

УДК 612.821

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРМОЗНОГО И АВТОНОМНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОРТОСТАЗЕ И В ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

© 2022 г. С. Г. Кривощёков¹, *, Е. И. Николаева², Е. Г. Вергунов¹, А. Ю. Приходько¹

¹ФГБУН Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины,
Новосибирск, Россия

²Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: krivosch@physiol.ru

Поступила в редакцию 04.11.2020 г.

После доработки 02.04.2021 г.

Принята к публикации 07.04.2021 г.

Целью исследования был многомерный сравнительный анализ показателей тормозного контроля в парадигме *Go/NoGo* и показателей регуляции автономной нервной системы при ортостазе и в эмоциональных ситуациях различной валентности. В исследовании принимали участие добровольцы в возрасте от 20 лет до 21 года (обследовано 16 юношей). Критериями включения в исследование были отсутствие установленных медицинских диагнозов, отсутствие систематических занятий спортом, отсутствие нарушений синусового ритма сердца. Во время ортостазы у испытуемых оценивали уровни функционирования и резервов сердечно-сосудистой системы (методика *A. Riffin*), тормозный контроль (парадигма *Go/NoGo*), отношение *LF/HF* в эмоциональных состояниях (припоминание ситуаций наказания и поощрения в детском возрасте в семье). Установлено участие тормозного контроля в процессе вхождения в новую когнитивную задачу. Выявлена тесная корреляция между показателями *LF/HF* в эмоциональных состояниях различной валентности. Анализ правила № 1 *WizWhy* показал, что соотношение *LF/HF* в эмоциональном состоянии негативной валентности в подгруппах можно рассматривать в качестве ковариат для объяснения физиологических механизмов развития эмоционального состояния (ковариаты механизмов). Было установлено, что *LF/HF* в эмоциональном состоянии позитивной валентности и число ошибок *NoGo* обладают дискриминантной силой при выявлении подгрупп. Анализ правила № 2 *WizWhy* показал, что для ковариаты механизмов в подгруппах можно предложить число ошибок *NoGo*. Было установлено, что уровень резервов сердечно-сосудистой системы как показатель обладает дискриминантной силой при выявлении подгрупп. Были установлены возможные варианты инвертированной *U*-образной взаимосвязи для уровня функционирования сердечно-сосудистой системы и соотношения *LF/HF* в эмоциональном состоянии положительной валентности. Анализ правила № 3 *WizWhy* показал, что для ковариаты механизмов в подгруппах можно предложить *LF/HF* в эмоциональном состоянии позитивной валентности. Было установлено, что количество ошибок *NoGo* обладает дискриминантной силой при выявлении подгрупп. Показанное при анализе всех трех правил участие число ошибок *NoGo* во взаимодействиях показателей, полученных на основе математического и спектрального анализа сердечного ритма, говорит о сложных связях активности отделов автономной нервной системы в эмоциональных состояниях, уровня функционирования и резервов сердечно-сосудистой системы, тормозного контроля.

Ключевые слова: ортостаз, сердечный ритм в эмоциональных состояниях, поощрение, наказание, парадигма *Go/NoGo*, *WizWhy*, критерий Мантеля, *2B-PLS* (бикомпонентный) анализ.

DOI: 10.31857/S0131164621060059

R.M. Yerkes и *J.D. Dodson* в начале XX века описали закон, согласно которому для каждого типа активности есть свой оптимум активации, обеспечивающий наиболее успешные результаты такой активности [1]. До сих пор большинство ис-

следователей придерживается этой позиции, а точная настройка систем регуляции на деятельность выглядит как инвертированная *U*-образная кривая: низкий и сверхвысокий уровни активности снижают эффективность деятельности, а при

определенных характеристиках активности, что можно назвать оптимум, отмечаются самые высокие показатели деятельности.

Значительный вклад в настройку уровня активации вносит автономная нервная система. Но чем сложнее когнитивная деятельность, тем сложнее отношения между различными компонентами системы регуляции активности и результатами когнитивной деятельности [2]. Эти отношения имеют нелинейную природу, в том числе и потому, что, кроме системы активации, результативность когнитивной деятельности определяется другими процессами, в частности, мотивацией к этой деятельности [3, 4].

Одним из наиболее часто используемых показателей функционирования автономной системы считается вариабельность сердечного ритма [5]. Показана сложная связь между активностью автономной системы и когнитивными функциями, но более определенная связь обнаружена для функций управления изменением поведения (исполнительных функций, *Executive Functions*), что объясняется тем, что и функция управления изменением поведения, и автономная нервная система находятся под контролем префронтальной коры [6].

Функции управления изменением поведения чаще всего [7] представляют в виде трех компонентов: тормозного контроля, рабочей памяти и когнитивной гибкости [8]. Тормозный контроль описывает способность прекратить деятельность, не несущую результата или представляющую угрозу результату [9, 10]. Данные о связи тормозного контроля и автономного контроля противоречивы [11]. Это связано, по-видимому, с наличием дополнительных факторов, влияющих как на автономную нервную систему, так и на тормозный контроль. В связи с этим встает вопрос об ограничении факторов влияния путем их контроля.

Процесс припоминания человеком из детства ситуаций его наказания и поощрения в семье [12] позволяет ограничить диапазон изменения его эмоционального состояния, а процесс ортостаза [2, 13] — ограничить диапазон изменения активности автономной нервной системы.

Создание требуемого эмоционального состояния — это одна из сложных проблем экспериментальной психофизиологии. В тоже время доказано, что если испытуемый припоминает ситуации из детства, связанные с наказанием и поощрением в семье, то это ведет к изменению его эмоционального состояния в любом возрасте [14, 15]. Для создания эмоциональных состояний различной валентности с помощью припоминания таких ситуаций мы воспользовались опросником [12], который был ранее многократно апробирован.

Изучение тормозного контроля чаще всего происходит на основе рефлексометрической за-

дачи *Go/NoGo* [16, 17]. В парадигме *Go/NoGo* испытуемый должен реагировать на разрешенные стимулы (стимулы *Go*) и не реагировать на запрещенные стимулы (стимулы *NoGo*), т.е. затормозить уже выученное действие, продолжая реагировать на другие стимулы. Для оценки тормозного контроля в этой парадигме анализируется такой показатель, как ошибочные реакции испытуемого на стимулы *NoGo* (ошибки *NoGo*) [16, 17].

Именно поэтому целью исследования стал сравнительный анализ показателей тормозного контроля в парадигме *Go/NoGo* и показателей регуляции автономной нервной системы при ортостазе и в эмоциональных ситуациях различной валентности (припоминание методов наказания и поощрения).

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие добровольцы в возрасте от 20 лет до 21 года (были обследованы 16 юношей одного курса вуза, которые соответствовали критериям включения и представили информированное согласие). Критериями включения в исследование были отсутствие установленных медицинских диагнозов (это выяснялось с помощью опроса), отсутствие систематических занятий спортом в течение жизни, отсутствие нарушений синусового ритма сердца в оперативном покое в положении лежа (это выяснялось по заключению аппаратно-программного комплекса *Nerve-Express*). У испытуемых оценивалось:

- 1) функциональное состояние по методике *A. Riffin* во время ортостаза (*Riffin A. Fitness Score assessment based on Heart Rate Variability analysis during orthostatic intervention. Patent: US 8, 682, 421 B2; 2014; [2, 13]*) на основе параметров вариабельности сердечного ритма;

- 2) тормозный контроль в парадигме *Go/NoGo* [2];

- 3) соотношение частот *LF* (*Low Frequency*, низкочастотный диапазон) и *HF* (*High Frequency*, высокочастотный диапазон) в спектре сердечного ритма (*LF/HF*) [13, 18] в эмоциональных состояниях (припоминание ситуаций наказания и поощрения в детском возрасте в семье).

Показатели сердечного ритма регистрировали с помощью аппаратно-программного комплекса *Nerve-Express* (*Intelwave Inc., Valley Stream, NY, США*). *Nerve-Express* регистрирует кардиоритмограмму и обеспечивает работу с двумя испытуемыми одновременно. Это позволило провести обследование всех испытуемых в один и тот же день (в его первой половине) и, таким образом, снизить количество контролируемых в исследовании факторов. *Nerve-Express* производит эффективную оценку деятельности регуляторных систем на основе математического анализа сер-

Таблица 1. Градации уровней функционирования и резервов сердечно-сосудистой системы и их обозначения

ФСС в тексте	ФСС по <i>Rifitin</i>	Баллы	РСС по <i>Rifitin</i>	РСС в тексте
Нет	Уровень атлетов	1	Уровень атлетов	Нет
	Диапазон уровней выше среднего	2	Уровень выше среднего	РСС0
		3	Диапазон среднего уровня	
		4		
		5	Диапазон уровней ниже среднего	РСС1
ФСС0	6			
ФСС1	7			
ФСС2	Диапазон уровней ниже среднего	8	Нет	Нет
ФСС3		9		
Нет		10		
		11		
		12		
	13			

Примечание: ФСС – уровень функционирования сердечно-сосудистой системы. РСС – уровень резервов сердечно-сосудистой системы; в центральном столбце даны возможные значения показателей (в баллах, выделено жирным шрифтом). В столбцах справа и слева от него даны авторские описания диапазонов значений показателей; в крайних столбцах даны обозначения, которые используются в тексте статьи.

дечного ритма, включающего в себя статистические методы, спектральные методы и методы искусственного интеллекта [13, 18] (*Rifitin A. Fitness Score assessment based on Heart Rate Variability analysis during orthostatic intervention. Patent: US 8,682,421 B2*; 2014).

Из многочисленных параметров ортостатической пробы было взято два интегральных показателя: уровень функционирования сердечно-сосудистой системы (ФСС) и уровень резервов сердечно-сосудистой системы (РСС). Уровень ФСС основан на анализе параметров сердечного ритма в положении “лежа” и “стоя”. Уровень РСС определяется на основе параметров сердечного ритма в переходном периоде (когда испытуемый встает). Увеличение баллов ФСС и РСС соответствует ухудшению функционального состояния. Более подробно градации уровней ФСС и РСС, а также их обозначения в тексте статьи, даны в табл. 1.

Используемая нами парадигма *Go/NoGo* направлена на оценку тормозного контроля и состоит из двух полностью идентичных частей, в которых предъявляются стимулы – круги разного цвета. Согласно инструкции, на разрешенные стимулы (*Go*) при их предъявлении требуется максимально быстро нажать на клавишу “пробел”. На предъявление запрещенных стимулов (*NoGo*) – кругов красного цвета – нельзя нажимать на клавишу “пробел”. Чем меньше ошибок делает испытуемый, т.е. реже нажимает на клавишу “пробел” при предъявлении *NoGo* стимула,

тем эффективнее работает его тормозный контроль.

Таким образом, одной из особенностей используемой парадигмы *Go/NoGo* является оценка тормозного контроля в различных режимах когнитивной деятельности:

1) знакомство с новой когнитивной задачей, вхождение испытуемого в выполнение новой задачи, адаптация к новой задаче, выработка нового поведенческого шаблона (число ошибок *NoGo_1*);

2) работа с уже знакомой когнитивной задачей, продолжение уже привычной деятельности (число ошибок *NoGo_2*);

3) когнитивная деятельность, в которую входят п. 1 и 2 (число ошибок $NoGo_3 = NoGo_1 + NoGo_2$).

На основе разведочного анализа пилотных экспериментов из всех результатов парадигмы *Go/NoGo* был взят показатель, который наиболее полноценно оценивает тормозные процессы во время адаптации/“вхождения” в новую когнитивную задачу – количество ошибок *NoGo* в режиме когнитивной деятельности (1). То есть количество нажатий на клавишу “пробел” в ответ на предъявление запрещенного стимула (*NoGo*) в первой из двух идентичных частей парадигмы *Go/NoGo*.

В последней части исследования был использован опросник, апробированный ранее [12], в котором испытуемому задавали вопросы о методах наказания и поощрения в детстве в семье с

Таблица 2. Градации диапазонов соотношения LF/HF и их обозначения

LF/HF	Стандартные градации	LF/HF (выборка)	Обозначение в тексте
0	Превалирование активности парасимпатического отдела над активностью симпатического (вагусная активность)	[0.15...0.40]	B3 (сильно выражено)
		[0.40...0.62–0.64]	B2 (средне выражено)
		[0.62–0.64...0.72]	B1 (слабо выражено)
1.50		[0.74...1.39–1.41]	B0 (слабо выражено)
1.50 2.00	Баланс активности отделов АНС (нейтральная активность, вегетативный баланс)	[1.39–1.41...2.00]	Б
2.00 [...]	Превалирование активности симпатического отдела (симпатическая активность)	[2.00...4.10] [4.10...6.02]	C0 (слабо выражено) C1 (средне выражено)

Примечание: LF/HF – соотношение частот LF и HF в спектре сердечного ритма. Стандартные градации (выделено жирным шрифтом) даны по [33].

параллельной записью variability сердечного ритма. Сначала шли вопросы о методах поощрения, а потом такое же время шли вопросы о методах наказания. Испытуемый устно отвечал на вопросы. Задача опросника заключалась в том, чтобы вызвать изменение эмоционального состояния для оценки вегетативной регуляции. Оценку вегетативной регуляции мы выполняли по стандартному показателю спектрального анализа сердечного ритма – соотношению LF/HF , рост величины которого соответствует [19] повышению центральных (и симпатических) влияний на сердечный ритм, в нашем случае – в эмоциональных состояниях [20]. Градации диапазонов соотношения LF/HF , а также их обозначения в тексте статьи, даны в табл. 2.

Для многомерного анализа данных использовали следующие инструменты: поиск правил “если ... то”, критерий Мантеля (*Mantel test*), бикомпонентный анализ (*2B-PLS*), дискриминантный анализ.

Для интеллектуального анализа данных (*Data Mining*) использовали известный аппарат для построения дерева решений по правилам “если ... то” [21, 22] в программной реализации *WizWhy*. Программный пакет *WizWhy* использует алгоритм, который был создан М.М. Бонгардом на основе ограниченного перебора и который активно применяется при обработке *Big Data* для выявления скрытых логических закономерностей. В нашей стране начало использования *WizWhy* было положено М.А. Холодной в приложении к психологическим наукам [23, 24]. Хороший результат при обработке данных, имеющих характер связи в виде инвертированной U-образной кривой, был получен Н.А. Алмаевым [25]. Результативность анализа инвертированной U-образной зависимости для данных, включающих в себя самый разнообразный набор показателей для базы данных из нескольких десятков тысяч записей, была показана в работе [26]. В наших предыдущих исследованиях программа *WizWhy* также

показала высокую эффективность при анализе параметров variability сердечного ритма в эмоциональных состояниях различной валентности [27].

WizWhy для изучаемой группы выдает результат с оценкой уровня статистической значимости p вида (1) или (2):

1) правило “если верно ([условие для ряда данных A] и/или [условие для ряда данных B] и/или [условие для ряда данных C] ... N), то верно ([условие для ряда данных X])” со списком элементов, которые полностью соответствуют блоку условий “если” и выводу “то” (т.е. правило выполняется, такие элементы есть обязательно), и списком элементов, которые соответствуют условиям “если”, но противоречат выводу “то” (правило не выполняется, таких элементов может не быть). При этом факт соответствия выводу “то” для любого элемента не означает, что автоматически для этого элемента должны быть выполнены все условия “если” (и это не будет нарушением правила). Таким образом, правило “если ..., то ...” описывает в общем случае связь ассиметричного типа. Поэтому достигнуть хорошего уровня статистической значимости по такому правилу можно только на больших или очень больших выборках;

2) сводное правило “условие для ряда данных X верно в том и только в том случае, если для всех элементов без исключения верно ([условие для ряда данных A] и/или [условие для ряда данных B] и/или [условие для ряда данных C] ... N)” со списком элементов, для которых это правило выполняется. Таким образом, сводное правило описывает связь только симметричного типа, что и повышает его ценность на небольших выборках.

Можно правило “если ..., то ...” представить как выражение: $(A * B * C * ... * N) = X$ (для случая “и” в разделе “если”); $(A + B + C + ... + N) = X$ (для случая “или” в разделе “если”).

При математической обработке ряды данных $A, B, C, ..., N$ принято называть независимыми пе-

ременными, а ряд данных X — зависимой переменной. С точки зрения психофизиологии одно-временное (сопутствующее) выполнение таких условий подразумевает наличие общего механизма, обуславливающего их взаимосвязь.

Естественно, что имеет смысл обсуждать только те выводы, для которых $p < 0.05$ — только тогда сделанный вывод можно распространить на соответствующую популяцию.

Для анализа результатов, полученных с помощью *WizWhy*, был использован многомерный критерий Мантеля (*Mantel test*) [28] и многомерный бикомпонентный анализ (*2B-PLS*) [29], реализованный в программном комплексе *JACOBI* 4 версии 4.3.20 [30, 31].

Критерий Мантеля относится к элементам многомерного анализа и позволяет оценить многомерную корреляцию (параметрическую или ранговую) между матрицами дистанций между признаками [28, 32]. В нашем случае это дистанции между изучаемыми показателями (рядами психофизиологических данных) в подгруппах испытуемых. Результатом теста Мантеля является коэффициент, который изменяется от 0 до +1 (и имеет физический смысл коэффициента корреляции, взятого по модулю) и уровень статистической значимости p .

PLS — emo Projection to Latent Structure (или *Partial Least Squares* — устаревший, но часто используемый вариант названия). *2B-PLS — Two-Block PLS* — бикомпонентный *PLS*-анализ [31]. Метод *2B-PLS* позволяет выявлять глубинные совместные “латентные переменные” (механизмы), которые одновременно относятся к двум различным совокупностям (матрицам) многомерных данных [29] (в нашем случае это показатели для подгрупп испытуемых). В процессе бикомпонентного анализа осуществляется центрирование, масштабирование и разворот обеих матриц с данными так, чтобы максимизировать ковариацию между ними (данные операции полностью сохраняют все структурные взаимоотношения между объектами в отличие от инструментов метода наименьших квадратов (*OLS*), при использовании которых происходит частичная деформация изучаемой структуры). Это используется для получения максимального сопряжения (сходства) между матрицами в случае *PLS*-регрессии или получения максимального различия между матрицами в случае *PLS*-анализа. Любые виды *PLS*-анализа очень эффективно аккумулируют в первых нескольких компонентах всю информацию из всей совокупностей данных даже в тех случаях, когда анализируются многие сотни показателей.

Если для критерия Мантеля матрицы дистанций готовить с учетом центрирования, масштабирования и поворота на угол, который максимизи-

рует ковариацию, то критерий Мантеля покажет не только уровень корреляционной связи, но и уровень конгруэнтности матриц.

Для выявления показателей, которые имеют дискриминантную силу, был использован дискриминантный анализ. Бикомпонентный и дискриминантный анализ проводили также с помощью программного комплекса *JACOBI* 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика выборки. Исходные данные по всем испытуемым представлены в левой части табл. 3, из которой следует, что все испытуемые допускали ошибки в задаче *Go/NoGo* (от 2 до 9, медиана 5.0), был широкий диапазон значений показателя *LF/HF* в эмоциональных состояниях различной валентности (при воспоминаниях о ситуациях наказания и поощрениях в семье в детстве).

Уровень функционирования сердечно-сосудистой системы испытуемых находится в диапазоне от *ФСС0* до *ФСС2*, а уровень резервов сердечно-сосудистой системы испытуемых находится в диапазоне от *РСС0* до *РСС1* (табл. 1 и 3).

Статистически значимые корреляции на уровне $p < 0.05$ были обнаружены между показателями *LF/HF* в эмоциональных состояниях различной валентности (коэффициент корреляции Спирмана $P_0 = +0.550$; $p = 0.014$) и между уровнем функционирования сердечно-сосудистой системы и количеством ошибок *NoGo* (коэффициент корреляции Спирмана $P_0 = +0.665$; $p = 0.002$).

Оценка частных корреляций показала, что между показателями *LF/HF* в эмоциональных состояниях различной валентности (за вычитанием влияния уровня функционирования сердечно-сосудистой системы) коэффициент корреляции равен $r = 0.725$ ($R^2 = 0.53$; $p < 0.001$), а “чистый” коэффициент корреляции Пирсона между ними $r = 0.677$ ($R^2 = 0.46$; $p = 0.002$). Эти корреляционные отношения послужили предметом анализа в сводном правиле “если ..., то ...” № 1.

Для уровня функционирования сердечно-сосудистой системы и количества ошибок *NoGo* в первой из двух идентичных частей парадигмы *Go/NoGo* (после исключения влияния показателя *LF/HF* в эмоциональном состоянии негативной валентности) коэффициент частной корреляции равен $r = 0.517$ ($R^2 = 0.27$; $p = 0.024$), при этом коэффициент корреляции Пирсона имеет такое же значение. Таким образом, можно сделать вывод о важности уровня функционирования сердечно-сосудистой системы для эффективности тормозного контроля на этапе вхождения в новую когнитивную задачу (по сравнению с другими

Таблица 3. Исходные данные и сводное правило № 1: показатели LF/HF в эмоциональных состояниях различной валентности и уровень функционирования сердечно-сосудистой системы

№	NoGo	PCC	ФСС	LF/HF валентность—	LF/HF валентность+	ФСС > 8	$LF/HF- > 0.72$	$LF/HF+ > 1.41$	D
1	6	5	10	0.718	1.395	1	0	0	–0.34
2	6	5	10	0.958	2.924	1	1	1	2.88
3	4	4	11	0.564	0.713	1	0	0	–1.01
4	4	4	11	0.398	1.131	1	0	0	–0.12
5	6	2	5	2.688	1.316	0	1	0	–0.50
6	4	5	11	4.854	2.817	1	1	1	3.43
7	9	5	8	0.815	0.472	0	1	0	–3.43
8	5	5	9	0.430	0.720	1	0	0	–1.38
9	5	7	11	0.413	0.218	1	0	0	–2.43
10	7	6	9	6.024	4.098	1	1	1	4.97
11	2	5	11	3.436	1.934	1	1	1	2.33
12	5	6	7	0.635	0.286	0	0	0	–2.29
13	5	6	11	0.739	3.030	1	1	1	3.49
14	3	5	10	0.482	0.151	1	0	0	–1.81
15	6	7	6	1.078	0.615	0	1	0	–1.98
16	6	3	7	2.404	0.695	0	1	0	–1.81

Примечание: NoGo – количество ошибок NoGo. ФСС – уровень функционирования сердечно-сосудистой системы, баллы. PCC – уровень резервов сердечно-сосудистой системы, баллы. “ LF/HF валентность—” (“ $LF/HF-$ ”) – показатель LF/HF в состоянии при воспоминании о наказаниях в семье в детстве; “ LF/HF валентность+” (“ $LF/HF+$ ”) – показатель LF/HF в состоянии при воспоминании о поощрении в семье в детстве; в трех предпоследних столбцах справа “1” при выполнении условия, которое указано в строке заголовков и “0” – при невыполнении условия. Жирным шрифтом выделена зависимая переменная. Сводное правило № 1: ($LF/HF+ > 1.41$) тогда и только тогда, когда встречается одновременно (ФСС > 8) и ($LF/HF- > 0.72$); в крайнем столбце (D) даны баллы дискриминантной функции для зависимой переменной (центр для подгруппы со значением 0 равен –1.555; центр для подгруппы со значением 1 равен +3.422).

этапами решения когнитивной задачи, где статистически значимые корреляции не найдены).

Анализ с помощью сводного правила № 1. Для поиска первого правила “если ..., то ...” на основе результатов изучения частных корреляций, описанных выше, были взяты три показателя: уровень функционирования сердечно-сосудистой системы и соотношения LF/HF в эмоциональных состояниях различной валентности.

WizWhy не просто нашла ряд правил для этих показателей, но и сформировала из них сводное правило (табл. 3, три столбца справа): у испытуемых условие ($LF/HF+ > 1.41$) будет выполняться тогда и только тогда, когда выполняется одновременно два условия ($LF/HF- > 0.72$) и (ФСС > 8). При этом надо учесть, что:

$LF/HF > 1.41$ – это диапазон Б + C0 + C1 (активность вне вагусного диапазона),

$LF/HF > 0.72$ – диапазон B0 + Б + C0 + C1 (отсутствие выраженного превалирования вагусной активности),

ФСС > 8 – это диапазон ФСС2 + ФСС3 (диапазон уровня функционирования сердечно-сосудистой системы ниже среднего).

Это правило сводное и притом построено по типу “логического и”, поэтому визуально его легко

контролировать: единица в столбце ($LF/HF+ > 1.41$) появляется только тогда, когда в столбцах ($LF/HF- > 0.72$) и (ФСС > 8) стоят единицы одновременно, при прочих вариантах в столбце ($LF/HF+ > 1.41$) должен стоять ноль. При этом условие ($LF/HF+ > 1.41$) либо соблюдается (тогда должна стоять единица), либо не соблюдается (должен стоять ноль) (рис. 1).

Вероятность того, что на выборке, состоящей из 16 испытуемых, именно все те (5 чел.), для которых выполняется условие ($LF/HF+ > 1.41$), случайно совпадут с теми, для кого выполняется одновременно условия ($LF/HF- > 0.72$) и (ФСС > 8), составляет величину $p = 0.0086 \ll 0.05$. Сама программа *WizWhy* оценивает статистическую значимость на уровне $p < 0.01$, что соответствует расчетам “вручную”.

Следует обратить внимание, что, хотя описанная с помощью правила “если ..., то ...” (на уровне статистической значимости $p < 0.05$) работа психофизиологических механизмов должна наблюдаться в популяции, но могут быть и другие психофизиологические механизмы, деятельность которых не проявила себя в конкретной выборке на уровне $p < 0.05$.

Проверка критерием Мантеля корреляции между матрицами расстояний между всеми пятью изучаемыми показателями для подгруппы испытуемых с $LF/HF+ > 1.41$ (5 чел.) и подгруппы с прочими испытуемыми (11 чел.) статистически значимой связи между матрицами не показала (значение ранговой корреляции составило 0.212; $p = 0.55 \gg 0.05$).

Результатом бикомпонентного анализа стала двумерная модель, описывающая 99.97% наблюдаемой общей дисперсии между пятью изучаемыми показателями в двух подгруппах (*NoGo*, ФСС, РСС, $LF/HF-$ и $LF/HF+$).

Из рис. 1 следует, что облако показателей подгруппы из 5 чел. относительно облака показателей подгруппы из 11 чел. имеет более короткие дистанции между показателями (критерий Манна-Уитни, $p \ll 0.05$). Подобная ситуация была показана ранее [26] при изучении других показателей вариабельности сердечного ритма у детей.

На основе рис. 1 по параметрам “максимальное “прижатие к оси” и “самое удаленное от центра своей группы положение вдоль оси” можно в качестве кандидатур для ковариат предложить группу показателей $LF/HF-$ и ФСС в подгруппе из 11 чел. для механизма (группы механизмов) № 1 (горизонтальная ось, описывает максимум общей дисперсии). По этим же параметрам для механизма (группы механизмов) № 2 (вертикальная ось) можно в качестве кандидатур для ковариат предложить группу показателей $LF/HF-$ и *NoGo* в подгруппе из 5 чел. Важно заметить, что направление изменений показателей $LF/HF-$, как возможных ковариат, противоположное друг другу в разных подгруппах. Данный факт нуждается в исследовании в специально спланированном эксперименте.

Таким образом, можно предполагать, что ковариатой механизмов, которые обуславливают взаимодействия по правилу № 1, можно считать показатель LF/HF в эмоциональном состоянии негативной валентности.

Дискриминантный анализ показал, что для безошибочной классификации испытуемых по правилу № 1 (100% правильно распознанных испытуемых, включая перекрестную проверку тоже на уровне 100%) достаточно одной дискриминантной функции, которая включает в себя два показателя. Результаты этой функции для каждого испытуемого и в центроидах подгрупп даны в табл. 3 (последний столбец).

Коэффициенты канонической функции:

- LF/HF в эмоциональном состоянии позитивной валентности: +2.107;
- количество ошибок *NoGo*: –0.384;
- константа: –0.972.

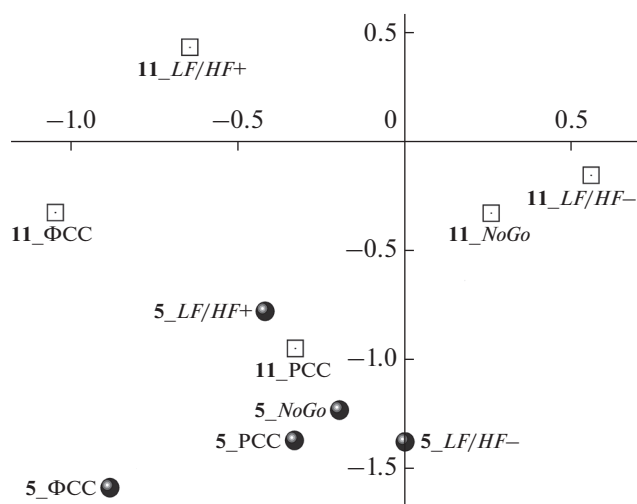


Рис. 1. Результаты бикомпонентного (2B-PLS) анализа подгрупп испытуемых из правила № 1.

NoGo — количество ошибок *NoGo*; ФСС — уровень функционирования сердечно-сосудистой системы; РСС — уровень резервов сердечно-сосудистой системы; $LF/HF-$ — показатель LF/HF в состоянии при воспоминании о наказании в семье в детстве; $LF/HF+$ — показатель LF/HF в состоянии при воспоминании о поощрении в семье в детстве; число перед названием показателя — подгруппа испытуемых из 5 или 11 чел., по которой он определялся. Горизонтальная ось — первая латентная структура, которая была определена 2B-PLS-анализом (описывает 79.17% наблюдаемой общей дисперсии), вертикальная ось — вторая латентная структура (описывает 20.80% наблюдаемой общей дисперсии). Шары — показатели основной подгруппы из правила (5 испытуемых); квадраты — показатели неосновной подгруппы из правила (11 испытуемых).

Анализ с помощью PLS-регрессии дал такой же результат.

Присутствие в дискриминантной функции отношения LF/HF в эмоциональном состоянии позитивной валентности ожидаемо из-за его наличия в условиях правила. А вклад в данную классификацию числа ошибок *NoGo* говорит о том, что этот показатель тормозного контроля обладает статистически значимой дискриминантной силой. Это подтверждает сложность связей между показателями когнитивных функций и показателями вариабельности сердечного ритма [2, 6].

Анализ с помощью сводного правила № 2. При добавлении уровня резервов сердечно-сосудистой системы в число анализируемых показателей программа *WizWhy* сформировала сводное правило № 2 (табл. 4, левая часть): у испытуемых условие ($PCC > 4$) будет выполняться тогда и только тогда, когда и/или ($ФСС = [8...10]$), и/или ($LF/HF+ > 1.39$), и/или ($LF/HF+ = [0.15...0.62]$). Учитывая, что:

$LF/HF > 1.39$ — это диапазон Б + C0 + C1 (активность вне вагусного диапазона),

Таблица 4. Сводное правило № 2 (левая часть таблицы) и сводное правило № 3 (правая часть)

№	$\Phi CC = [8...10]$	$LF/HF+ > 1.39$	$LF/HF+ = [0.15...0.62]$	$PCC > 4$	$\Phi CC = 11$	$LF/HF- = [0.40...0.64]$	$NoGo < 6$
1	1	1	0	1	0	1	0
2	1	1	0	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	0	0
6	0	1	0	1	1	1	1
7	1	0	1	1	1	0	0
8	1	0	0	1	0	1	0
9	0	0	1	1	0	1	0
10	1	1	0	1	1	1	1
11	0	1	0	1	1	1	1
12	0	0	1	1	0	0	0
13	0	1	0	1	1	1	1
14	1	0	1	1	0	1	0
15	0	0	1	1	1	0	0
16	0	0	0	0	1	0	0

Примечание: аналогично табл. 3; жирным шрифтом выделена зависимая переменная. Сводное правило № 2: ($PCC > 4$) тогда и только тогда, когда встречается или ($\Phi CC = [8...10]$), и/или ($LF/HF+ > 1.39$), и/или ($LF/HF+ = [0.15...0.62]$); сводное правило № 3: ($NoGo < 6$) тогда и только тогда, когда встречается и/или ($\Phi CC = 11$), и/или ($LF/HF- = [0.40...0.64]$).

$LF/HF = [0.15...0.62]$ — это диапазон В2 + В3 (диапазон среднее и сильно выраженной вагусной активности),

можно предположить, что в случае эмоционального состояния положительной валентности мы имеем дело с инвертированной U-образной зависимостью, среднее звено которой находится в диапазоне В0 + В1 (диапазон слабо выраженной вагусной активности).

Поскольку $\Phi CC = [8...10]$ — это диапазон $\Phi CC1 + \Phi CC2$ (исключая “края” $\Phi CC0$ и $\Phi CC3$), то можно также предполагать наличие инвертированной U-образной зависимости. $PCC > 4$ — это диапазон $PCC1$ (уровень резервов сердечно-сосудистой системы ниже среднего).

Это правило сводное и построено по типу “логического или”, поэтому визуально его легко контролировать: единица в столбце ($PCC > 4$) появляется только тогда, когда хотя бы в одном из столбцов ($\Phi CC = [8...10]$), ($LF/HF+ > 1.39$) или ($LF/HF+ = [0.15...0.62]$) стоит единица. При прочих вариантах в столбце ($PCC > 4$) должен стоять ноль. При этом условие ($PCC > 4$) либо соблюдается (должна стоять единица), либо не соблюдается (должен стоять ноль).

Вероятность того, что на выборке, состоящей из 16 испытуемых, именно все те (12 чел.), для которых выполняется условие ($PCC > 4$), случайно совпадут с теми, когда и/или ($\Phi CC = [8...10]$), и/или ($LF/HF+ > 1.39$), и/или ($LF/HF+ =$

$= [0.15...0.62]$), составляет величину $p = 0.0235 < 0.05$.

Проверка критерием Мантеля корреляции между матрицами расстояний между всеми пятью изучаемыми показателями для подгруппы испытуемых с $PCC > 4$ (12 чел.) и подгруппы с прочими испытуемыми статистически значимой связи между матрицами не показала (значение ранговой корреляции составило 0.176; $p = 0.63 \geq 0.05$).

Результатом бикомпонентного анализа стала двумерная модель, описывающая 99.96% наблюдаемой общей дисперсии между пятью изучаемыми показателями в двух подгруппах ($NoGo$, ΦCC , PCC , $LF/HF-$ и $LF/HF+$).

На основе рис. 2, по параметрам “максимальное “прижатие к оси” и “самое удаленное от центра своей группы положение вдоль оси”, можно в качестве кандидатур для ковариат предложить показатель $NoGo$ в подгруппе из 12 чел. для механизма (группы механизмов) № 1 (горизонтальная ось, описывает максимум общей дисперсии). По этим же параметрам для механизма (группы механизмов) № 2 (вертикальная ось) можно в качестве кандидатур для ковариат предложить группу показателей $LF/HF-$ и $NoGo$ в подгруппе из 4 чел.

Следует отметить, что в правиле № 1 показатель $NoGo$ мог быть отнесен к числу возможных ковариат психофизиологических механизмов только для одной из подгрупп, а в правиле № 2 может

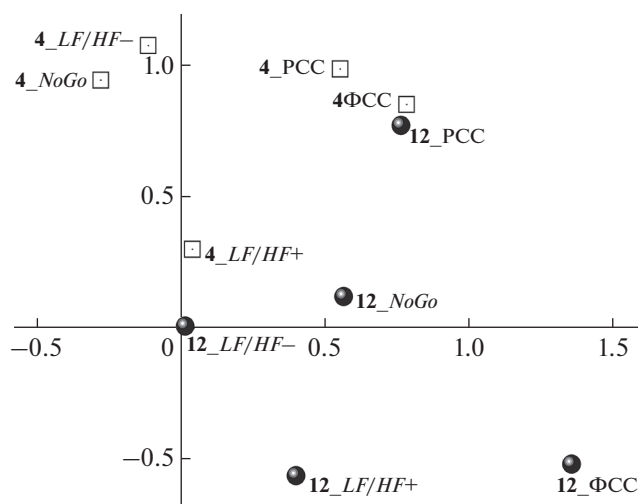


Рис. 2. Результаты бикомпонентного (2B-PLS) анализа подгрупп испытуемых из правила № 2.

Число перед названием показателя — подгруппа испытуемых из 12 или 4 чел., по которой он определялся. Горизонтальная ось — первая латентная структура, которая была определена 2B-PLS-анализом (описывает 74.88% наблюдаемой общей дисперсии), вертикальная ось — вторая латентная структура (описывает 25.08% наблюдаемой общей дисперсии). Шарики — показатели основной подгруппы из правила (12 испытуемых); квадраты — показатели неосновной подгруппы из правила (4 испытуемых). Остальные обозначения см. рис. 1.

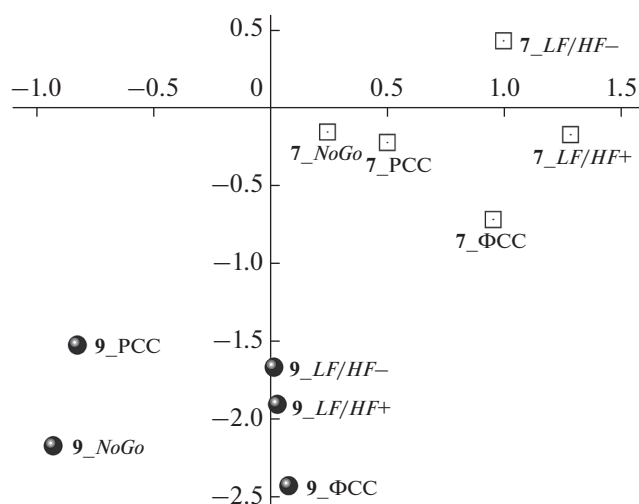


Рис. 3. Результаты бикомпонентного (2B-PLS) анализа подгрупп испытуемых из правила № 3.

Число перед названием показателя — подгруппа испытуемых из 9 или 7 чел., по которой он определялся. Горизонтальная ось — первая латентная структура, которая была определена 2B-PLS-анализом (описывает 74.65% наблюдаемой общей дисперсии), вертикальная ось — вторая латентная структура (описывает 20.33% наблюдаемой общей дисперсии). Шарики — показатели основной подгруппы из правила (9 испытуемых); квадраты — показатели неосновной подгруппы из правила (7 испытуемых). Остальные обозначения см. рис. 1.

быть отнесен к возможным ковариатам психофизиологических механизмов в обеих подгруппах.

Дискриминантный анализ показал (анализ с помощью PLS-регрессии дал такой же результат), что для безошибочной классификации испытуемых по правилу № 2 (100% правильно распознанных испытуемых, включая перекрестную проверку тоже на уровне 100%) достаточно одной дискриминантной функции. Эта функция включает в себя показатель PCC (это ожидаемо из-за условий правила), и константу, имеет в центроидах значения +0.702 (для “1”) и –2.106 (для “0”). Коэффициенты канонической функции: уровень резервов сердечно-сосудистой системы: +1.203; константа: –6.017.

Анализ с помощью сводного правила № 3. При добавлении количества ошибок NoGo в число анализируемых показателей *WizWhy* сформировала сводное правило № 3 (табл. 4, правая часть): у испытуемых условие ($NoGo < 6$) будет выполняться тогда и только тогда, когда и/или ($\Phi CC = 11$), и/или ($LF/HF- = [0.40...0.64]$). При этом надо учесть, что $LF/HF- = [0.40...0.64]$ — это диапазон B2 (диапазон средне выраженной вагусной активности); $\Phi CC = 11$ — это $\Phi CC3$; $NoGo < 6$ — это деление выборки по медиане ($Med = 5.0$), что говорит о более эффективных тормозных процессах у

данных испытуемых по сравнению с теми, у кого количество ошибок NoGo больше медианы.

Вероятность того, что на выборке, состоящей из 16 испытуемых именно все те (9 чел.), для которых выполняется условие ($NoGo < 6$), случайно совпадут с теми, когда и/или ($\Phi CC = 11$), и/или ($LF/HF- = [0.40...0.64]$), составляет величину $p = 0.0116 < 0.05$. (рис. 3).

Проверка ранговым критерием Мантеля корреляции между матрицами расстояний между всеми пятью изучаемыми показателями для подгруппы испытуемых с $NoGo < 6$ (9 чел.) и подгруппы с прочими испытуемыми (7 чел.) статистически значимой связи между матрицами не показала (значение ранговой корреляции составило 0.394; $p = 0.26 \geq 0.05$).

Результатом бикомпонентного анализа стала двумерная модель, описывающая 94.98% наблюдаемой общей дисперсии между пятью изучаемыми показателями в двух подгруппах ($NoGo$, ΦCC , PCC , $LF/HF-$ и $LF/HF+$). Для третьего правила ситуация иная, чем для предыдущих правил: облака показателей по подгруппам собрались каждый у “своей” оси (механизм или группы механизмов). Таким образом, латентная структура № 1 получила кандидатами в коварианты показатели $NoGo$, PCC и $LF/HF+$. А латентная структура № 2 получила кандидатами в коварианты показатели

ФСС, $LF/HF+$ и $LF/HF-$. Общим показателем из числа возможных ковариат для обеих подгрупп является $LF/HF+$.

Дискриминантный анализ показал (анализ с помощью *PLS*-регрессии дал такой же результат), что для безошибочной классификации испытуемых по правилу № 3 (100% правильно распознанных испытуемых, включая перекрестную проверку тоже на уровне 100%) достаточно одной дискриминантной функции. Эта функция включает в себя показатель *NoGo* (это ожидаемо из-за условий правила), и константу, имеет в центроидах значения -0.988 (для “1”) и $+1.271$ (для “0”). Коэффициенты канонической функции: количество ошибок *NoGo*: $+0.918$; — константа: -4.764 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была показана важность изучения взаимосвязей между показателями тормозного контроля на этапе вхождения в новую когнитивную задачу (по сравнению с другими этапами решения когнитивной задачи) и уровнем функционирования сердечно-сосудистой системы (между этими показателями корреляция средней силы).

С помощью анализа частных корреляций было установлено, что между показателями LF/HF в эмоциональных состояниях различной валентности присутствует тесная корреляционная связь.

С помощью таких инструментов многомерно-го анализа, как поиск правил “если ..., то...”, дискриминантный анализ, критерий Мантеля (*Mantel test*) и бикомпонентный анализ (*2B-PLS*), было показано проявление деятельности трех психофизиологических механизмов (групп механизмов) и предложены варианты их возможных ковариат. Данные механизмы обусловили наблюдаемые взаимодействия между показателями тормозного контроля, показателями резервов и функционирования сердечно-сосудистой системы и показателями активности отделов автономной нервной системы в эмоциональных состояниях.

Многомерный анализ первого из правил “если ..., то...” показал, что в качестве ковариаты психофизиологических механизмов в обеих подгруппах можно предложить показатель LF/HF в эмоциональном состоянии негативной валентности.

Было также установлено, что показатель LF/HF в эмоциональном состоянии позитивной валентности и количество ошибок *NoGo* обладают дискриминантной силой при выявлении подгрупп испытуемых.

Многомерный анализ второго из правил “если ..., то...” показал, что в качестве ковариаты психофизиологических механизмов в обеих подгруппах можно предложить показатель — чис-

ло ошибок *NoGo*. Было также установлено, что уровень резервов сердечно-сосудистой системы как показатель обладает дискриминантной силой при выявлении подгрупп испытуемых. Были установлены возможные варианты инвертированной *U*-образной взаимосвязи для показателя уровень функционирования сердечно-сосудистой системы и для показателя LF/HF в эмоциональном состоянии положительной валентности.

Многомерный анализ третьего из правил “если ..., то...” показал, что в качестве одной из ковариат психофизиологических механизмов в обеих подгруппах можно предложить показатель LF/HF в эмоциональном состоянии позитивной валентности. Было также установлено, что количество ошибок *NoGo* как показатель обладает дискриминантной силой при выявлении подгрупп испытуемых.

Показанное при анализе всех трех правил участие такого показателя как число ошибок *NoGo* в различных взаимодействиях показателей, полученных на основе математического и спектрального анализа сердечного ритма, говорит о сложных связях активности отделов автономной нервной системы в эмоциональных состояниях, уровня резервов и функционирования сердечно-сосудистой системы, тормозного контроля.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Научно-исследовательского института нейронаук и медицины (Новосибирск).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Работа выполнена за счет средств федерального бюджета на проведение фундаментальных научных исследований (тема № АААА-А21-121011990040-8).

Благодарности. Авторы выражают благодарность компании *Intellegwave Inc. (Valley Stream, NY, США)*, разработчика аппаратно-программного комплекса *Nerve-Express*, за предоставление аппаратно-программного комплекса *Nerve-Express* для научных целей; разработчикам программного комплекса *JACOBI 4* для многомерного анализа микроциповых данных д. б. н. В.М. Ефимову, Д.А. Полунину, И.А. Штайгеру за предоставление программного обеспечения для научных целей; компании *WizSoft Ltd. (Тель-Авив, Израиль)*, разработчика программного обеспечения *WizWhy*, за предоставление данного программного обеспечения для научных целей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yerkes R.M., Dodson J.D. The relation of strength of muscles to rapidity of habit-formation // J. Comp. Neurol. Psychol. 1908. V. 18. № 5. P. 459.
2. Вергунов Е.Г., Николаева Е.И., Балиоз Н.В., Кривошщёков С.Г. Латеральные предпочтения как возможные фенотипические предикторы резервов сердечно-сосудистой системы и особенности сенсомоторной интеграции у альпинистов // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 3. С. 97.
Vergunov E.G., Nikolaeva E.I., Balioz N.V., Krivoschekov S.G. Lateral preferences as the possible phenotypic predictors of the reserves of the cardiovascular system and the features of sensorimotor integration in climbers // Human Physiology. 2018. V. 44. № 3. P. 320.
3. Berna G., Ott L., Nandrino J.-L. Effects of emotion regulation difficulties on the tonic and phasic cardiac autonomic response // PLoS ONE. 2014. V. 9. № 7. P. e102971.
4. Bertsch K., Hagemann D., Naumann E. et al. Stability of heart rate variability indices reflecting parasympathetic activity // Psychophysiology. 2012. V. 49. № 5. P. 672.
5. Reyes del Paso G.A., Langewitz W., Mulder L.J. et al. The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies // Psychophysiology. 2013. V. 50. № 5. P. 477.
6. Thayer J.F., Hansen A.L., Saus-Rose E., Johnsen B.H. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health // Ann. Behav. Med. 2009. V. 37. № 2. P. 141.
7. Николаева Е.И., Вергунов Е.Г. Что такое “Executive functions” и их развитие в онтогенезе // Теоретическая и экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 3. С. 62.
8. Alahyane N., Brien D.C., Coe B.C. et al. Developmental improvements in voluntary control of behavior: effect of preparation in the fronto-parietal network? // Neuroimage. 2014. V. 98. P. 103.
9. Botvinick M., Braver T. Motivation and Cognitive Control: From Behavior to Neural Mechanism. // Annu. Rev. Psychol. 2015. V. 66. P. 83.
10. Luna B., Marek S., Larsen B. et al. An integrative model of the maturation of cognitive control. // Annu. Rev. Neurosci. 2015. V. 38. P. 151.
11. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review // Front. Neurosci. 2019. V. 13. P. 710.
12. Николаева Е.И. Сравнительный анализ представлений детей и их родителей об особенностях поощрения и наказания в семье // Психология. Журн. высшей школы экономики. 2006. Т. 3. № 2. С. 118.
13. Riffine A. Theoretical review and clinical use. Quantitative Assessment of the Autonomic Nervous System based on Heart Rate Variability Analysis. Valley Stream, NY: Intelwave. Inc., 2016. 65 p.
14. Kubanek J.S., Lawrence H.A., Richard A. Reward and punishment act as distinct factors in guiding behavior // Cognition. 2015. V. 139. P. 154.
15. Verriden A.L., Roscoe E.M. An evaluation of a punisher assessment for decreasing automatically reinforced problem behavior // J. Appl. Behav. Anal. 2019. V. 52. № 1. P. 205.
16. Gomez P., Ratcliff R., Perea M. A model of the go/no-go task // J. Exp. Psychol. Gen. 2007. V. 136. № 3. P. 389.
17. Славуцкая М.В., Лебедева И.С., Карелин С.А., Омельченко М.А. Позитивные компоненты зрительных вызванных потенциалов в саккадической парадигме “go/no go” в норме и при ультравысоком риске шизофрении // Журн. высш. нерв. деят. 2020. Т. 70. № 1. С. 12.
18. Рифтин А.Д. Анализ сердечного ритма, его “краеугольная” проблема и применение инструментов искусственного интеллекта для её решения // Вестник психофизиологии. 2015. № 2. С. 69.
19. Laborde S., Mosley E., Thayer J.F. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting // Front. Psychol. 2017. V. 8. P. 213.
20. Lane R., McRae K., Reiman E. et al. Neural correlates of heart rate variability during emotion // NeuroImage. 2009. V. 44. № 1. P. 213.
21. Белда И. Разум, машины и математика: Искусственный интеллект и его задачи / Пер. с исп. М.: Де Агостини, 2014. 160 с.
Belda I. Mentes, máquinas y matemáticas: La inteligencia artificial y sus retos. RBA Coleccionable, S.A., 2011. 151 p.
22. Александрова У.Е., Алмаев Н.А. Корреляция, согласованность и правила “если ... то” // Вестник психофизиологии. 2016. № 3. С. 70.
23. Холодная М.А., Кострикина И.С., Берестенева О.Г. Проблемы продуктивной реализации интеллектуального потенциала личности // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2002. Т. 31. № 3. С. 45.
24. Холодная М.А. Перспективы исследований в области психологии способностей // Психологический журн. 2007. Т. 28. № 1. С. 28.
25. Алмаев Н.А. Применение контент-анализа в исследованиях личности: Методические вопросы. М.: ИП РАН, 2012. 167 с.
26. Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Андреев О.П. и др. Новые подходы к комплексному анализу данных о состоянии здоровья вахтовиков, рабочих мест и экологии для выявления скрытых закономерностей / Социальные аспекты технического регулирования вахтового метода работы в условиях Крайнего Севера. М.: Недра-БизнесЦентр, 2005. С. 206.
27. Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Добрин А.В. Описание характера регуляции сердечного ритма детей с разными латеральными предпочтениями в переходных состояниях методами нелинейного анализа // Асимметрия. 2015. Т. 9. № 1. С. 13.

28. Mantel N., Valand R.S. A technique of nonparametric multivariate analysis // *Biometrics*. 1970. V. 26. № 3. P. 547.
29. Ковалева В.Ю., Поздняков А.А., Литвинов Ю.Н., Ефимов В.М. Оценка сопряженности морфогенетических и молекулярно-генетических модулей изменчивости серых полевок *Microtus s.l.* в градиентных условиях среды // *Экологическая генетика*. 2019. Т. 17. № 2. С. 21.
Kovaleva V.Yu., Pozdnyakov A.A., Litvinov Yu.N., Efimov V.M. Estimation of the congruence between morphogenetic and molecular-genetic modules of gray voles *Microtus s.l.* variability along a climatic gradient // *Ecological Genetics*. 2019. V. 17. № 2. P. 21.
30. Полунин Д.А., Штайгер И.А., Ефимов В.М. Разработка программного комплекса JACOBI 4 для многомерного анализа микрочиповых данных // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2014. Т. 12. № 2. С. 90.
31. Polunin D., Shtaiiger I., Efimov V. JACOBI4 software for multivariate analysis of biological data // *bioRxiv*. 2019. <https://doi.org/10.1101/803684>
32. Ширяев А.Г., Равкин Ю.С., Ефимов В.М. и др. Пространственно-типологическая дифференциация биоты клавариодных грибов Северной Евразии // *Сибирский экологический журн.* 2016. Т. 23. № 5. С. 648.
Shiryayev A.G., Ravkin Y.S., Yefimov V.M. et al. Spatial-typological differentiation of clavarioid mycobiota in Northern Eurasia // *Contemp. Probl. Ecol.* 2016. V. 9. № 5. P. 535.
33. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, *Circulation*. 1996. V. 93. № 5. P. 1043.

Multivariate Analysis of Indicators of Inhibitory and Autonomic Control in Orthostasis and Emotional Situations

S. G. Krivoschekov^{a,*}, E. I. Nikolaeva^b, E. G. Vergunov^a, A. Yu. Prihodko^a

^a*Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, Novosibirsk, Russia*

^b*Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia*

*E-mail: krivosch@physiol.ru

The aim of the study was a multivariate comparative analysis of indicators of inhibitory control in the Go/No-Go paradigm and indicators of regulation of the autonomic nervous system in orthostasis and in emotional situations of different valence. The study involved volunteers aged 20 to 21 years (16 young men were examined). The criteria for inclusion in the study were the absence of established medical diagnoses, the absence of systematic sports, and the absence of violations of the sinus rhythm of the heart. During orthostasis, the subjects were evaluated for the levels of functioning and reserves of the cardiovascular system (the A. Rifting method); inhibitory control (the Go/NoGo paradigm); and the LF/HF ratio in emotional states (recalling situations of punishment and encouragement in childhood in the family). The role of inhibitory control in the process of entering a new cognitive task was shown. A close correlation was found between LF/HF indicators in emotional states of different valence. Analysis of rule № 1 showed that the ratio of LF/HF in the emotional state of negative valence in subgroups can be considered as a covariate to explain the physiological mechanisms of emotional state development (mechanism covariates). It was found that LF/HF in the emotional state of positive valence and the number of NoGo errors have discriminant power when identifying subgroups. Analysis of rule № 2 showed that the number of NoGo errors can be suggested for covariates of mechanisms in subgroups. It was found that the level of reserves of the cardiovascular system as an indicator has a discriminant force when identifying subgroups. Possible variants of the inverted U-shaped Relationship for the level of functioning of the cardiovascular system and LF/HF in the emotional state of positive valence were established. Analysis of rule № 3 showed that for covariates of mechanisms in subgroups, one can suggest LF/HF in the emotional state of positive valence. It was found that the number of NoGo errors has a discriminant power when identifying subgroups. The number of NoGo errors shown in the analysis of all three rules in the interaction of indicators obtained on the basis of mathematical and spectral analysis of heart rate indicates complex relationships between the activity of the Autonomous nervous system in emotional States, the level of functioning and reserves of the cardiovascular system, and inhibitory control.

Keywords: orthostasis, heart rate in emotional States, reward, punishment, paradigm Go/NoGo, WizWhy, Mantel test, Two-Block Partial Least-Squares.