

Сравнение методов субъективной оценки interoception сердца

Миненко И. А.¹, Германова К. Н.^{1,2}, Лимонова А. С.¹, Сукманова А. А.^{1,2}, Иашвили Н.³, Никулин В. В.⁴, Куценко В. А.^{1,5}, Егоренкова Е. Е.⁶, Назарова М. А.⁷, Ершова А. И.¹, Драпкина О. М.¹

¹ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины" Минздрава России. Москва, Россия; ²ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики". Москва, Россия; ³Department of Psychology, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Финляндия; ⁴Department of Neurology, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences. Leipzig, Германия; ⁵ФГБОУ ВО "Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова". Москва, Россия; ⁶ФГБОУ ВО "Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова" Минздрава России. Москва, Россия; ⁷Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging, Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School. Boston, США

Цель. interoception отражает восприятие, интеграцию и модуляцию висцеральных сигналов. В настоящее время установленный универсальный подход к оценке interoception сердца, позволяющий включить его в протокол диагностики различных заболеваний, отсутствует. Цель — сравнение трех тестов субъективной оценки interoception на основе точности ощущения сердцебиения в рамках одного дня у здоровых испытуемых.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 18 здоровых добровольцев. Проводились тесты по оценке interoception сердца — тест с нажатием на кнопку в момент ощущения сердцебиения, тест с обратной связью в виде синхронных и асинхронных сердцебиению звуковых сигналов, тест с подсчетом числа сердечных сокращений (СС) в заданные временные интервалы — с одно-временной регистрацией электрокардиограммы. Полученные значения точности ощущения сердцебиения в тестах сравнивались между собой (тест Вилкоксона), оценивалась их попарная зависимость (коэффициент Спирмена) и зависимость от влияния параметров организма (пол, возраст, индекс массы тела, жировая масса, тревожность) (однофакторная линейная регрессия).

Результаты. Точность выполнения теста с подсчетом СС оказалась значимо выше, чем в тесте с нажатием ($p=0,005$), однако обе оценки коррелируют между собой ($r=0,66$, $p=0,003$). Положительная зависимость точности выполнения от пола обнаружена для теста с подсчетом СС ($p=0,021$) и отрицательная — от жировой массы для теста с нажатием ($p=0,032$).

Заключение. Исследование показало, что полученные добровольцами оценки точности ощущения сердцебиения менялись в зави-

симости от теста, а также были ассоциированы с полом и составом тела. Тест с подсчетом числа СС и тест с нажатием на кнопку являются наиболее подходящими для исследования interoception. **Ключевые слова:** interoception сердца, сердцебиение, кардиологические симптомы, тест с нажатием на кнопку, тест с аудиальной обратной связью, тест с подсчетом числа сердечных сокращений.

Отношения и деятельность. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-15-00507.

Поступила 17/10-2023

Рецензия получена 21/10-2023

Принята к публикации 08/11-2023



Для цитирования: Миненко И. А., Германова К. Н., Лимонова А. С., Сукманова А. А., Иашвили Н., Никулин В. В., Куценко В. А., Егоренкова Е. Е., Назарова М. А., Ершова А. И., Драпкина О. М. Сравнение методов субъективной оценки interoception сердца. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023; 22(10):3797. doi:10.15829/1728-8800-2023-3797. EDN GYZHEK

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

e-mail: minenko.irina98@yandex.ru

[Миненко И. А.* — лаборант-исследователь лаборатории нейромодуляции и нейровисцеральных исследований, ORCID: 0000-0003-3131-9770, Германова К. Н. — к.м.н., н.с. лаборатории нейромодуляции и нейровисцеральных исследований, н.с. Центра нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук, ORCID: 0000-0001-6025-3921, Лимонова А. С. — н.с. лаборатории клиномики, ORCID: 0000-0003-1500-3696, Сукманова А. А. — лаборант-исследователь лаборатории нейромодуляции и нейровисцеральных исследований, аспирант Департамента психологии факультета социальных наук, ORCID: 0000-0001-5218-7012, Иашвили Н. — стажер-исследователь, ORCID: 0000-0002-7232-0922, Никулин В. В. — PhD, в.н.с., ORCID: 0000-0001-6082-3859, Куценко В. А. — с.н.с., аспирант механико-математического факультета, ORCID: 0000-0001-9844-3122, Егоренкова Е. Е. — студент факультета лечебного дела, ORCID: 0009-0007-8643-377X, Назарова М. А. — к.м.н., н.с., ORCID: 0000-0001-5347-5948, Ершова А. И. — д.м.н., руководитель лаборатории клиномики, зам. директора по фундаментальной науке, ORCID: 0000-0001-7989-0760, Драпкина О. М. — д.м.н., профессор, академик РАН, директор, ORCID: 0000-0002-4453-8430].

Comparison of methods for cardiac interoception self-assessment

Minenko I. A.¹, Germanova K. N.^{1,2}, Limonova A. S.¹, Sukmanova A. A.^{1,2}, Iashvili N.³, Nikulin V. V.⁴, Kutsenko V. A.^{1,5}, Egorenkova E. E.⁶, Nazarova M. A.⁷, Ershova A. I.¹, Drapkina O. M.¹

¹National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine. Moscow, Russia; ²Higher School of Economics. Moscow, Russia;

³Department of Psychology, University of Jyväskylä. Jyväskylä, Finland; ⁴Department of Neurology, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences. Leipzig, Germany; ⁵Lomonosov Moscow State University. Moscow, Russia; ⁶A. I. Evdokimov Moscow State Medical and Dental University. Moscow, Russia; ⁷Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging, Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School. Boston, USA

Aim. Interoception reflects the perception, integration and modulation of visceral signals. Currently, there is no established universal approach to cardiac interoception assessment allowing its inclusion in the diagnostic protocol for various diseases. The aim was to compare three tests of interoception self-assessment based on heart palpitations within one day in healthy subjects.

Material and methods. Eighty healthy volunteers took part in the study. To assess cardiac interoception, a test with button pushes at the moment of palpitations, a feedback test in the form of synchronous and asynchronous sound signals, a heartbeat counting task at specified time intervals were conducted with simultaneous electrocardiographic recording. The obtained data were compared with each other (Wilcoxon test). Its pairwise dependence (Spearman coefficient) and dependence on body parameters (sex, age, body mass index, fat mass, anxiety) were assessed (univariate linear regression).

Results. The accuracy of the heartbeat counting task turned out to be significantly higher than in the button-pressing test ($p=0,005$). However, both estimates correlate with each other ($r=0,66$, $p=0,003$). A positive dependence of test accuracy on sex was found for the heartbeat counting task ($p=0,021$) and a negative dependence on fat mass for button-pressing task ($p=0,032$).

Conclusion. The study found that volunteers' estimates of heartbeat accuracy varied across tests and were also associated with sex and body composition. The heart rate counting task and the button-pressing task are the most suitable for interoception assessment.

Keywords: cardiac interoception, heartbeat, cardiac symptoms, button-pressing test, auditory feedback test, heart rate counting test.

Relationships and Activities. The work was supported by the Russian Science Foundation grant № 22-15-00507.

Minenko I. A. * ORCID: 0000-0003-3131-9770, Germanova K. N. ORCID: 0000-0001-6025-3921, Limonova A. S. ORCID: 0000-0003-1500-3696, Sukmanova A. A. ORCID: 0000-0001-5218-7012, Iashvili N. ORCID: 0000-0002-7232-0922, Nikulin V. V. ORCID: 0000-0001-6082-3859, Kutsenko V. A. ORCID: 0000-0001-9844-3122, Egorenkova E. E. ORCID: 0009-0007-8643-377X, Nazarova M. A. ORCID: 0000-0001-5347-5948, Ershova A. I. ORCID: 0000-0001-7989-0760, Drapkina O. M. ORCID: 0000-0002-4453-8430.

*Corresponding author:
minenko.irina98@yandex.ru

Received: 17/10-2023

Revision Received: 21/10-2023

Accepted: 08/11-2023

For citation: Minenko I. A., Germanova K. N., Limonova A. S., Sukmanova A. A., Iashvili N., Nikulin V. V., Kutsenko V. A., Egorenkova E. E., Nazarova M. A., Ershova A. I., Drapkina O. M. Comparison of methods for cardiac interoception self-assessment. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(10):3797. doi:10.15829/1728-8800-2023-3797. EDN GYZHEK

ИМТ — индекс массы тела, СС — сердечные сокращения, ТОС — точность ощущения сердцебиения, ЭКГ — электрокардиограмма.

Введение

В современной научной литературе феномен interoception описан как способность центральной нервной системы воспринимать сигналы, поступающие от внутренних органов [1]. Interoception оказывает значимое влияние на целый ряд психических процессов (восприятие и внимание [2], моторный контроль [3], эмоциональное восприятие [4]) и активно исследуется как в общей популяции, так и на клинических выборках [5]. В настоящее время выделяют различные типы interoception в зависимости от поступающего сигнала — кишечная interoception, скелетная interoception и т.д. В рамках настоящего исследования рассмотрим феномен interoception — interoception работы сердца.

Изучение связи изменений interoception и проявления соматических симптомов представляет интерес с клинической точки зрения [6]. Известно, что психические патологии (депрессия,

расстройства шизофренического и аутистического спектра), алекситимия, фенотипы, связанные с тревогой, могут сопровождаться изменением interoception [7]. При этом данные заболевания могут проявляться симптомами общесоматического профиля или же, напротив, характеризоваться снижением восприятия висцеральных сигналов [8]. Для кардиологии тема interoception может представлять интерес в связи с таким распространенным симптомом, как выраженное сильное, учащенное или нерегулярное сердцебиение (palpitations) [9]. Далеко не всегда данный симптом сопровождается реальным нарушением сердечного ритма [10], при этом есть данные о более высоком уровне interoception у пациентов с жалобами на сердцебиения по сравнению с группой контроля [11]. Более того, современные исследования с использованием нейровизуализации показали, что активация одних и тех же структур (в частности, островковой и соматосенсорной коры и поясной

Ключевые моменты

Что известно о предмете исследования?

- Интероцепция — это восприятие и интеграция центральной нервной системой афферентной информации о состоянии организма. Исследование interoception имеет важное практическое значение, поскольку известно о ее изменении при целом ряде заболеваний.

Что добавляют результаты исследования?

- Несмотря на имеющиеся данные о значимости нарушения interoception при ряде заболеваний, на данный момент отсутствует надежный стандартизованный подход к ее оценке. В рамках настоящего исследования сопоставлены результаты трех вариантов теста для оценки interoception сердца на одной и той же выборке здоровых добровольцев.
- Обсуждены методологические вопросы реализации и применения тестов в клинической практике.

Key messages

What is already known about the subject?

- Interoception is the perception and integration by the central nervous system of afferent information about the body state. The study of interoception is of great practical importance, since it is known to change in a number of diseases.

What might this study add?

- Despite the available data on the significance of interoception impairment in a number of diseases, there is currently no reliable standardized approach to its assessment. In this study, the results of three test for assessing cardiac interoception were compared in one sample of healthy volunteers.
- Methodological issues of implementation and application of tests in clinical practice were discussed.

извилины) сопровождается как выполнение заданий на оценку кардиоцепции, так и развитие медикаментозно индуцированной аритмии (введением изопроterenолом) у здоровых добровольцев [12, 13]. Таким образом, изучение interoception у пациентов с кардиологической симптоматикой может расширить понимание причины симптомов, предъявляемых пациентом, и оптимизировать маршрутизацию пациентов, в т.ч. при верификации психосоматической этиологии жалоб.

В последние десятилетия широкую популярность приобрели подходы к измерению interoception с помощью поведенческих тестов, оценивающих точность ощущения сердцебиения (ТОС) [14]. Среди них наибольшее распространение получил тест с подсчетом числа сердечных сокращений (СС) — Mental Tracking Test [15]. Однако этот тест часто подвергаются критике, поскольку на его результаты может влиять осведомленность испытуемого о собственной частоте СС [16]. В связи с этим была предложена модификация теста с подсчетом СС, в которых подсчет СС заменен на задачу нажатия клавиши в момент ощущения сердцебиения (Heartbeat Detection, тест с нажатием) [17]. Одним из преимуществ этой модификации тестов (в отличие от тестов с подсчетом) является то, что они не требуют дополнительного объема рабочей памяти [4]. Альтернативным методом оценки кардиоцепции является использование тестов с биологической обратной связью, в которых требуется оценить одновременность ощущаемого сердцебиения с предъявленной последовательностью звуковых тонов (Heartbeat Discrimination, аудиотест) [11]. На-

ряду с использованием более строгих инструкций [18], направленных на выполнение теста участником на основе исключительно interoceptивных ощущений, структура аудиотеста и теста с нажатием направлена на уменьшение вклада субъективных факторов в измерение кардиоцепции. Однако новые методики также подвергаются критике. Предполагается, что структура заданий, усложненная по сравнению с тестом с подсчетом СС, может ухудшать кардиоцепцию, поскольку эти тесты предполагают конкуренцию за ресурсы внимания [19]. В свою очередь, в тесте с нажатием обратная афферентация, получаемая при нажатии на кнопку, может мешать восприятию СС [20].

В связи с большим количеством критики существующих тестов дискуссия о наиболее эффективном методе оценки кардиоцепции продолжается до сих пор. Данная работа является одним из исследований, вносящих вклад в определение оптимальных подходов к оценке interoception, что принципиально важно для будущих исследований изменения interoception при различных клинических ситуациях. Таким образом, основной задачей настоящей статьи является сравнение трех тестов субъективной оценки interoception на основе ТОС в рамках одного дня у здоровых испытуемых.

Материал и методы

Проведение исследования одобрено независимым этическим комитетом при ФГБУ "НМИЦ ТПМ" Минздрава России. В исследование были включены добровольцы в возрасте 25-50 лет без сердечно-сосудистой, эндокринной, неврологической, психической и любой

острой патологии. Наличие бессимптомных артериальной гипертензии и нарушений ритма и проводимости сердца исключали на основании суточного мониторирования артериального давления и электрокардиограммы (ЭКГ). К критериям невключения относили также наличие ожирения (индекс массы тела (ИМТ) ≥ 30 кг/м²), прием препаратов, проникающих через гематоэнцефалический барьер. Всего в исследовании приняли участие 34 добровольца, 16 из которых были исключены из дальнейшего анализа на основе правильности работы аудиотеста с обратной связью. Для оценки личностной тревожности (с целью учета уровня тревожности в модели линейной регрессии) использовали шкалу тревоги Спилбергера-Ханина (State-Trait Anxiety Inventory, STAI) [21]. Для оценки влияния состава тела на параметры interoцепции проводили биоимпедансный анализ с определением жировой массы (аппарат Медасс ABC-01).

В эксперименте добровольцы выполняли тесты на оценку кардиоцепции, предъявляемые в случайном порядке, и находились в состоянии покоя до и после тестов на протяжении 5 мин. В течение всего эксперимента проводилась регистрация ЭКГ (с помощью усилителя NVX-52 (МКС), частота дискретизации 500 Гц) с использованием трех биполярных отведений — с предплечий, с боковых поверхностей шеи, 2 см ниже ключиц. Во время выполнения теста добровольцам было запрещено пальпировать свой пульс на запястье или на шее, следовало полагаться на свои ощущения сердцебиения.

В тесте с нажатием на кнопку добровольцу необходимо было в течение 2,5 мин попытаться ощутить свое сердцебиение и после каждого удара сердца, который он/она почувствует, нажать на кнопку. Тест включал тренировочную сессию в 10 с и контрольное условие, в котором необходимо в течении 2,5 мин нажимать в такт внешним ритмичным (10 Гц) звуковым стимулам, для проверки отсутствия моторного дефицита. В качестве ТОС в тесте выступал показатель средней разницы (mean distance, md) между частотой нажатий и частотой СС в перекрывающихся временных окнах [22]. Таким образом, запись ЭКГ делилась на перекрывающиеся окна длительностью 10 с, начиная с R-зубца. В каждом окне оценивались интервалы между нажатиями (нажатие-нажатие, или Н-Н интервалы) и интервалы между R-зубцами (R-R интервалы) в сек. В случае если вариация Н-Н интервалов была $\leq 0,5$ (согласно [22]), окно включалось в анализ. Вариация рассчитывалась как отношение стандартного отклонения Н-Н интервалов к их среднему в окне. ТОС рассчитывался по следующей формуле:

$$ТОС = 1 - 1/N \sum_i^N |1/НН_{ср.} - 1/RR_{ср.}|,$$

где НН_{ср.}, RR_{ср.} — среднее Н-Н и R-R интервалов в i-м окне,

N — число перекрывающихся окон, в которых вариация Н-Н интервалов $\leq 0,5$.

В тесте с подсчетом числа СС добровольцу требуется прислушаться к сердцебиению и считать количество сердцебиений в заданных интервалах (длительностью 25, 30, 35, 40, 45 и 50 с), предъявляемых в случайном порядке. Тест включал тренировочную сессию в 25 с. Для анализа результатов теста извлекали ответы испытуемых и сравнивали с реальным количеством СС по ЭКГ в этом интервале по формуле (Schandry index) [15]:

ТОС = $1/6 \sum (1 - (|СС_{реал.} - СС_{ощущ.}|) / СС_{реал.})$, где СС_{реал.} и СС_{ощущ.} число реальных и заявленных как ощущаемые добровольцем сокращений.

В аудиотесте на сердечную interoцепцию использовали биологическую обратную связь в виде 10 звуковых сигналов, подаваемых после каждого R-зубца с определенной задержкой. После прослушивания сигналов испытуемому нужно было ответить, одновременны ли были звуковые тона его сердцебиению или нет. Алгоритм накапливал данные ЭКГ в состоянии покоя и с помощью библиотеки neurokit2 находил среднюю амплитуду R-зубцов, которая служила порогом для обнаружения R-зубцов в реальном времени во время выполнения теста. В тесте использовали два вида условий (S250, S550) [23]. В синхронном условии (S250) звуковой сигнал подавался с задержкой 250 мсек после R зубца и должен был восприниматься добровольцем как звучащий синхронно с его СС. В асинхронном условии (S550) звуковой сигнал подавался с задержкой 550 мсек после R зубца и должен был соответствовать асинхронному восприятию. Тест состоял из 43 сессий, первые три из которых были тестовыми. Качество обратной связи оценивалось по разнице между обнаруженным и реальным R-зубцом и по непрерывности предъявляемых тонов. В случае если разница превышала техническую задержку (50 мсек) и звуковые сигналы подавались не после каждого, то сессия (из 10 тонов) не включалась в анализ. Таким образом, было отобрано 18 добровольцев, для которых осталось >10 сессий для синхронного и асинхронного условий. Для анализа результатов теста извлекались ответы добровольцев о синхронности тонов ("Да" или "Нет") и информация о реальном порядке условий, далее определялась ТОС как $\Phi(d'/\sqrt{2})$, где Φ — кумулятивная функция распределения, d' — чувствительность согласно теории обнаружения сигнала [24]. d' вычислялась по следующей формуле с использованием лог-линейной коррекции (прибавление 0,5 в числителе и 1 в знаменателе, чтобы избежать нулевых значений в Н или FA, приводящих к бесконечному результату):

$$d' = z((H+0,5)/(H+M+1)) - z((FA+0,5)/(FA+CR+1)),$$

где $z(p)$ — обратная кумулятивная функция распределения стандартного нормального распределения, а p — кумулятивная вероятность правильной или неправильной идентификации сигнала,

H, M — количество правильных и неправильных ответов для S250, соответственно,

CR, FA — количество правильных и неправильных ответов для S550, соответственно.

Нормализация с помощью Φ проверялась так, что корреляция нормализованных значений и исходных d' была 1.

ТОС во все тестах варьировалось от 0 до 1, и чем выше значение, тем выше interoцептивная чувствительность. В тесте с нажатием и подсчетом СС участники могли давать нулевой ответ, т.е. сообщать только о сердцебиениях, которые им удалось ощутить. Однако перед тренировочной сессией каждого из трех тестов давалась дополнительная инструкция о необходимости максимально сосредоточиться на внутренних ощущениях. Тренировочные сессии проводились с целью проверки правильности понимания инструкции и выполнения теста, а также в качестве подготовительного периода, позволяющего испытуемому сосредоточиться на внутренних ощущениях перед выполнения основной серии тестов.

Таблица 1

Клиническая характеристика исследуемых добровольцев

Параметр, Me [Q25, Q75]	Мужской пол	Женский пол
Возраст	35 [34, 39]	34 [30, 36]
ИМТ	24,1 [21,9, 26,7]	23,4 [22,1, 27,2]
Жировая масса	13,8 [12,7, 21]	24,8 [17,8, 29,6]
Личностная тревожность	30 [29, 35]	36 [30, 48]

Примечание: ИМТ — индекс массы тела.

Таблица 2

ТОС в тестах, разделенное по полу (9 мужчин, 9 женщин)

Вид теста	ТОС					
	Мужской пол			Женский пол		
	Me [Q25, Q75]	Мин.	Макс.	Me [Q25, Q75]	Мин.	Макс.
Тест с нажатием	0,6 [0,28, 0,73]	0	0,82	0,28 [0,01, 0,34]	0	0,84
Аудиотест	0,45 [0,26, 0,52]	0,15	0,66	0,45 [0,43, 0,57]	0,3	0,76
Тест с подсчетом СС	0,85 [0,76, 0,94]	0	0,98	0,45 [0,08, 0,52]	0,02	0,8

Примечание: СС — сердечные сокращения, ТОС — точность ощущения сердцебиения.

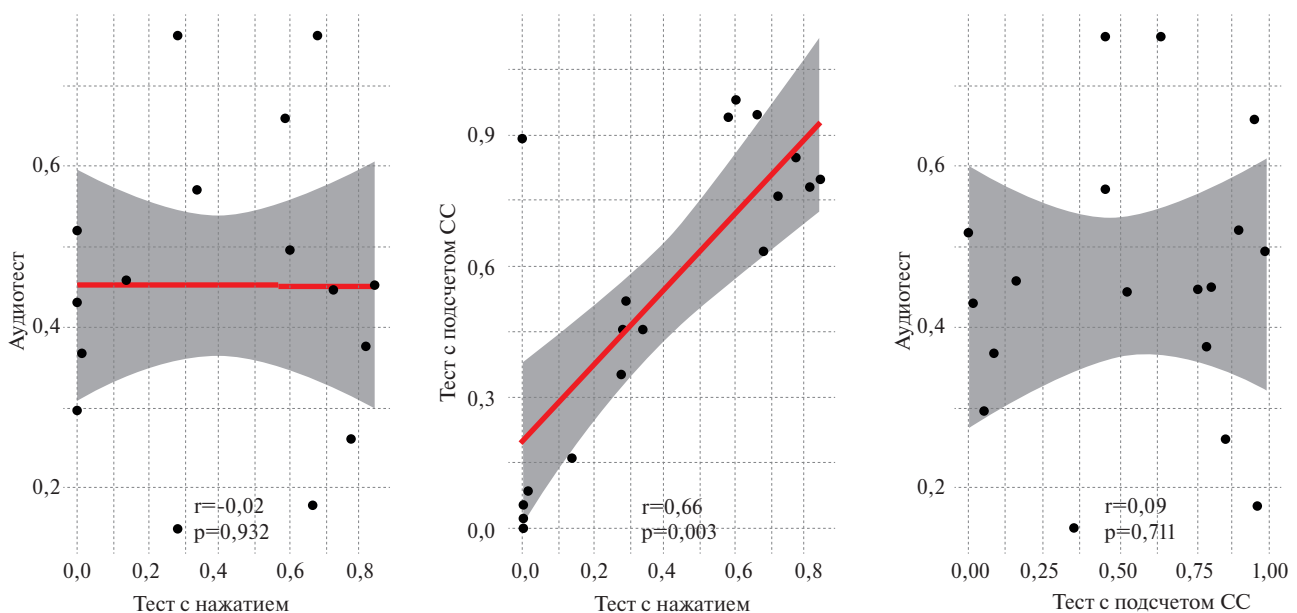


Рис. 1 Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между ТОС в тестах.

Примечание: СС — сердечные сокращения, ТОС — точность ощущения сердцебиения.

R-зубцы в ЭКГ находили с помощью библиотеки MNE языка программирования Python, при этом использовали наиболее свободное от артефактов отведение ЭКГ. Статистический анализ проводили с помощью среды R 4.3.1 с открытым исходным кодом. Для оценки отклонения распределения от нормального использовали критерий Шапиро-Уилка. Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me [Q25-Q75]). Для сравнения исследуемых тестов применяли критерий Вилкоксона для возможно связанных выборок с поправкой на множественные сравнения Бонферрони (wilcox.exact()) из библиотеки exactRankTests). Для исследования зависимостей между переменными использовали двусторонний коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для оценки независимых факторов сердечной интероцепции (пол, возраст, ИМТ, жировая масса, тревож-

ность) использовали однофакторную линейную регрессию. Модели линейной регрессии были проверены на гетероскедастичность (тест Уайта) и нормальность распределения остатков (тест Шапиро-Уилка). Был проведен post hoc анализ мощности и величины эффекта (d) в программе G*Power 3.1.9.7 для попарного сравнения ТОС в тестах (Wilcoxon signed-rank test: (matched pairs) из семейства t-тестов), линейной однофакторной регрессии (linear multiple regression with 1 predictor из семейства F-тестов) и корреляции Спирмена (bivariate normal model, comparison of a correlation ρ with a constant $\rho_0=0$). Уровень значимости для всех проверяемых гипотез принимали равным 0,05.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-15-00507, <https://rscf.ru/project/22-15-00507>.

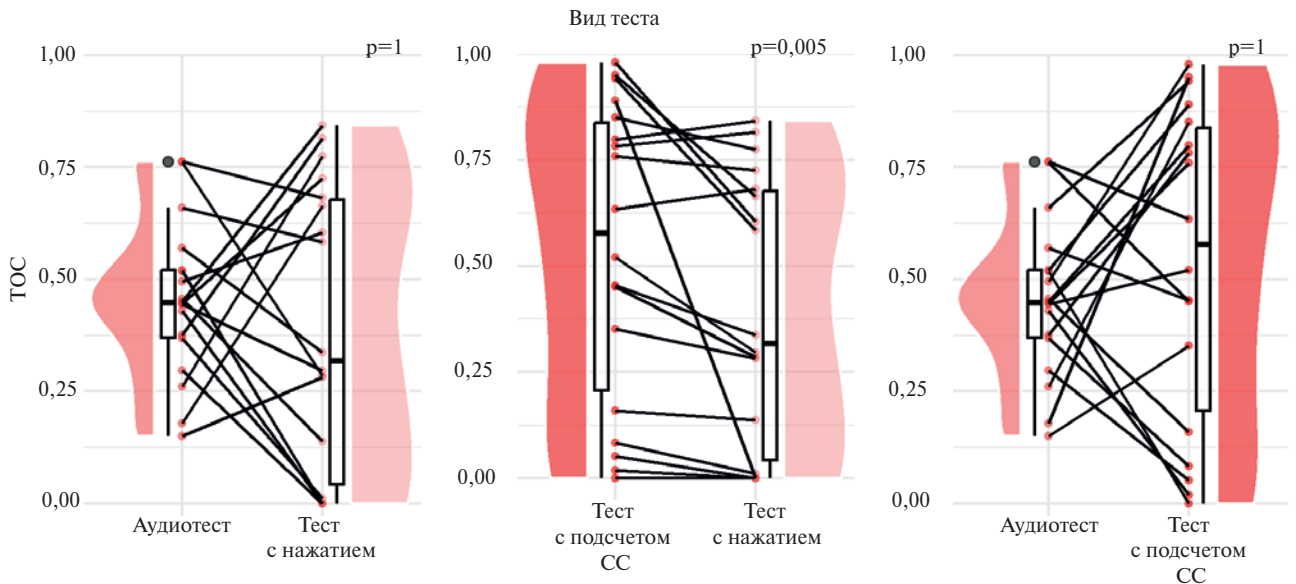


Рис. 2 Попарное сравнение ТОС в тестах методом Вилкоксона.
Примечание: СС — сердечные сокращения, ТОС — точность ощущения сердцебиения.

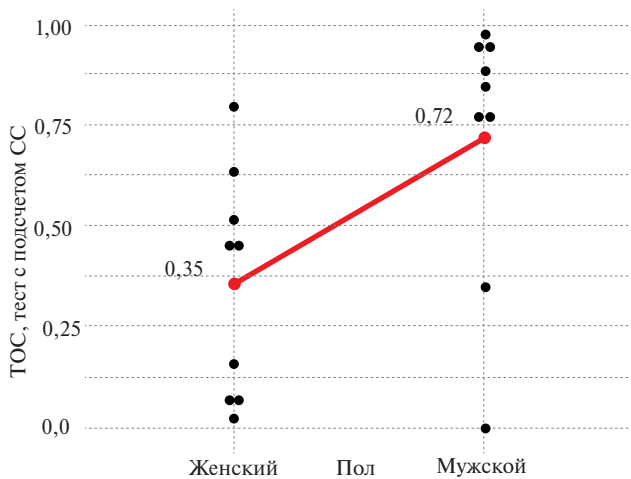


Рис. 3 Модель линейной регрессии зависимости ТОС в тесте с подсчетом СС от пола.
Примечание: СС — сердечные сокращения, ТОС — точность ощущения сердцебиения.

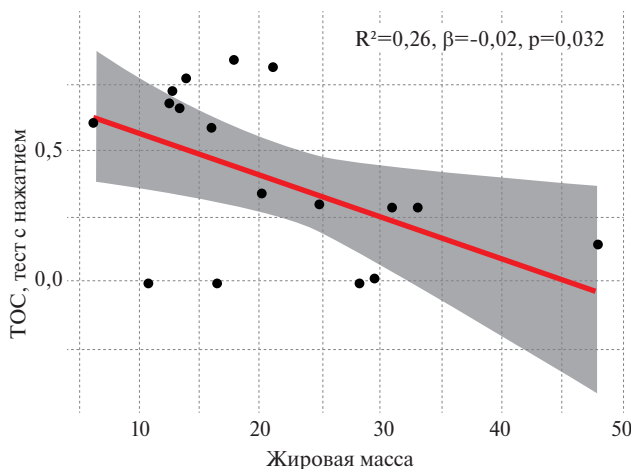


Рис. 4 Модель линейной регрессии зависимости ТОС в тесте с нажатием от жировой массы.
Примечание: ТОС — точность ощущения сердцебиения.

Результаты

Клиническая характеристика исследуемых представлена в таблице 1 отдельно для мужчин ($n=9$) и женщин ($n=9$). Ме [Q25-Q75], а также минимальное и максимальное значения тестов с учетом пола представлены в таблице 2.

При проверке, насколько ТОС соотносится между тестами, значимую корреляцию выявили только между тестом с подсчетом СС и тестом с нажатием кнопки ($r=0,66$, $p=0,003$, с поправкой на множественные сравнения Бонферрони $p=0,009$, мощность составляет 0,89) (рисунок 1).

Попарное сравнение показало, что ТОС в тесте с подсчетом СС значимо выше, чем в тесте с нажатием ($W=14$, $p=0,005$) (рисунок 2). Учитывая средние значения и стандартные отклонения теста с подсчетом СС и с нажатием, уровень значимости и объем выборки, средний эффект ($d=0,52$) можно обнаружить с достоверностью 0,53.

Однофакторная линейная регрессия показала значимость мужского пола для ТОС в тесте с подсчетом СС ($p=0,021$, $R^2=0,29$, $\beta=0,37$) (рисунок 3), значимость жировой массы для ТОС в тесте с нажатием ($p=0,032$, $R^2=0,26$, $\beta=-0,02$) (рисунок 4). Учитывая число предикторов, равное одному, в модели регрессии, квадрат корреляции предиктора (жировая масса) и теста с нажатием ($r^2=0,16$), объем выборки, для среднего эффекта ($d=0,19$) мощность составляет 0,4. Тест Вилкоксона для независимых выборок не выявил разницы в жировой массе между мужчинами и женщинами ($W=22$, $p=0,114$).

Обсуждение

В рамках настоящей работы проведено сравнение субъективных тестов для оценки сердечной интросенсации с помощью сопоставления ТОС, полу-

ченной в каждом из тестов, а также оценки влияния на нее ряда параметров (пол, возраст, ИМТ, жировая масса, тревожность). Основная цель исследования заключалась в выборе наиболее оптимальной методики субъективной оценки interoцепции.

Существуют различные методики для оценки сердечной interoцепции. Для данной работы были отобраны три методики, неоднократно использованные как на группах здоровых добровольцев, так и в рамках клинических исследований для оценки interoцепции: тест с подсчетом СС, тест с нажатием, аудиотест. Важно отметить, что подавляющее большинство других исследований по сравнению тестов на interoцепцию проводилось с использованием не более двух различных тестов [25].

При попарном сравнении точности, полученной в трех тестах оценки субъективной interoцепции, были обнаружены значимые различия в группе здоровых добровольцев для теста с нажатием и теста с подсчетом СС. Последующий анализ показал значимые корреляции результатов в тестах с нажатием и с подсчетом СС, однако не обнаружил значимой связи между точностью при сравнении остальных пар тестов (аудиотест vs тест с нажатием, аудиотест vs тест с подсчетом СС). Учитывая эти результаты, можно предположить, что тест с подсчетом СС и тест с нажатием на кнопку отражают сходные процессы, связанные с восприятием сердцебиений, подтверждая конвергентную валидность.

В недавнем метаанализе, включающем 22 работы и посвященном сравнению точности аудиотеста и теста с нажатием, описана слабая, но значимая корреляция между результатами этих методик (вариабельность — 4,4%) [26]. При этом в целом ряде отдельных работ, рассмотренных авторами статьи, значимая связь между тестами отсутствовала. Общий вывод, который делают авторы, заключается в незначительной связи между этими методиками, а также в сильном влиянии выбранной методики оценки interoцепции на конечный результат исследования. В силу нюансов дизайна, оба теста также предполагают способность испытуемого точно улавливать ритм. Вместе с тем, тест с нажатием содержит контрольное условие, позволяющее оценить точность в восприятии времени и ритма, тогда как дизайн аудиотеста подобного контроля не предполагает. Стоит заметить, что в настоящей работе были соблюдены рекомендации по количеству повторений для аудиотеста, учитывая, что критика других работ часто касалась именно этого аспекта.

Результаты ряда других исследований относительно связи между точностью, полученной в тесте с подсчетом СС и аудиотесте, согласуются с нашими результатами. К примеру, Ring C, Brener J [27], также показали, что результаты этих двух тестов не ассоциированы между собой. Признавая потенциальную чувствительность результатов теста с под-

счетом СС к фактору осведомленности участника о своей частоте СС или общих представлениях о нормальных значениях этого показателя, авторы, тем не менее, признают валидность этого теста и его способность адекватно оценивать субъективную interoцепцию. Важно отметить, что в других работах также была показана связь результатов теста с подсчетом СС с нейрофизиологическим отражением interoцепции — сердечными вызванными потенциалами [5]. Наряду с этим в одной из работ по сравнению результатов аудиотеста и теста с подсчетом СС на выборке из 80 человек авторы обнаружили значимые корреляции [14].

В недавней работе по сравнению тестов с подсчетом СС и с нажатием была обнаружена значимая разница между результатами тестов с большим значением точности для теста с подсчетом СС, что согласуется с нашими результатами [17]. Важно отметить, что исследование проводилось на выборке 45 здоровых добровольцев, что значительно превышает размер выборки настоящего исследования. Выполненный в настоящем исследовании корреляционный анализ результатов теста с нажатием и теста с подсчетом СС показал значимость, что также согласуется с результатами работы [17].

В ряде работ, изучающих феномен interoцепции, встречаются данные о сопутствующих факторах, модулирующих точность проводимых тестов. Влияние фактора на точность может обуславливать выбор теста для оценки interoцепции и подтверждать его конструктивную валидность, если этот фактор также вносит вклад в объяснение модели interoцепции. В частности, авторы указывают на влияние ИМТ и процента жировой ткани в организме, с увеличением которых снижается точность в выполнении тестов на interoцепцию [28]. Используя аудиотест, авторы показали отрицательную зависимость между точностью и параметрами ИМТ и процентом жировой массы. Результаты настоящего исследования подтверждают этот вывод для теста с нажатием в виде отрицательной зависимости между точностью выполнения теста и жировой массой. Кроме того, те же авторы [28], оценивая влияние пола на результат теста, показали, что при дополнительном контроле за процентом жировой массы между выборками мужчин и женщин эффект большей точности среди мужчин исчезал. Авторы предположили, что более ранние данные [29] о большей точности в тестах interoцепции среди мужчин могут объясняться тем, что в этой когорте в среднем меньше процент жировой массы по сравнению с женской популяцией. В другой работе было показано, что мужчины существенно лучше отслеживают свое сердцебиение в тесте с подсчетом СС, чем женщины, однако данные о контроле за составом тела в этой работе не приводятся [30]. В настоящем исследовании также показано по-

ложительное влияние фактора мужского пола для одного из трех тестов, а именно, теста с подсчетом СС, при этом разницы в жировой массе между мужчинами и женщинами нет.

Ограничением исследования является маленькая выборка ($n=18$), поэтому важно принять во внимание предварительность полученных в данной работе результатов.

К задачам данного исследования относится выбор оптимального метода оценки кардиоцепции для дальнейшего проведения тестирования не только на здоровой группе, но и на группе пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы. В работе с клиническими выборками особое значение для выбора метода приобретают такие сопутствующие факторы как сложность и длительность проведения эксперимента, общий объем нагрузки на организм участника и простота инструкций в тесте. Безусловно, наиболее трудоемким для имплементации является дизайн аудиотеста, т.к. он предполагает преодоление ряда технических трудностей. В отличие от аудиотеста, два других теста отличаются простотой реализации. Общие рекомендации по длительности проведения для аудиотеста предполагают не <20 повторений каждого из условий (одновременное и неодновременное), что в совокупности составляет не <25 мин. Выполнение других тестов занимает значительно меньше времени (не >10 мин). Кроме того, важно отметить, что аудиотест предполагает активную параллельную обработку участником как интероцептивных (сокращения сердца), так и экстероцептивных (звуковые сигналы) стимулов, что само по себе является сложной задачей и, возможно, снижает ТОС [26]. Можно предположить, что два других теста — тест с подсчетом СС и тест с нажатием, представляют меньшую сложность для испытуемого в плане количества ресурсов внимания, необходимых для успешного выполнения теста. В выводах исследования [17] авторы предполагают, что тест с подсчетом СС является оптимальным для оценки кардиоцепции, т.к. позволяет участнику максимально сконцентрироваться на оценке интероцептивных стимулов, в отличие от альтернативных методик. Однако в ряде работ встречаются критические комментарии относительно теста с нажатием, мотивированные тем, что тест сопровождается тактильной и проприоцептивной обратной связью в момент нажатия на кнопку, что также переключает внимание участника от интероцептивных сигналов к экстероцептивным и, возможно, снижает ТОС [17, 20, 26]. Если рассматривать простоту инструкций, то опыт проведения настоящего исследования показывает, что для некоторых участников эксперимента отдельную сложность составляет понимание

идеи одновременности слышимого сигнала и ощущения от сердцебиения. Также важным отличием дизайна аудиотеста является то, что он относится к категории тестов с вынужденным выбором из двух альтернатив. Иными словами, его выполнение требует от участника совершать выбор из предложенных вариантов, даже если ни один из них не отражает реального ощущения. Так, даже если испытуемый не ощущает сокращений сердца, дизайн теста предполагает регистрацию ответа, таким образом провоцируя участника на угадывание и внося элемент случайности в финальный результат. Дизайн теста с подсчетом СС и теста с нажатием оставляет возможность для нулевого ответа в тесте, что, вероятно, позволяет получить более надежный результат.

Заключение

В ходе настоящего исследования было проведено сравнение трех методик субъективной оценки сердечной интероцепции. Работа направлена на выбор наиболее оптимального подхода для дальнейших исследований в области интероцепции. Основываясь на полученных данных и проведенном анализе, можно сделать следующие предварительные выводы: (1) результаты подтверждают взаимосвязь между тестами с подсчетом СС и с нажатием, подчеркивая их схожесть и потенциальную способность отражать одни и те же аспекты феномена интероцепции; (2) аудиотест, несмотря на его сложность и техническую затратность, не демонстрирует значимой корреляции с двумя другими методиками, что вызывает сомнения в его эффективности для оценки интероцептивной чувствительности; (3) пол и жировая масса оказывают значимое влияние на результаты тестирования, что подтверждает необходимость учета этих параметров при анализе данных интероцептивной чувствительности.

Тест с подсчетом СС и тест с нажатием, с учетом их простоты, короткой продолжительности и минимальной нагрузки на испытуемого, могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в клинических исследованиях и практике. Однако выбор конкретной методики должен быть обоснован спецификой исследуемой проблемы, характеристиками выборки и целями исследования. Полученные данные и выводы являются предварительными и могут послужить основой для дальнейших исследований на большей выборке в области оценки интероцепции и разработки методик, учитывающих специфику клинических и психофизиологических исследований.

Отношения и деятельность. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-15-00507.

Литература/References

1. Ferentzi E, Wilhelm O, Köteles F. What counts when heartbeats are counted. *Trends in Cognitive Sciences*. 2022;26(10):832-5. doi:10.1016/j.tics.2022.07.009.
2. Vig L, Ferentzi E, Köteles F. Sustained attention is related to heartbeat counting task performance but not to self-reported aspects of interoception and mindfulness. *Conscious Cogn*. 2021;95(6):103209. doi:10.1016/j.concog.2021.103209.
3. Park HD, Blanke O. Heartbeat-evoked cortical responses: Underlying mechanisms, functional roles, and methodological considerations. *Neuroimage*. 2019;197:502-11. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.04.081.
4. Couto B, Adolff F, Velasquez M, et al. Heart evoked potential triggers brain responses to natural affective scenes: a preliminary study. *Auton Neurosci*. 2015;193:132-7. doi:10.1016/j.autneu.2015.06.006.
5. Limonova AS, Germanova KN, Gantman MV, et al. Neurovisceral interactions within the brain-heart axis as the basis of neurocardiology. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022; 21(10):3435. (In Russ.) Лимонова А.С, Германова К.Н, Гантман М.В. и др. Нейровисцеральные взаимодействия в рамках оси мозг-сердце как основа нейрокардиологии. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022;21(10):3435. doi:10.15829/1728-8800-2022-3435.
6. Wolters C, Gerlach AL, Pohl A. Interoceptive accuracy and bias in somatic symptom disorder, illness anxiety disorder, and functional syndromes: A systematic review and meta-analysis. *Plos one*. 2022;17(8):e0271717. doi:10.1371/journal.pone.0271717.
7. Bonaz B, Lane RD, Oshinsky ML. Diseases, disorders, and comorbidities of interoception. *Trends Neurosci*. 2021;44(1):39-51. doi:10.1016/j.tins.2020.09.009.
8. Smulevich AB. Depression as a general medical problem: clinical and therapy issues. *Psychiatry and psychopharmacotherapy*. 2006;8(3):4-10. (In Russ.) Смулевич А.Б. Депрессия как общемедицинская проблема: вопросы клиники и терапии. Психиатрия и психофармакотерапия. 2006;8(3):4-10.
9. Kandiah JW, Blumberger DM, Rabkin SW. The fundamental basis of palpitations: a neurocardiology approach. *Curr Cardiol Rev*. 2022;18(3):e090921196306. doi:10.2174/1573403X17666210909123930.
10. Ehlers A, Mayou RA, Sprigings DC, et al. Psychological and perceptual factors associated with arrhythmias and benign palpitations. *Psychosom Med*. 2000;62(5):693-702. doi:10.1097/00006842-200009000-00014.
11. Barsky A, Cleary P, Brener J, et al. The perception of cardiac activity in medical outpatients. *Cardiology*. 1993;83(5-6):304-15. doi:10.1159/000175986.
12. Cameron OG, Minoshima S. Regional brain activation due to pharmacologically induced adrenergic interoceptive stimulation in humans. *Psychosom Med*. 2002;64(6):851-61. doi:10.1097/01.psy.0000038939.33335.32.
13. Stern ER, Grimaldi SJ, Muratore A, et al. Neural correlates of interoception: Effects of interoceptive focus and relationship to dimensional measures of body awareness. *Hum Brain Mapp*. 2017;38(12):6068-82. doi:10.1002/hbm.23811.
14. Garfinkel SN, Seth AK, Barrett AB, et al. Knowing your own heart: distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness. *Biol Psychol*. 2015;104:65-74. doi:10.1016/j.biopsycho.2014.11.004.
15. Schandry R. Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*. 1981;18(4):483-8. doi:10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x.
16. Körmendi J, Ferentzi E, Köteles F. Expectation predicts performance in the mental heartbeat tracking task. *Biol Psychol*. 2021;164:108170. doi:10.1016/j.biopsycho.2021.108170.
17. Körmendi J, Ferentzi E, Köteles F. A heartbeat away from a valid tracking task. An empirical comparison of the mental and the motor tracking task. *Biol Psychol*. 2022;171:108328. doi:10.1016/j.biopsycho.2022.108328.
18. Desmedt O, Luminet O, Corneille O. The heartbeat counting task largely involves non-interoceptive processes: Evidence from both the original and an adapted counting task. *Biol Psychol*. 2018;138:185-8. doi:10.1016/j.biopsycho.2018.09.004.
19. Brener J, Ring C. Towards a psychophysics of interoceptive processes: the measurement of heartbeat detection. *Philos Trans R Soc B: Biol Sci*. 2016;371(1708):20160015. doi:10.1098/rstb.2016.0015.
20. Pennebaker JW, Hoover CW. Visceral perception versus visceral detection: Disentangling methods and assumptions. *Biofeedback Self-regulation*. 1984;9:339-52. doi:10.1007/BF00998977.
21. Spielberger CD. Anxiety, drive theory, and computer-assisted learning. *Progr Exp Pers Res*. 1970;6:109-48.
22. Fittipaldi S, Abrevaya S, de la Fuente A, et al. A multidimensional and multi-feature framework for cardiac interoception. *Neuroimage*. 2020;212:116677. doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116677.
23. Wiens S, Palmer SN. Quadratic trend analysis and heartbeat detection. *Biol Psychol*. 2001;58(2):159-75. doi:10.1016/s0301-0511(01)00110-7.
24. Macmillan NA. Signal detection theory. *Signal Detection Theory*. In: Wixted J, ed. *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. New York/John Wiley and Sons, 2002:43-90. ISBN: 978-0471378884. doi:10.1002/0471214426.pas0402.
25. Körmendi J, Ferentzi E. Heart activity perception: narrative review on the measures of the cardiac perceptual ability. *Biologia Futura*. 2023;1-13. doi:10.1007/s42977-023-00181-4.
26. Hickman L, Seyedsalehi A, Cook JL, et al. The relationship between heartbeat counting and heartbeat discrimination: A meta-analysis. *Biol Psychol*. 2020;156:107949. doi:10.1016/j.biopsycho.2020.107949.
27. Ring C, Brener J. Heartbeat counting is unrelated to heartbeat detection: A comparison of methods to quantify interoception. *Psychophysiology*. 2018;55(9):e13084. doi:10.1111/psyp.13084.
28. Rouse CH, Jones GE, Jones KR. The effect of body composition and gender on cardiac awareness. *Psychophysiology*. 1988;25(4):400-7. doi:10.1111/j.1469-8986.1988.tb01876.x.
29. Whitehead WE, Drescher VM, Heiman P, et al. Relation of heart rate control to heartbeat perception. *Biofeedback Self-regulation*. 1977;2(4):371-92. doi:10.1007/BF00998623.
30. Grabauskaitė A, Baranauskas M, Griškova-Bulanova I. Interoception and gender: What aspects should we pay attention to? *Conscious Cogn*. 2017;48:129-37. doi:10.1016/j.concog.2016.11.002.