

Читать
онлайн
Read
online

Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М.

Сравнительная оценка нейротрофических белков при вибрационной болезни

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Одной из наиболее распространённых профессиональных патологий является вибрационная болезнь (ВБ), которая сопровождается нарушением равновесия функциональных показателей центральной и периферической нервной системы. Нейротрофины играют важную роль в регуляции развития и функционирования центральной и периферической нервной системы. Определение у пациентов с ВБ уровней нейроспецифических белков-маркёров позволяет проследить патологические сбои в нервной системе при воздействии вибрации.

Цель исследования — выявление изменений нейроспецифических белков (BDNF, S100β, ОБМ) в сыворотке крови пациентов с вибрационной болезнью различного этиогенеза для диагностики активности демиелинизирующих процессов.

Материалы и методы. Методом твердофазного иммуноферментного анализа исследованы сывороточные концентрации нейротрофических белков: нейротрофического фактора головного мозга — BDNF, белка S100β и общего белка миелина (ОБМ).

Результаты. Установлено увеличение концентраций BDNF, белка S100β и ОБМ в сыворотке крови у лиц с ВБ при комбинированном воздействии локальной и общей вибрации, а при воздействии локальной вибрации отмечено только повышение ОБМ.

Ограничения исследования обусловлены немногочисленной группой обследованных.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о более выраженных изменениях в центральных и периферических отделах нервной системы у пациентов с ВБ, индуцированной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, в отличие от лиц с ВБ, обусловленной локальной вибрацией, у которых, по-видимому, нарушения преимущественно связаны с периферической нервной системой. Обобщая вышесказанное, следует отметить обоснованность изучения концентрации нейроспецифических белков при вибрационной болезни, протекающей с разрушающими процессами в нервной ткани.

Ключевые слова: нейротрофины; нейротрофический фактор головного мозга; белок S100β; общий белок миелина; рабочие; вибрация

Соблюдение этических стандартов. В процессе проведения исследования были соблюдены этические стандарты Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (2013 г.) и приказа № 200н Минздрава России от 01.04.2016 г. «Об утверждении правил надлежащей клинической практики».

Для цитирования: Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М. Сравнительная оценка нейротрофических белков при вибрационной болезни. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 954–958. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-954-958> <https://elibrary.ru/kiqune>

Для корреспонденции: Боклаженко Елена Валерьевна, e-mail: immun11@ya.ru

Участие авторов: Боклаженко Е.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Бодиенкова Г.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 17.04.2024 / Принята к печати: 31.07.2024 / Опубликовано: 16.10.2024

Elena V. Boklazhenko, Galina M. Bodienkova

Comparative assessment of neurotrophic proteins in vibration disease

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The problem of health impairment due to the impact of physical factors, including vibration disease (VD), retains medical and social relevance due to the significant specific gravity in the structure of occupational morbidity and high prevalence. Under vibration exposure, the acid-base equilibrium, immune status are disturbed, rheological properties and properties of the neurohumoral system, as well as functional indices of the central and peripheral nervous system change. Neurotrophins are known to play an important role in regulating the development and functioning of the central and peripheral nervous systems. In this regard, research is needed to determine in VD patients the levels of neurospecific proteins, which may serve as one of the markers for tracing changes in the nervous system in workers.

The aim of the study was to identify the peculiarities of changes in neurospecific proteins (BDNF, S100β, and MBP) in the serum of patients with VD of different genesis.

Materials and methods. Serum concentrations of neurotrophic proteins: brain neurotrophic factor — BDNF, S100β protein and myelin basic protein (MBP) were studied by solid-phase enzyme-linked immunoassay.

Results. There was an increase in serum BDNF, S100β protein, and MBP concentrations in persons with VD due to combined exposure to local and general vibration, and an increase in MBP was observed in patients with VD due to exposure to local vibration.

Limitations. The limitations of this work are small groups of employees.

Conclusion. As a result of studies, it can be assumed that in VD due to exposure to combined vibration, changes are observed in the peripheral and central parts of the nervous system, and in VD due to local vibration, disorders seem to be mainly associated with the peripheral nervous system. The general pattern of the revealed disorders in the content of MBP lies in the neurodestructive processes occurring in the nerve fibers in patients with VD, regardless of genesis. Summarizing the above mentioned, the validity of studying the concentration of neurospecific proteins in vibration disease occurring with damaging processes in the nervous tissue should be recognized.

Keywords: neurotrophins; brain-derived neurotrophic factor; S100β protein; myelin basic protein; workers; vibration

Compliance with ethical standards. All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards the 2013 Helsinki declaration and Order No. 200n of the Ministry of Health of the Russian Federation of 01.04.2016 “On Approval of Good Clinical Practice Rules”.

For citation: Boklazhenko E.V., Bodienkova G.M. Comparative assessment of neurotrophic proteins in vibration disease. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(9): 954–958. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-954-958> <https://elibrary.ru/kiqune> (In Russ.)

For correspondence: Elena V. Boklazhenko, e-mail: immun11@yandex.ru

Contribution: Boklazhenko E.V. — study concept and design, collection and processing of material, statistical processing, writing of text; Bodienkova G.M. — concept and design of research, collection and processing of material, writing of text, editing; All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The work was performed within the framework of funds allocated for the implementation of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: April 17, 2024 / Accepted: July 31, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

Одной из наиболее распространённых профессиональных патологий является вибрационная болезнь (ВБ), которая сопровождается нарушением равновесия функциональных показателей центральной и периферической нервной системы. Механические колебания способствуют возникновению оксидативного стресса, ведущего к избыточному образованию свободных радикалов, нарушающих функцию аксонов, со временем разрушается и миелиновая оболочка, что приводит к развитию периферической полинейропатии [1–3].

Важную роль в регуляции развития и функционирования центральной и периферической нервной системы играют нейротрофины — тканеспецифические белки, присутствие которых характерно для нервной ткани. Они широко представлены в нервных и глиальных клетках, в виде различных субстанций в цитоплазме, митохондриях [4]. Нейроспецифические белки участвуют в синаптической передаче, хранении и переработке поступающей в мозг информации, клеточном узнавании, рецепции, катализе, формировании высших функций головного мозга [5, 6]. К наиболее изученным нейротрофическим белкам относятся BDNF, S100 β , общий белок миелина (ОБМ).

Исследования последних лет показали, что мозговому нейротрофическому фактору (BDNF) принадлежит центральная роль в патогенезе многих неврологических расстройств [7, 8]. BDNF продуцируется в различных органах и системах, однако его основное действие проявляется в нервной системе и характеризуется преимущественно регуляцией нейрогенеза и нейропластичности [9]. Прежде считалось, что нейрогенез в головном мозге человека останавливается в постнатальном периоде, но теперь известно, что нейрогенез продолжается в течение всей жизни, ослабевая с возрастом [10, 11]. Вновь образованные нейроны в гиппокампе взрослых людей обладают высокой пластичностью и, по-видимому, играют ведущую роль в обучении, структурах формирования эмоций и консолидации запоминания, поддерживая когнитивные функции до конца жизни [12].

Не менее значимым в регуляции нервной системы является мозгоспецифический белок S100 β , обладающий нейротрофическими свойствами и способностью стимулировать дифференцировку нейробластов [13]. Этот ранний и чувствительный индикатор гипоксических повреждений мозга может применяться как прогностический критерий [14]. Ранее нами было установлено, что уровень белка S100 β отображает степень активности патологических изменений. Наглядным примером служит увеличение его концентрации с усугублением тяжести патологического процесса при воздействии на работающих химических и физических факторов [15].

Кроме того, в последние годы высокая диагностическая значимость при многих патологиях нервной системы обнаружена у ОБМ, который является одним из инициаторов процесса миелинизации [16]. Нарушение процесса мие-

линизации способствует снижению скорости проведения импульса по нервным волокнам и тем самым приводит к тяжёлому поражению ЦНС. Вибрационная болезнь также сопровождается развитием подобного состояния.

Учёные установили особенности нейрофизиологических, иммунологических нарушений при ВБ различного генеза [17]. Васильева Л.С. с соавт. отмечают, что у пациентов с ВБ, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, в отличие от пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, по нарушениям параметров соматосенсорных вызванных потенциалов отмечались более выраженные изменения на уровне шейного отдела спинного мозга и соматосенсорной зоны коры головного мозга [18]. Необходимы дальнейшие исследования нейроспецифических белков как маркёров, позволяющих обнаружить патологические сдвиги в нервной системе у работающих в условиях воздействия вибрации.

Цель исследования — выявить особенности изменений нейроспецифических белков (BDNF, S100 β , ОБМ) в сыворотке крови пациентов с ВБ различного этиогенеза для диагностики активности демиелинизирующих процессов.

Материалы и методы

В клинике ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» обследованы 40 мужчин, страдающих вибрационной болезнью, из них 20 работников с ВБ, сформировавшейся при воздействии локальной вибрации (возраст $47,34 \pm 0,88$ года, стаж $19,7 \pm 1,6$ года), и 20 пациентов с ВБ, индуцированной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации (возраст $52,9 \pm 0,38$ года, стаж $18,7 \pm 1,6$ года). В группу сравнения вошли 20 мужчин, сопоставимых по возрасту ($47,2 \pm 4,7$ года) и не работающих в условиях воздействия неблагоприятных производственных факторов.

Сывороточные концентрации мозгового нейротрофического фактора (BDNF), мозгоспецифических белков S100 β и ОБМ определяли методом иммуноферментного анализа с использованием реактивов фирмы QuantiKine Elisa (США), CanAg (Швеция) и AnshLabs (США) соответственно. Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0. При отсутствии правильного распределения использовали непараметрический метод для попарного сравнения — *U*-критерий Манна — Уитни. Различия считали статистически достоверными при уровне значимости $p < 0,05$. Результаты исследований представлены в виде значения медианы (*Me*), нижнего (Q_1) и верхнего (Q_3) квартилей. Работа не ущемляла прав и не подвергала опасности благополучие обследованных рабочих. Исследование проведено в соответствии с требованиями биомедицинской этики, утверждёнными Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (2013 г.). Исследования выполнены с информированного согласия пациентов в клинике института.

Сравнительная оценка нейротрофических белков у пациентов с профессиональной патологией, *Me* (Q_1 – Q_3)Comparative evaluation of neurotrophic proteins in patients with occupational pathology, *Me* (Q_1 – Q_3)

Показатель Indices	Пациенты с ВБ, обусловленной воздействием вибрации Patients with VD due to exposure to vibration		Группа сравнения The comparison group $n = 20$	Показатель статистической значимости Index of statistical significance p
	локальной / local $n = 20$	комбинированной / combined $n = 20$		
BDNF, пг/мл (pg/ml)	157.70 (95.50–383.40)	948.50 (223.10–9786.60)	473.80 (262.30–797.0)	$p^{1-2} = 0.003$
S100 β , нг/л (ng/L)	68.84 (47.90–108.06)	74.20 (66.30–131.88)* $^{0.04}$	63.46 (43.80–89.34)	—
ОБМ, нг/мл Total myelin protein, ng/ml	1.16 (0.69–7.71)* $^{0.03}$	1.52 (1.07–2.32)* $^{0.001}$	0.49 (0.16–0.81)	$p^{1-2} = 0.04$

Примечание. * — различия с группой сравнения статистически значимы.

Note: * — differences from comparison group are statistically significant.

Результаты

Известно, что BDNF секретируется не только нервными, но и иммунокомпетентными клетками — лимфоцитами, которые могут также синтезировать и высвобождать этот белок [19]. Ранее нами были обнаружены нарушения активационного характера в клеточном звене иммунитета у пациентов с ВБ. При этом у лиц с ВБ, индуцированной комбинированным воздействием вибрации, отмечалась более выраженная активация лимфоцитов (CD25+ и CD95+), чем у пациентов с ВБ от локальной вибрации [20]. Поэтому в развитие этого исследования было решено провести определение и сравнение концентрации BDNF у пациентов с ВБ различного этиогенеза.

В результате установлено, что уровень BDNF в сыворотке крови лиц с ВБ от комбинированного воздействия локальной и общей вибрации был выше по сравнению с группой пациентов с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации ($p < 0,003$) (см. таблицу).

Кроме того, при обследовании пациентов с ВБ от комбинированного воздействия вибрации зарегистрированы статистически значимо высокие медианные значения показателя S100 β относительно группы сравнения ($p = 0,04$). При этом достоверных различий между исследуемыми группами не было выявлено, хотя у лиц с ВБ от комбинированного воздействия локальной и общей вибрации указанный белок был несколько выше, чем у пациентов с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Оценка сывороточных концентраций ОБМ показала их повышение более чем в два раза у лиц обеих групп с ВБ относительно группы сравнения ($p = 0,03$; $p = 0,001$ соответственно). А у пациентов с ВБ от комбинированного воздействия локальной и общей вибрации концентрация указанного белка была также выше по сравнению с лицами с ВБ от локальной вибрации ($p = 0,04$).

Обсуждение

В ВБ основе лежат патологические изменения в различных отделах ЦНС. Вибрация воздействует на все ткани организма человека, но наиболее восприимчива к ней нервная ткань. Анализ содержания многофункционального нейротрофина BDNF у лиц с ВБ от комбинированного воздействия локальной и общей вибрации показал, что его уровень был выше по сравнению с группой пациентов с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации. Полученные результаты могут свидетельствовать о важной регуляторной роли BDNF, а также о его значении в развитии различных нарушений функционирования ЦНС при воздействии вибрации.

У пациентов с ВБ от комбинированного воздействия вибрации отмечены и более высокие значения показателя S100 β относительно группы сравнения. Между исследуемыми группами различий не было выявлено, хотя у лиц с ВБ от комбинированного воздействия вибрации указанный белок был несколько выше, чем у пациентов с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации. Поскольку протеины S100 β ответственны за внутри- и внеклеточное регулирование мно-

гих процессов, в том числе патологических, принимают участие в энергетическом метаболизме, а также в других жизненно важных процессах, обеспечивающих жизнеспособность клеток [21], есть основания полагать, что в нашем случае уровень белка S100 β может соответствовать выраженности патологического процесса. Наши данные отчасти согласуются с исследованиями Кирьякова В.А. и соавт. [14], установивших нарастание концентрации белка S100 β при вибрационной патологии. При этом была выявлена зависимость между его сывороточной концентрацией и тяжестью течения болезни.

Уровень ОБМ, одного из показателей разрушения миелина, был повышен в обеих группах с ВБ относительно группы сравнения. У пациентов с ВБ от комбинированного воздействия вибрации концентрация указанного белка была выше по сравнению с лицами с ВБ от локальной вибрации. Об этом в некоторой мере могут свидетельствовать зарегистрированные нами ранее [22] отрицательные зависимости между уровнями АТ к отдельным нейроспецифическим белкам, в том числе к ОБМ, и скоростью проведения импульсов по аксонам различных структур периферической нервной системы. Кроме того, у этих же пациентов с ВБ были установлены особенности регистрируемых нарушений стимуляции сенсорного и моторного компонентов ЭНМГ в дистальном отделе срединного, локтевого и большеберцового нерва, которые свидетельствовали о наличии демиелинизирующих изменений на верхних и нижних конечностях [23], что подтверждает значимость ОБМ в диагностике активности демиелинизирующих процессов при ВБ.

Заключение

Таким образом, сравнительная оценка сывороточных концентраций нейротрофических белков у пациентов с ВБ различного этиогенеза позволила выявить особенности в изменении их содержания: увеличение BDNF, белка S100 β и ОБМ при ВБ, сформировавшейся при комбинированном воздействии локальной и общей вибрации, и повышение только ОБМ при ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации относительно группы сравнения. При этом были зарегистрированы более высокие уровни BDNF и ОБМ и тенденция к нарастанию белка S100 β у пациентов с ВБ, обусловленной комбинированным воздействием, при сопоставлении с лицами, страдающими ВБ от локальной вибрации. Полученные результаты свидетельствуют о более выраженных изменениях в центральных и периферических отделах нервной системы у пациентов с ВБ, индуцированной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, что также согласуется с результатами нейробиологических исследований.

Обобщая вышесказанное, следует отметить обоснованность изучения концентрации нейроспецифических белков при ВБ, протекающей с разрушающими процессами в нервной ткани. Мониторинг изменения концентрации указанных белков в динамике патологического процесса позволит подчеркнуть их клиническое значение при ВБ, аргументировать современные диагностические критерии.

Литература (п.п. 6, 7, 10–13 см. References)

1. Бабанов С.А., Вакурова Н.В., Азовская Т.А. *Вибрационная болезнь. Оптимизация диагностических и лечебных мероприятий*. Самара: Офорт; 2012. <https://elibrary.ru/uxitut>
2. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкoderов О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 58(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> <https://elibrary.ru/yjgvad>
3. Несина И.А., Ефремов А.В., Шпагина Л.А. Состояние перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты в динамике программ восстановительного лечения у больных вибрационной болезнью. *Здравоохранение Сибири: вестник межрегиональной ассоциации*. 2004; (1): 51–53.
4. Давыдов В.В., Комаров О.С. *Биохимия нервной ткани*. М.: Белый ветер; 2018.
5. Острова И.В., Голубева Н.В., Кузовлев А.Н., Голубев А.М. Прогностическая значимость и терапевтический потенциал мозгового нейротрофического фактора BDNF при повреждении головного мозга (обзор). *Общая реаниматология*. 2019; 15(1): 70–86. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.71.27> <https://elibrary.ru/nxosii>
6. Левчук Л.А., Вялова Н.М., Михалицкая Е.В., Семкина А.А., Иванова С.А. Роль BDNF в патогенезе неврологических и психических расстройств. *Современные проблемы науки и образования*. 2018; (6): 58. <https://elibrary.ru/vsuprg>
7. Швайковская А.А., Жанаева С.Я., Евсюкова А.В., Тихонова М.А., Даниленко К.В., Афтanas Л.И. Нейротрофический фактор мозга (BDNF) и его диагностическая значимость при измерении в крови: аналитический обзор. *Якутский медицинский журнал*. 2020; (3): 105–10. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.71.27> <https://elibrary.ru/nxosii>
8. Кирьяков В.А., Ошкoderов О.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И. Влияние вибрации на изменение содержания белка S100β в периферической крови у горнорабочих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2014; (8): 26–9. <https://elibrary.ru/slscqj>
9. Боденкова Г.М., Боклаженко Е.В. Сравнительная оценка эндогенного белка S-100β при воздействии химических и физических факторов в клинике и эксперименте. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2011; (3–2): 140–3. <https://elibrary.ru/onwkbj>
10. Астахин А.В., Евлашева О.О., Левитан Б.Н. Клиническое и диагностическое значение основного белка миелина и нейронспецифической енолазы в медицинской практике. *Астраханский медицинский журнал*. 2016; 11(4): 9–17. <https://elibrary.ru/yfnzww>
11. Боклаженко Е.В., Боденкова Г.М., Шевченко О.И. Оценка иммунологических показателей и уровня постоянного потенциала головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(7): 455–61. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-455-461> <https://elibrary.ru/erfdgi>
12. Васильева Л.С., Русанова Д.В., Сливницына Н.В., Лакхман О.Л. Особенности поражения нервной системы, выявляемые при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1073–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078> <https://elibrary.ru/jjdcpi>
13. Сутормина Н.В. Роль нейротрофического фактора мозга (BDNF) в физической активности (Обзор). *Комплексные исследования детства*. 2022; 4(2): 124–33. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-124-133>
14. Курчевенко С.И., Боденкова Г.М. Экспрессия поверхностных маркеров CD25 и CD95 на лимфоцитах периферической крови у пациентов с вибрационной болезнью. *Acta Biomedica Scientifica*. 2020; 5(2): 24–7. <https://doi.org/10.29413/ABS.2020-5.2.4> <https://elibrary.ru/fhrcwo>
15. Сорокина Е.Г., Семенова Ж.Б., Гранстрем О.К., Карасева О.В., Мешчеряков С.В., Реутов В.П. и др. Белок S-100B и аутоантитела к нему в диагностике повреждений мозга при черепно-мозговых травмах у детей. *Журнал неврологии и психиатрии им. Корсакова*. 2010; 110(8): 30–5. <https://elibrary.ru/nqzost>
16. Боденкова Г.М., Курчевенко С.И., Русанова Д.В. Нейроаутоиммунные процессы при вибрационной болезни. *Нейрохимия*. 2018; 35(3): 269–74. <https://doi.org/10.1134/S1027813318030020> <https://elibrary.ru/xwoezn>
17. Русанова Д.В., Сливницына Н.В., Васильева Л.В., Лакхман А.Л. Определение функционального состояния периферической нервной системы у пациентов с вибрационной болезнью по показателям электро-нейромиографии. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1119–23. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-10-1119-1123> <https://elibrary.ru/axgepk>

References

1. Babanov S.A., Vakurova N.V., Azovskova T.A. *Vibration Disease. Optimization of Diagnostic and Therapeutic Measures [Vibratsionnaya bolezn'. Optimizatsiya diagnosticheskikh i lechebnykh meropriyatiy]*. Samara: Ofort; 2012. <https://elibrary.ru/uxitut> (in Russian)
2. Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Impact of occupational vibration on molecular and cell level of human body. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; 58(9): 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> <https://elibrary.ru/yjgvad> (in Russian)
3. Nesina I.A., Efremov A.V., Shpagina L.A. Lipid peroxidation and antioxidant protection in patients with vibration disease during different terms of post contact period. *Zdravookhranenie Sibiri: vestnik mezhtsegoional'noi assotsiatsii*. 2004; (1): 51–3. (in Russian)
4. Davydov V.V., Komarov O.S. *Biochemistry of Nervous Tissue [Biokhimiya nervnoi tkani]*. Moscow: Belyi veter; 2018. (in Russian)
5. Ostrova I.V., Golubeva N.V., Kuzovlev A.N., Golubev A.M. Prognostic value and therapeutic potential of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in brain injuries (review). *Obshchaya reanimatologiya*. 2019; 15(1): 70–86. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.71.27> <https://elibrary.ru/nxosii> (in Russian)
6. Barde Y.A., Edgar D., Thoenen H. Purification of a new neurotrophic factor from mammalian brain. *EMBO J*. 1982; 1(5): 549–53. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1982.tb01207.x>
7. Hing B., Sathyaiputri L., Potash J.B. A comprehensive review of genetic and epigenetic mechanisms that regulate BDNF expression and function with relevance to major depressive disorder. *Am. J. Med. Genet. B. Neuropsychiatr. Genet.* 2018; 177(2): 143–67. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32616>
8. Levchuk L.A., Vyalova N.M., Mikhalitskaya E.V., Semkina A.A., Ivanova S.A. The role of BDNF in the pathogenesis of neurological and mental disorders. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2018; (6): 58. <https://elibrary.ru/vsuprg> (in Russian)
9. Shvaikovskaya A.A., Zhanaeva S.Ya., Evsyukova A.V., Tikhonova M.A., Danilenko K.V., Aftanas L.I. Brain neurotrophic factor (BDNF) and its diagnostic significance when measured in blood: analytical review. *Yakutskii meditsinskii zhurnal*. 2020; (3): 105–10. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2020.71.27> <https://elibrary.ru/nxosii> (in Russian)
10. DeCarolis N.A., Kirby E.D., Wyss-Coray T., Palmer T.D. The role of the microenvironmental niche in declining stem-cell functions associated with biological aging. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 2015; 5(12): a025874. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a025874>
11. Lima S.M.A., Gomes-Leal W. Neurogenesis in the hippocampus of adult humans: controversy “fixed” at last. *Neural. Regen. Res.* 2019; 14(11): 1917–8. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.259616>
12. Boldrini M., Fulmore C.A., Tartt A.N., Simeon L.R., Pavlova I., Poposka V., et al. Human hippocampal neurogenesis persists throughout aging. *Cell Stem. Cell*. 2018; 22(4): 589–99.e5. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2018.03.015>
13. Kukacka J., Vajtr D., Huska D., Průša R., Houstava L., Samal F., et al. Blood metallothionein, neuron specific enolase, and protein S100B in patients with traumatic brain injury. *Neuro Endocrinol. Lett.* 2006; 27(Suppl. 2): 116–20.
14. Kir'yakov V.A., Oshkoderov O.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I. Influence of vibration on changes in S100B protein content of peripheral blood in miners. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2014; (8): 26–9. <https://elibrary.ru/slscqj> (in Russian)
15. Bodienkova G.M., Boklachenko E.V. Comparative assessment of protein S-100β in employees exposed to different physical and chemical factors. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2011; (3–2): 140–3. <https://elibrary.ru/onwkbj> (in Russian)
16. Astakhin A.V., Evlasheva O.O., Levitan B.N. Clinical and diagnostic value of myelin basic protein and neuron specific enolase in medical practice. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal*. 2016; 11(4): 9–17. <https://elibrary.ru/yfnzww> (in Russian)
17. Boklachenko E.V., Bodienkova G.M., Shevchenko O.I. Assessment of the immunological parameters and dc-potential level in patients with vibration disease. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(7): 455–61. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-455-461> <https://elibrary.ru/erfdgi> (in Russian)
18. Vasil'eva L.S., Rusanova D.V., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Features of the nervous system damage in the registration of somatosensory-evoked potentials in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(10): 1073–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078> <https://elibrary.ru/jjdcpi> (in Russian)
19. Sutormina N.V. Brain-derived neurotrophic factor and physical activity: a review. *Kompleksnye issledovaniya detstva*. 2022; 4(2): 124–33. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2022-4-2-124-133> (in Russian)
20. Kurchevenco S.I., Bodienkova G.M. Expression of CD25+ and CD95+ surface markers on peripheral blood lymphocytes in patients with vibration disease. *Acta Biomedica Scientifica*. 2020; 5(2): 24–7. <https://doi.org/10.29413/ABS.2020-5.2.4> <https://elibrary.ru/fhrcwo> (in Russian)
21. Sorokina E.G., Semenova Zh.B., Granstrom O.K., Karaseva O.V., Meshcheryakov S.V., Reutov V.P., et al. S100B protein and autoantibodies to S100B protein in diagnostics of brain damage in craniocerebral trauma in children. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. Korsakova*. 2010; 110(8): 30–5. <https://elibrary.ru/nqzost> (in Russian)
22. Bodienkova G.M., Kurchevenco S.I., Rusanova D.V. Neuroautoimmune processes in vibration disease. *Neirokhimiya*. 2018; 35(3): 269–74. <https://doi.org/10.1134/S1027813318030020> <https://elibrary.ru/xwoezn> (in Russian)
23. Rusanova D.V., Slivnitsyna N.V., Vasil'eva L.V., Lakhman A.L. Determination of the functional state of the peripheral nervous system in patients with vibration disease by electroneurography indices. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1119–23. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-10-1119-1123> <https://elibrary.ru/axgepk> (in Russian)

Сведения об авторах

Боклаженко Елена Валерьевна, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. иммуно-биохимических и молекулярно-генетических исследований в гигиене ФГБНУ ВСИМЭИ, 665826, Ангарск-26, Россия. E-mail: immun11@yandex.ru

Бодиевкова Галина Михайловна, доктор мед. наук, профессор, зав. лаб. иммуно-биохимических и молекулярно-генетических исследований в гигиене ФГБНУ ВСИМЭИ, 665826, Ангарск-26, Россия; профессор каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «ИрНТУ»

Information about the authors

Elena V. Boklazhenko, MD, PhD, senior researcher, Laboratory of Immuno-Biochemical and Molecular Genetic Research in Hygiene, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research., Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2025-8303> E-mail: immun11@yandex.ru

Galina M. Bodienkova, MD, PhD, DSci., professor, head of the Laboratory of Immuno-Biochemical and Molecular Genetic Research in Hygiene, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation; Professor, Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0428-3063>