

УДК 616.831-001.34

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar611153>

Обзорная статья



# Особенности черепно-мозговой травмы вследствие воздействия взрывной волны

В.О. Никишин, И.В. Литвиненко, К.М. Наумов

Военно-медицинская академия, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

Черепно-мозговая травма, несмотря на распространенность и изученность, является актуальнейшим вопросом современной медицины в клиническом, социальном и военно-медицинском значении. В России ежегодно около 500 тыс. человек получают черепно-мозговую травму, а ущерб для экономики страны превышает 500 млрд руб. в год. Черепно-мозговая травма — это повреждение механической энергией черепа и внутримозгового содержимого (головного мозга, мозговых оболочек, сосудов, черепных нервов), сопровождающееся клинической симптоматикой и в большинстве случаев морфологическими изменениями. В последнее время особое значение приобрела черепно-мозговая травма вследствие взрыва, что обусловлено изменением современной тактики ведения боевых действий и преобладанием взрывной травмы в структуре всех повреждений, увеличением в структуре раненых количества гражданских лиц. Особенности черепно-мозговой травмы вследствие взрыва связаны с многообразием факторов, воздействующих на человека (ударная волна, световое, тепловое излучение, осколки и т. д.). Такое многофакторное воздействие на человека затрудняет идентификацию черепно-мозговой травмы вследствие взрыва, в особенности сотрясения головного мозга. Это происходит из-за возможного сочетания повреждений разных органов и систем человека при взрыве, которые могут имитировать или маскировать сотрясение головного мозга. При диагностике черепно-мозговой травмы особенно важно оценить обстоятельства и информацию от свидетелей события, что зачастую представляет определённую сложность в условиях боевых действий. В настоящее время в качестве перспективного направления для диагностики легкой черепно-мозговой травмы рассматриваются методы выявления симптомов неустойчивости, зрительных и нарушений других сенсорных систем, участвующих в поддержании равновесия. Также важно отметить, что у пациентов, перенесших черепно-мозговую травму, существует риск развития нейродегенеративных заболеваний. Все это дополнительно подчеркивает актуальность черепно-мозговой травмы и необходимость разработки оптимального алгоритма обследования таких пациентов.

**Ключевые слова:** вестибулярная гипофункция; взрывная травма; легкая черепно-мозговая травма; мультимодальные сенсорные вызванные потенциалы; нарушение равновесия; оптическая когерентная томография; сенсорные системы; сотрясение головного мозга; черепно-мозговая травма.

## Как цитировать:

Никишин В.О., Литвиненко И.В., Наумов К.М. Особенности черепно-мозговой травмы вследствие воздействия взрывной волны // Известия Российской военно-медицинской академии. 2023. Т. 42. № 4. С. 451–458. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar611153>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar611153>

Review Article

# Features of blast-induced traumatic brain injury

Vasiliy O. Nikishin, Igor' V. Litvinenko, Konstantin M. Naumov

Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

Traumatic brain injury, despite its prevalence and study, is the most urgent issue of medicine in clinical, social and military-medical significance. In Russia, about 500 thousand people receive a traumatic brain injury every year, and the damage to the country's economy exceeds 500 billion rubles a year. Traumatic brain injury is damage by mechanical energy to the skull and intracranial contents (brain, meninges, vessels, cranial nerves), accompanied by clinical symptoms and, in most cases, morphological changes. Recently, blast-induced traumatic brain injury has acquired particular importance, which is due to the change in modern tactics of warfare and the predominance of explosive trauma in the structure of all injuries. The features of blast-induced traumatic brain injury are associated with a variety of factors affecting a person (shock wave, light, heat radiation, fragments, etc.). Such a multifactorial effect on a person makes it difficult to identify a blast-induced traumatic brain injury, especially a brain concussion. This is due to a possible combination of damage to different organs and systems of a person during an explosion, which can simulate or mask a brain concussion. When diagnosing a traumatic brain injury, it is especially important to assess the circumstances and information from witnesses of the event, which often presents a certain complexity in the conditions of hostilities. Currently, methods for detecting symptoms of instability, visual and disorders of other sensory systems involved in maintaining balance are considered as a promising direction for the diagnosis of mild traumatic brain injury. It is also important to note that patients who have suffered a traumatic brain injury have a risk of developing neurodegenerative diseases. All this further emphasizes the relevance of traumatic brain injury and the existing need to develop an optimal algorithm for the examination of such patients.

**Keywords:** brain concussion; explosive trauma; imbalance; mild traumatic brain injury; multimodal sensor evoked potentials; optical coherence tomography; sensor systems; traumatic brain injury; vestibular hypofunction.

## To cite this article:

Nikishin VO, Litvinenko IV, Naumov KM. Features of blast-induced traumatic brain injury. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2023;42(4):451–458. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar611153>

Received: 22.10.2023

Accepted: 27.10.2023

Published: 14.11.2023

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) сохраняет свою актуальность, важное медицинское и социальное значение, заключающиеся в сложности патогенеза, многообразии клинических проявлений и вариантов течения заболевания, а также в высокой смертности и инвалидизации. Социальная значимость определяется в том числе тем, что наиболее часто страдают люди трудоспособного возраста, наиболее активные в трудовой и социальной сфере [1]. Согласно оценкам, основанным на экстраполяции данных, представленных в международных отчетах, ежегодно от ЧМТ страдают 50–60 млн человек, и прогнозируется, что около 50 % населения земного шара перенесет ЧМТ в течение своей жизни. ЧМТ, составляя 30–40 % в структуре травматизма, занимает первое место среди причин инвалидизации населения и временной утраты трудоспособности. В развитых странах травматизм среди причин смерти населения следует за сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями, а по наносимому обществу суммарному экономическому и медико-социальному ущербу ЧМТ занимает первое место [2, 3].

В России ежегодно около 500 тыс. чел. получают ЧМТ. Более 50 тыс. из них умирают, и примерно такое же количество становится инвалидами. Общее число людей с инвалидностью в России из-за ЧМТ превышает 2 млн а удельный вес ЧМТ среди причин временной нетрудоспособности составляет 30–50 %. По данным Национального института общественного здоровья, ежегодный ущерб от ЧМТ оценивается в 500 млрд руб. С каждым годом увеличивается количество пациентов с отдаленными последствиями данной патологии. Особую актуальность имеет легкая ЧМТ, занимающая в общей структуре ЧМТ до 80 % [2, 4, 5].

Основным механизмом ЧМТ в мирное время является непосредственное воздействие тупых твердых предметов на голову, и только в некоторых случаях она формируется по косвенному механизму, когда отсутствует прямой контакт механических повреждающих факторов с головой. Такой механизм имеет место при дорожно-транспортных происшествиях, падениях с высоты, синдроме травматического сотрясения ребенка или взрослого. Данный вариант закрытого повреждения головного мозга обычно рассматривается как результат ускорения (ударно-противоударный), импульсного (ускорения-замедления) повреждения. В ряде случаев имеется сочетание обоих этих механизмов [1].

Совершенно особое место в структуре ЧМТ занимает повреждение вследствие воздействия ударной взрывной волны. Среди гражданского населения минно-взрывные ранения в мирное время встречаются довольно редко, в основном на опасных производствах и при террористических атаках [6]. Но именно такой механизм ЧМТ приобретает широкое распространение в условиях военных конфликтов.

Современная тактика боевых действий определяет все более широкое распространение взрывной травмы. Так, во время боевых действий во Вьетнаме и Республике Афганистан доля раненых вследствие взрывного поражения была значительно выше, чем во время Второй мировой войны. И в настоящее время в различных вооруженных конфликтах интенсивность применения оружия взрывного действия неуклонно растет. Так, например, в мире ежегодно устанавливается более 2 млн различных мин, на которых каждые 20–30 мин подрывается 1 человек. В то же время, по данным различных авторов, до 60–70 % всех взрывных травм сопровождается ЧМТ. Доля минно-взрывных ранений в современных войнах до недавнего времени составляла до 30–45 %, а при террористических актах у гражданского населения сегодня почти 100 % [7].

В период с 2014 по 2020 г. произошло более 15 завершённых и продолжающихся вооруженных конфликтов, что привело к увеличению случаев ЧМТ. В современных военных конфликтах санитарные потери из-за повреждения головного мозга составляют до 12 %, из которых около 40 % — взрывные повреждения [8].

Вопросы, связанные с изучением ЧМТ вследствие воздействия различных факторов взрыва, актуальны и активно изучаются во всем мире, особенно в странах НАТО. Согласно данным Центра черепно-мозговой травмы министерства обороны и ветеранов США, за период с 2001 по 2018 г. 383 947 человек из состава вооруженных сил получили ЧМТ, из которых более трети вследствие взрыва [9].

Исследование аспектов повреждения головного мозга, которые уникальны для взрывной травмы, представляет особую актуальность для неврологии, в том числе как морфофункциональный субстрат последующего развития нейродегенеративных заболеваний.

ЧМТ — это повреждение механической энергией черепа и внутричерепного содержимого (головного мозга, мозговых оболочек, сосудов, черепных нервов), сопровождающееся клинической симптоматикой и в большинстве случаев морфологическими изменениями [10].

Взрыв — это импульсный экзотермический химический процесс перестройки твердых или жидких взрывчатых веществ, превращения их в молекулы взрывных газов [11]. Это создает область высокого давления и генерирует большое количество тепла. Часть энергии взрыва первоначально расходуется на разрушение оболочки боеприпаса (переход в кинетическую энергию осколка), а 30–40 % выделяемых газов расходуется на образование ударной волны, светового и теплового излучения, на перемещение осколков. На определенном расстоянии взрывные газы сохраняют свои разрушительные свойства при высоких скоростях и давлении. С газообразными продуктами взрыва связаны 3 действия: бризантное (резкое ударное воздействие продуктов взрыва на окружающие предметы), фугасное

(разрушительное действие на короткие расстояния из-за расширения продуктов взрыва, а на удалении из-за распространения ударной волны во всех направлениях) и зажигательное. Волна газообразных продуктов детонации оказывает повреждающее действие на ткани, вызывая ушибы, разрывы, расслоения, кровоизлияния, ссадины и повреждение структур, заполненных воздухом. Наиболее опасно направленное движение взрывных газов. В дополнение к взрывным газам продукты неполного сгорания и части неразложившегося взрывчатого вещества разлетаются с поверхности заряда. Мельчайшие твердые частицы внедряются в ткани, вызывая их «закопчение» и ожоги. Они также определяют токсические эффекты (за счет угарного газа, содержащегося во взрывных газах в больших количествах). Проникая в разрушенные ткани, а также в легкие при дыхании, он образует карбоксигемоглобин. При взрывах в помещении ожоги и токсическое воздействие вдыхаемых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{NO}$  и др.) могут быть чрезвычайно тяжелыми.

За фронтом ударной волны сжатый воздух движется с высокой скоростью, создавая динамическое давление. По мере того как ударная волна удаляется от центра взрыва, избыточное давление спереди уменьшается, скорость уменьшается до скорости звука, а ударная волна превращается в звуковую.

Считается, что основной травматический эффект воздушной ударной волны подобен внезапному удару дубиной или твердым предметом с широкой ударной поверхностью, при котором повреждение тканей может напоминать раздавливание. В целом все повреждения, возникающие при его воздействии, обычно подразделяются на первичные (из-за прямого воздействия ударной волны), вторичные (из-за воздействия объектов, приведенных в действие взрывной волной) и третичные (из-за удара тела пострадавшего, приведенного в движение ударной волной, о предметы, препятствия, землю и т. д.).

Травматические поражения, вызванные ударной волной, и их тяжесть находятся в прямой зависимости от величины избыточного давления, зоны воздействия, времени повышения давления до максимума и продолжительности действия. Воздействие ударной волны на различные части тела неодинаково. Это зависит от расположения тела человека по отношению к взрывной волне, характеристик тканей, на которые она воздействует. Органы с большой поверхностью и низкой массой поглощают наибольшее количество энергии, поэтому подвергаются наибольшему разрушению. При взрыве следует учитывать влияние гидродинамического удара на полые заполненные жидкостью органы (сердце, легкие, почки). Гидродинамический удар также оказывает губительное воздействие на центральную нервную систему, где присутствует большое количество цереброспинальной жидкости и венозной крови. Помимо взрывной волны на организм

воздействуют осколки и части взрывного устройства, детонаторов, специальных разрушительных элементов (шаров, гвоздей и др.), которые дополнительно включены в боеприпас. Характер и степень повреждения зависят от кинетической энергии осколка, его формы и размера, направления движения относительно поверхности тела и особенностей анатомического строения пораженной части тела. Осколки в основном наносят раны (сквозные, слепые, касательные), но при низкой скорости полета могут вызывать закрытые травмы (ушибы, переломы, разрывы) [11].

Примерно 80 % сотрясений головного мозга, полученных во время боевых действий, являются вторичными по отношению к эффектам взрывной волны. Вопрос о том, как первичный взрыв или избыточное давление вызывает травму головного мозга, до сих пор является предметом споров среди исследователей в этой области. Возможное повреждение головного мозга может произойти, когда волна давления механически передается через ткани в мозг, что соответствует травме от удара тупым предметом, ускорению-замедлению движения головы, отеку, спазму сосудов, образованию микрокавитационных пузырьков и цереброваскулярных нарушений и/или посттравматическим изменениям из-за снижения концентрации кислорода при повреждении легких. Вторичные и третичные факторы взрыва, при которых либо вторичные ранящие снаряды попадают в голову, либо пострадавший ударяется о различные предметы и поверхности, концептуально аналогичны моделям так называемой «гражданской» ЧМТ, которые отражают механизмы ускорения-замедления или удара тупым предметом [12].

Важным направлением диагностики являются нейропсихологические нарушения как у пациентов с последствиями взрывной, так и механической травмы. Актуальными являются вопросы повторной легкой ЧМТ вследствие воздействия факторов низкой и средней мощности у спортсменов и воинского контингента. Интерес представляет изучение влияния функционального состояния организма на момент получения травмы, имеющих заболевания, анатомических особенностей и факторов образа жизни [9]. Отдельное внимание уделяется и другим факторам, усложняющим идентификацию легкой ЧМТ при взрыве. Так, 70–75 % случаев взрывных травм у военнослужащих сопровождаются нарушениями слуха и до 50 % из них не диагностируются вовремя. Сочетание ЧМТ и повреждения органа слуха создает трудности дифференциальной диагностики, а наличие сопутствующих травматических повреждений других органов замедляет оказание своевременной неврологической и оториноларингологической помощи. Это приводит к развитию необратимых патологических процессов в центральных и периферических отделах слухового анализатора, развитию посттравматической сенсоневральной тугоухости, формированию психопатологического синдрома,

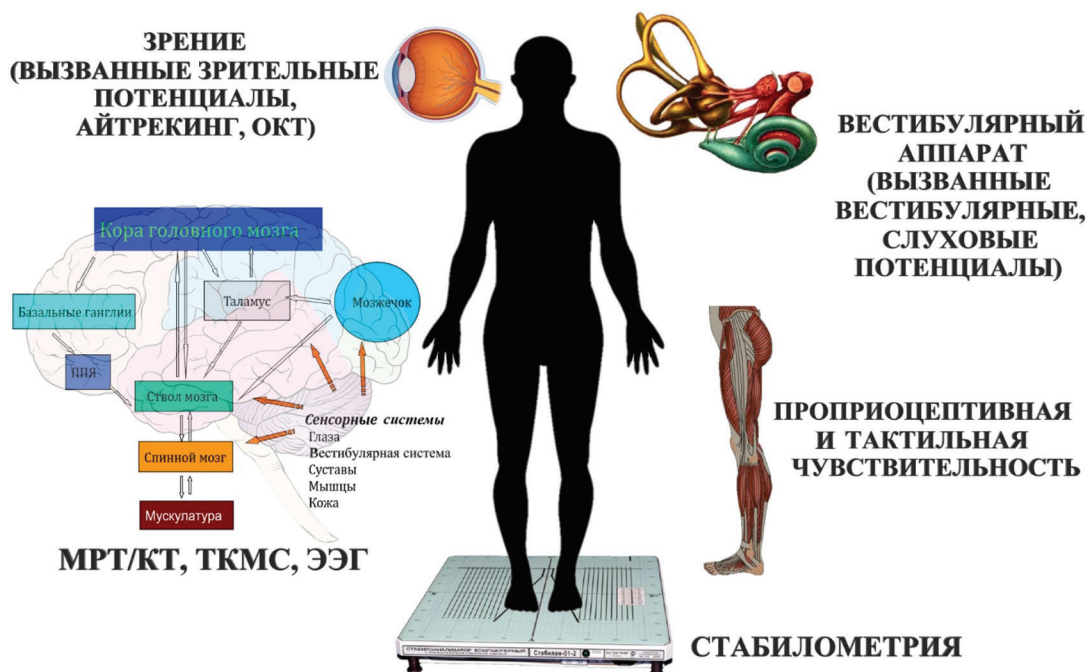
снижению эффективности проводимой терапии и увеличению сроков нетрудоспособности, а также увеличению вероятности осложнений ЧМТ и развитию стойкой утраты трудоспособности. Имеет место также гипердиагностика ЧМТ при взрывных травмах, сопровождающихся изолированным повреждением органа слуха. Таким образом, проблема сочетания ЧМТ с повреждением слухового анализатора при взрывных травмах также является актуальной для военной медицины во время боевых действий [7].

В качестве перспективного направления диагностики легкой ЧМТ рассматриваются методы выявления симптомов нарушения равновесия или постуральной неустойчивости. Эти симптомы часто приписывают дисфункции вестибулярной системы, однако лежащие в основе их развития механизмы, а также сложность анатомических и физиологических систем, реализующих функцию поддержания равновесия при ЧМТ, изучены недостаточно. Посттравматическое головокружение — термин, который указывает на общую этиологию разнородных проявлений дисфункции периферической и центральной вестибулярной системы. Вестибулярная дисфункция при ЧМТ в отдаленном периоде может возникать в результате переломов височных костей (из-за возможного появления перилимфатической фистулы в овальном или круглом окне), повреждения вестибуло-кохлеарного нерва (может привести к постоянной потере слуха и шуму в ушах), ствола головного мозга, мозжечка и кортикальных связей, участвующих в обработке вестибулярных и других сенсорных сигналов, важных для поддержания равновесия. Необратимая потеря вестибулярной функции, которую ряд авторов называют периферической вестибулярной гипофункцией, может произойти из-за травматических повреждений внутреннего уха. В зависимости от степени центральной вестибулярной компенсации эти повреждения могут приводить к постоянным жалобам на неустойчивость при ходьбе и стоянии [13]. Продолжительность посттравматической дисфункции системы поддержания равновесия различна. У пациентов после ЧМТ головокружение сохраняется от одной недели до нескольких лет. В случае легкой ЧМТ симптомы нарушения равновесия могут сохраняться в течение года или даже дольше у 10–15 % пациентов, и этот процент увеличивается до 28 % при травмах средней тяжести. Головокружение после ЧМТ также является причиной длительной нетрудоспособности [14, 15]. Помимо периферической вестибулярной гипофункции повреждение зрительной системы также может влиять на нарушение равновесия, движения, координации, когнитивных функций. Большое количество пациентов с ЧМТ сообщают о симптомах, связанных с нарушением зрения. Среди наиболее распространенных из них — повышенная чувствительность к свету, при которой воздействие света вызывает боль в глазах и голове (светобоязнь). У пациентов, перенесших ЧМТ, выявляют замедленные плавные следящие движения глаз, а также

ошибки позиционирования и замедление ускорения глаз при саккадических движениях. Также у пациентов с ЧМТ снижается скорость чтения, повышаются фиксация и регрессия при чтении. В центральной нервной системе анализируются данные, получаемые при саккадических движениях глаз, что необходимо для управления движениями тела. Например, это позволяет человеку оценить нахождение предмета в пространстве и протянуть руку, чтобы взять его. Однако после ЧМТ могут возникать дезинтеграция входящей сенсорной информации и нарушаться восприятие пространства, что приводит к потере способности воспринимать взаимное расположение окружающих объектов [16]. Зрительная информация объединяется с кинестетической, проприоцептивной, вестибулярной и даже тактильной, суммируется и обрабатывается с целью ориентации в пространстве и поддержания равновесия. Оценка сенсорных систем в настоящее время возможна с помощью мультимодальных вызванных сенсорных потенциалов. Тесты зрительных, слуховых, вестибулярных вызванных потенциалов демонстрируют не только дополнительную диагностическую ценность, не наблюдаемую при рутинном клиническом тестировании и нейровизуализации, но и довольно высокую достоверность при отслеживании изменений при ЧМТ. Применение тестов в различных модификациях и сочетаниях может помочь выявить нарушения в сенсорных системах, участвующих в поддержании равновесия, которые приводят у пациента к неустойчивости (рис.) [17–19].

Пациенты, у которых в анамнезе была ЧМТ, включая легкую ЧМТ, подвергаются большему риску развития нейродегенеративных заболеваний, таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона и хроническая посттравматическая энцефалопатия. Предполагается, что повторная легкая ЧМТ может инициировать процесс нейровоспаления и атрофии серого и белого вещества, что со временем приводит к прогрессирующей дегенерации нервной системы. Несколько крупных исследований показали связь между перенесенной в анамнезе ЧМТ и повышенным риском развития болезней Альцгеймера и Паркинсона даже у лиц без известных когнитивных нарушений после ЧМТ. Оптическая когерентная томография (ОКТ) — это неинвазивная технология визуализации, используемая в офтальмологии для простого и быстрого исследования и количественной оценки слоев сетчатки с высоким разрешением (на микрометрическом уровне), точностью и воспроизводимостью [20]. Связь ОКТ-измерений истончения слоя сетчатки со степенью нейродегенерации центральной нервной системы хорошо известна при таких заболеваниях, как болезни Альцгеймера, Паркинсона и рассеянный склероз. Существуют публикации, где метод ОКТ применяли для выявления дегенерации определенных слоев сетчатки глаза, что коррелировало с атрофией коры головного мозга у лиц, перенесших ЧМТ [21, 22].





**Рисунок.** Сенсорные системы, потенциально подвергающиеся воздействию взрывной волны, и методы оценки/диагностики их состояния

Актуальной проблемой в настоящее время является диагностика легкой ЧМТ, что связано с многообразием и неспецифичностью симптомов данного состояния, непредсказуемостью патологических изменений и отсроченностью клинических оценок после травмы. Часто единственной доступной информацией, используемой для постановки диагноза легкой ЧМТ у военнослужащих, являются рассказы очевидцев и пострадавших. Во многом это связано с отсутствием надежных инструментов диагностики легкой ЧМТ, связанной со взрывом, сходных клинических проявлений с другими состояниями, такими как акубаротравма, и стресс-ассоциированными расстройствами. С целью решения данных проблем предпринимаются усилия для обеспечения более точной идентификации типа травм и механизмов получения травм на поле боя с использованием современного оборудования, включая датчики давления взрыва на шлемах и унифицированные камеры, которые могут визуально фиксировать окружающую обстановку. Разрабатываются механизмы объективизации симптоматики, связанной с легкой ЧМТ, которая может проявляться в разные моменты (в острый, промежуточный и отдаленный периоды ЧМТ) [20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложность в постановке диагноза легкой ЧМТ обусловлена низкой информативностью традиционных клинических методов обследования, их недостаточными

возможностями по объективизации симптоматики и низкой специфичностью ряда неврологических симптомов. При воздействии ударной волны формируются условия первоначальной гиперстимуляции сенсорных систем с последующим их торможением и дезинтеграцией. Расширение диагностического протокола, включающего исследование состояния сенсорных систем, может быть своевременным инструментом, решающим данную проблему [9].

Таким образом, проблема ЧМТ при воздействии взрывной волны является актуальным вопросом военной медицины и имеет большое социальное и экономическое значение, которое трактует необходимость дальнейшего исследования данной темы для разработки оптимального алгоритма обследования таких пациентов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Финансирование данной работы не проводилось.

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

**Этическая экспертиза.** Проведения этической экспертизы не требовалось.

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачинский П.А., Ульянкин В.Е., Кемайкин С.П., и др. Возможность образования смертельной закрытой черепно-мозговой травмы по непрямому механизму // XLVIII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции. В 3 частях. Ч. 2. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. С. 365–369.
2. Овсянников Д.М., Чехонацкий А.А., Колесов В.Н., и др. Социальные и эпидемиологические аспекты черепно-мозговой травмы // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т. 8, № 3. С. 777–785.
3. Mollayeva T., Mollayeva S., Colantonio A. Traumatic brain injury: sex, gender and intersecting vulnerabilities // *Nat. Rev. Neurol.* 2018. Vol. 14, No. 12. P. 711–722. DOI: 10.1038/s41582-018-0091-y
4. Синявский В.В., Круть Е.А. Головокружение при последствиях лёгких черепно-мозговых травм (клинико-диагностические характеристики) // Университетская клиника. 2021. № 1 (38). С. 39–45. DOI: 10.26435/UC.V013(36).657
5. Аханов Г.Ж., Утеулиев Е.С., Дюсембеков Е.К., и др. Клинико-эпидемиологические аспекты черепно-мозговой травмы // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2018. № 3. С. 113–116.
6. Тулупов А.Н., Мануковский В.А., Савелло В.Е., и др. Минно-взрывное сочетанное ранение головы, груди и конечностей // Раны и раневые инфекции. 2021. Т. 8, № 3. С. 36–43. DOI: 10.25199/2408-9613-2021-8-3-34-41
7. Синявский В.В. Клинико-диагностические особенности сочетания минно-взрывной черепно-мозговой травмы и бароакустической травмы слухового анализатора // Экологические проблемы экспериментальной и клинической медицины. 2020. № 3. С. 127–136.
8. Гизатулин Ш.Х., Станишевский А.В., Свистов Д.В. Боевые огнестрельные ранения черепа и головного мозга // Вопросы нейрохирургии. 2021. Т. 85, № 5. С. 124–131. DOI: 10.17116/neiro202185051124
9. Bryden D.W., Tilghman J.I., Hinds S.R. 2<sup>nd</sup>. Blast-Related Traumatic Brain Injury: Current Concepts and Research Considerations // *J. Exp. Neurosci.* 2019. Vol. 13. P. 1179069519872213. DOI: 10.1177/1179069519872213
10. Лихтерман Л.Б. Классификация черепно-мозговой травмы. Часть II. Современные принципы классификации ЧМТ // Судебная медицина. 2015. Т. 1, № 3. С. 37–48.
11. Полушин Ю.С. Взрывные поражения (лекция) // Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2022. Т. 19, № 6. С. 6–17. DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-6-6-17
12. Rigg J.L., Mooney S.R. Concussions and the military: issues specific to service members // *PM R.* 2011. Vol. 3, No. 10. P. 380–386. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.08.005
13. Taylor R.L., Wise K.J., Taylor D., et al. Patterns of vestibular dysfunction in chronic traumatic brain injury // *Frontiers in Neurology.* 2022. Vol. 13. P. 942349. DOI: 10.3389/fneur.2022.942349
14. Skora W., Stanczyk R., Pajor A., Jozefowicz-Korczynska M. Vestibular system dysfunction in patients after mild traumatic brain injury // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine.* 2018. Vol. 25, No. 4. P. 665–668.
15. Grzesiak M., Carender W., Basura G.J. Posttraumatic Dizziness: Navigating the Maze Towards Accurate Vestibular Diagnosis and Treatment // *Otol. Neurotol.* 2021. Vol. 42, No. 5. P. 573–578. DOI: 10.1097/MAO.0000000000003035
16. Rauchman S.H., Albert J., Pinkhasov A., Reiss A.B. Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury: A Review with Focus on the Visual System // *Neurol. Int.* 2022. Vol. 14, No. 2. P. 453–470. DOI: 10.3390/neurolint14020038
17. Campbell K.R., King L.A., Parrington L., et al. Central sensorimotor integration assessment reveals deficits in standing balance control in people with chronic mild traumatic brain injury // *Frontiers in Neurology.* 2022. Vol. 13. P. 897454. DOI: 10.3389/fneur.2022.897454
18. Harris P., Myers M.H. A Pilot Investigation of Visual Pathways in Patients with Mild Traumatic Brain Injury // *Neurol. Int.* 2023. Vol. 15, No. 1. P. 534–548. DOI: 10.3390/neurolint15010032
19. Azadi P., Movassat M., Khosravi M.H. The value of the visual evoked potentials test in the assessment of the visual pathway in head trauma // *J. Inj. Violence Res.* 2021. Vol. 13, No. 1. P. 1–4. DOI: 10.5249/jivr.v13i1.1525
20. Литвиненко И.В., Дынин П.С., Труфанов А.Г., и др. Орган зрения как объект изучения нарушений когнитивных функций при болезни Паркинсона // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. Т. 118, № 6–2. С. 105–114. DOI 10.17116/jnevro2018118062105
21. Gilmore C.S., Lim K.O., Garvin M.K., et al. Association of Optical Coherence Tomography With Longitudinal Neurodegeneration in Veterans With Chronic Mild Traumatic Brain Injury // *JAMA Netw Open.* 2020. Vol. 3, No. 12. P. e2030824. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.30824
22. Литвиненко И.В., Бойко Э.В., Куликов А.Н., и др. Взаимосвязь зрительно-пространственных нарушений при болезни Паркинсона с толщиной сетчатки глаза и коры головного мозга // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2016. Т. 10, № 2. С. 11–16.

## REFERENCES

1. Machinskiy PA, Ul'yankin VE, Kemaykin SP, et al. Possibility of education of a death closed brain injury by indirect mechanism // *XLVIII Ogarevskiyе chteniya*. Materials of the scientific conference. In 3 parts. Part 2. Saransk: National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev Publishing House; 2020. P. 365–369. (In Russ.)
2. Ovsyannikov DM, Chekhonatskiy AA, Kolesov VN, et al. Social and epidemiological aspects of craniocerebral trauma (REVIEW). *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2012;8(3):777–785. (In Russ.)
3. Mollayeva T, Mollayeva S, Colantonio A. Traumatic brain injury: sex, gender and intersecting vulnerabilities. *Nat Rev Neurol.* 2018;14(12):711–722. DOI: 10.1038/s41582-018-0091-y
4. Sinyavsky VV, Krut' EA. Visibility in consequences of mild craniocerebral injuries (clinical and diagnostic characteristics). *University Clinic.* 2021;(1(38)):39–45. (In Russ.) DOI: 10.26435/UC.V013(36).657

5. Akhanov GZh, Uteuliyev ES, Dyusembekov EK, et al. Clinical and epidemiological aspects of an isolated craniocerebral trauma (review). *Vestnik Kaz NMU*. 2018;(3):113–116. (In Russ.)
6. Tulupov AN, Manukovskiy VA, Savello VE, et al. Head, chest and limbs mine-explosive wounds. *Wounds and wound infections*. 2021;8(3):36–43. (In Russ.) DOI: 10.25199/2408-9613-2021-8-3-34-41
7. Sinyavskiy VV. Clinical and diagnostic features of the combination of mine-explosive traumatic brain injury and baroacoustic trauma of the auditory analyzer. *Problems of ecological and medical genetics and clinical immunology*. 2020;3:127–136. (In Russ.)
8. Gizatullin ShKh., Stanishevskiy AV, Svistov DV. Combat gunshot skull and brain injuries. *Voprosy neyrokhirurgii*. 2021;85(5):124–131. (In Russ.) DOI: 10.17116/neiro202185051124
9. Bryden DW, Tilghman JI, Hinds SR 2<sup>nd</sup>. Blast-Related Traumatic Brain Injury: Current Concepts and Research Considerations. *J Exp Neurosci*. 2019;13:1179069519872213. DOI: 10.1177/1179069519872213
10. Lichterman LB. Classification of cranial trauma. Part II. Modern principles of classification of TBI. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2015;1(3):37–48. (In Russ.)
11. Polushin YuS. Blast injuries (lecture). *Bulletin of Anesthesiology and Reanimatology*. 2022;19(6):6–17. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2022-19-6-6-17
12. Rigg JL, Mooney SR. Concussions and the military: issues specific to service members. *PM R*. 2011;3(10):380–386. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.08.005
13. Taylor RL, Wise KJ, Taylor D, et al. Patterns of vestibular dysfunction in chronic traumatic brain injury. *Frontiers in Neurology*. 2022;13:942349. DOI: 10.3389/fneur.2022.942349
14. Skora W, Stanczyk R, Pajor A, Jozefowicz-Korczyńska M. Vestibular system dysfunction in patients after mild traumatic brain injury. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2018;25(4):665–668.
15. Grzesiak M, Carender W, Basura GJ. Posttraumatic Dizziness: Navigating the Maze Towards Accurate Vestibular Diagnosis and Treatment. *Otol Neurotol*. 2021;42(5):573–578. DOI: 10.1097/MAO.0000000000003035
16. Rauchman SH, Albert J, Pinkhasov A, Reiss AB. Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury: A Review with Focus on the Visual System. *Neuro Int*. 2022;14(2):453–470. DOI: 10.3390/neuroint14020038
17. Campbell KR, King LA, Parrington L, et al. Central sensorimotor integration assessment reveals deficits in standing balance control in people with chronic mild traumatic brain injury. *Frontiers in Neurology*. 2022;13:897454. DOI: 10.3389/fneur.2022.897454
18. Harris P, Myers MH. A Pilot Investigation of Visual Pathways in Patients with Mild Traumatic Brain Injury. *Neuro Int*. 2023;15(1):534–548. DOI: 10.3390/neuroint15010032
19. Azadi P, Movassat M, Khosravi MH. The value of the visual evoked potentials test in the assessment of the visual pathway in head trauma. *J Inj Violence Res*. 2021;13(1):1–4. DOI: 10.5249/jivr.v13i1.1525
20. Litvinenko IV, Dynin PS, Trufanov AG, et al. Eye as an object of investigation of cognitive impairment in Parkinson's disease. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2018;118(6–2):105–114. (In Russ.) DOI 10.17116/jnevro2018118062105
21. Gilmore CS, Lim KO, Garvin MK, et al. Association of Optical Coherence Tomography With Longitudinal Neurodegeneration in Veterans With Chronic Mild Traumatic Brain Injury. *JAMA Netw Open*. 2020;3(12):e2030824. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.30824
22. Litvinenko IV, Boyko EV, Kulikov AN, et al. The relationship between visuospatial disorders in Parkinson's disease and thickness of retina and cortex. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2016;10(2):11–16. (In Russ.)

## ОБ АВТОРАХ

**\*Василий Олегович Никишин**, адрес: Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0009-0009-1239-9796; eLibrary SPIN: 9295-5923; Author ID: 1017741; Researcher Author ID: JFK-5264-2023; e-mail: vo1009@yandex.ru

**Игорь Вячеславович Литвиненко**, докт. мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792; Author ID: 368687; Web of Science Researcher ID: F-9120-2013; Scopus Author ID: 35734354000; e-mail: litvinenkoiv@rambler.ru

**Константин Михайлович Наумов**, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007; Web of Science Researcher ID: I-8567-2016; Scopus Author ID: 8390739200; e-mail: naumov\_k@list.ru

## AUTHORS' INFO

**\*Vasiliy O. Nikishin**, address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia; ORCID: 0009-0009-1239-9796; eLibrary SPIN: 9295-5923; Author ID: 1017741; Researcher Author ID: JFK-5264-2023; e-mail: vo1009@yandex.ru

**Igor' V. Litvinenko**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792; Author ID: 368687; Web of Science Researcher ID: F-9120-2013; Scopus Author ID: 35734354000; e-mail: litvinenkoiv@rambler.ru

**Konstantin M. Naumov**, M. D., Ph. D. (Medicine); ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007; Web of Science Researcher ID: I-8567-2016; Scopus Author ID: 8390739200; e-mail: naumov\_k@list.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author