

Психофизиологическая характеристика ноцицепции как адаптивной функции организма у здоровых лиц

Д.З. Шибкова¹✉, П.В. Кондрашкин², А.В. Шевцов³

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Челябинская областная клиническая больница, Челябинск, Россия

³ Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия

✉ shibkova2006@mail.ru

Аннотация

Обоснование. Понятие «боль» в различных источниках трактуется как психическое состояние, интегративная функция либо интегративная реакция организма. Содержание представленных дефиниций существенно различается, что подчеркивает дискуссионный характер проблемы и актуальности ее исследования. **Цель:** на основе анализа литературных источников и собственных исследований представить психофизиологическую характеристику ноцицепции как адаптивной функции организма у здоровых лиц, представить современные методы оценки болевой чувствительности и их значения у здоровых лиц. **Материалы и методы.** Исследование представляет собой теоретический анализ научной литературы по психофизиологической и физиологической характеристике психического состояния, интегративной функции, интегративной реакции организма в ответ на болевое воздействие. Используются методы сравнения концептуальных подходов и обобщения позиций отдельных авторов по аспектам психофизиологической характеристики ноцицепции как функции организма. **Результаты.** На основе обобщения проанализированной информации предлагается следующая логика взаимосвязей в определении представленных выше понятий «состояние» – «функция» – «реакция» в контексте определения боли в рамках психофизиологии. С этой позиции боль рассматривается как сложный психофизиологический феномен, формирующий механизмы адаптивных функций организма, включающих эмоции, моторные, гуморальные и вегетативные проявления, в целом идентичные комплексу стресс-реакции. При исследованиях физиологии боли в зависимости от разных факторов и для определения количественных показателей индивидуальной болевой чувствительности предпочтительней применение метода «тензоалгометрия». В связи со сравнительно недавним его внедрением «картирование» тела человека по болевому порогу и оценка критериев влияния на болевую чувствительность являются востребованными в современной психофизиологии боли. **Заключение.** Боль является характеристикой адаптационной реакции организма и выполняет функцию предупреждения организма о возможном повреждении. Ответ на раздражение ноцицепторов является адаптивной защитной реакцией организма. На актуальность оценки индивидуального болевого порога в различных точках организма у лиц разного пола и возраста указывает недостаточность сведений по значениям болевого порога у здоровых лиц.

Ключевые слова: теоретический анализ, психическое состояние, интегративная функция, ноцицепция, болевой порог, тензоалгометрия

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шибкова Д.З., Кондрашкин П.В., Шевцов А.В. Психофизиологическая характеристика ноцицепции как адаптивной функции организма у здоровых лиц // Психология. Психофизиология. 2023. Т. 16, № 3. С. 123–136. DOI: 10.14529/jpps230311

Psychophysiological characteristics of nociception as an adaptive function of the body in healthy individuals

D.Z. Shibkova^{1✉}, P.V. Kondrashkin², A.V. Shevtsov³

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Chelyabinsk Regional Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia

³ Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia

✉ shibkova2006@mail.ru

Abstract

Background. In different sources, the notion of pain is defined as a mental state, integrative function, or integrative response of the body. The content of these definitions varies significantly, thus raising the question of the controversial nature and relevance of this problem. **Aims.** The primary aim was to provide a psychophysiological characteristic of nociception as an adaptive function of the body in healthy individuals based on literature analysis and the author's research. The secondary aim was to present modern methods for the assessment of pain tolerance and its values in healthy individuals. **Materials and methods.** This study presents a theoretical analysis of scientific literature about the psychophysiological and physiological characteristics of mental states and the integrative function and body response to pain stimuli. A comparison of conceptual approaches was performed along with a summary of certain research about the aspects of psychophysiological characteristics of nociception as a function of the body. **Results.** Based on the data obtained, the relationships between the notions of state, function, and response within the psychophysiological understanding of pain are considered as follows: pain is a complex psychophysiological phenomenon that forms the mechanisms of adaptive functions of the body, including emotions, motor, humoral, and vegetative responses similar to stress reactions. In pain physiology, tensoralometry is the most preferable method for measuring individual pain tolerance, depending on different factors. In modern pain physiology, pain threshold body mapping and the assessment of criteria that influence pain tolerance are considered relevant. **Conclusion.** Pain characterizes the adaptive response of the body and warns it about potential harm. A response to the irritation of nociceptors presents an adaptive and protective reaction in the body. The relevance of pain threshold body mapping in different age and sex groups is associated with insufficient data about pain threshold in healthy individuals.

Keywords: theoretical analysis, mental state, integrative function, nociception, pain threshold

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Shibkova D.Z., Kondrashkin P.V., Shevtsov A.V. Psychophysiological characteristics of nociception as an adaptive function of the body in healthy individuals. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2023;16(3):123–136. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps230311

Введение

Основу адаптивной функции нервной системы составляет взаимодействие сенсорных систем организма, в которых рецептор рассматривается как преобразователь энергии внешнего раздражителя в универсальную форму носителя информации – нервной импульс. Известно, что биологическим системам свойственны не только носители информации в форме нервного импульса, но и гуморальные факторы и межклеточное взаимодействие. Однако в сравнении с долей информации, которая проводится, обрабатывается сенсор-

ными системами, другие способы передачи информации менее значимы¹. Болевая сенсорная система имеет все морфофункциональные признаки сенсорных систем: специфический рецепторный аппарат, проводниковую и подкорковые отделы, корковые области и структуры, регулирующие системы восприятия и проведения болевой информации. Боль является важнейшей характеристикой адапта-

¹ Реверчук И.В. Клинические лекции по психофизиологии боли: учеб. пособие. Ижевск, 2016. 76 с.

ционной реакции организма. Ответ организма на раздражение болевых рецепторов (ноцицепторов) тепловыми, холодowymi, механическими, химическими стимулами по существу является адаптивной защитной реакцией, направленной на выживание [1, 2]. Понятие «ноцицепция» характеризует преимущественно физиологический ответ на повреждение, в то время как боль («собственно боль») – может рассматриваться ее интерпретацией психикой, обусловленной личностными характеристиками, культурой и предыдущим опытом [3].

Цель. На основе анализа литературных источников и собственных исследований представить психофизиологическую характеристику ноцицепции как адаптивной функции организма у здоровых лиц. Представить современные методы оценки болевой чувствительности и их значения у здоровых лиц.

Результаты

Ряд определений понятия «боль», сформулированных известными советскими физиологами и психофизиологами, представлен в статье А.Ю. Абрамовой, С.С. Перцова (2017) [4]. Так, согласно определению П.К. Анохина, боль «своеобразное психическое состояние человека, определяющееся совокупностью физиологических процессов в центральной нервной системе, вызванных к жизни каким-либо сверхсильным или разрушительным раздражителем»². Акцентируем внимание на словосочетании «своеобразное психическое состояние». Понятие «боль» с позиции теории функциональных систем сформулировал К.В. Судаков (2000). С этой точки зрения боль является *интегративной функцией*, мобилизующей целостный организм и его разнообразные функциональные системы на защиту от воздействующих вредных факторов. Интеграция включает такие функции, как сознание, память, мотивации, вегетативные, соматические, поведенческие реакции, эмоции³. Следует отметить, что ранее Л.В. Калюжный (1984) [5] также характеризовал боль как *интегративную функцию* организма, которая является отрицательной биологической потребностью, ответственной за формирование функциональной системы по сохранению гомеостаза. А.Ю. Абрамова и

С.С. Перцов (2017) приводят свое определение боли как многокомпонентной *интегративной реакции* организма на повреждение или представление такого повреждения [4].

Таким образом, понятие «боль» трактуется как психическое состояние, интегративная функция либо интегративная реакция организма. Вместе с тем содержание представленных дефиниций существенно различается, что подчеркивает дискуссионный характер анализируемого понятия.

Так, в настоящее время понятие «состояние» является общеметодологической категорией. При этом содержание данного понятия в физиологии и психологии различается. Сложность определения сущности понятия «состояние человека», по мнению Е.П. Ильина (2005), заключается в том, что авторы опираются на разные уровни функционирования человека: одни рассматривают физиологический уровень, другие – психологический, а третьи – тот и другой одновременно [6].

Психическое состояние – это целостное явление, состоящее из множества элементов (мотивов, эмоциональных реакций, волевых актов, когниций, поведенческих проявлений и пр.), находящихся в интеграции и взаимосвязи. Психические состояния имеют структурные уровни. Физиологический уровень включает нейрофизиологические характеристики, морфологические и биохимические изменения. Психофизиологический уровень включает вегетативные реакции, изменения психомоторных и сенсорных функций. Психологический уровень характеризует изменения психических функций и настроения человека. Социально-психологический уровень содержит характеристики поведения, деятельности и отношения человека в том или ином состоянии.

В работе «Психофизиология состояний человека» Е.П. Ильин (2005) трактует «состояние» как целостную реакцию функциональных систем на внешние и внутренние воздействия, направленную на получение полезного для организма результата (адаптации к данным, в том числе и изменившимся, условиям существования). Во многих случаях полезный результат выражается в сохранении целостности организма и обеспечении его нормальной жизнедеятельности в данных условиях. Следует отметить, что понятия «психические состояния» и «функциональные состояния» не являются тождественными. Функциональное состояние характеризует

² Анохин П.К. Боль // Большая медицинская энциклопедия. Т. 4. М., 1958. С. 74–83.

³ Судаков К.В. Физиология / под ред. К.В. Судакова. М., 2000. С. 715–726.

процессы регуляции в физиологических системах, обеспечивающих психическую деятельность. Психическое состояние есть целостная интегральная характеристика деятельности, которая базируется на функциональном состоянии мозга [7].

Сложная приспособительная деятельность организма, направленная на осуществление какой-либо физиологической или психологической задачи, в физиологии высшей нервной деятельности (ВНД) и психологии часто обозначается как «функция» [8]. Согласно этому представлению, «функция» является функциональной системой, направленной на осуществление определенной задачи и обеспечивающейся целым комплексом взаимно связанных актов, которые приводят к достижению соответствующего эффекта. Подобные функциональные системы со сложным составом и пластичной изменчивостью элементов, обладающие свойством динамической саморегуляции, являются общим правилом деятельности организма человека⁴.

Под функцией понимают специфическую деятельность клетки, органа или организма в целом, проявляющуюся как физиологический процесс или совокупность процессов.

Реакция – это ответное действие клетки, ткани, органа или организма на действие внешнего или внутреннего раздражения. В физиологии реакция – это изменения обмена, структуры и функции в ответ на раздражение биологической системы, а в психологии – это акт поведения, возникающий в ответ на определенное воздействие или стимул⁵.

Обобщая вышеизложенное, мы придерживаемся следующей логики взаимосвязей в определении представленных выше понятий «состояние» – «функция» – «реакция» в контексте определения боли в рамках психофизиологии.

Таким образом, можно обобщить, что *боль – это сложный психофизиологический феномен, формирующий механизмы адаптив-*

ных функций организма, включающих эмоции, моторные, гуморальные и вегетативные проявления, в целом идентичные комплексу стресс-реакции на неблагоприятные воздействия.

Вместе с тем практически все авторы в своих исследованиях указывают на определение боли, данное международной ассоциацией изучения боли (IASP): «Боль – это неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, связанное с истинным или потенциальным повреждением ткани или описываемое в терминах такого повреждения». Из данного определения констатируется, что биологическая роль боли связана с сигнализацией о повреждениях организма, угрозе его жизни, что согласуется с содержанием понятий российских физиологов [9].

Психофизиологические и психологические характеристики ноцицепции. Точка зрения, что боль не имеет специфических физиологических механизмов и как ощущение может возникать в любой сенсорной системе, если воздействие оказывается слишком сильным, в настоящее время не поддерживается. Экспериментально показано, что существует особая мозговая система, обеспечивающая восприятие и передачу болевой информации в кору больших полушарий. Объективная обработка болевых сигналов осуществляется в особой мозговой системе, именуемой ноцицептивной, которая включает особые виды рецепторов, обеспечивающих восприятие болевых стимулов, нервные волокна и проводящие пути в спинном мозге, а также центральные структуры в стволе мозга – таламусе и коре больших полушарий [10].

При раздражении периферических болевых рецепторов, расположенных в различных тканях организма (кожа, мышцы, суставы, связки, внутренние органы и т. д.), возникает ноцицептивная боль при интактности отделов нервной системы. Раздражителями для ноцицепторов являются различные по своей природе факторы воздействия (воспаление, мышечный спазм, механическая травма и т. д.). Ноцицептивная боль выполняет защитную функцию и преимущественно является острой. Важной характеристикой ноцицептивной боли является активизация эндогенных антиноцицептивных систем, благодаря которым боль быстро регрессирует после прекращения действия повреждающего фактора или после применения болеутоляющих средств [11, 12].

⁴ Беспанская Е.Д. Анализ понятий «психическая функция» и «психический процесс» // Психология социального развития: человек в современном мире: сб. науч. тр. Минск: БГУ, 2007. С. 14–21.

⁵ Смирнов В.М., Судаков К.В. Словарь-справочник по физиологии. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. 504 с.

Корчин В.И., Шаламова Е.Ю., Рыкованова А.К. Словарь терминов и понятий по физиологии. Учеб. пособие. Сургут: Дефис, 2013. 182 с.

Отличительной характеристикой ноцицепторов является их высокая хемочувствительность к аллогенным веществам, которые классифицируются на три типа. Первый тип – тканевые аллогенные вещества (серотонин, гистамин, ацетилхолин, простагландины, ионы калия, водорода и др.), второй тип – это плазменные аллогенные вещества (брадикинин, каллидин) и третий тип – нейрогенные, выделяющиеся терминалями нервных волокон (субстанция Р, нейрокинин А, интестинальный пептид и др.). Высвобождаясь при повреждении или воспалении тканей аллогенные вещества, вероятно, изменяют ионную проницаемость в мембране нервного окончания⁶. С физиологической точки зрения боль служит предупреждающим сигналом о повреждениях, возникающих в организме, и в этом смысле является важным и полезным ощущением. Болевые ощущения предупреждают и ограждают организм от вредоносных внешних воздействий [13].

«...При наличии общего объекта (феномен боли) предметная область представляется не до конца определенной, что приводит к противостоянию различных методологий, подходов к ее изучению вместо их интеграции и взаимодополнения различных взглядов на одну и ту же реальность» [14]. Формулировка боли, данная IASP, по мнению автора, не демонстрирует категориальной определенности боли как явления психики и не отображает его существенных свойств. Характеристики субъекта выступают переменными, изучаются их корреляции с параметрами боли, однако не всегда дается интерпретация взаимосвязи процесса и системы, в которой он протекает. Автор предлагает объективные и субъективные проявления боли условно разделить на три составляющие:

- активность ноцицептивной системы, фиксируемая объективными методами;
- «конвертация» физиологических данных в язык психики: приятно – неприятно; когниции, эмоции, мотивы – воля;
- когнитивно-оценочное измерение боли, сознательное обобщение определенных переживаний как «боль», их интерпретация в рамках личностных смыслов» [14].

⁶ Решетняк В.К., Кукушкин М.Л. Боль: физиологические и патофизиологические аспекты // Актуальные вопросы патофизиологии (избранные лекции) / под ред. Б.Б. Мороз. М.: Медицина, 2001. С. 354–389.

В ряде работ рассматривается классификация боли [9, 13, 15]. В обобщенном виде основные признаки классификации боли представлены по следующим критериям: по физиологическим – ноцицептивная, нейропатическая, воспалительная; по интенсивности – слабая, умеренная, тяжелая; по временным характеристикам – острая и хроническая боль. Также боль классифицируют по типу затронутой ткани на кожную, мышечную, суставную, костную, выделяют внутреннюю боль и другие виды. В практической деятельности наиболее часто используют временные и физиологические характеристики боли.

Формирование болевого ощущения начинается с раздражения болевых рецепторов, расположенных в различных тканях и органах и являющихся свободными, немиелинизированными нервными окончаниями, которые активируются воздействием раздражителей различной модальности [16–18]. Типы рецепторов боли классифицируют:

- на мономодальные А-ноцицепторы, реагирующие на механическое и термическое раздражение;
- полимодальные С-ноцицепторы, раздражаемые механическими, тепловыми и химическими стимулами;
- спящие ноцицепторы, активизирующиеся только при воспалении (волокна С-типа).

Функционально основная часть болевых рецепторов организма человека представлена мультимодальными ноцицепторами: кожными механотермоноцицепторами, подкожными механотермо- и механотермохемонцицепторами, механохемонцицепторами мышц и внутренних паренхиматозных органов [19].

Различают несколько типов проводящих афферентных волокон. А-дельта волокна имеют диаметр от 1 до 6 мкм и представляют собой быстрые миелинизированные, первичные афферентные волокна, проводящие раздражение со скоростью 5–25 м/с.

А-бета-волокна обычно реагируют на прикосновение, иногда действуют как ноцицепторы при сенсibilизации.

Полимодальные волокна С-типа и спящие ноцицепторы представлены плотными не капсулированными, гломерулярными тельцами. Немиелинизированные первичные афферентные С-волокна малого диаметра (< 1 мкм) проводят раздражение со скоростью 0,52 м/с,

присутствуют во всех тканях и в периферических нервах, за исключением ЦНС⁷.

Функционирование ноцицепторов зависит от электрофизиологического свойства тканей, сопутствующих факторов и цитокинов. Сенситизация афферентных волокон рецепторов происходит после их ответа на вредный стимул. Сенситизированные ноцицепторы реагируют на повторный стимул более интенсивно, поскольку их порог снижен. При этом наблюдается гипералгезия на стимул прежней интенсивности, а также снижение болевого порога. Сенситизация происходит в случае, когда вблизи от ноцицептивных нервных окончаний высвобождаются такие химические факторы, как ионы K^+ , брадикинин, серотонин, гистамин, эйкозаноиды (простагландин и лейкотриены), цитокины [20]. Как правило, они высвобождаются в результате повреждения или воспаления ткани. Кроме того, активация окончания ноцицептора может высвободить регуляторные пептиды (вещество P и пептид, кодируемый геном кальцитонина – CGRP) из других окончаний того же ноцицептора посредством аксон-рефлекса. Иногда ноцицепторы генерируют фоновый разряд, вызывающий спонтанную боль.

Первым центральным звеном, воспринимающим разномодальную афферентную информацию, является нейрональная система заднего рога спинного мозга. Латеральный спиноталамический путь проводит нервные импульсы к вентролатеральным ядрам таламуса, где импульсы переключаются и приходят в соматосенсорную кору. Спиноретикулярный и спинопокрышечный пути проецируются в ретикулярную формацию, околводопроводное серое вещество, гипоталамус и в медиальные и внутривастишчатые таламические ядра. Далее связываются со структурами лимбической системы и диффузно распространяются по мозгу. Окончательный анализ поступающей ноцицептивной информации осуществляется корой теменных, лобных и височных долей головного мозга [15].

Предполагается, что болевые импульсы, проходя по тонким периферическим А-волокам, открывают «ворота» в нервную систему, чтобы достичь её центральных отделов. «Закрывать» ворота могут сигналы, прохо-

дящие по толстым «тактильным» С-волокам или импульсы, нисходящие из высших отделов нервной системы. В результате боль, возникающая в мышцах и суставах, уменьшается, вследствие контр-раздражения, вызванного воздействием на кожу.

Болевая чувствительность не является изолированным показателем. Изучение мультимодального взаимодействия [21] показало, что существуют статистически значимые корреляционные связи между пространственным видением и болевой чувствительностью, между зрительным и слуховым порогом.

Индивидуальная болевая чувствительность. Проблема индивидуальной болевой чувствительности (ИБЧ) является весьма актуальной как в теоретическом плане для физиологии боли, так и в практическом плане. В частности, для разработки и контроля эффективности коррекционных и реабилитационных технологий в сфере спортивной и профессиональной трудовой деятельности. Понимание механизмов восприятия боли и факторов, влияющих на ее восприятие (ожидание боли), создает базис для моделирования этого процесса [22].

Индивидуальная болевая чувствительность определяется как величина силы раздражения нервной системы, при которой у человека возникает ощущение боли. Один и тот же уровень воздействия раздражения на рецепторы нервной системы разными индивидуумами может восприниматься как ощущение незначительной, так и сильной боли. Если при минимальном воздействии человек ощущает боль, то у него высокая болевая чувствительность, если же воздействие, причиняющее боль, должно быть достаточно сильным, то ИБЧ характеризуется как низкая.

Индивидуальная болевая чувствительность изменяется в зависимости от состояния человека, как физического, так и психологического [23, 24]. Так как боль связана с эмоциональным переживанием, существуют некоторые методические трудности определения ИБЧ. Тем не менее, современные методы исследования ИБЧ дают количественную характеристику боли, что позволяет оценивать закономерности и связи ИБЧ с различными факторами.

Объективную оценку динамики развития болевого синдрома позволяют получить аппаратные методики, которые минимизируют субъективный фактор. Для оценки болевой

⁷ Николаев С.Г. Электромиография: Клинический практикум. Иваново: ПресСто. 2013. 394 с.

чувствительности используются следующие методы: термо-, электро- и тензоалгометрия.

Методы термо- и электроалгометрии чаще применяют в практике стоматологических исследований. Термочувствительность является важным диагностическим показателем состояния зубов, а пульпа зуба сильно реагирует на раздражение электрическим током⁸. В исследованиях состояния опорно-двигательного аппарата методы термо- и электроалгометрии, практически не применяются, так как эти виды исследования требуют сложного оборудования.

К аппаратным методам относится способ быстрого нагрева кожи инфракрасными лазерными лучами. Метод позволяет селективно активировать небольшие А- и С-волокна без одновременной активации механорецепторов [25]. Используется он для исследования взаимодействия внутри ноцицептивной системы, однако не может использоваться для рутинных измерений болевого порога.

Для определения количественных показателей индивидуальной болевой чувствительности, а также при исследованиях физиологии боли в зависимости от разных факторов, чаще применяется инструментальный метод «тензоалгометрия». Болевой порог при данном методе исследования фиксируется при механическом давлении на участок тела испытуемого [9, 26, 27]. Диапазон исследований методом тензоалгометрии ограничен в связи со сравнительно недавним его внедрением, поэтому ряд работ посвящен «картированию» тела человека по признаку значений болевого порога, оценке воспроизводимости метода и оценке влияния различных факторов на болевую чувствительность [28–31].

Вариабельность индивидуального болевого порога в различных участках тела человека. Различия в чувствительности частей тела испытуемых изучались при разных стимулах. Х. Pelfort с соавторами (2015) изучали количественные характеристики и воспроизводимость измерений болевого порога в области коленного сустава у здоровых людей. Показано, что мужчины имеют значительно более высокий ИБП по сравнению с женщинами, соответственно 6,12 кг/см² и 3,87 кг/см².

⁸ Просветов Р.С. Оценка порога болевой чувствительности зубов и состояния полости рта у студентов из Азии, Африки и Латинской Америки на разных сроках обучения: дис. ... канд. биол. наук. М.: РУДН, 2013. 113 с.

Также было показано, что интра-индивидуальная вариабельность, оцененная по внутриклассовому коэффициенту корреляции, была значительно ниже (корреляционная связь выше), чем меж-индивидуальная вариабельность [31].

Результаты исследования ИБП в смешанной по полу группе в области трапециевидной мышцы (верхний пучок) составили в среднем 2,57 кг/см², а в области брюшка передней большеберцовой мышцы – 3,41 кг/см² [32]. Авторы отмечают хорошую воспроизводимость результатов в пределах двух дней. Хорошая воспроизводимость определения значений ИБП в различных точках спины показана в симметричных точках трапециевидной и дельтовидной мышц. Так, на протяжении месяца четырехкратно (1, 3, 28, 30-й день) измеряли ИБП [33, 34], размах значений составил для трапециевидной мышцы 88–574 кПа, для дельтовидной – 91–529 кПа, что указывает на значительную межиндивидуальную вариабельность болевой чувствительности.

В работе С. Lobo с соавторами (2017) представлены результаты исследования ИБП на верхних пучках дельтовидной мышцы и в области разгибателя большого пальца у пожилых людей без разделения по полу. Значения болевого порога для здоровых лиц составили $3,68 \pm 0,65$ кг/см² и $3,35 \pm 0,38$ кг/см² [35]. Исследования А. Muttray с соавторами (2014) были посвящены оценке ИБП в различных участках тела, включая зону предплечья⁹. Средние значения ИБП в зоне *m. extensor digitorum* составили 3,8 кг/см² у женщин и 5 кг/см² у мужчин, что подтверждает более высокое значение ИБП у лиц мужского пола. Различия в частоте возникновения болевых синдромов обусловлены не только гендерными особенностями, но и различиями в восприятии экспериментальной боли мужчинами и женщинами. Более низкие болевые пороги и более низкую толерантность к боли имеют женщины, по сравнению с мужчинами. При этом важное значение имеет тип стимулов. Так, электрическая стимуляция и давление на ткани эти различия выявляют, а тепловое болевое раздражение – не выявляет. Факт ген-

⁹ Muttray A., Melia M., Geißler B. et al. Kollaborierende Roboter – Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle // Wissenschaftlicher Schlussbericht zum Vorhaben FP-0317. 2014. P. 88.

дерных различий в восприятии боли можно считать доказанным, но причины таких различий остаются недостаточно изученными [36].

Механизм, лежащий в основе половых различий, ряд авторов пытались связать с уровнем половых гормонов, предполагая, что в этом случае должна быть связь между болевым порогом и фазами менструального цикла. Полученные исследователями результаты противоречивы, связь болевой чувствительности с фазами менструального цикла характеризуется как слабая или средняя [37], при этом ряд авторов вообще не нашли достоверной связи между значениями индивидуального болевого порога, измеренного в различные фазы цикла¹⁰ [38].

Антиноцицептивные системы. В формировании болевых ощущений существенную роль играют медиаторы, участвующие в передаче сигнала в синапсах, а также химические сигналы, действующие непосредственно на рецепторы. Данные вещества вырабатываются организмом, регулируя уровень болевого ощущения как сигнала о неблагополучии в состоянии организма. Функцию медиаторов боли, связанную с В1 рецептором, могут выполнять кинины, ассоциированные с возникновением боли: брадикинин, каллидин, энтероуксин (субстанция Р) [39, 40]. Кинины продуцируются организмом при мобилизации системы свертывания крови в случае травмы, ушибов и т. д. При болевых ощущениях в тканях сначала накапливается гистамин, а затем кинины. Выраженным обезболивающим эффектом обладают катехоламины (адреналин, норадреналин, дофамин), в основном за счет подавления выхода гистамина из тучных клеток. Так, повышенная концентрация адреналина вызывает активацию β 1-, β 2-, β 3-адренорецепторов, которые, в свою очередь, провоцируют снижение выброса гистамина.

Наиболее действенными анальгезирующими веществами являются опиатные пептиды (динорфин, эндорфины, энкефалины). Нейроны гипоталамуса, отвечающие за синтез этих веществ, имеют длинные отростки, по которым медиаторы могут проникать в другие отделы головного мозга. В результате опиат-

ные пептиды присоединяются к специфическим рецепторам нейронов лимбической системы и медиальной области таламуса, отвечающих за передачу болевого сигнала. Их образование увеличивается в ответ на психотерапевтическое воздействие или воздействие на биологически активные точки и точки акупунктуры. В результате повышается порог болевой чувствительности.

Восприимчивость к боли, а также предрасположенность к проявлению болевых синдромов имеет наследственный характер. Исследования, выполненные близнецовым методом, показали, что наследственный компонент для мигрени составляет 39–58 %, для болей нижней части спины – 21–67 %, менструальных болей – около 55 % [41]. Значительный наследственный компонент выявлен для теплового и холодного болевого порога, а также для чувствительности к опиоидам.

Отмечается также принципиальная роль гена SCN9A, кодирующего натриевый канал Nav1.7, поскольку этот канал также имеет значение в болевой чувствительности [42–44]. Рассматриваются также другие механизмы полиморфизм-зависящей экспрессии генов, связанные с регуляцией трансляции путем взаимодействия аллелей в генетическом локусе катехол-О-метил трансферазы (COMT), этот генетический локус также считают связанным с болевой чувствительностью через регуляцию обмена катехоламинов [45, 46].

Наличие полиморфизма генов, связанных с болевой чувствительностью, объясняет значительную популяционную (межиндивидуальную) вариабельность болевого порога, который регистрируется различными методами, в том числе методом тензоалгометрии [29, 47].

Заключение

Боль – это сложный психофизиологический феномен, формирующий механизмы адаптивных функций организма, включающих эмоции, моторные, гуморальные и вегетативные проявления, в целом идентичные комплексу стресс-реакции на неблагоприятные воздействия. Боль является важнейшей характеристикой адаптационной реакции организма и выполняет физиологическую функцию предупреждения организма о возможном повреждении. Ответ организма на раздражение ноцицепторов по существу является адаптивной

¹⁰ Dunnett A. An Investigation of Changes in pressure pain threshold due to hormone fluctuations during the menstrual cycle. Unpublished thesis submitted in partial fulfillment of the degree of Master of Osteopathy, Unitec Institute of Technology, New Zealand. 2006. URL: <https://hdl.handle.net/10652/1246>

защитной реакцией, направленной на выживание.

Болевые ощущения в основном имеют периферическое происхождение, однако вовлеченность центральных звеньев нервной системы в анализ ноцицептивных стимулов указывает на важность учета эмоционального состояния организма, вегетативного статуса, пола, времени суток и других факторов при экспериментальной оценке болевой чувствительности.

Тензоалгометрия в настоящее время широко используется в исследованиях ноцицептивной системы, так как является наиболее надежным количественным методом оценки болевой чувствительности. Результаты немногочисленных контролируемых исследований

показали, что тензоалгометрия позволяет получать достоверную, хорошо воспроизводимую информацию об индивидуальном болевом пороге.

Таким образом, формирование баз данных для оценки болевой чувствительности у представителей различных половозрастных, профессиональных групп, спортсменов с разной направленностью физической нагрузки и др. является актуальной задачей психофизиологии. Данные по количественным оценкам болевого порога у здоровых лиц весьма ограничены. Это указывает на актуальность оценки индивидуального болевого порога в различных точках организма у лиц разного пола и возраста при влиянии различных факторов внутренней и внешней среды.

Список источников

1. Данилов А.Б. Боль смешанного типа. Патофизиологические механизмы – значение для клинической практики. Подходы к диагностике и лечению смешанных типов болевых синдромов // Российский международный журнал. 2014. № 10. URL: https://www.rmj.ru/articles/bolevoy_sindrom/Boly_smeshannogo_tipa_Patofiziologicheskie_mehanizmy_znachenie_dlya_klinicheskoy_praktiki_Podhody_k_diagnostike_i_lecheniyu_smeshannyh_tipov_bolevykh_sindromov/#ixzz7uxipt6Ze (дата обращения: 10.01.2023).
2. Швайко Е.Г. Некоторые психологические аспекты хронической боли. Заметки ученого. 2021. № 3-2. С. 183–186.
3. Данилов А.Б., Данилов Ал.Б. Биопсихосоциокультурная модель и хроническая боль // Современная терапия в психиатрии и неврологии. 2013. № 1. С. 30–36.
4. Абрамова А.Ю., Перцов С.С. Современные представления о боли // Медицинская сестра. 2017. № 8. С. 20–25.
5. Калюжный Л.В. Физиологические механизмы регуляции болевой чувствительности. М.: Медицина, 1984. 216 с.
6. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.
7. Габдреева Г.Ш. Самоуправление психическим состоянием. Казань, КГУ, 1981. 63 с.
8. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. М., 1969.
9. Василенко А.М. Тензоалгометрия. URL: <https://painstudy.ru/matls/review/tenzo.htm> (дата обращения: 28.03.2016).
10. Лафи С.Г., Лафи Н.М. Феномен боли. Боль при ожоговой болезни. Возможные пути изучения и коррекции боли при ожогах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 10-2. С. 233–248.
11. Вейн А.М., Авруцкий М.Я. Боль и обезболивание. М.: Медицина. 1997. 280 с.
12. Данилов А.Б., Давыдов О.С. Нейропатическая боль. М.: Боргес. 2007. 192 с.
13. Гордеев С.А. Боль: классификация, структурно-функциональная организация ноцицептивной и антиноцицептивной систем, электронейромиографические методы исследования // Успехи физиологических наук. 2019. Т. 50, № 4. С. 87–104. DOI: 10.1134/S0301179819040039.
14. Чулошников А.И. Моделирование предметной области психологических исследований боли // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2020. № 4. С. 579–595. DOI: 10.17072/2078-7898/2020-4-579-595.
15. Цымбалюк В.И., Медведев В.В. Спинальный мозг: элегия надежды. Винница: Нова Книга. 2010. 944 с.

16. Кассиль Г.Н. Наука о боли // Проблемы науки и технического прогресса М.: Наука, 1975. 168 с.
17. Janig W. The sympathetic nervous system in pain // *European Journal of Anaesthesiology*. 1995. Vol. 10. P. 53–60.
18. Chapman C.R., Nakamura Y. A passion of the Soul: an introduction to pain for consciousness researchers // *Consciousness and Cognition*. 1999. Vol. 8 (4). P. 391–422. DOI: 10.1006/ccog.1999.0411.
19. Физиология боли и обезболивающей системы организма / В.А. Правдивцев, С.Б. Козлов, С.В. Ефременков и др. // *Вестник Смоленской медицинской академии*. 2003. № 4. С. 677–684.
20. Serotonin facilitates peripheral pain sensitivity in a manner that depends on the nonproton ligand sensing domain of ASIC3 channel / X. Wang, W.G. Li, Y. Yu et al. // *The Journal of Neuroscience*. 2013. Vol. 33(10). P. 4265–4279.
21. Mercer M., Adams R. Human pain sensitivity is related to visual but not to auditory thresholds // *Vis*. 2015. Vol. 15(12). P. 996. DOI: 10.1167/15.12.996
22. Sensitivity to Pain Expectations: A Bayesian Model of Individual Differences / R. Hoskin, C. Berzuini, D. Acosta-Kane et al. // *Cognition*. 2019. Vol. 182. P. 127–139. DOI: 10.1016/j.cognition.2018.08.022.
23. Geva N., Pruessner J., Defrin R. Acute psychosocial stress reduces pain modulation capabilities in healthy men // *Pain*. 2014. Vol. № 155. P. 2418–2425. DOI: 10.1016/j.pain.2014.09.023.
24. Hven L., Frost P., Bandai J.P. Evaluation of pressure pain threshold as a measure of perceived stress and high job strain // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12(1). DOI: 10.1371/journal.pone.0167257.
25. Transcranial direct current stimulation of the motor cortex induces distinct changes in thermal and mechanical sensory percepts / C.G. Bachmann, S. Muschinsky, M.A. Nitsche et al. // *Clinical Neurophysiology*. 2010. Vol. 121(12). P. 2083–2089. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.05.005.
26. Arendt-Nielsen L., Graven-Nielsen T. Muscle pain: sensory implications and interaction with motor control // *The Clinical Journal of Pain*. 2008. Vol. 24 (4). P. 291–298. DOI: 10.1097/AJP.0b013e31815b608f
27. Pain in the lumbar, thoracic or cervical regions: do age and gender matter A population-based study of 34,902 Danish twins 20-71 years of age / C. Leboeuf-Yde, J. Nielsen, K.O. Kyvik et al. // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2009. № 10. P. 39. DOI: 10.1186/1471-2474-10-39.
28. Перфилов Д.В., Баранов М.В., Черногоров Р.В. Способы оценки ноцицептивной чувствительности в экспериментальных исследованиях и клинике // *Успехи физиологических наук*. 2007. Т. 38, № 2. С. 75–80.
29. Кондрашкин П.В., Байгужина О.В., Шибкова Д.З. Ноцицептивный порог у здоровых женщин в состоянии покоя и готовности к физической нагрузке // *Человек. Спорт. Медицина*. 2020. Т. 20, № 3. С. 34–40. DOI: 10.14529/hsm200304.
30. Binderup A.T., Arendt-Nielsen L., Madeleine P. Pressure pain sensitivity maps of the neck-shoulder and the low back regions in men and women // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2010. Vol. 11. P. 234. DOI: 10.1186/1471-2474-11-234.
31. Pressure algometry is a useful tool to quantify pain in the medial part of the knee: An intra- and inter-reliability study in healthy subjects / X. Pelfort, R. Torres-Claramuntb, J.F. Sánchez-Solerb et al. // *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. 2015. Vol. 101. P. 559–563. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.03.016.
32. Reliability, standard error, and minimum detectable change of clinical pressure pain threshold testing in people with and without acute neck pain / D. Walton, J. Macdermid, W. Nielson et al. // *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2011. Vol. 41(9). P. 644–650. DOI: 10.2519/jospt.2011.3666
33. Frank L., McLaughlin P., Vaughn B. The repeatability of pressure algometry in asymptomatic individuals over consecutive days // *International Journal of Osteopathic Medicine*. 2013. Vol. 16 (3). P. 143–152. DOI: 10.1016/j.ijosm.2012.10.004
34. Persson A.L., Brogårdh C., Sjölund B.H. Tender or not tender: test-retest repeatability of pressure pain thresholds in the trapezius and deltoid muscles of healthy women // *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2004. Vol. 36(1). P. 17–27. DOI: 10.1080/16501970310015218

35. Lobo C., Morales C.R., Sanz D.R., Corbalán I.S., Romero E.A., Carnero J.F., López D.L. Comparison of hand grip strength and upper limb pressure pain threshold between older adults with or without non-specific shoulder pain // *PeerJ*. 2017. Vol. 5. ID art. e2995. DOI: 10.7717/peerj.2995.
36. Решетняк В.К. Гендерные различия в восприятии боли // *Российский журнал боли*. 2011. № 2. С. 19–20
37. Barbosa Mde B., Guirro E., Nunes F.R. Evaluation of sensitivity, motor and pain thresholds across the menstrual cycle through medium-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation // *Clinics (Sao Paulo)*. 2013. Vol. 68(7). 901–908 DOI: 10.6061/clinics/2013(07)03
38. Klatzkin R.R., Mechlin B., Girdler S.S. Menstrual cycle phase does not influence gender differences in experimental pain sensitivity // *European Journal of Pain*. 2010. Vol. 14(1). P. 77–82. DOI: 10.1016/j.ejpain.2009.01.002
39. Kinin B1 receptors contributes to acute pain following minor surgery in humans / M. Hamza, X.-M. Wang, A. Adam et al. // *Molecular Pain*. 2010. № 6. P. 12. DOI: 10.1186/1744-8069-6-12
40. Characterisation and mechanisms of bradykinin-evoked pain in man using iontophoresis / K.J. Paterson, L. Zambreau, D.L.H. Bennett, S.B. McMahon // *Pain*. 2013. Vol. 154(6). P. 782–792. DOI: 10.1016/j.pain.2013.01.003
41. Mogil J.S. The genetic mediation of individual differences in sensitivity to pain and its inhibition Proc // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1999. – V. 96. – P. 7744–7751. DOI: 10.1073/pnas.96.14.7744
42. An SCN9A channelopathy causes congenital inability to experience pain / J.J. Cox, F. Reimann, A.K. Nicholas et al. // *Nature*. 2006. Vol. 444(7121). P. 894–898. DOI: 10.1038/nature05413 DOI: 10.1038/nature05413
43. Waxman S.G. Neurobiology: a channel sets the gain on pain // *Nature*. 2006. Vol. 444(7121). P. 831–832. DOI: 10.1038/444831a
44. SCN9A mutations in paroxysmal extreme pain disorder: allelic variants underlie distinct channel defects and phenotypes / C.R. Fertleman, M.D. Baker, K.A. Parker et al. // *Neuron*. 2006. Vol. 52(5). P. 767–774. DOI: 10.1016/j.neuron.2006
45. Human catechol-O-methyltransferase haplotypes modulate protein expression by altering mRNA secondary structure / Nackley AG, Shabalina SA, Tchivileva IE et al. // *Science*. 2006. Vol. 314(5807). P. 1930–1933. DOI: 10.1126/science.1131262
46. Genetic architecture of human pain / L. Diatchenko, A.G. Nackley, I.E. Tchivileva et al. // *Trends in Genetics*. 2007. Vol. 23(12). P. 605–613. DOI: 10.1016/j.tig.2007.09.004
47. Кондрашкин П.В., Шибкова Д.З. Статистический анализ долгосрочной воспроизводимости значений болевого порога в паравертебральных точках человека // *Российский журнал боли*. 2018. № 3(57). С. 16–21.

Поступила 24.04.2023; одобрена после рецензирования 19.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.

Информация об авторах:

Шибкова Дарья Захаровна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-6821>; e-mail: shibkova2006@mail.ru

Кондрашкин Петр Владимирович, инструктор-методист ЛФК, Челябинская областная клиническая больница № 1 (Россия, 454075, г. Челябинск, ул. Воровского, 70); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7577-1158>; e-mail: Kpv_mino@mail.ru

Шевцов Анатолий Владимирович, доктор биологических наук, заведующий кафедрой физической реабилитации, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, (Россия, 190121, г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, 35); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9878-3378>; e-mail: sportmedi@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Шибкова Д.З. – постановка исследовательской задачи, анализ данных, разработка концепции статьи, подготовка окончательной редакции текста.

Кондрашкин П.В. – сбор материалов по отечественным и зарубежным практикам, подготовка первоначального варианта статьи, подготовка окончательной редакции текста.

Шевцов А.В. – сбор материалов по отечественным практикам, доработка начального варианта статьи, формулировка выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

1. Danilov A.B. Pain of a mixed type. Pathophysiological mechanisms – significance for clinical practice. Approaches to the diagnosis and treatment of mixed types of pain syndromes. *Rossiiskii mezh-dunarodnyi zhurnal = Russian Medical Journal*. 2014;10. URL: https://www.rmj.ru/articles/bolevoy_sindrom/Boly_smeshannogo_tipa_Patofiziologicheskie_mehanizmy_znachenie_dlya_klinicheskoy_praktiki_Podhody_k_diagnostike_i_lecheniyu_smeshannyh_tipov_bolevykh_sindromov/#ixzz7uxipt6Ze (accessed: 10.01.2023) (in Russ.).
2. Shvaiko E.G. Some psychological aspects of chronic pain. *Zametki uchenogo = Scientist 's notes*. 2021;3-2:183–186. (in Russ.).
3. Danilov A.B., Danilov A.I.B. Physiological and psychological model and chronic pain. *Sovremennaya terapiya v psikiatrii i nevrologii = Current Therapy of Mental Disorders*. 2013;1:30–36. (in Russ.).
4. Abramova A.Yu., Pertsov S.S. Modern ideas about pain. *Meditinskaya sestra = The Nurse*. 2017;8:20–25. (in Russ.).
5. Kalyuzhny L.V. *Fiziologicheskie mekhanizmy regulyatsii bolevoi chuvstvitel'nosti* [Physiological mechanisms of regulation of pain sensitivity]. Moscow. Meditsina Publ., 1984:216. (in Russ.).
6. Ilyin E.P. *Psikhofiziologiya sostoyanii cheloveka* [Psychophysiology of human states]. St. Petersburg: Piter Publ. 2005:412. (in Russ.).
7. Gabdreeva G.Sh. *Samoupravlenie psikhicheskim sostoyaniem* [Self-management of mental state]. Kazan, KSU Publ. 1981:63. (in Russ.).
8. Luriya A.R. *Vysshie korkovye funktsii cheloveka i ikh narusheniya pri lokal'nykh porazheniyakh mozga* [Higher cortical functions of a person and their disorders in local brain lesions]. Moscow. 1969. (in Russ.).
9. Vasilenko A.M. *Tenzoalgotometriya* [Tensoalgometry]. URL: <https://painstudy.ru/matls/review/tenzo.htm> (accessed: 28.03.2016). (in Russ.).
10. Lafi S.G., Lafi N.M. Pain phenomenon. Pain in burn disease. Possible ways to study and correction of pain in burn. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Actual problems of humanities and natural sciences*. 2013;10-2:233–248. (in Russ.).
11. Vane A.M., Avrutsky M.Ya. *Bol' i obezbolivanie* [Pain and anesthesia]. Moscow: Meditsina Publ. 1997:280. (in Russ.).
12. Danilov A.B., Davydov O.S. *Neiropaticheskaya bol'* [Neuropathic pain]. Moscow. Borges Publ. 2007:192. (in Russ.).
13. Gordeev S.A. Pain: classification, the structurally functional organization of the nociceptive and antinociceptive systems, electroneuromyographic research methods. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Successes of physiological sciences*. 2019;50(4):87–104. (in Russ.). DOI: 10.1134/S0301179819040039.
14. Chuloshnikov A.I. Modeling the subject areas of psychological research on pain. *Vestnik Permskogo universiteta. Filosofiya. Psikhologiya. Sotsiologiya = Perm University Herald. Philosophy. Psychology. Sociology*. 2020;4:579–595. DOI: 10.17072/2078-7898/2020-4-579-595. (in Russ.).
15. Tsybalyuk V.I., Medvedev V.V. *Spinnoi mozg: elegiya nadezhdy* [Spinal cord: elegy of hope]. Vinnytsia. Nova Kniga Publ. 2010:944. (in Russ.).
16. Kassil G.N. *Nauka o boli* [The science of pain]. *Problemy nauki i tekhnicheskogo progressa* [Problems of science and technological progress]. Moscow. Nauka Publ. 1975:168. (in Russ.).
17. Janig W. The sympathetic nervous system in pain. *European Journal of Anaesthesiology*. 1995;10:53–60.

18. Chapman C.R., Nakamura Y. A passion of the Soul: an introduction to pain for consciousness researchers. *Consciousness and Cognition*. 1999;8:391–422. DOI: 10.1006/ccog.1999.0411
19. Pravdivtsev V.A. Kozlov S.B., Efremenkov S.V. et al. *Vestnik Smolenskoj meditsinskoj akademii = Bulletin of the Smolensk Medical Academy*. 2003;4:677–684. (in Russ.).
20. Wang X., Li W.G., Yu Y. et al. Serotonin facilitates peripheral pain sensitivity in a manner that depends on the nonproton ligand sensing domain of ASIC3 channel. *The Journal of Neuroscience*. 2013;33(10):4265–4279.
21. Mercer M., Adams R. Human pain sensitivity is related to visual but not to auditory thresholds. *Vis*. 2015;15(12):996. DOI: 10.1167/15.12.996
22. Hoskin R., Berzuini C., Acosta-Kane D. et al. Sensitivity to Pain Expectations: A Bayesian Model of Individual Differences. *Cognition*. 2019. Vol. 182. P. 127–139. DOI: 10.1016/j.cognition.2018.08.022
23. Geva N, Pruessner J, Defrin R. Acute psychosocial stress reduces pain modulation capabilities in healthy men. *Pain*. 2014;155(11):2418–2425. DOI: 10.1016/j.pain.2014.09.023
24. Hven L., Frost P., Bonde J.P. Evaluation of pressure pain threshold as a measure of perceived stress and high job strain. *PLoS One*. 2017;12(1):e0167257. DOI: 10.1371/journal.pone.0167257
25. Bachmann C.G., Muschinsky S., Nitsche M.A. et al. Transcranial direct current stimulation of the motor cortex induces distinct changes in thermal and mechanical sensory percepts. *Clinical Neurophysiology*. 2010;121(12):2083–2089. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.05.005
26. Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T. Muscle pain: sensory implications and interaction with motor control. *The Clinical Journal of Pain*. 2008;24(4):291–298. DOI: 10.1097/AJP.0b013e31815b608f
27. Leboeuf-Yde C., Nielsen J., Kyvik K.O. et al. Pain in the lumbar, thoracic or cervical regions: do age and gender matter? A population-based study of 34,902 Danish twins 20–71 years of age. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2009;10:39. DOI: 10.1186/1471-2474-10-39
28. Perfilov D.V., Baranov M.V., Chernogorov R.V. Methods of pain sensitivity evaluation in the experiment and in clinical practice. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Successes of physiological sciences*. 2007;38(2):75–80. (in Russ.).
29. Kondrashkin P.V., Baiguzhina O.V., Shibkova D.Z. Nociceptive threshold in healthy women at rest and when ready for physical activity. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine*. 2020;20(3):34–40. (in Russ.). DOI: 10.14529/hsm200304
30. Binderup A.T., Arendt-Nielsen L., Madeleine P. Pressure pain sensitivity maps of the neck-shoulder and the low back regions in men and women. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2010;11:234. DOI: 10.1186/1471-2474-11-234
31. Pelfort X., Torres-Claramunt R., Sánchez-Soler J.F. et al. Pressure algometry is a useful tool to quantify pain in the medial part of the knee: an intra- and inter-reliability study in healthy subjects. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. 2015;101(5):559–563. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.03.016.
32. Walton D.M., Macdermid J.C., Nielson W. et al. Reliability, standard error, and minimum detectable change of clinical pressure pain threshold testing in people with and without acute neck pain. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2011;41(9):644–650. DOI: 10.2519/jospt.2011.3666
33. Frank L., McLaughlin P., Vaughn B. The repeatability of pressure algometry in asymptomatic individuals over consecutive days. *International Journal of Osteopathic Medicine*. 2013;16(3):143–152. DOI: 10.1016/j.ijosm.2012.10.004
34. Persson AL, Brogårdh C, Sjölund BH. Tender or not tender: test-retest repeatability of pressure pain thresholds in the trapezius and deltoid muscles of healthy women. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2004;36(1):17–27. DOI: 10.1080/16501970310015218
35. Lobo C.C., Morales R.C., Sanz R.D. et al. Comparison of hand grip strength and upper limb pressure pain threshold between older adults with or without non-specific shoulder pain. *PeerJ*. 2017;5:e2995. DOI: 10.7717/peerj.2995
36. Reshetnyak V.K. Gender differences in pain perception. *Rossiiskii zhurnal boli = Russian Journal of Pain*. 2011;2:19–20. (in Russ.).
37. Barbosa Mde B., Guirro E.C., Nunes F.R. Evaluation of sensitivity, motor and pain thresholds across the menstrual cycle through medium-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013;68(7):901–908. DOI: 10.6061/clinics/2013(07)03

38. Klatzkin R.R., Mechlin B., Girdler S.S. Menstrual cycle phase does not influence gender differences in experimental pain sensitivity. *European Journal of Pain*. 2010;14(1):77–82. DOI: 10.1016/j.ejpain.2009.01.002
39. Hamza M., Wang X-M., Adam A. et al. Kinin B1 receptors contributes to acute pain following minor surgery in humans. *Molecular Pain*. 2010;6:12. DOI: 10.1186/1744-8069-6-12
40. Paterson K.J., Zambreau L., Bennett D.L., McMahon S.B. Characterisation and mechanisms of bradykinin-evoked pain in man using iontophoresis. *Pain*. 2013;154(6):782–792. DOI: 10.1016/j.pain.2013.01.003
41. Mogil J.S. The genetic mediation of individual differences in sensitivity to pain and its inhibition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1999;96(14):7744–7751. DOI: 10.1073/pnas.96.14.7744
42. Cox J.J., Reimann F., Nicholas A.K. et al. An SCN9A channelopathy causes congenital inability to experience pain. *Nature*. 2006;444(7121):894–898. DOI: 10.1038/nature05413
43. Waxman SG. Neurobiology: a channel sets the gain on pain. *Nature*. 2006;444(7121):831–832. DOI: 10.1038/444831a
44. Fertleman C.R., Baker M.D., Parker K.A. et al. SCN9A mutations in paroxysmal extreme pain disorder: allelic variants underlie distinct channel defects and phenotypes. *Neuron*. 2006;52(5):767–774. DOI: 10.1016/j.neuron.2006
45. Nackley A.G., Shabalina S.A., Tchivileva I.E. et al. Human catechol-O-methyltransferase haplotypes modulate protein expression by altering mRNA secondary structure. *Science*. 2006;314(5807):1930–1933. DOI: 10.1126/science.1131262
46. Diatchenko L., Nackley A.G., Tchivileva I.E. et al. Genetic architecture of human pain perception. *Trends in Genetics*. 2007;23(12):605–613. DOI: 10.1016/j.tig.2007.09.004
47. Kondrashkin P.V., Shibkova D.Z. Statistical analysis of long-term reproducibility of values of pain threshold in the paravertebral points of human. *Rossiiskii zhurnal boli = Russian Journal of Pain*. 2018;3(57):16–21. (in Russ.).

Submitted 24.04.2023; approved after reviewing 19.06.2023; accepted for publication 26.06.2023.

About the authors:

Dariya Z. Shibkova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher, Research Center for Sports Science, Institute of Sport, Tourism and Service, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-6821>; e-mail: shibkova2006@mail.ru

Petr V. Kondrashkin, Physiotherapy instructor, Chelyabinsk Regional Clinical Hospital No. 1 (70 Vorovskogo str., Chelyabinsk, 454075, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7577-1158>; e-mail: Kpv_mino@mail.ru

Anatoliy V. Shevtsov, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Physical Rehabilitation, Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health (35 Dekabristov str., Saint Petersburg, 190121, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9878-3378>; e-mail: sportmedi@mail.ru

Contribution of the authors:

D.Z. Shibkova – research problem statement, data analysis, concept development, preparation of the final version of the text.

P.V. Kondrashkin – information gathering with respect to local and international practices, writing the draft and the final version of the text.

A.V. Shevtsov – information gathering with respect to local and international practices, text revision, formulation of conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.