

УДК 159.91

РАЗЛИЧЕНИЕ, ОЦЕНКА, МОДУЛЯЦИЯ ИНТЕРОЦЕПТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ: ОБЗОР АКТУАЛЬНЫХ ГИПОТЕЗ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

О.В. Ипатюк¹, П.Х. Катчиева²

¹ Индивидуальный предприниматель Ипатюк Олег Вячеславович, Россия, 660077, Красноярск, ул. 78-й Добровольческой бригады, д. 12

² Автономная некоммерческая научно-исследовательская организация «Институт развития биотехнологий», Россия, 369000, Черкесск, ул. Комсомольская, д. 34

Резюме

Способность сознательно воспринимать внутренние телесные ощущения играет важную роль в поведенческой и эмоциональной саморегуляции, и нарушения interoception могут служить этиологическим фактором для физических и психических расстройств. Разработка методов оценки различных аспектов interoception, таких как interoceptive accuracy, внимание, осведомленность и чувствительность, а также понимание функциональных мозговых основ interoception имеют решающее значение для фундаментальных исследований и дальнейшего клинического применения. В статье представлены существующие методы оценки паттернов interoceptive stimulation по категориям (сердечные, респираторные и желудочные сигналы) и их нейронных субстратов, а также факторы, влияющие на точность распознавания interoceptive signals и подходы к повышению interoceptive awareness. Работы, цитируемые в данном тексте, были отобраны из базы данных медицинских и биологических публикаций Pubmed Национального центра биотехнологической информации (NCBI), базы данных Clinical Key, из Web of Science Citation Indexing Database и научной электронной библиотеки eLibrary.ru. Поиск проводился с использованием следующего перечня ключевых слов / словосочетаний: interoceptive awareness, interoceptive sensitivity, interoceptive accuracy, interoception neurons, оценка interoception, interoceptive awareness. Приоритет был отдан клиническим исследованиям, совмещающим субъективные подходы к оценке восприятия interoceptive stimuli, объективные методы регистрации с дополнительным раскрытием фундаментальных нейронных цепей interoception. В результате анализа представленных работ мы формулируем теоретические соображения, которые могут помочь интегрировать рассмотренные данные о психофизиологии interoceptive mechanisms, для формирования новых подходов к различению interoceptive signals в дополнение к существующим инструментам фокусировки на соматических сигналах. Кроме того, предлагаем эмпирически проверяемые выводы, основанные на наших соображениях, которые помогут направить будущие исследования.

Ключевые слова: interoception; нейронные пути; interoceptive accuracy; оценка interoception; interoceptive awareness; телесные ощущения; когнитивно-поведенческая терапия

Введение

Термином «интероцепция» можно консолидировать афферентную передачу сигналов и их центральную обработку с последующим нейронным и ментальным представлением внутренних телесных сигналов (Critchley, Garfinkel, 2017). Висцеральная сигнализация обеспечивает оптимальное функционирование дыхательной, сердечно-сосудистой, эндокринной и мочеполовой систем и является основополагающей частью гомеостаза. При этом интероцепция не рассматривается в качестве изолированной области, поскольку тесно взаимодействует с экстероцепцией, познанием и действиями, обеспечивая целостность организма (Engelen, Solcà, Tallon-Baudry, 2023).

Интероцепция – это многогранное явление, объединяющее различные компоненты, такие как интероцептивная точность, внимание, осведомленность и чувствительность. Наблюдение человека за внутренними состояниями или ощущениями своего тела с сознательной концентрацией внимания на висцеральных и соматических сигналах или реакциях называется интероцептивным вниманием, которое активно модулируется эмоциями (Wang et al., 2019). Различные виды сознательной интероцептивной функции, о которой сообщают сами люди, объединяются понятием интероцептивной осведомленности (Khalsa, Feinstein, Simmons, Paulus, 2018). Способность человека точно воспринимать висцеральную афферентную информацию обозначают термином «интероцептивная чувствительность», интенсивность телесных ощущений обозначается как интероцептивная величина, а способность обнаруживать, контролировать интероцептивные ощущения, оценивать изменения интероцептивных сигналов определяют как интероцептивную точность (Khalsa et al., 2018). Обучая испытуемых различать вибрации сердца и внешних источников, J. Brener и J.M. Jones (1974) впервые вывели экспериментальным путем интероцептивную дискриминацию – способность разграничить телесные симптомы от разных органов или систем и различить два разных интероцептивных ощущения. Способность человека размышлять над собственным опытом интероцептивных состояний, выносить суждения о их результатах и описывать их посредством вербальных или двигательных реакций относится к термину «интероцептивный самоотчет», или «интероцептивное понимание» (Khalsa et al., 2018). Обособленным интероцептивным измерением является метакогнитивная интероцепция – явные убеждения и опасения по поводу собственной интероцептивной чувствительности и внутренних ощущений (Yoris et al., 2015).

Получение патофизиологических и причинно-следственных данных, свидетельствующих о вкладе нарушений интероцепции в патогенетический механизм психосоматических заболеваний, способствует активному развитию различных подходов к изучению нейробиологических основ и различных компонентов интероцепции с концептуализацией вклада интероцептивных механизмов в эмоции человека (Туценко, Наркевич, Ипатюк,

Королева, 2023). Кроме того, усовершенствование навыка интероцептивного осознания необходимо для интерпретации чувств и эмоций с последующей возможностью заведомо планировать и определять стратегию реагирования на определенные стимулы (Добрушина и др. 2020).

Несмотря на сложную организацию интероцептивной системы и методологические проблемы в изучении нейронных цепей интероцепции на нейроанатомическом и функциональном уровнях, наблюдается значительный рост публикаций, характеризующих интероцептивные сигналы и интерорецепторы с применением современных технологий (Desmedt, Luminet, Walentynowicz, Corneille, 2023). С помощью функциональной визуализации и регистрации электрических потенциалов при выполнении испытуемыми определенных задач возможны оценка мозговых сетей, участвующих в интероцепции, и измерение активности нейронных субстратов (Chen et al., 2021). Экспериментальное измерение компонентов интероцепции в некоторой степени затрудняется из-за неточного восприятия висцеральных изменений, которые не могут быть описаны с помощью внимательного самоанализа в нормальных физиологических состояниях (Brener, Ring, 2016). Для минимизации подобных искажений исследования все чаще подкрепляются объективными методами оценки интероцепции (Herbert, Muth, Pollatos, Herbert, 2012; Schulz et al., 2023).

Цель данной работы – описать результаты исследований, направленных на оценку восприятия интероцептивных стимулов и раскрытие нейронных коррелятов интероцепции, а также рассмотреть факторы, затрудняющие распознавание интероцептивной сигнализации, и современные подходы к улучшению интероцептивной осведомленности.

Методы

Работы, цитируемые в данном тексте, были отобраны из базы данных медицинских и биологических публикаций Pubmed Национального центра биотехнологической информации (NCBI), базы данных Clinical Key, из Web of Science Citation Indexing Database и научной электронной библиотеки eLibrary.ru. Поиск проводился с использованием следующего перечня ключевых слов / словосочетаний: interoceptive awareness, interoceptive sensitivity, interoceptive accuracy, interoception neurons, оценка интероцепции, интероцептивная осведомленность. Приоритет был отдан клиническим исследованиям, совмещающим субъективные подходы к оценке распознавания интероцептивной сигнализации, объективные методы регистрации с дополнительным описанием фундаментальных нейронных цепей интероцепции.

Методы оценки сердечной интероцепции

При исследовании аспектов интероцепции и ее нейронных субстратов наиболее популярной является оценка сердцебиения быстрыми и простыми

методами, когда от участников требуется сообщать количество сердечных сокращений за определенный промежуток времени, постукивая по каждому удару сердца или нажимая на кнопку (Миненко и др., 2023; Schandry, 1981). Несмотря на сложившиеся выводы о слабой способности большинства участников определять сердцебиение без тренировки, исследователями ведется поиск надежных interoцептивных тестов по отслеживанию сердцебиения (Katkin, Blascovich, Reed, Adamec, Jones, Taublieb, 1982; Santos et al., 2023). Метод оценки психофизиологических эффектов изменений interoцептивной чувствительности посредством способности обнаруживать ощущения сердцебиения, вероятно, требует стандартизации. Имеющиеся экспериментальные данные получены различными методами проверки точности (Brener, Ring, 2016). Подсчитанная участниками частота сердечных сокращений могла быть существенно ниже действительной как в покое, так и при изменениях положения тела, во время тренировки или перед публичными выступлениями (Schandry, 1981; Schandry, Specht, 1981). В некоторых экспериментах прослеживается кардиогенный контроль аффективно-поведенческих состояний в виде взаимодействия сердцебиения и уровня тревоги или эмоционального возбуждения. В работе В. Hsueh и соавт. (2023) оптически вызванное повышение частоты сердечных сокращений значительно усиливало тревожноподобное поведение, вызывая реакцию тревоги или страха. Некоторыми исследователями зарегистрирована положительная связь между компонентом интенсивности (возбуждения) эмоций и кардиоцептивной точностью, т.е. чем интенсивнее эмоциональная реакция участника, тем лучше показатели восприятия сердцебиения (Herbert, Pollatos, Flor, Enck, Schandry, 2010). Кроме того, участие сознательных процессов в задаче отслеживания сердцебиений существенно, в особенности роль предыдущего опыта и ожиданий. Участники, используя знания об обычной частоте сердечных сокращений, отступают от строгих инструкций не считать сокращения, если не было никаких ощущений (Horváth, Vig, Ferentzi, Köteles, 2021). Путем регистрации функциональных и структурных изменений головного мозга установлены нейронные корреляты сердечной interoцептивной фокусировки – островковая доля и соматосенсорная кора (Babo-Rebelo, Wolpert, Adam, Hasboun, Tallon-Baudry, 2016; Pollatos, Herbert, Mai, Kammer, 2016).

Оценка респираторной сигнализации

Осознание более выраженных сигналов, чем сердцебиение, таких как дыхательный цикл, является как основной гомеостатической способностью, так и напрямую связано с психологическими симптомами, например паникой и тревогой, что обусловлено существенным ритмическим влиянием акта дыхания на восприятие, эмоции и познание за счет прямой модуляции нейронных колебаний (Nikolova et al., 2022; Allen, Varga, Heck, 2023). Фокусировка внимания на ритме дыхания вызывала увеличение нейронной активации в островковой доле головного мозга, что указывает на участие

островковой коры в респираторном внимании (Wang et al., 2019). Другие исследования поражений островковой коры демонстрируют, что точность интероцепции зависит от широко распределенной нервной сети, в которой островковая кора является ключевым узлом (García-Cordero et al., 2016). В работе N.A. Farb и соавт. (2023) интероцептивное внимание к респираторным ощущениям способствовало большей связи поясной извилины (центр саморегуляции) с латеральными префронтальными и теменными областями, именуемой дорсальной сетью внимания.

Несмотря на важную роль респираторции в психическом и физическом здоровье (Norweg et al., 2023) и рост интереса к количественной оценке респираторной психофизиологии, методов измерения аспектов респираторции представлено мало (Nikolova et al., 2022). Подход к оценке респираторной точности аналогичен другим мерам интероцептивной точности, таким как тесты кардиоцептивной и желудочной точности, основанные на сенсорно-различительном аспекте воспринимаемых ощущений. Точность восприятия респираторной нагрузки обычно оценивается с помощью задач на распознавание респираторной резистивной нагрузки. Участников просят сравнить две последовательно предъявляемые дыхательные нагрузки с точки зрения их сенсорных характеристик, в частности интенсивности ощущений (Drozdzovszky, Petzke, Köteles, 2023). Распознавание респираторции затрудняется наличием большого количества интероцептивных искажений, что требует дальнейшей разработки надежных и действенных методов регистрации и подходов к обучению дыхательной осведомленности (Wolters, Marx, Witthöft, Gerlach, Pohl, 2023). N. Nikolova и соавт. (2022) предложили экспериментальный аппарат для упрощенной и эффективной оценки респираторной чувствительности, функцией которого является обеспечение точной и автоматизированной подачи дыхательной резистивной нагрузки с устранением нереспираторных сигналов, таких как визуальные, слуховые и тактильные сигналы. Аппарат призван оценить чувствительность участников к обнаружению небольших затруднений воздушного потока при вдохе и определить субъективные пороги респираторции для разработки методов эффективного обнаружения респираторных ощущений и совершенствования интероцептивного контроля.

Различение желудочной интероцептивной информации

Исследования интероцептивной обработки сигналов от органов пищеварительной системы преимущественно направлены на распознавание чувств голода и насыщения, следствием которых являются расстройства пищевого поведения (Пичиков и др., 2019; Poovey, Ahlich, Attaway, Rancourt, 2022). Часть работ основывается на самоотчетах, где в качестве меры желудочной интероцепции используются тесты с водной нагрузкой в различных исследуемых популяциях (van Dyck, Vögele, Blechert, Lutz, Schulz, Herbert, 2016; Brown, Perry, Kaye, Wierenga, 2022; Ahlich, Poovey, Rancourt, 2023; Yoshida, Abe, Kanbara, Ueda, Saka-Kouchi, Hasuo, 2023). Участникам

предлагается пить воду до насыщения или до «полного / максимального насыщения» с последующим заполнением анкет (Brown, Perry, Kaye, Wierenga, 2022; Ahlich, Poovey, Rancourt, 2023). Другая часть исследований по распознаванию афферентных желудочных сигналов сводится к опосредованной оценке растяжения стенки желудка по вариабельности сердечного ритма, так как естественное растяжение желудка вызывает активацию блуждающего нерва и последующее снижение частоты сердечных сокращений (Пичиков и др., 2019; Schulz, van Dyck, Lutz, Rost, Vögele, 2017). Данный подход используется для оценки interoцептивных возможностей в различных популяционных группах, в том числе у людей с расстройствами пищевого поведения, для уточнения степени доверия данного контингента к интерпретируемой телесной сигнализации и влияния восприятия внешних аспектов собственного тела на желудочную interoцепцию (Todd et al., 2020; Datta, Lock, 2023; Yoshida et al., 2023). Кроме того, комбинированные тесты с водной нагрузкой и задачами на распознавание сердцебиения демонстрируют опосредованность эмоционального переживания interoцептивной деятельностью (Iatridi, Quadt, Hayes, Garfinkel, Yeomans, 2021). Субъективные пороги «насыщения» и «максимальной сытости» в тестах с водной нагрузкой дополняются объективной оценкой перистальтики желудка преимущественно с помощью неинвазивных инструментальных методов (электрогастрография) (Herbert et al., 2012; Schulz et al., 2023). Инвазивные способы объективной оценки в виде назогастральной интубации применяются реже ввиду сложных требований по реализации вмешательства (Whitehead, Drescher, 1980). Менее распространены попытки объективной оценки степени растяжения желудка по снижению количества морганий после приема определенного количества воды (Schulz et al., 2017).

При исследовании нейрональных путей, сопровождающих внимание к сердечным и желудочным ощущениям, с помощью магнитно-резонансной томографии Y. Haruki и K. Ogawa (2023) обнаружили, что концентрация участников на ощущениях в желудке вызывает активацию нейронов более крупных областей мозга, включая затылочно-височную зрительную кору, двустороннюю первичную моторную кору, первичную соматосенсорную кору, левую орбитофронтальную кору и области гиппокампа, тогда как внимание к сердцебиениям избирательно активировало правую переднюю островковую часть. Вероятной причиной вовлечения зрительных областей в нейронный путь желудочной interoцепции может быть то, что interoцепция желудка тесно связана с поиском пищи и пищевым поведением, которое требует интеграции зрительно-пространственной информации с энергетическим статусом и координацией движений (Rebollo, Wolpert, Tallon-Baudry, 2021). Предположительно, голодные люди меняют свою сенсорную выборку и поведение во внешнем мире, чтобы максимизировать вероятность потребления пищи, и адаптивные методики, повышающие точность interoцептивной сигнализации от желудка, могут быть привязаны к состоянию голода (Haruki, Ogawa, 2023; Yoshida et al., 2023).

Факторы, влияющие на интероцептивную точность

Исследования интероцепции ограничены когнитивными и перцептивными искажениями, которыми изобилует человеческий самоанализ (Nikolova et al., 2023). Участники бессознательно могут снижать точность оценки интероцепции, ориентируясь на накопленный интероцептивный опыт, или быстрее выполнять задания из соображений социальной желательности и востребованности (например, дышать глубже и чаще, чем обычно, при оценке респираторной нагрузки) (Horváth et al., 2021; Drozdovszky, Petzke, Köteles, 2023). Определенное воздействие оказывает когнитивная переоценка, обусловленная постоянными попытками головного мозга «предсказывать» будущие состояния организма во избежание событий, противодействующих гомеостазу (Barrett, Simmons, 2015; Seth, Friston, 2016). Влияние генерируемых «сверху вниз» мозговых «предсказаний» более выражено в клинических группах, когда прогнозируемые интероцептивные модели расходятся с реальным опытом (Walter et al., 2020). В задачах интероцептивной переоценки, как правило, задействована широко распространенная нейронная сеть, включающая переднюю островковую долю и предположительную двигательную область (Kruschwitz et al., 2019). Имеется вероятность использования интероцептивного прогнозирования для повышения самоконтроля у людей с различными расстройствами, например нарушениями пищевого поведения. В ограниченном количестве работ отмечается, что участники, которые «переоценивали» свое предстоящее интероцептивное состояние и использовали стратегии негативного мышления о будущем, демонстрировали более высокий уровень самоконтроля и эффективнее выполняли задачи на преодоление тяги к тем или иным вредным факторам (Kruschwitz et al., 2019; Walter et al., 2020).

Влияние на интероцептивную точность оказывает взаимосвязь мыслительных состояний и телесных процессов. Имеется вероятность отвлечения внимания от задач распознавания телесных реакций под влиянием произвольных автобиографических мыслей или самореферентного мышления (мыслей о своем прошлом и будущем) даже у людей с высокой интероцептивной точностью (Sakuragi, Shinagawa, Terasawa, Umeda, 2023).

К ошибочной интерпретации сенсорных сигналов могут привести гипербдительность к телесным ощущениям (метакогнитивная интероцепция) и связь компонентов интероцепции с тревогой и психосоматическими состояниями. Повышенное беспокойство в отношении своих убеждений по поводу интероцептивной информации отражает несоответствие между прямым ощущением тела и рефлексивными мыслями о состояниях тела. Высокая интероцептивная осведомленность в подобных случаях не обязательно является восходящей диспозиционной тенденцией (когда участники сверхчувствительны к телесным сигналам), а, скорее, метакогнитивным процессом, связанным с угрожающими убеждениями о телесных ощущениях (Yoris et al., 2015). Кроме того, люди с хроническими заболеваниями склонны к предвзятой интероцепции, не связанной с физиологическим со-

стоянием, и точность телесных ощущений у людей с патологической тревогой по поводу болезни отличается от интероцептивной осведомленности здоровых людей (Wolters et al., 2023). Обнаружена связь плохой точности о респираторных изменениях с повышенными показателем тревоги, тогда как хорошая осведомленность о сердечной интероцепции была связана со снижением тревоги (Garfinkel, Manassei, Hamilton-Fletcher, In den Bosch, Critchley, Engels, 2016). Н. Park и соавт. (2022) обнаружили корреляцию симптомов депрессии и тревоги с низкой интероцептивной осведомленностью о сердце и желудке с последующим ослаблением интероцептивной обработки в головном мозге.

Обсуждаются гендерные и возрастные различия интероцептивной осведомленности в сердечной, респираторной и желудочной областях. Установлено, что мужчины превосходят женщин в точности при выполнении сердечных, но не желудочных задач (Prentice, Murphy, 2022). Кроме того, несмотря на меньшие показатели интероцептивной точности, женщины часто превосходят мужчин по показателям эмоциональной обработки поступающих стимулов (Prentice, Hobson, Spooner, Murphy, 2022). Точность интероцепции существенно уменьшается с возрастом, в том числе при отсутствии сопутствующих физиологических изменений (Murphy, Geary, Millgate, Catmur, Bird, 2018).

Точность распознавания интероцептивных сигналов от одной системы может ухудшаться под влиянием экстероцепции или интероцептивной информации от других органов (Larsson, Esposito, Critchley, Dienes, Garfinkel, 2021). Предполагается, что люди с более низкой интероцептивной точностью больше полагаются на экстероцептивные сигналы, следовательно, нейронные представления в большей степени зависят от экстероцептивных входных данных, чем от «менее надежной» интероцептивной стимуляции (Tsakiris, Tajadura-Jiménez, Costantini, 2011). Данный феномен хорошо прослеживается при оценке интероцептивной осведомленности у людей с нарушениями пищевого поведения. По причине низкой интероцептивной точности на них больше влияют экстероцептивные воздействия (например, визуальные стимулы – восприятие собственного тела) (Eshkevari, Rieger, Longo, Haggard, Treasure, 2012). Кроме того, интероцептивная осведомленность у данной категории снижается по причине влияния социокультурных идеалов внешности (Mussap, Salton, 2006). В работе D.E.O. Larsson и соавт. (2021) при оценке интероцептивной способности сердца, определяющей чувствительность к естественным изменениям количества сердечных сокращений в состоянии покоя, участники демонстрировали общую тенденцию ощущать меньшее количество сердцебиений при более высокой частоте сердечных сокращений, в частности при вдохе. Предположительно, снижение точности восприятия сердцебиения связано со снижением силы и выраженности сердечных сокращений в периоды вдоха, когда частота сердечных сокращений обычно увеличивается для поддержания стабильного сердечного выброса.

Интероцептивное внимание, вероятно действует, как «узкое место» для доступа к глобальному рабочему пространству нейронов, и существует

конкуренция за доступ к сознанию между различными сенсорными модальностями. Когда внимание сосредоточено на определенном стимуле, ворота закрываются для других стимулов, которые не могут войти в глобальное рабочее пространство нейронов, что существенно ухудшает точность interoцептивного распознавания (Molle, Coste, 2022).

Таким образом, для истинной оценки чувствительности interoцептивной системы целесообразно дополнять субъективные способы восприятия объективными методами регистрации interoцептивных стимулов (Herbert et al., 2012; Schulz et al., 2023). Кроме того, подобный подход является ценным и для раскрытия фундаментальных нейронных цепей, лежащих в основе interoцептивного восприятия (Wang et al. 2019; Farb, Zuo, Price, 2023; Haruki, Ogawa, 2023).

Подходы к повышению interoцептивной осведомленности

Для расширения спектра исследовательских работ в области interoцепции возникает необходимость эффективных вмешательств с целью модуляции нейрокогнитивных функций и улучшения распознавания interoцептивной информации. Повышать точность interoцепции предлагается посредством устранения экстероцептивных сигналов или interoцептивной информации от других органов с помощью адаптивных методик или экспериментальных аппаратов (Larsson et al., 2021; Nikolova et al., 2022), либо использовать физиологические состояния организма: к примеру, оценивать желудочную interoцепцию в состоянии голода (Haruki, Ogawa, 2023; Yoshida et al., 2023).

Способствует увеличению interoцептивной осведомленности регулярная физическая активность. S. Miyazaki и соавт. (2022) выяснили причинно-следственную связь между эффективностью сердечных interoцептивных тестов и приверженностью участников к физической нагрузке. По мере выполнения тренировок, улучшения толерантности к физической нагрузке посредством повышения пикового потребления кислорода у участников улучшались показатели interoцептивной точности по отслеживанию сердцебиения.

Несмотря на отсутствие значимых различий interoцептивной осведомленности в группах сравнения, в ряде работ обнаружена общая тенденция к улучшению точности определения сердцебиения при глубоком дыхании, что объясняется оптимизацией кровотока в областях мозга, связанных с interoцепцией при глубоком носовом дыхании (островковой части) (Meyerholz, Irzinger, Witthöft, Gerlach, Pohl, 2019; Rominger, Grabmann, Weber, Schwerdtfeger, 2021).

Более высокая точность обнаружения сердцебиений при выдохе, чем при вдохе, подкрепляемая оптимизацией корковой обработки сердечных сигналов, говорит о возможности в большей степени переключать внимание на внутренние состояния тела именно в фазу выдоха (Zaccaro, Perucci, Parrotta, Costantini, Ferri, 2022). Кроме того, для облегчения сознательного

восприятия сердцебиения предлагается резонансное дыхание, которое усиливает афферентную сигнализацию блуждающего нерва и функционирование барорефлекса (механизм регуляции давления сердечно-сосудистой системы) (Leganes-Fonteneau et al., 2021). Установлена эффективность различных произвольных усилий по изменению модели дыхания, например путем акцентирования внимания на более длинных выдохах для контроля тревожных компонентов. Следствием являются активация нейронной цепи дорсальной передней поясной извилины и каудального ретикулярного ядра моста и реализация положительного влияния на interoceptивное восприятие сердечных и дыхательных стимулов (Jhang, Liu, O'Keefe, Han, 2023). По-видимому, дыхание важно для телесного осознания и может направить фокус внимания на внутренние процессы тела, активируя interoceptивную сеть (Gibson, 2019; Monti, Porciello, Tieri, Aglioti, 2020).

Для регулирования процессов interoceptии, повышения точности восприятия сенсорных стимулов, устранения фоновой тревоги рассматриваются поведенческие вмешательства, такие как медитация и когнитивно-поведенческая терапия. Вмешательства в практику осведомленности позволяют совершенствовать способность поддерживать внимание к телу, в том числе при депрессивных состояниях (van der Velden et al., 2023). Когнитивная терапия, основанная на осознанности, сводится к обучению адаптивной регуляции внимания, переключая внимание с депрессивных размышлений на тело, выстраивая режим сенсорного осознания. По мере увеличения способности поддерживать и контролировать внимание к ощущениям тела наблюдались изменения нейронных связей, которые регистрировали в ходе эксперимента с помощью функциональных и структурных изображений головного мозга (van der Velden et al., 2023). Комбинация адаптивной стратегии (упражнения по тренировке внимания, поведенческой активации, конкретизации мышления) и активной стратегии, включающей мышечную релаксацию, дыхательные техники, управляемые образы, направленные на телесные ощущения, продемонстрировала регресс депрессивной симптоматики и руминации (навязчивое прокручивание тревожных мыслей), повышение качества распознаваемой interoceptивной стимуляции (Roberts et al., 2021). При этом нервные механизмы, сопровождающие данные изменения, оценивали посредством функциональной магнитно-резонансной томографии. Улучшение клинического состояния коррелировало со снижением активности нейрональных связей между нервной сетью когнитивного контроля (CNN – нижняя поясная извилина) и сетью по умолчанию (default mode network (DMN) – состоит из дорсальной медиальной префронтальной коры, задней поясной извилины, прекунеуса и угловой извилины, и составляет неврологическую основу личности (автобиографическая информация и рассуждения, собственные эмоции, размышления и ссылки на себя, моральные рассуждения, социальные оценки и т.д.) (Roberts et al., 2021).

Перспективной основой для улучшения interoceptивных возможностей являются механизмы нейропластичности (механизмы восстановления утраченных функций нервной системы посредством изменения нейрональных

связей). Пластические способности мозговых цепей, нейрональных и синаптических компонентов в центральной нервной системе лежат в основе многочисленных процессов. Интероцептивная система не является исключением; интероцептивные пути задействованы на многих уровнях анатомической и функциональной организации подобных изменений (Torgealba, Madrid, Contreras, Gómez, 2017). Влияние нейропластичности на интероцептивную точность исследуется в работе D. Radziun и соавт. (2023), в частности влияние слепоты на сердечную интероцепцию. Поскольку зрительная депривация связана с повышенной кроссмодальной пластичностью, слепые люди обладают как способностью превосходно выполнять перцептивные задачи, основанные на экстероцептивной информации, так и повышенной чувствительностью к интероцептивной сигнализации (Radziun, Korczyk, Stucianelli, Szwed, Ehrsson, 2023). Кроме того, функциональную пластичность мозговых структур отражают увеличение заднего островка, увеличение активации нейронов в средней поясной извилине, нижнетеменной (часть дорсальной сети внимания), дорсолатеральной префронтальной и прецентральной областях вследствие интероцептивных тренировок по направлению внимания на поддержание конкретных ощущений и подавлению отвлечений (Farb, Segal, Anderson, 2013). Нейронная пластичность интероцептивных сетей вследствие подобных тренировок также характеризуется усилением функциональной связи между дорсальной сетью внимания и соматомоторной корой; при этом данные изменения положительно коррелировали с изменениями в субъективной интероцепции (усилением интероцептивной осведомленности) (Price, Sevinc, Farb, 2023). Помимо долгосрочных изменений в активности мозга, отражающихся на электроэнцефалограмме покоя, опыт длительной медитации продемонстрировал изменения в физической структуре мозга в виде увеличения толщины коры головного мозга (Kang et al., 2013). Оценка толщины коры (префронтальной, орбитофронтальной) в разновозрастных группах участников выявила вероятность компенсации возрастного истончения коры посредством медитаций (Luders, Cherbuin, Gaser, 2016; Kurth, Strohmaier, Luders, 2023). Реорганизация коры и изменения целостности аксонов, в частности увеличение серого вещества в островке, хвостом ядре и лобной коре, уменьшение в расширенных теменно-височных областях, правой медиальной префронтальной коре и парагиппокампальной извилине, увеличение правого гиппокампа, базальных ганглиев и прилегающих областей, наблюдаются преимущественно при медитации сосредоточенного внимания (концентрация на выбранном объекте, дыхании, образе или слова) (Lenhart et al., 2020).

В качестве вспомогательного инструмента при описании аспектов интероцепции, связанных с восприятием и регуляцией тела, возможно использование вычислительного моделирования. Путем формализации эмпирических результатов в математической структуре обеспечивается прогноз для будущих экспериментов. В основе математических моделей лежит иерархическая архитектура, так как мозг человека имеет иерархическую структуру, которая обеспечивает взаимную передачу сообщений между

иерархическими уровнями, и принцип предсказывающего кодирования (Owens, Allen, Ondobaka, Friston, 2018). Принцип предсказывающего кодирования основан на том, что мозг предсказывает характер сигнала, который поступит на конкретный интероцептивный рецептор (например, предсказание мозгом положения предмета, основываясь на предыдущем опыте еще до получения соответствующей зрительной афферентации) (Seth, Friston, 2016). Ряд авторов данным принципом объясняют и воображение, эмоции и другие психосоматические эффекты. Межуровневое взаимодействие в нервных структурах путем сопоставления сигналов с нижележащих уровней (афферентную сигнализацию от интерорецепторов) с предсказывающей сигнализацией с вышележащих нервных структур запускает процесс проверки «предсказания» и минимизации ошибок прогнозирования (Petzschnner, Garfinkel, Paulus, Koch, Khalsa, 2021). Модели прогнозирующего кодирования предполагают, что мозг должен распознавать вероятную причину афферентной сенсорной информации в любой момент времени посредством вероятностных выводов, а значит, реализовывать адаптивные реакции, меняя прогноз и прогнозируемые ощущения (Owens et al., 2018).

Заключение

Интероцептивная передача сигналов обеспечивает непрерывное сознательное и бессознательное отображение внутренней картины в нервных структурах. Интероцепция обеспечивает выживание и регуляцию организма, является компонентом эмоциональных и когнитивных переживаний, а также чувств, мотивации, адаптивных реакций. Интероцепция не является пассивным отражением действительности, это интеграл от множества составляющих, оказывающих влияние на восприятие (к примеру, предыдущий опыт). Осознанное восприятие интероцептивных сигналов, интерпретация и использование полученной информации для принятия решений, последующее регулирование – основной предмет, через который в настоящее время предлагается смотреть на интероцепцию.

Актуализация исследований в области интероцепции преимущественно обусловлена пополняющимися знаниями о компонентах психического здоровья, механизмах развития психосоматических заболеваний, в том числе о роли интероцептивной дисфункции. Кроме того, не исключается вероятность вклада интероцепции в личностное развитие, качественное распознавание собственных эмоций и потребностей, улучшение навыков эмпатии, коммуникации и руководства. Исходя из рассмотренных данных, перспективные направления по разработке эффективных вмешательств в интероцепцию преимущественно базируются на явлениях нейропластичности. Структурные и функциональные свидетельства пластичности нейронных структур позволяют предполагать возможность модуляции интероцептивных сетей. Методология получения морфометрических результатов нейронных изменений в раз-

личных областях головного мозга понятна и схожа в большинстве исследований (регистрация активации посредством электроэнцефалограммы, функциональная и структурная магнитно-резонансная томография), однако поиск эффективных программ для модуляции нервных структур продолжается.

Обобщая представленную информацию, при изучении различных аспектов интероцепции необходимо учитывать гендерную принадлежность исследуемых популяций, возраст, соматические и психические заболевания. Кроме того, интероцептивная осведомленность в значительной степени зависит от прошлого опыта, обучения, эмоциональной реактивности на момент исследования (настроение, уровень тревоги). В клинической популяции, более подверженной гипербдительности к телесным ощущениям, необходимо в большей степени приложить усилия к минимизации ошибок интероцептивного прогнозирования: повышение интероцептивной осведомленности без возможности использовать осознание этих ощущений может фактически увеличить тревогу. Нельзя исключить когнитивную переоценку интероцептивных состояний, влияние мозговых «предсказаний» «сверху вниз», которая также прослеживается преимущественно в клинических группах.

Суммируя проанализированные работы, наиболее перспективным подходом к улучшению интероцептивных показателей можно считать комбинацию активной и адаптивной стратегий. К активной стратегии относятся повышение приверженности к физической нагрузке, мониторинг дыхания и различные дыхательные техники, мышечная релаксация. Адаптивный компонент включает упражнения по тренировке внимания посредством концентрации на выбранном интероцептивном объекте, управляемые образы, направленные на телесные ощущения, отвлечение от самореферентных мыслей, устранение тревожного компонента. Кроме того, дополнительное исключение посторонних сигналов, объективный замер чувствительности интероцептивной системы будут выгодно подкреплять субъективные способы восприятия интероцептивной афферентации, повышая надежность исследований.

Литература

- Добрушина, О. Р., Добрынина, Л. А., Арина, Г. А., Кремнева, Е. И., Суслина, А. Д., Губанова, М. В., ... Кротенкова, М. В. (2020). Взаимосвязь интероцептивного восприятия и эмоционального интеллекта: функциональное нейровизуализационное исследование. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*, 70(2), 206–216. doi: 10.31857/S0044467720020069
- Миненко, И. А., Германова, К. Н., Лимонова, А. С., Сукманова, А. А., Иашвили, Н., Никулин, В. В., ... Драпкина, О. М. (2023). Сравнение методов субъективной оценки интероцепции сердца. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 22(10), 31–38. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3797
- Пичиков, А. А., Попов, Ю. В., Яковлева, Ю. А., Ананьева, Н. И., Саломатина, Т. А., Ахмерова, Л. Р., Андреев, Е. В. (2019). Динамика нарушений интероцепции у пациентов с нервной анорексией в процессе лечения. *Обзорение психиатрии и медицин-*

ской психологии имени В. М. Бехтерева, 4(2), 69–77. doi: 10.31363/2313-7053-2019-4-2-68-77

Туценко, К. О., Наркевич, А. Н., Ипатюк, О. В., Королева, М. В. (2023). Обзор методов регуляции эмоций, основанных на interoцепции. *Флагман науки*, 11, 1–8. doi: 10.37539/2949-1991.2023.11.11.028

Ссылки на зарубежные источники см. в разделе *References* после англоязычного блока.

Поступила в редакцию 29.02.2024 г.; повторно 22.04.2024 г.;
принята 24.01.2025 г.

Ипатюк Олег Вячеславович – индивидуальный предприниматель.

E-mail: oipatyuk@gmail.com

Катчиева Палина Халитовна – директор АННИО «Институт развития биотехнологий», кандидат медицинских наук.

E-mail: pkatchieva@inbox.ru

For citation: Ipatyuk, O. V., Katchieva, P. Kh. (2025). Distinguishing, Evaluating and Modulating Interoceptive Processes: A Review of Current Hypotheses and Research Methods. *Sibirskiy Psikhologicheskiy Zhurnal – Siberian journal of psychology*, 95, 155–174. In Russian. English Summary. doi: 10.17223/17267080/95/9

Distinguishing, Evaluating and Modulating Interoceptive Processes: A Review of Current Hypotheses and Research Methods

O.V. Ipatyuk¹, P.Kh. Katchieva²

¹ Individual entrepreneur Ipatyuk Oleg Vyacheslavovich, 12, 78 Dobrovol'cheskoy brigady Str., Krasnoyarsk, 660077, Russian Federation

² Institute for the Development of Biotechnology, 34 Komsomolskaya Str., Cherkessk, 369000, Russian Federation

Abstract

Impaired interoception may be an etiological factor in physical and mental disorders, as the ability to consciously perceive internal bodily sensations plays an important role in behavioral and emotional self-regulation. For basic research and further clinical applications, it is crucial to develop methods to assess different aspects of interoception, such as interoceptive accuracy, attention, awareness and sensitivity, and to understand the functional brain basis of interoception. This article reviews existing methods for assessing patterns of interoceptive stimulation by category (cardiac, respiratory, and gastric signals) and their neural substrates; factors affecting the accuracy of interoceptive signal detection; and approaches to improving interoceptive awareness. The works cited in this text were selected from the Pubmed database of medical and biological publications of the National Center for Biotechnology Information (NCBI), the Clinical Key database, the Web of Science Citation Indexing Database, and the electronic scientific library eLibrary.Ru. The search was carried out using the following list of keywords/word combinations: interoceptive awareness, interoceptive sensitivity, interoceptive accuracy, interoceptive neurons, interoceptive assessment, interoceptive awareness. Priority was given to clinical studies combining subjective approaches to assessing the perception of interoceptive stimuli with objective recording methods, with additional revelation of the underlying neural circuits of interoception. As a result of the analysis of the presented work, we provide theoretical considerations that may help to integrate the reviewed data on the psychophysiology of interoceptive mechanisms to form new approaches to the discrimination of interoceptive signals in addition to existing tools focusing on somatic

signals. In addition, we offer empirically testable conclusions based on our findings. These are intended to guide future research.

Keywords: interoception; neural pathways; interoceptive accuracy; interoception assessment; interoceptive awareness; bodily sensations; cognitive-behavioral therapy

References

- Ahlich, E., Poovey, K., & Rancourt, D. (2023). Examination of the two-step water load test as a measure of gastric Interoception and associations with eating and weight/shape concerns in a nonclinical sample. *The International Journal of Eating Disorders*, 56(7), 1432–1443. doi: 10.1002/eat.23964
- Allen, M., Varga, S., & Heck, D. H. (2023). Respiratory rhythms of the predictive mind. *Psychological Review*, 130(4), 1066–1080. doi: 10.1037/rev0000391
- Babo-Rebelo, M., Wolpert, N., Adam, C., Hasboun, D., & Tallon-Baudry, C. (2016). Is the cardiac monitoring function related to the self in both the default network and right anterior insula? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 371(1708), 1–13. doi: 10.1098/rstb.2016.0004
- Barrett, L.F., & Simmons, W.K. (2015). Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.*, 16(7), 419–429. doi: 10.1038/nrn3950
- Brener, J., & Jones, J. M. (1974). Interoceptive discrimination in intact humans: detection of cardiac activity. *Physiology & Behavior*, 13(6), 763–767. doi: 10.1016/0031-9384(74)90259-5
- Brener, J., & Ring, C. (2016). Towards a psychophysics of interoceptive processes: the measurement of heartbeat detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 371(1708), 1–9. doi: 10.1098/rstb.2016.0015
- Brown, T. A., Perry, T. R., Kaye, W. H., & Wierenga, C. E. (2022). Pilot study of a water load test as a measure of gastric interoception in anorexia nervosa. *Eating and Weight Disorder: EWD*, 27(6), 2223–2228. doi: 10.1007/s40519-022-01376-9
- Chen, W. G., Schloesser, D., Arensdorf, A. M., Simmons, J. M., Cui, C., Valentino, R., ... Langevin, H. M. (2021). The Emerging Science of Interoception: Sensing, Integrating, Interpreting, and Regulating Signals within the Self. *Trends in Neurosciences*, 44(1), 3–16. doi: 10.1016/j.tins.2020.10.007
- Critchley, H. D., & Garfinkel, S. N. (2017). Interoception and emotion. *Current Opinion in Psychology*, 17, 7–14. doi: 10.1016/j.copsyc.2017.04.020
- Datta, N., & Lock, J. D. (2023). Exploration of interoceptive capabilities in avoidant / restrictive food intake disorder and anorexia nervosa. *Journal of Eating Disorders*, 11(1), 189. doi: 10.1186/s40337-023-00914-9
- Desmedt, O., Luminet, O., Walentynowicz, M., & Corneille, O. (2023). The new measures of interoceptive accuracy: A systematic review and assessment. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 153, 1–12. doi: 10.1016/j.neubiorev.2023.105388
- Dobrushina, O. R., Dobrynina, L. A., Arina, G. A., Kremneva, E. I., Suslina, A. D., Gubanova, M. V., ... Krotenkova, M.V. (2020). Vzaimosvyaz' interotseptivnogo vospriyatiya i emotsional'nogo intellekta: funktsional'noe neyrovizualizatsionnoe issledovanie [The Relationship between Interoceptive Perception and Emotional Intelligence: A Functional Neuroimaging Study]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 70(2), 206–216. doi: 10.31857/S0044467720020069
- Drozdovszky, O., Petzke, T., & Köteles, F. (2023). Sensory and affective aspects of the perception of respiratory resistance. *Biologia Futura*, 1–9. doi: 10.1007/s42977-023-00173-4
- Engelen, T., Solcà, M., & Tallon-Baudry, C. (2023). Interoceptive rhythms in the brain. *Nature Neuroscience*, 26(10), 1670–1684. doi: 10.1038/s41593-023-01425-1

- Eshkevari, E., Rieger, E., Longo, M. R., Haggard, P., & Treasure, J. (2012). Increased plasticity of the bodily self in eating disorders. *Psychological Medicine*, 42(4), 819–828. doi: 10.1017/S0033291711002091
- Farb, N. A., Segal, Z. V., & Anderson, A. K. (2013). Mindfulness meditation training alters cortical representations of interoceptive attention. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(1), 15–26. doi: 10.1093/scan/nss066
- Farb, N. A. S., Zuo, Z., & Price, C. J. (2023). Interoceptive Awareness of the Breath Preserves Attention and Language Networks amidst Widespread Cortical Deactivation: A Within-Participant Neuroimaging Study. *eNeuro*, 10(6), 1–18. doi: 10.1523/ENEURO.0088-23.2023
- García-Cordero, I., Sedeño, L., de la Fuente, L., Slachevsky, A., Forno, G., Klein, F., ... Ibañez, A. (2016). Feeling, learning from and being aware of inner states: interoceptive dimensions in neurodegeneration and stroke. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371, 1–10. doi: 10.1098/rstb.2016.0006
- Garfinkel, S. N., Manassei, M. F., Hamilton-Fletcher, G., In den Bosch, Y., Critchley, H. D., & Engels, M. (2016). Interoceptive dimensions across cardiac and respiratory axes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 371(1708), 1–10. doi: 10.1098/rstb.2016.0014
- Gibson, J. (2019). Mindfulness interoception, and the body: A Contemporary perspective. *Front Psychol*, 10, 1–18. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02012
- Haruki, Y., & Ogawa, K. (2023). Cardiac and Gastric Interoceptive Awareness Have Distinct Neural Substrates. *eNeuro*, 10(1), 1–13. doi: 10.1523/ENEURO.0157-22.2023
- Herbert, B. M., Pollatos, O., Flor, H., Enck, P. & Schandry, R. (2010). Cardiac awareness and autonomic cardiac reactivity during emotional picture viewing and mental stress. *Psychophysiology*, 47, 342–354. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00931.x
- Herbert, B. M., Muth, E. R., Pollatos, O., & Herbert, C. (2012). Interoception across modalities: on the relationship between cardiac awareness and the sensitivity for gastric functions. *PloS one*, 7(5), e36646. doi: 10.1371/journal.pone.0036646
- Horváth, Á., Vig, L., Ferentzi, E., & Köteles, F. (2021). Cardiac and Proprioceptive Accuracy Are Not Related to Body Awareness, Perceived Body Competence, and Affect. *Frontiers in psychology*, 11, 1–11. doi: 10.3389/fpsyg.2020.575574
- Hsueh, B., Chen, R., Jo, Y., Tang, D., Raffiee, M., Kim, Y. S., Inoue, ... Deisseroth, K. (2023). Cardiogenic control of affective behavioural state. *Nature*, 615(7951), 292–299. doi: 10.1038/s41586-023-05748-8
- Iatridi, V., Quadt, L., Hayes, J. E., Garfinkel, S. N., & Yeomans, M. R. (2021). Female sweetlikers have enhanced cross-modal interoceptive abilities. *Appetite*, 165, 1–14. doi: 10.1016/j.appet.2021.105290
- Jhang, J., Liu, S., O'Keefe, D. D., & Han, S. (2023). A top-down slow breathing circuit that alleviates negative affect. *bioRxiv*, 1, 1–33. doi: 10.1101/2023.02.25.529925
- Kang, D. H., Jo, H. J., Jung, W. H., Kim, S. H., Jung, Y. H., Choi, C. H., ... Kwon, J. S. (2013). The effect of meditation on brain structure: cortical thickness mapping and diffusion tensor imaging. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(1), 27–33. doi: 10.1093/scan/nss056
- Khalsa, S. S., Feinstein, J. S., Simmons, W. K., & Paulus, M. P. (2018). Taking Aim at Interoception's Role in Mental Health. *Biological psychiatry. Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 3(6), 496–498. doi: 10.1016/j.bpsc.2018.04.007
- Katkin, E.S., Blasovich, J., Reed, S.D., Adamec, J., Jones, J., & Taublieb, A. (1982). The effect of psychologically induced arousal on accuracy of heartbeat self-perception. *Psychophysiology*, 19, 568. doi: 10.1111/j.1469-8986.1982.tb02538.x
- Kruschwitz, J.D., Kausch, A., Brovkin, A., Keshmirian, A., Martin P., Paulus, M. P., Thomas Goschke, T., & Walter, H. (2019). Self-control is linked to interoceptive inference: Craving

- regulation and the prediction of aversive interoceptive states induced with inspiratory breathing load. *Cognition*, 193, 1–13. doi: 10.1016/j.cognition.2019.104028.
- Kurth, F., Strohmaier, S., & Luders, E. (2023). Reduced Age-Related Gray Matter Loss in the Orbitofrontal Cortex in Long-Term Meditators. *Brain Sciences*, 13(12), 1–8. doi: 10.3390/brainsci13121677
- Larsson, D. E. O., Esposito, G., Critchley, H. D., Dienes, Z., & Garfinkel, S. N. (2021). Sensitivity to changes in rate of heartbeats as a measure of interoceptive ability. *Journal of Neurophysiology*, 126(5), 1799–1813. doi: 10.1152/jn.00059.2021
- Leganes-Fonteneau, M., Bates, M. E., Muzumdar, N., Pawlak, A., Islam, S., Vaschillo, E., & Buckman, J. F. (2021). Cardiovascular mechanisms of interoceptive awareness: Effects of resonance breathing. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 169, 71–87. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2021.09.003
- Lenhart, L., Steiger, R., Waibel, M., Mangesius, S., Grams, A. E., Singewald, N., & Gizewski, E. R. (2020). Cortical reorganization processes in meditation naïve participants induced by 7 weeks focused attention meditation training. *Behavioural Brain Research*, 395, 1–8. doi: 10.1016/j.bbr.2020.112828
- Luders, E., Cherbuin, N., & Gaser, C. (2016). Estimating brain age using high-resolution pattern recognition: Younger brains in long-term meditation practitioners. *NeuroImage*, 134, 508–513. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.04.007
- Meyerholz, L., Irzinge, J., Witthöft, M., Gerlach, A.L., & Pohl, A. (2019). Contingent biofeedback outperforms other methods to enhance the accuracy of cardiac interoception: A comparison of short interventions. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 63, 12–20. doi: 10.1016/j.jbtep.2018.12.002
- Minenko, I. A., Germanova, K. N., Limonova, A. S., Sukmanova, A. A., Iashvili, N., Nikulin, V. V., ... Drapkina, O.M. (2023). Sravnenie metodov sub"ektivnoy otsenki interotseptsii serdtsa [Comparison of Methods for Subjective Assessment of Cardiac Interoception]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 22(10), 31–38. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3797
- Molle, L., & Coste, A. (2022). The respiratory modulation of interoception. *Journal of Neurophysiology*, 127(4), 896–899. doi: 10.1152/jn.00027.2022
- Monti, A., Porciello, G., Tieri, G. & Aglioti, S.M. (2020). The “embreathment” illusion highlights the role of breathing in corporeal awareness. *Journal of Neurophysiology*, 123, 420–427. doi: 10.1152/jn.00617.2019
- Mussap, A. J. & Salton, N. (2006). A 'rubber-hand' illusion reveals a relationship between perceptual body image and unhealthy body change. *Journal of Health Psychology*, 11(4), 627–639. doi: 10.1177/1359105306065022
- Murphy, J., Geary, H., Millgate, E., Catmur, C., & Bird, G. (2018). Direct and indirect effects of age on interoceptive accuracy and awareness across the adult lifespan. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(3), 1193–1202. doi: 10.3758/s13423-017-1339-z
- Nikolova, N., Harrison, O., Toohey, S., Brændholt, M., Legrand, N., Correa, C., ... Allen, M. (2022). The respiratory resistance sensitivity task: An automated method for quantifying respiratory interoception and metacognition. *Biological Psychology*, 170, 1–14. doi: 10.1016/j.biopsycho.2022.108325
- Norweg, A. M., Wu, Y., Troxel, A., Whiteson, J. H., Collins, E., Haas, F., ... Simon, N. (2023). Mind-Body Intervention for Dysfunctional Breathing in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Feasibility Study and Lessons Learned. *Journal of Integrative and Complementary Medicine*, 29(3), 156–168. doi: 10.1089/jicm.2022.0552
- Owens, A. P., Allen, M., Ondobaka, S., & Friston, K. J. (2018). Interoceptive inference: From computational neuroscience to clinic. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 90, 174–183. doi: 10.1016/j.neubiorev.2018.04.017

- Park, H., Sanchez, S. M., Kuplicki, R., Tsuchiyagaito, A., Khalsa, S. S., Paulus, M. P., & Guinjoan, S. M. (2022). Attenuated interoceptive processing in individuals with major depressive disorder and high repetitive negative thinking. *Journal of Psychiatric Research*, 156, 237–244. doi:10.1016/j.jpsychires.2022.10.020
- Petzschner, F. H., Garfinkel, S. N., Paulus, M. P., Koch, C., & Khalsa, S. S. (2021). Computational Models of Interoception and Body Regulation. *Trends in neurosciences*, 44(1), 63–76. doi: 10.1016/j.tins.2020.09.012
- Pichikov, A. A., Popov, Yu. V., Yakovleva, Yu. A., Ananieva, N. I., Salomatina, T. A., Akhmerova, L. R., & Andreev, E. V. (2019). Dinamika narusheniy interotseptsii u patsientok s nervnoy anoreksiei v protsesse lecheniya [Dynamics of Interoception Disorders in Patients with Anorexia Nervosa during Treatment]. *Obozrenie psikhiatrii i meditsinskoj psikhologii imeni V. M. Bekhtereva*, 4(2), 69–77. doi: 10.31363/2313-7053-2019-4-2-68-77
- Poovey, K., Ahlich, E., Attaway, S., & Rancourt, D. (2022). General versus hunger/satiety-specific interoceptive sensibility in predicting disordered eating. *Appetite*, 171, 1–13. doi: 10.1016/j.appet.2022.105930
- Pollatos, O., Herbert, B. M., Mai, S., & Kammer, T. (2016). Changes in interoceptive processes following brain stimulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 371(1708), 1–11. doi: 10.1098/rstb.2016.0016
- Prentice, F., & Murphy, J. (2022). Sex differences in interoceptive accuracy: A meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 132, 497–518. doi: 10.1016/j.neubiorev.2021.11.030
- Prentice, F., Hobson, H., Spooner, R., & Murphy, J. (2022). Gender differences in interoceptive accuracy and emotional ability: An explanation for incompatible findings. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 141, 1–6. doi: 10.1016/j.neubiorev.2022.104808
- Price, C. J., Sevinc, G., & Farb, N. A. S. (2023). Within-Person Modulation of Neural Networks following Interoceptive Awareness Training through Mindful Awareness in Body-Oriented Therapy (MABT): A Pilot Study. *Brain Sciences*, 13(10), 1–17. doi: 10.3390/brainsci13101396
- Radziun, D., Korczyk, M., Crucianelli, L., Szwed, M., & Ehrsson, H. H. (2023). Heartbeat counting accuracy is enhanced in blind individuals. *Journal of Experimental Psychology. General*, 152(7), 2026–2039. doi: 10.1037/xge0001366
- Rebollo, I., Wolpert, N., & Tallon-Baudry, C. (2021) Brain–stomach coupling: anatomy, functions, and future avenues of research. *Curr Opin Biomed Eng*, 18, 1–9. doi: 10.1016/j.cobme.2021.100270
- Ring, C., Brener, J., Knapp, K., & Mailloux, J. (2015). Effects of heartbeat feedback on beliefs about heart rate and heartbeat counting: a cautionary tale about interoceptive awareness. *Biol. Psychol.*, 104, 193–198. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.12.010
- Roberts, H., Jacobs, R. H., Bessette, K. L., Crowell, S. E., Westlund-Schreiner, M., Thomas, L., ... Watkins, E. R. (2021). Mechanisms of rumination change in adolescent depression (RuMeChange): study protocol for a randomised controlled trial of rumination-focused cognitive behavioural therapy to reduce ruminative habit and risk of depressive relapse in high-ruminating adolescents. *BMC psychiatry*, 21(1), 206. doi: 10.1186/s12888-021-03193-3
- Rominger, C., Graßmann, T. M., Weber, B., & Schwerdtfeger, A. R. (2021). Does contingent biofeedback improve cardiac interoception? A preregistered replication of Meyerholz, Irzinger, Withöft, Gerlach, and Pohl using the heartbeat discrimination task in a randomised control trial. *PloS one*, 16(3), 1–13. doi: 10.1371/journal.pone.0248246
- Sakuragi, M., Shinagawa, K., Terasawa, Y. & Umeda, S. (2023). Effect of subconscious changes in bodily response on thought shifting in people with accurate interoception. *Scientific Reports*, 13, 1–20. doi: 10.1038/s41598-023-43861-w

- Santos, L. E. R., Elsangedy, H. M., de Souza, C. F., da Silva Mesquita, B. M., Brietzke, C., Vinícius, Í., ... Santos, T. M. (2023). Reliability of the Heartbeat Tracking Task to Assess Interoception. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 48(2), 171–178. doi: 10.1007/s10484-022-09574-y
- Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, 18, 483–488. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Schandry, R., & Specht, G. (1981). The influence of psychological and physical stress on the perception of heartbeats. *Psychophysiology* 18, 154.
- Seth, A.K., & Friston, K.J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Phil. Trans. Roy. Soc. B*, 371(1708), 1–9. doi: 10.1098/rstb.2016.0007
- Schulz, A., van Dyck, Z., Lutz, A. P. C., Rost, S., & Vögele, C. (2017). Gastric modulation of startle eye blink. *Biological psychology*, 127, 25–33. doi: 10.1016/j.biopsycho.2017.05.004
- Schulz, A., Welsch, S. K., Etringer, S., Hansen, G., Milbert, L., Schneider, J., ... Vögele, C. (2023). Lower gastric sensitivity in quiescent inflammatory bowel disease than in irritable bowel syndrome. *Physiology & Behavior*, 270, 1–9. doi: 10.1016/j.physbeh.2023.114293
- Miyazaki, S., Kanbara, K., Kunikata, J., Tobiume, A., Hayashino, S., Namba, T., ... Minamino, T. (2022). Heartbeat tracking task performance, an indicator of interoceptive accuracy, is associated with improvement of exercise tolerance in patients undergoing home-based cardiac rehabilitation. *European Heart Journal – Digital Health*, 3(2), 296–306. doi: 10.1093/ehjdh/ztac008
- Tsakiris, M., Tajadura-Jiménez, A., & Costantini, M. (2011). Just a heartbeat away from one's body: interoceptive sensitivity predicts malleability of body-representations. *Proceedings. Biological Sciences*, 278(1717), 2470–2476. doi: 10.1098/rspb.2010.2547
- Todd, J., Aspell, J. E., Barron, D., Toh, E. K. L., Zahari, H. S., Mohd Khatib, N. A., Laugh-ton, R., & Swami, V. (2020). Greater gastric interoception is associated with more positive body image: Evidence from adults in Malaysia and the United Kingdom. *Body Image*, 34, 101–111. doi: 10.1016/j.bodyim.2020.05.011
- Torrealba, F., Madrid, C., Contreras, M., & Gómez, K. (2017). Plasticity in the Interoceptive System. *Advances in experimental medicine and biology*, 1015, 59–74. doi: 10.1007/978-3-319-62817-2_4
- Tutsenko, K. O., Narkevich, A. N., Ipatyuk, O. V., & Koroleva, M. V. (2023). Obzor metodov regulyatsii emotsiy, osnovannykh na interotsptsii [Review of interoception methods of emotion regulation]. *Flagman nauki*, 11, 1–8. doi: 10.37539/2949-1991.2023.11.11.028
- van der Velden, A. M., Scholl, J., Elmholt, E. M., Fjorback, L. O., Harmer, C. J., Lazar, S. W., ... Kuyken, W. (2023). Mindfulness Training Changes Brain Dynamics During Depressive Rumination: A Randomized Controlled Trial. *Biological Psychiatry*, 93(3), 233–242. doi: 10.1016/j.biopsych.2022.06.038
- van Dyck, Z., Vögele, C., Blechert, J., Lutz, A. P., Schulz, A., & Herbert, B. M. (2016). The Water Load Test As a Measure of Gastric Interoception: Development of a Two-Stage Protocol and Application to a Healthy Female Population. *PloS one*, 11(9), 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0163574
- Walter, H., Kausch, A., Dorfschmidt, L., Waller, L., Chinichian, N., Veer, I., ... Kruschwitz, J.D. (2020). Self-control and interoception: Linking the neural substrates of craving regulation and the prediction of aversive interoceptive states induced by inspiratory breathing restriction. *NeuroImage*, 215, 1–28. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.116841
- Wang, X., Wu, Q., Egan, L., Gu, X., Liu, P., Gu, H., ... Fan, J. (2019). Anterior insular cortex plays a critical role in interoceptive attention. *eLife*, 8, 1–31. doi: 10.7554/eLife.42265
- Whitehead, W. E., & Drescher, V. M. (1980). Perception of gastric contractions and self-control of gastric motility. *Psychophysiology*, 17(6), 552–558. doi: 10.1111/j.1469-8986.1980.tb02296.x

- Wolters, T., Marx, C., Witthöft, Z., Gerlach, A. L., & Pohl, A. (2023). Respiratory Interoception and Pathological Illness Anxiety: Disentangling Bias. *Psychosomatic Medicine*, 85(9), 778–784. doi: 10.1097/PSY.0000000000001244
- Yoris, A., Esteves, S., Couto, B., Melloni, M., Kichic, R., Cetkovich, M., ... Sedeño, L. (2015). The roles of interoceptive sensitivity and metacognitive interoception in panic. *Behavioral and brain functions: BBF*, 11, 14. doi: 10.1186/s12993-015-0058-8
- Yoshida, K., Abe, T., Kanbara, K., Ueda, K., Saka-Kouchi, Y., & Hasuo, H. (2023). Patients with postprandial distress syndrome experience problems with their interoceptive perceptual function to the gastric region, but their heartbeat perception is normal: a case control study. *BioPsychoSocial Medicine*, 17(1), 35. doi: 10.1186/s13030-023-00290-5
- Zaccaro, A., Perrucci, M. G., Parrotta, E., Costantini, M., & Ferri, F. (2022). Brain-heart interactions are modulated across the respiratory cycle via interoceptive attention. *NeuroImage*, 262, 1–15. doi: 10.1016/j.neuroimage.2022.119548

*Received 29.02.2024; Revised 22.04.2024;
Accepted 24.01.2025*

Oleg V. Ipatyuk – Individual Entrepreneur.

E-mail: oipatyuk@gmail.com

Palina Kh. Katchieva – Director of ANNIO "Institute for the Development of Biotechnology".

Cand. Sc. (Med.).

E-mail: pkatchieva@inbox.ru