1; 3; 4; 13; 15]. Так, если допустить, что ВСП зависит от характеристик актуализированного в поведении набора систем, можно предположить, что при реализации поведения, сформированного на относительно более ранних этапах развития (более “старого”) ВСП будет ниже по сравнению с реализацией поведения, приобретенного на относительно более поздних этапах развития (более “нового”).

Системная дедифференциация — это обратимое увеличение вклада более рано сформированных систем в обеспечение поведения [6]. Дедифференциация характеризуется и описывается такими аспектами поведения, как повышение эмоциональности, упрощение, игнорирование деталей, снижение когнитивного контроля и прочие [6; 12]. Например, алкоголь оказывает угнетающее влияние на активность более “новых” ФС: относительное количество нейронов, принадлежащих к таким ФС, сформированным при обучении индивидов реализации экспериментальной задачи, уменьшается [5; 18]. Ранее нами было показано, что при обратимой дедифференциации, индуцированной приемом алкоголя, происходит снижение ВСП (снижение сложности динамики сердечного ритма), так как уменьшается и количество актуализированных в поведении систем, и количество межсистемных связей (как вертикальных (между системами разного возраста), так и горизонтальных (между системами, принадлежащими к одному периоду развития)) [9]. Поэтому мы полагали, что если наблюдаемая в контрольных условиях разница ВСП между реализацией относительно более “нового” и “старого” поведения связана непосредственно с характеристиками наборов актуализированных ФС, то после приема алкоголя — в условиях обратимой дедифференциации — она будет уменьшаться или исчезать.

Предметом исследования стало соотношение характеристик системного обеспечения реализуемого поведения и активности сердца в этом поведении.

Цель исследования состояла в том, чтобы проверить указанное выше предположение, сравнить характеристики активности сердца при реализации индивидом поведения, сформированного раньше и позднее в индивидуальном развитии, то есть обеспечиваемого меньшим и большим (по составу и количеству межсистемных связей) наборами систем.

МЕТОДИКА

Участники исследования. 35 человек (5 женщин) 23–37 лет ($M = 27.78$, $Me = 28$) без диагностированных заболеваний сердечно-сосудистой системы. Все участники исследования имеют специальность физико-математического профиля и стаж работы по специальности от полугода до 10 лет ($M = 4.84$, $Me = 4.2$). Все респонденты исследования дали письменное информированное согласие на участие в эксперименте.

Методика. Респондентам давалось задание прочитать предложение и вставить пропущенное в нем слово. Предъявляемые в задании предложения были разделены на две группы (по 64 предложения) по фактору возраста понимания (*age of acquisition*) слов [37].

Первая группа включала предложения со словами из профессиональной математической лексики, возраст понимания которых соответствовал периоду обучения в вузе у людей с соответствующей специальностью. Например, “сигнатура не зависит от способа приведения квадратичной формы к каноническому виду”. Список математических терминов с таким возрастом понимания был предварительно отобран с помощью субъективной³ методики [25] в интернет-опросе [8].

Вторая группа включала предложения со словами общеупотребительной лексики. Слова из этой группы предложений, как правило, используются уже детьми дошкольного и младшего школьного возраста. Например, “люди зажигают лампы для освещения комнат вечером”. Задачи с предложениями второй группы были предварительно проверены на возможность решения детьми в возрасте от 6 до 10 лет [8].

Группы предложений были выравнены по другим лингвистическим характеристикам [8].

Предложения с рано понимаемыми словами, которые с позиций системно-эволюционного подхода преимущественно включены в сравнительно низкодифференцированные взаимодействия индивида со средой, обращались к опыту, приобретенному на более ранних этапах онтогенеза. Предложения с поздно понимаемыми словами, которые преимущественно включены в сравнительно высокодифференцированные взаи-

³ На основе субъективной оценки возраста понимания слов, в отличие от объективной регистрации наблюдателями.

модействия, обращались к опыту, сформированному на более поздних этапах развития [13]. Иначе говоря, решение экспериментальных задач, содержащих слова с разным возрастом понимания, включало реализацию участниками исследования поведения, сформированного на разных этапах онтогенеза: относительно более раннем и позднем.

Процедура. Для предъявления предложений использовали персональный компьютер (диагональ экрана 22 дюйма) и специально разработанное ПО (Демидовский А.В.). Время выполнения задания не ограничивалось. Предложения предъявлялись последовательно в центре экрана (белыми буквами на черном фоне). Пропущенное слово в предложении фиксировалось как пустое пространство с нижним подчеркиванием. Для того чтобы ввести пропущенное слово, необходимо было нажать клавишу “пробел” на клавиатуре компьютера. После этого внизу экрана появлялась белая рамка, в которую вводилось слово с помощью компьютерной клавиатуры стандартной раскладки. Нажатием клавиши “Enter” участник исследования переходил к следующему предложению. Участник исследования мог пропустить предложение, оставив его без ответа. В выходном файле тестирования фиксировались: время ответа (мс, время от начала предъявления предложения до нажатия клавиши “пробел”), введенное слово, количество ошибок.

Для предъявления в эксперименте предложения каждой группы были разделены на 8 наборов (по четыре набора с математической и общеупотребительной лексикой). Каждый набор включал 16 предложений, состав которых не пересекался. В каждом эксперименте участник работал с четырьмя наборами предложений (по два с математической и общеупотребительной лексикой), которые предъявлялись последовательно. Последовательность наборов была контрбалансирована в выборке. Порядок предъявления предложений в каждом наборе всегда был случайным, без повторов.

После выполнения задания с каждым набором предложений участники заполняли анкету, в которой их просили оценить, насколько трудно им было вставить слово в каждое из предложений по стандартной семибалльной шкале (от -3 (очень просто) до $+3$ (очень трудно)). После прохождения всех четырех наборов предложений участникам давались две анкеты со всеми предложениями, которые они встретили в эксперименте. В одной анкете их просили оценить, какие эмоции они ощущают, встречаясь с описанным в предложении в жизни. Для оценок использовали семибалльную шкалу (от -3 (очень неприятные) до $+3$ (очень приятные)). Во второй анкете участников просили оценить, как часто они встречаются в жизни с описанным в предложении. Для оценок использовали семибалльную шкалу (от -3 (никогда) до $+3$ (постоянно)).

Респонденты участвовали в эксперименте дважды с промежутком времени 2–3 месяца. Один раз участники за 40 мин до начала выполнения задания выпивали безалкогольный напиток (контрольные условия), в другой — алкогольный напиток (экспериментальные условия). Алкоголь использовался для формирования обратимой системной дедифференциации. Протокол дозирования и контроля приема алкоголя подробно описан в [9]. При приеме напитка участники смотрели фильм из серии “БиБиСи Планета Земля” (длительность фильмов составляла 40 мин). Порядок участия в контрольных и экспериментальных условиях был контрбалансирован в выборке. 7 человек приняли участие в эксперименте только один раз — в контрольных условиях.

Измерение сердечного ритма проводилось с использованием беспроводного датчика *Zephyr (HxM BT)* и программы “*HR-reader*” [14]. При регистрации сердечного ритма фиксировались моменты начала и окончания выполнения задания с каждым из четырех наборов предложений.

Для анализа *вариабельности сердечного ритма* использовали последовательности *RR*-интервалов (интервалов между *R*-зубцами соседних кардиокомплексов, мс) за периоды работы с каждым набором предложений. Затем значения вычисляемых показателей *ВСР* для каждой последовательности усреднялись для периодов работы с наборами предложений математической и общеупотребительной лексики.

ВСР характеризовали через оценку *сложности сердечного ритма*, вычисляя значение выборочной энтропии (*sample entropy, SampEn*) [32]. Алгоритм вычислений был реализован в программе для ЭВМ на языке *Python* (Демидовский А.В.). Оценки *SampEn* отражают степень нерегулярности и нестационарности (сложности) временного ряда и не зависят от длины ряда и амплитуды дыхательной аритмии.

Дополнительно для анализируемых последовательностей рассчитывали среднее значение *RR*-интервалов (*cp_RR*, мс) и стандартное отклонение *RR*-интервалов (*SDNN*, мс).

Как отмечалось во введении, большинство исследований описывает *ВСР* через спектральные показатели. Поэтому, чтобы сопоставить полученные результаты с результатами других работ, мы производили оценки выраженности периодических изменений в структуре сердечного ритма. Для этого вычисляли спектральную мощность колебаний *RR*-интервалов в высокочастотном диапазоне от 0.15–0.6 Гц (*HF*, мс²) с помощью периодического преобразования Ламба–Скаргла [10]. Для того чтобы избежать влияния фактора длины анализируемой последовательности, вычисления проводили скользящим окном длиной 100 с и шагом сдвига окна 10 с. Алгоритм вычислений был

реализован в программе для ЭВМ в среде *LabView* (Шишалов И.С.).

Исследовательская гипотеза заключалась в том, что в контрольных условиях выборочная энтропия сердечного ритма будет выше за периоды работы с предложениями математической лексики по сравнению с периодами работы с предложениями общеупотребительной лексики. Предполагалось, что при приеме алкоголя энтропия сердечного ритма будет ниже за периоды работы с предложениями математической лексики, чем за периоды работы с таковыми в контрольных условиях. При приеме алкоголя будет отсутствовать или уменьшаться разница энтропии сердечного ритма между периодами работы с математическими предложениями и предложениями общеупотребительной лексики.

Статистическая обработка данных включала проверку количественных переменных (количество ошибок, время ответа, *SampEn*, ЧСС, *SDNN*, *HF*) на нормальность распределения по критерию Шапиро–Уилкса. Сравнение переменных при работе с предложениями математической лексики и с предложениями общеупотребительной лексики, а также сравнение переменных в контрольных и экспериментальных условиях проводили по критерию Уилкоксона (в случае переменных с распределением, отличающимся от нормального, и ранговых переменных (оценки трудности, эмоциональности и частотности предложений)) и по критерию Стьюдента для связанных выборок (в случае переменных с распределением, не отличающимся от нормального). Для статистического анализа использовали программу *Statistica10*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ показателей решения задач

Описательные статистики и результаты сравнения показателей решения задач и данных анкет приведены на рисунке 1.

В результате сравнения параметров решения задач в контрольных условиях (без алкоголя) получено, что участники исследования допускали достоверно большее количество ошибок при работе с математическими предложениями, чем с предложениями общеупотребительной лексики ($T = 0.00$, $Z = 4.7$, $p < 0.00$). Время ответа было достоверно выше при работе с математическими предложениями, чем с предложениями общеупотребительной лексики ($T = 21$, $Z = 4.73$, $p < 0.00$). Участники исследования давали достоверно более высокие оценки субъективной трудности решения задачи математическим предложениям, чем предложениям общеупотребительной лексики ($T = 6$, $Z = 3.81$, $p < 0.00$).

В результате сравнения параметров решения задачи в экспериментальных условиях (после употребления алкоголя) получено, что участники исследования допускали достоверно большее количество ошибок при

работе с математическими предложениями, чем с предложениями общеупотребительной лексики ($T = 11$, $Z = 4.28$, $p < 0.00$). Время ответа не отличалось при работе с математическими и общеупотребительными предложениями ($T = 140$, $Z = 1.9$, $p = 0.06$). Достоверные отличия в оценках субъективной трудности решения задачи с математическими и общеупотребительными предложениями отсутствовали ($T = 76$, $Z = 1.89$, $p = 0.06$).

При сравнении контрольных и экспериментальных условий между собой обнаружено, что при работе с математическими предложениями участники исследования допускали достоверно больше ошибок ($T = 67$, $Z = 2.36$, $p = 0.02$) и затрачивали на ответ достоверно больше времени ($T = 29$, $Z = 4.08$, $p < 0.00$) после приема алкоголя, чем в контрольных условиях. Оценки субъективной трудности решения задачи не отличались в контрольных условиях и после приема алкоголя ($T = 29$, $Z = 1.44$, $p = 0.15$).

При работе с предложениями общеупотребительной лексики количество ошибок ($T = 147$, $Z = 0.09$, $p = 0.93$), время ответа ($T = 150$, $Z = 1.45$, $p = 0.14$) и оценки субъективной трудности решения задачи ($T = 20$, $Z = 1.75$, $p = 0.08$) достоверно не отличались между контрольными и экспериментальными условиями.

Таким образом, задачи, включавшие реализацию поведения, сформированного относительно позднее в развитии, сопровождалось большим количеством ошибок, большим временем ответа и оценивались участниками как субъективно более трудные. Эффекты приема алкоголя проявились только в характеристиках реализации более “нового” поведения.

Анализ оценок эмоциональности и частотности употребления предложений

В контрольных условиях оценки валентности эмоциональности были достоверно ниже у математических предложений, чем у предложений общеупотребительной лексики ($T = 38$, $Z = 2.5$, $p = 0.01$). После приема алкоголя достоверные отличия между оценками эмоциональности математических и общеупотребительных предложений отсутствовали ($T = 43$, $Z = 0.18$, $p = 0.86$).

В контрольных условиях оценки частотности были достоверно ниже для математических предложений, чем для предложений общеупотребительной лексики ($T = 4.5$, $Z = 4.77$, $p < 0.00$). После приема алкоголя оценки частотности также были достоверно ниже для математических предложений, чем для предложений общеупотребительной лексики ($T = 10$, $Z = 4$, $p < 0.00$).

Таким образом, задачи, актуализировавшие более “новый” опыт, оценивались как менее эмоциональные и реже встречаемые. Прием алкоголя устранял различия в оценках эмоциональности предложений, актуализировавших относительно более “старый” и “новый” опыт.

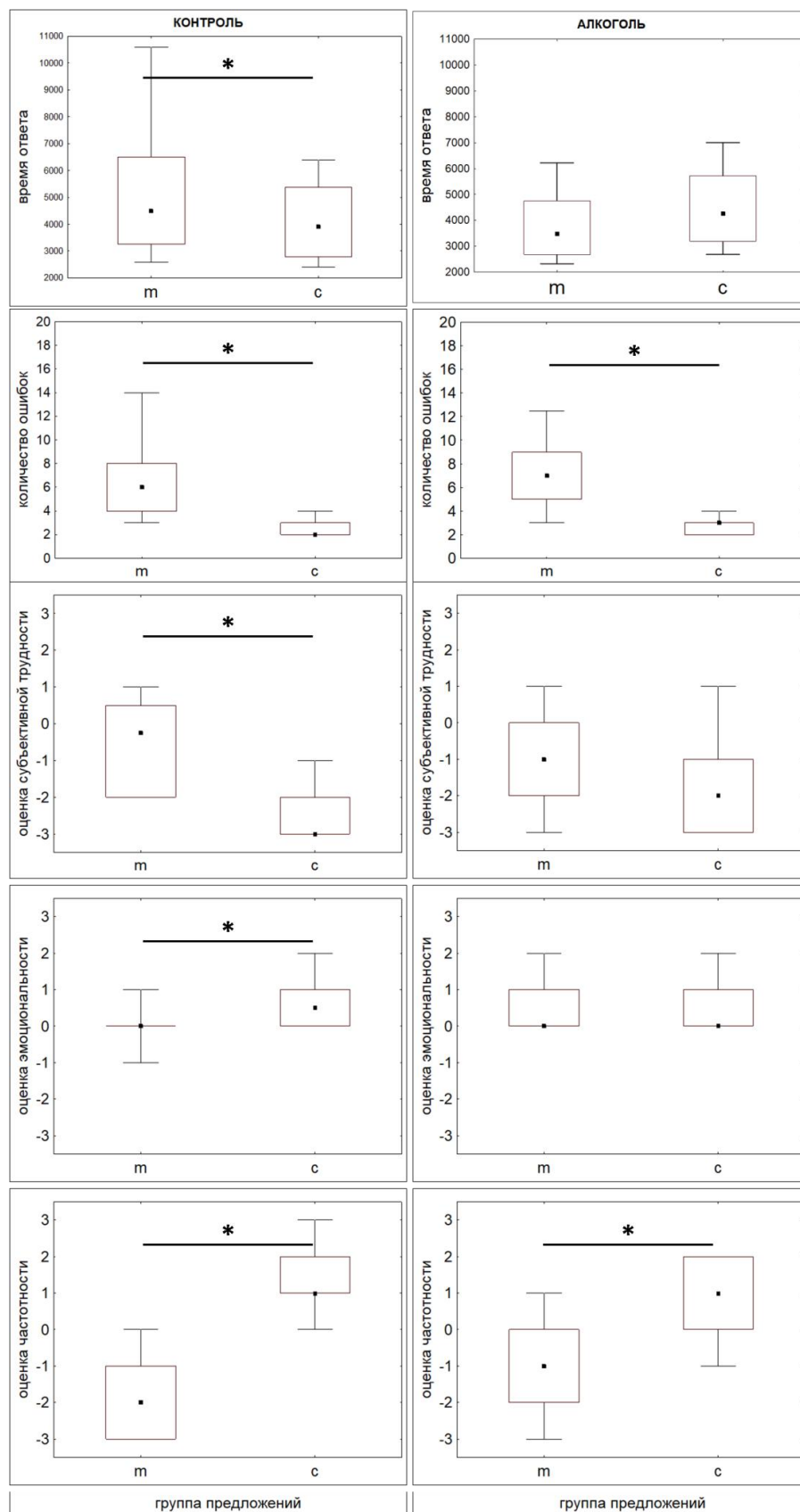


Рис. 1. Медианы, 25-й и 75-й, 10-й и 90-й перцентили распределений параметров решения задач и данных анкет относительно предложений математической (m) и общепотребительной (с) лексики в экспериментальных (справа) и контрольных (слева) условиях.

Анализ данных анкет и результатов решения задач показал, что используемые в эксперименте две группы предложений отличались не только по фактору возраста понимания слов, но и по оценкам эмоциональности, частоты встречаемости и субъективной трудности. Это связано с тем, что фактор возраста понимания сильно коррелирует со всеми остальными как лингвистическими (такими как частотность употребления), так и субъективно оцениваемыми (эмоциональность и прочее) характеристиками [21; 28]. Поэтому практически не представляется возможным сформировать такие задачи, в которых сохранилась бы разница по фактору возраста понимания слов при выравнивании остальных характеристик.

Анализ показателей ВСП

В результате сравнения показателей ВСП за периоды работы с предложениями с математической и общеупотребительной лексикой в контрольных условиях получено, что значения *SampEn* были достоверно ниже при работе с предложениями общеупотребительной лексики, чем с предложениями математической лексики. Стандартное отклонение и средние значения *RR*-интервалов не отличались в сравниваемых задачах. Мощность высокочастотного диапазона спектра ВСП была

достоверно выше при работе с предложениями общеупотребительной лексики, чем с математическими предложениями.

Подробные описательные статистики и результаты статистических тестов сравнения переменных в контрольных условиях представлены в таблице 1.

Сравнение показателей ВСП за периоды работы с предложениями двух групп в экспериментальных условиях показало, что значения *SampEn* были достоверно ниже при работе с предложениями общеупотребительной лексики, чем при работе с предложениями математической лексики. Стандартное отклонение и средние значения *RR*-интервалов не различались между сравниваемыми задачами. Значения мощности высокочастотного диапазона спектра ВСП не различались в задачах.

Подробные описательные статистики и результаты статистических тестов сравнения переменных в экспериментальных условиях представлены в таблице 2. Сравнение показателей ВСП в контрольных и экспериментальных условиях показало, что как в случае периодов работы с предложениями математической лексики, так и в случае периодов работы с предложениями общеупотребительной лексики стандартное отклонение и

Таблица 1. Описательные статистики и результаты статистических тестов на проверку нормальности распределений и достоверности отличий параметров ВСП в контрольных условиях при решении двух задач

Переменная	<i>n</i>	Ср. знач.	Ош.Ср.	<i>Me</i>	25%	75%	Критерий Шапиро–Уилкса	Результаты сравнения
<i>SampEn_m</i>	35	1.08	0.02	1.09	0.98	1.15	$W = 0.97,$ $p = 0.49$	$t = 7.7,$ $p = 0.00$ $T = 4,$ $Z = 4.53,$ $p = 0.000$
<i>SampEn_c</i>	35	0.95	0.02	0.97	0.86	1.04	$W = 0.97,$ $p = 0.44$	
<i>SDNN_m</i>	35	63.58	4.37	57.30	45.41	76.68	$W = 0.91,$ $p = 0.01$	$T = 309,$ $Z = 0.1,$ $p = 0.92$
<i>SDNN_c</i>	35	63.36	3.76	56.66	44.52	78.32	$W = 0.94,$ $p = 0.05$	
<i>cp_RR_m</i>	35	827.28	18.86	802.52	739.02	915.80	$W = 0.96,$ $p = 0.27$	$T = -1.79,$ $p = 0.08$
<i>cp_RR_c</i>	35	833.73	18.82	813.74	753.46	922.32	$W = 0.95,$ $p = 0.08$	
<i>HF_m</i>	35	651.44	135.77	332.14	230.54	793.53	$W = 0.65,$ $p = 0.00$	$T = 192,$ $Z = 2.02,$ $p = 0.04$
<i>HF_c</i>	35	716.42	134.21	340.44	214.75	1066.53	$W = 0.74,$ $p = 0.00$	

Примечание: *m* — предложения математической лексики, *c* — предложения общеупотребительной лексики. Достоверные отличия ($p < 0.05$) выделены полужирным шрифтом.

Таблица 2. Описательные статистики и результаты статистических тестов на проверку нормальности распределений и достоверность отличий параметров ВСП в экспериментальных условиях при решении двух задач

Переменная	<i>n</i>	Ср. знач.	Ош.Ср.	Me	25%	75%	Критерий Шапиро–Уилкса	Результаты сравнения
<i>SempEn_m</i>	28	1.02	0.02	1.04	0.98	1.10	$W = 0.96,$ $p = 0.3$	$T = 63,$ $Z = 3.19,$ $p = 0.001$
<i>SempEn_c</i>	28	0.92	0.03	0.93	0.85	1.00	$W = 0.92,$ $p = 0.04$	
<i>SDNN_m</i>	28	45.62	4.61	39.86	29.10	48.49	$W = 0.86,$ $p = 0.002$	$T = 191,$ $Z = 0.27,$ $p = 0.79$
<i>SDNN_c</i>	28	45.37	4.31	41.74	27.79	54.87	$W = 0.92,$ $p = 0.03$	
<i>cp_RR_m</i>	28	712.62	17.38	699.15	659.54	769.13	$W = 0.95,$ $p = 0.18$	$T = 0.47,$ $p = 0.65$
<i>cp_RR_c</i>	28	710.86	18.00	695.05	652.17	772.00	$W = 0.94,$ $p = 0.12$	
<i>HF_m</i>	28	291.22	81.78	179.62	80.39	252.29	$W = 0.58,$ $p = 0.00$	$T = 137,$ $Z = 1.5,$ $p = 0.13$
<i>HF_c</i>	28	350.79	102.54	143.01	77.99	435.56	$W = 0.58,$ $p = 0.00$	

Примечание: условные обозначения те же, что в таблице 1.

значения *RR*-интервалов были достоверно ниже после приема алкоголя, чем в контрольных условиях (*SDNN_m*: $T = 38, Z = 3.76, p < 0.01$; *SDNN_c*: $T = 36, Z = 3.8, p < 0.01$; *cp_RR_m*: $T = 14, Z = 4.3, p < 0.01$; *cp_RR_c*: $T = 20, Z = 4.17, p < 0.01$, критерий Уилкоксона).

Мощность спектра ВСП в высокочастотном диапазоне была достоверно ниже после приема алкоголя, чем в контрольных условиях как при работе с предложениями математической лексики ($T = 29, Z = 3.96, p < 0.01$, критерий Уилкоксона), так и при работе с предложениями общеупотребительной лексики ($T = 49, Z = 3.51, p < 0.01$, критерий Уилкоксона).

При работе с предложениями математической лексики значения *SampEn* были достоверно ниже после приема алкоголя, чем в контрольных условиях (*SampEn_m*: $T = 566, Z = 1.89, p = 0.05$, критерий Уилкоксона). При работе с предложениями общеупотребительной лексики значения *SampEn* не отличались достоверно в контрольных и экспериментальных условиях (*SampEn_c*: $T = 696, Z = 0.83, p = 0.41$, критерий Уилкоксона).

Таким образом, сложность сердечного ритма была больше при реализации более “нового” поведения. При обратимой системной дедифференциации этот эффект был менее выражен, хотя оставался на уровне статистической значимости. Для оценки достоверности этих изменений мы

провели сравнение в контрольных и экспериментальных условиях пропорций случаев, в которых сложность сердечного ритма была больше при решении задач с математической лексикой, чем с общеупотребительной, и случаев, в которых сложность сердечного ритма была меньше при решении задач с математической лексикой, чем с общеупотребительной. В результате было получено, что преобладание первых было достоверно больше в контрольных условиях, чем после приема алкоголя (критерий Кохрена, $Q = 5, p < 0.025$) (рис. 2). Статистические оценки ВСП не отличались при реализации поведения разного “возраста”, но снижались при обратимой системной дедифференциации. Мощность высокочастотных колебаний сердечного ритма была меньше при реализации более “нового” поведения, этот эффект отсутствовал после приема алкоголя.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, сложность сердечного ритма как показатель нелинейности динамики ФС в поведенческом континууме принимает большие значения при реализации поведения, сформированного позднее в развитии, более дифференцированного поведения. Результаты исследования дают основания считать, что эта разница связана непосредственно с характеристиками актуализи-

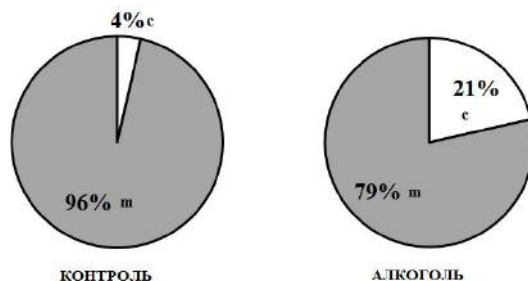


Рис. 2. Распределения случаев, в которых сложность сердечного ритма была больше при работе с предложениями математической лексики (серые), и случаев, в которых сложность сердечного ритма была больше при работе с предложениями общепотребительной лексики (белые).

рованных наборов ФС, так как обратимая системная дедифференциация, инициированная приемом алкоголя, сопровождалась снижением сложности сердечного ритма, что в результате уменьшало выраженность отличий между реализацией поведения, сформированного на разных этапах онтогенеза.

Результаты данного исследования демонстрируют, что принципиальным является выбор математического подхода к описанию ВСП. Так, общая вариативность изменений *RR*-интервалов, выражаемая в оценке среднего и стандартном отклонении их значений, оказалась нечувствительна к изучаемому фактору (возраст формирования реализуемого поведения). По всей видимости, эти показатели лучше подходят для определения более глобальных изменений в состоянии субъекта: стресс, эмоциональное возбуждение и прочие.

Спектральные показатели, отражающие выраженность периодических составляющих в последовательности *RR*-интервалов в высокочастотном диапазоне, продемонстрировали только эффекты снижения: снижение *HF* при приеме алкоголя; достоверно меньшие значения *HF* наблюдались в периоды реализации более "нового" поведения (при работе с предложениями с математической лексикой, чем с общепотребительной) в контрольных условиях. Первое согласуется с данными литературы [17] и обычно интерпретируется как результат возрастания концентрации адренокортикотропного гормона в крови при реализации метаболизма этанола, что приводит к снижению тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и, соответственно, повышению тонуса симпатического. То, что *HF*, по нашим данным, ниже при работе с математическими предложениями, противоречит базовым положениям концепции нейровисцеральной интеграции (см. введение). Так, снижение *HF* обычно сопровождается более эмоциогенными задачами и интерпретируется как результат снижения активности префронтальной коры и увеличения активности амигдалы. Полученные результаты демонстрируют, что задачи с математическими

предложениями оценивались испытуемыми как менее эмоциональные, поэтому в полученных результатах невозможно связать более низкие значения *HF* с более высокой эмоциональностью. Хотя субъективная и объективная оценка эмоциональности не обязательно согласуются [30], в данном случае обращает на себя внимание обратное соответствие оценки *HF* и субъективной трудности решаемой задачи. Последние были выше для математических предложений в контрольных условиях и не отличались между предложениями с математической и общепотребительной лексикой в экспериментальных условиях, что аналогично эффектам в динамике *HF*.

На основе полученных результатов можно заключить, что ВСП как феномен имеет происхождение от более сложных и системных процессов, чем возбуждение и торможение некоторых структур головного мозга, называемых регуляторными центрами. Исходя из системных представлений об общеорганизменной организации активности субъекта поведения, можно предполагать, что активность сердца изменяется для согласования с активностью других элементов актуализированных функциональных систем, т.е. с изменениями в наборе активированных поведенчески специализированных нейронов коры головного мозга и особенностями активности нейронов подкорковых структур. Такая непрерывная координация физиологически может быть осуществима за счет многочисленных эфферентных и афферентных нервных волокон парасимпатической и симпатической вегетативной нервной системы и плотно распределенной по миокарду сети интеркардиальных нейронов [36]. По всей видимости, в филогенетическом ряду наблюдается усложнение этой координации, так как увеличивается количество интеркардиальных нейронов и ганглиев [36], и имеет место увеличение количества иннервирующих сердце нервов и плотности волокон в них [31]. Можно ожидать, что при сравнении характеристик ВСП, измеренных в поведении в группах, относящихся к разным последовательным ступеням филогенетического развития,

будет наблюдаться и увеличение сложности сердечного ритма, аналогично тому, как в онтогенезе растет сложность ЭЭГ [19].

В отличие от нервной системы, где вовлечение или невовлечение нейрона в обеспечение поведения зависит от цели поведения, или, что касается периферических элементов нервной системы, от того, какие параметры среды используются для организации поведения [1], клетки сердца, работа которого необходима постоянно для обеспечения любой активности организма, в этом смысле менее “специфичны”, т.е. вовлекаются одним и тем же (полным) составом в обеспечение всех видов поведения. Хотя, как показывают наши данные, организация их активности от одного вида поведения к другому может закономерно изменяться. Иными словами, включаясь как специфический компонент в общеорганизменный процесс — поведение, активность сердца может быть связана с некоторыми базовыми характеристиками этого поведения. Такими характеристиками могут быть, например, домен индивидуального опыта (приближение / отдаление [3; 22]), “возраст” формирования и сложность поведения. В пользу последнего предположения свидетельствуют результаты настоящего исследования, показывающие, что дифференцированность реализуемого поведения как одна из базовых его характеристик отражается в активности сердца. Логично полагать, что такие базовые характеристики реализуемого поведения проявляются в изменениях активности и других элементов тела. Так, например, *Kafkas* и *Montaldi* [27] показали, что расширение зрачка выражено сильнее при распознавании уже известных (“старых”) стимулов, чем при незнакомых (“новых”).

ВЫВОДЫ

1. Вариабельность сердечного ритма, оцениваемая по показателям сложности последовательности RR-интервалов, выше при реализации индивидом более дифференцированных соотношений со средой, в поведении, сформированном на более поздних этапах индивидуального развития.
2. Обратимая системная дедифференциация, выражающаяся в подавлении активности систем, реализующих более дифференцированные соотношения со средой, сопровождается уменьшением отличий между значениями сложности сердечного ритма при реализации поведения, сформированного на разных этапах развития.
3. Изменения активности сердца в поведении, согласуясь с активностью разных наборов специализированных нейронов, отражают характеристики системного обеспечения этого поведения, а именно состав и количество связей актуализируемого набора функциональных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Ю.И. Психофизиологическое значение активности центральных и периферических нейронов в поведении. М.: Наука, 1989.
2. Александров Ю.И. Введение в системную психофизиологию // Психология XXI века. М.: Пер Се. 2003. С. 39–85.
3. Александров Ю.И. От эмоций к сознанию // Психология творчества: школа Я.А. Пономарева / Под ред. Д.В. Ушакова. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2006. С. 293–328.
4. Александров Ю.И. Развитие как дифференциация // Теория развития: Дифференционно-интеграционная парадигма / Сост. Н.И. Чуприкова. М.: Языки славянских культур, 2009. С. 17–28.
5. Александров Ю.И., Гринченко Ю.В., Светлаев И.А. Влияние острого введения этанола на реализацию поведения и его нейронное обеспечение // Журнал высшей нервной деятельности. 1990. Т. 40. № 3. С. 456–466.
6. Александров Ю.И., Сварник О.Е., Знаменская И.И., Колбенева М.Г., Арутюнова К.Р., Крылов А.К., Булава А.И. Регрессия как этап развития // М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2017.
7. Анохин П.К. Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973.
8. Бахчина А.В. Лингвистические задания для актуализации индивидуального опыта, сформированного на разных этапах онтогенеза, в психофизиологическом эксперименте // Теоретические и прикладные аспекты изучения речевой деятельности. 2016. Т. 11. № 4. С. 184–193.
9. Бахчина А.В., Александров Ю.И. Сложность сердечного ритма при временной системной дедифференциации // Экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 2. С. 114–130.
10. Витязев В.В. Анализ неравномерных временных рядов: Учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001.
11. Загускин С.Л. Ритмы клетки и здоровье человека. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010.
12. Знаменская И.И., Марков А.В., Бахчина А.В., Александров Ю.И. Отношение к “чужим” при стрессе: системная дедифференциация // Психологический журнал. 2016. Т. 37. № 4. С. 44–58.
13. Колбенева М.Г. Психофизиологические закономерности инициируемой словами актуализации индивидуального опыта разной дифференцированности: Дисс. ... к. психол. н. М., 2013.
14. Полевая С.А., Рунова Е.В., Некрасова М.М., Федотова И.В., Ковальчук А.В., Бахчина А.В., Шишалов И.С., Парин С.Б. Телеметрические и информационные технологии в диагностике функционального состояния спортсменов // Современные технологии в медицине. 2012. № 4. С. 94–98.
15. Чуприкова Н.И. Психология умственного развития: Принцип дифференциации. М.: Столетие, 1997.
16. Швырков В.Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2006.
17. Acharya U.R., Joseph K.P., Kannathal N., Lim C.M., Suri J.S. Heart rate variability: a review // Medical and biological engineering and computing. 2006. № 44. P. 1031–1051.

18. *Alexandrov Yu.I., Grinchenko Yu.V., Laukka S., Järvillehto T., Maz V.N., Korpusova A.V.* Effect of ethanol on hippocampal neurons depends on their behavioral specialization // *Acta Physiologica Scandinavica*. 1993. V. 149. № 1. P. 105–115.
19. *Anokhin A.P., Birbaumer N., Lutzenberger W., Nikolaev A., Vogel F.* Age increases brain complexity // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1996. № 99. P. 63–68.
20. *Bernardi L., Wdowczyk-Szulc J., Valenti C., Castoldi S., Passino C., Spadacini G., Sleight P.* Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability // *Journal of the American college of cardiology*. 2000. V. 35. № 6. P. 1462–1469.
21. *Bird H., Franklin S., Howard D.* Age of acquisition and imageability ratings for a large set of words, including verbs and function words // *Behavior research methods. Instruments and computers*. 2001. V. 33. № 1. P. 73–79.
22. *Carver C.S., Sutton S.K., Scheier M.F.* Action, emotion, and personality: Emerging conceptual integration // *Personality and social psychology bulletin*. 2000. № 26. P. 741–751.
23. *Critchley H.D., Harrison N.A.* Visceral influences on brain and behavior // *Neuron*. 2013. V.77. № 4. P. 624–638.
24. *Fleisher L.A., Frank S.M., Sessler D.I., Cheng C., Matsuoka T., Vannier C.A.* Thermoregulation and heart rate variability // *Clinical science*. 1996. № 90. P. 97–103.
25. *Ghyselinck M, Lewis MB, Brysbaert M.* Age of acquisition and the cumulative-frequency hypothesis: a review of the literature and a new multi-task investigation // *Acta Psychologica (Amst)*. 2004. № 115. P. 43–67.
26. *Heck D.H., McAfee S.S., Liu Yu., Babajani-Feremi A., Rezaie R., Freeman W.J., Wheless J.W., Papanicolaou A.C., Ruzjinky M., Sokolov Y., Kozma R.* Breathing as a fundamental rhythm of brain function // *Frontiers in neural circuits*. 2016. V. 10. Article 115. doi: 10.3389/fncir.2016.00115.
27. *Kafkas A, Montaldi D.* The pupillary response discriminates between subjective and objective familiarity and novelty // *Psychophysiology*. 2015. № 52. P. 1305–1316.
28. *Kolbeneva M.G., Alexandrov Y.I.* Mental reactivation and pleasantness judgment of experience related to vision, hearing, skin sensations, taste and olfaction // *Plos one*. 2016. V. 11. № 7. doi:10.1371/journal.pone.0159036.
29. *Koval P., Ogrinz B., Kuppens P., Van den Bergh O., Tuerlinckx F., Sütterlin S.* Affective instability in daily life is predicted by resting heart rate variability // *Plos One*. 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0081536.
30. *Pavlenko A.* Affective processing in bilingual speakers: disembodied cognition? // *International journal of psychology*. 2013. V. 47. № 6. P. 405–428.
31. *Porges S.W.* The Polyvagal Theory: phylogenetic contributions to social behavior // *Physiology and behavior*. 2003. V. 79. № 3. P. 503–513.
32. *Richman J.S., Moorman J.R.* Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // *American journal of physiology – heart and circulatory physiology*. 2000. V. 278. № 6. P. 2039–2049.
33. *Shaffer F., Mc Craty R., Zerr C.L.* A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart’s anatomy and heart rate variability // *Frontiers in psychology*. 2014. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040/ 2014.
34. *Sroufe L.A.* Effects of depth and rate of breathing on heart rate and heart rate variability // *Psychophysiology*. 1971. V. 8. № 5. P. 648–655.
35. *Thayer J.F., Lane R.D.* Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neuroscience and biobehavioral reviews*. 2009. № 33. P. 81–88.
36. *Wake E., Brack K.* Characterization of the intrinsic cardiac nervous system // *Autonomic neuroscience: basic and clinical*. 2016. № 199. P. 3–16.
37. *Walley A.C., Metsala J.L.* Young children’s age-of-acquisition estimates for spoken words // *Memory and cognition*. 1992. V. 20. № 2. P. 171–182.
38. *Yeh J.R., Peng C.K., Lo M.T., Yeh C.H., Chen S.C., Wang C. Y., Lee P.L., Kang J.H.* Investigating the interaction between heart rate variability and sleep EEG using nonlinear algorithms // *Journal of neuroscience methods*. 2013. № 219. P. 233–239.

CORRESPONDENCE BETWEEN THE HEART RATE COMPLEXITY AND SYSTEM CHARACTERISTICS OF PERFORMED BEHAVIOR¹⁾

A. V. Bakhchina^{1*}, A. V. Demidovsky^{2**}, Yu. I. Alexandrov^{1***}

¹⁾*Institute of Psychology RAS; 129366, Moscow, Yaroslavskaya st., 13, Russia.*

²⁾*National Research University "Higher School of Economics"; 603155, Nizhny Novgorod, Bolshaya Pecherskaya st., 25/12, Russia.*

* *PhD (psychology), research assistant, Laboratory of the neural bases of mind named after V.B. Shvyrkov. E-mail: nastya18-90@mail.ru*

** *Postgraduate student, Department of Informational Technology. E-mail: ademidovskij@hse.ru*

*** *Sc.D. (psychology), professor, corresponding member of RAE, head of the laboratory of the neural bases of mind named after V.B. Shvyrkov. E-mail: yuraalexandrov@yandex.ru*

Received 19.02.2018

Abstract. It is the important issue in system psychophysiology to describe the processes of orchestration and development of functional systems. Within the framework of the issue, heart rate variability dynamics was studied in behaviors formed at different stages of the ontogeny (earlier and later). Participants ($n = 35$ (5 female), age from 23 to 37 ($M = 27.78$; $Me = 28$)) had the professional education in fields of physics or mathematics. They had to perform the task of filling in gaps at sentences. There were two groups of sentences: 1) sentences consisted words, which age of acquisition was the period of learning at a university, from professional mathematicians vocabulary; 2) sentences consisted common-used words, which are used by children of pre-school and school ages. Heart rate complexity was measured with Sample Entropy. Comparison of two tasks has shown that heart rate complexity was less during the performance of the behavior formed on earlier stages of individual development (working with sentences with common-used words). In light of the system-evolutionary approach, the results can be explained through dissimilarities of sets of functional systems actualized in different behaviors. It is important to notice, system temporary dedifferentiation, which was induced by alcohol administration, decreased differences between heart rate complexities in two behaviors. It was concluded, heart rate complexity reflects system characteristics of performed behavior.

Keywords: heart rate variability, system differentiation, temporary dedifferentiation, complexity, alcohol.

REFERENCES

1. Alexandrov Yu.I. Psihofiziologicheskoe zhanenie aktivnosti central'nyh i perifericheskikh nejronov v povedenii. Moscow: Nauka, 1989. (in Russian)
2. Alexandrov Yu.I. Vvedenie v sistemnuju psihofiziologiju // Psihologija XXI veka. Moscow: PerSe. 2003. P. 39–85. (in Russian)
3. Alexandrov Yu.I. Otjemocijkoznaniju // Psihologijatorchestva: shkola Ja.A. Ponomareva / Podred. D.V. Ushakova. Moscow: Publ. "Institut psihologii RAN", 2006. P. 293–328. (in Russian)
4. Alexandrov Yu.I. Razvitie Razvitie kak differenciacija // Teorija razvitiya: Differencionno-integracionnaja paradigma / Sost. N.I. Chuprikova. Moscow: Jazyki slavjanskikh kul'tur, 2009. P. 17–28. (in Russian)
5. Alexandrov Yu.I., Grinchenko Yu.V., Svetlaev I.A. Vlijanie ostrogo vvedenija jetanola na realizaciju povedenija i ego nejronnoe obespechenie // Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti. 1990. V. 40. № 3. P. 456–466. (in Russian)
6. Alexandrov Yu.I., Svarnik O.E., Znamenskaya I.I., Kolbeneva M.G., Arutynova K.R., Krylov A.K., Bulava A.I. Regressija kak jetap razvitiya // Moscow: Publ. "Institut psihologii RAN", 2017. (in Russian)
7. Anokhin P.K. Principi sistemnoi organizacii funkcii. Moscow: Nauka, 1973. (in Russian)
Bakhchina A.V. Lingvisticheskie zadaniya dlja aktualizacii individual'nogo opyta, sformirovannogo na raznyh jetapah otnogenez, v psihofiziologicheskom jeksperimente // Teoreticheskie i prikladnye aspekty izuchenija rechevoj dejatel'nosti. 2016. V. 11. № 4. P. 184–193. (in Russian)
8. Bakhchina A.V., Alexandrov Yu.I. Slozhnost' serdechnogo ritma pri vremennoj sistemnoj dedifferenciacii // Jeksperimental'naja psihologija. 2017. V. 10. № 2. P. 114–130. (in Russian)
9. Vityazev V.V. Analiz neravnomernyh vremennyh rjadov: Uchebnoe posobie. St. Petersburg: Publ. S.-Peterb. un-ta, 2001. (in Russian)
10. Zaguskin S.L. Ritmy kletki i zdorov'e cheloveka. Rostov-na-Donu: Publ. JuFU, 2010. (in Russian)
11. Znamenskaya I.I., Markov A.V., Bakhchina A.V., Alexandrov Yu. I. Otnoshenie k "chuzhim" pri stresse: sistemnaja dedifferenciacija // Psihologicheskii zhurnal. 2016. V. 37. № 4. P. 44–58. (in Russian)
12. Kolbeneva M.G. Psihofiziologicheskie zakonomernosti initsiruemoi slovami aktualizatsii individual'nogo opyta raznoi differentsirovannosti: Diss. ... k. psihol.n. Moscow, 2013. (in Russian)
13. Poleyaya S.A., Runova E.V., Nekrasova M.M., Fedotova I.V., Kovalchuk A.V., Bakhchina A.V., Shishalov I.S., Parin S.B. Telemetricheskie i informacionnye tehnologii v diagnostike funkcional'nogo sostojanija sportsmenov // Sovremennye tehnologii v medicine. 2012. № 4. P. 94–98. (in Russian)
14. Chuprikova N.I. Psihologija umstvennogo razvitiya: Princip differenciacii. Moscow: Stoletie, 1997. (in Russian)
15. Shvyrkov V.B. Vvedenie v objektivnuju psihologiju. Neironal'nye osnovy psikhiki. Izbrannye Trudy. Moscow: Publ. "Institut psihologii RAN", 2006. (in Russian)
16. Acharya U.R., Joseph K.P., Kannathal N., Lim C.M., Suri J.S. Heart rate variability: a review // Medical and biological engineering and computing. 2006. № 44. P. 1031–1051.

¹⁾This work has been supported by RFBR (grant № 16-36-60044 mol_a_dk).

17. *Alexandrov Yu.I., Grinchenko Yu.V., Laukka S., Järvillehto T., Maz V.N., Korpusova A.V.* Effect of ethanol on hippocampal neurons depends on their behavioural specialization // *Acta Physiologica Scandinavica*. 1993. V. 149. № 1. P. 105–115.
18. *Anokhin A.P., Birbaumer N., Lutzenberger W., Nikolaev A., Vogel F.* Age increases brain complexity // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1996. № 99. P. 63–68.
19. *Bernardi L., Wdowczyk-Szulc J., Valenti C., Castoldi S., Passino C., Spadacini G., Sleight P.* Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability // *Journal of the American college of cardiology*. 2000. V. 35. № 6. P. 1462–1469.
20. *Bird H., Franklin S., Howard D.* Age of acquisition and imageability ratings for a large set of words, including verbs and function words // *Behavior research methods. Instruments and computers*. 2001. V. 33. № 1. P. 73–79.
21. *Carver C.S., Sutton S.K., Scheier M.F.* Action, emotion, and personality: Emerging conceptual integration // *Personality and social psychology bulletin*. 2000. № 26. P. 741–751.
22. *Critchley H.D., Harrison N.A.* Visceral influences on brain and behavior // *Neuron*. 2013. V. 77. № 4. P. 624–638.
23. *Fleisher L.A., Frank S.M., Sessler D.I., Cheng C., Matsukawa T., Vannier C.A.* Thermoregulation and heart rate variability // *Clinical science*. 1996. № 90. P. 97–103.
24. *Ghyselinck M, Lewis MB, Brysbaert M.* Age of acquisition and the cumulative-frequency hypothesis: a review of the literature and a new multi-task investigation // *Acta Psychologica (Amst)*. 2004. № 115. P. 43–67.
25. *Heck D.H., McAfee S.S., Liu Yu., Babajani-Feremi A., Rezaie R., Freeman W.J., Wheless J.W., Papanicolaou A.C., Ruzinky M., Sokolov Y., Kozma R.* Breathing as a fundamental rhythm of brain function // *Frontiers in neural circuits*. 2016. V. 10. Article 115. doi: 10.3389/fncir.2016.00115.
26. *Kafkas A., Montaldi D.* The pupillary response discriminates between subjective and objective familiarity and novelty // *Psychophysiology*. 2015. № 52. P. 1305–1316.
27. *Kolbeneva M.G., Alexandrov Y.I.* Mental reactivation and pleasantness judgment of experience related to vision, hearing, skin sensations, taste and olfaction // *Plos one*. 2016. V. 11. № 7. doi:10.1371/journal.pone.0159036
28. *Koval P., Ogrinz B., Kuppens P., Van den Bergh O., Tuerlinckx F., Sütterlin S.* Affective instability in daily life is predicted by resting heart rate variability // *Plos One*. 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0081536.
29. *Pavlenko A.* Affective processing in bilingual speakers: disembodied cognition? // *International journal of psychology*. 2013. V. 47. № 6. P. 405–428.
30. *Porges S.W.* The Polyvagal Theory: phylogenetic contributions to social behavior // *Physiology and behavior*. 2003. V. 79. № 3. P. 503–513.
31. *Richman J.S., Moorman J.R.* Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // *American journal of physiology – heart and circulatory physiology*. 2000. V. 278. № 6. P. 2039–2049.
32. *Shaffer F., Mc Craty R., Zerr C.L.* A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability // *Frontiers in psychology*. 2014. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040/2014.
33. *Sroufe L.A.* Effects of depth and rate of breathing on heart rate and heart rate variability // *Psychophysiology*. 1971. V. 8. № 5. P. 648–655.
34. *Thayer J.F., Lane R.D.* Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neuroscience and biobehavioral reviews*. 2009. № 33. P. 81–88.
35. *Wake E., Brack K.* Characterization of the intrinsic cardiac nervous system // *Autonomic neuroscience: basic and clinical*. 2016. № 199. P. 3–16.
36. *Walley A.C., Metsala J.L.* Young children's age-of-acquisition estimates for spoken words // *Memory and cognition*. 1992. V. 20. № 2. P. 171–182.
37. *Yeh J.R., Peng C.K., Lo M.T., Yeh C.H., Chen S.C., Wang C. Y., Lee P.L., Kang J.H.* Investigating the interaction between heart rate variability and sleep EEG using nonlinear algorithms // *Journal of neuroscience methods*. 2013. № 219. P. 233–239.