

Эффективный комплекс реабилитации нарушений когнитивных функций после инфаркта головного мозга

С.Н. Шилов[✉], Е.А. Черенёва, О.Л. Беляева, А.В. Жарова

Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева,
Красноярск, Россия

[✉]shiloff.serg@yandex.ru

Аннотация

Обоснование. Необходимость разработки новых методов и внедрения новых технологий в процесс психофизиологической и социальной реабилитации с целью совершенствования комплексных методов восстановления и укрепления когнитивной сферы пожилых лиц обусловлена меняющимися социокультурными условиями их жизнедеятельности. **Цель:** оценить эффективность комплекса реабилитации когнитивных нарушений у пожилых пациентов после инфаркта головного мозга. **Материалы и методы.** Предложен авторский способ реабилитации пациентов пожилого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга, где дополнением к ежедневному комплексу лечебно-реабилитационных мероприятий являются дыхательные нормобарические дозированные гипоксически-гиперкапнические тренировки. Длительность тренировок – 30 дней, по 20 минут с концентрацией газов: CO₂ – 7 %, O₂ – 14 %. **Результаты.** Расширенный комплекс реабилитации включает ежедневное проведение лечебно-реабилитационных мероприятий, с дополнительными ежедневными дыхательными нормобарическими гипоксически-гиперкаптическими тренировками с помощью дыхательного тренажера. Приводится персонализированный вариант расширенного комплекса реабилитации, иллюстрирующий эффективность его применения у пациентов пожилого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга. **Заключение.** Применение гипоксически-гиперкаптических дыхательных нагрузок создает адекватную нейрофизиологическую основу для сохранения когнитивных функций (речи, памяти, внимания и др.) вследствие улучшения кровообращения мозга и его метаболизма.

Ключевые слова: когнитивные нарушения, реабилитация, пожилые люди, инфаркт головного мозга, нейроэнергометаболизм

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Эффективный комплекс реабилитации нарушений когнитивных функций после инфаркта головного мозга / С.Н. Шилов, Е.А. Черенёва, О.Л. Беляева, А.В. Жарова // Психология. Психофизиология. 2025. Т. 18, № 1. С. 98–104. DOI: 10.14529/jpps250109

Original article
DOI: 10.14529/jpps250109

An integrated rehabilitation approach for cognitive impairments following cerebral infarction

S.N. Shilov[✉], E.A. Chereneva, O.L. Belyaeva, A.V. Zharova

Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, Krasnoyarsk, Russia

[✉]shiloff.serg@yandex.ru

Abstract

Introduction. The evolving social and cultural landscape necessitates the development of innovative rehabilitation methods to enhance cognitive recovery in elderly patients following cerebral infarction. **Aims:** to evaluate the efficacy of novel rehabilitation methods to enhance cognitive recovery in elderly

patients following cerebral infarction. **Materials and methods.** The authors propose a rehabilitation protocol supplementing standard therapeutic measures with daily exercise sessions in hypoxic-hypercapnic settings (20 min/session, 30 days, gas concentrations: CO₂ – 7%, O₂ – 14%). **Results.** The proposed integrative rehabilitation program, combining standard therapeutic measures with daily exercise sessions in hypoxic-hypercapnic settings, is a promising approach for cognitive rehabilitation in elderly patients following cerebral infarction. A personalized protocol proved particularly effective in addressing individual patient needs. **Conclusion.** The proposed integrative rehabilitation program established an appropriate foundation for preserving cognitive functions, including speech, memory, attention, and other domains, by enhancing cerebral circulation and metabolic activity in the brain.

Keywords: cognitive impairment, rehabilitation, elderly, cerebral infarction, metabolism

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Shilov S.N., Cherenева E.A., Belyaeva O.L., Zharova A.V. An integrated rehabilitation approach for cognitive impairments following cerebral infarction. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology*. 2025;18(1):98–104. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps250109

Введение. Необходимость разработки новых методов и внедрения новых технологий в процесс психофизиологической и социальной реабилитации с целью совершенствования комплексных методов восстановления и укрепления когнитивной сферы пожилых лиц обусловлена меняющимися социокультурными условиями их жизнедеятельности [1]. Определение подходов к разработке программ реабилитации когнитивных функций для людей пожилого возраста в условиях лечения в стационарном отделении задает вектор и сущность новой стратегии комплексной реабилитации. Своевременное осуществление комплексных реабилитационных мероприятий в отношении состояния уровня когнитивных функций у людей пожилого возраста повышает их уровень адаптации и качество жизни, расширяет навыки применения информационного и энергетического ресурса для достижения социальной и духовной самореализации [2].

Важнейшей медико-социальной проблемой как в нашей стране, так и во всем мире являются цереброваскулярные заболевания, что связано с высокой распространенностью этой патологии в популяции населения пожилого возраста. Хорошо известно, что в списке причин смерти после инфаркта миокарда и онкологических заболеваний занимает инсульт. Показано, что среди пациентов, перенесших инсульт, только у 20 % лиц полностью восстанавливается работоспособность [3]. Существенный вклад в утрату трудоспособности пациентов после инсульта вносят когнитивные нарушения, которым в последние годы уделяют все больше внимания [4]. Между тем нарушения различных высших мозговых функций являются закономерным симптомом очагового

поражения головного мозга. Вероятность развития постинсультных когнитивных нарушений зависит от имеющегося у пациента «церебрального резерва», в основе которого заложена способность компенсировать неврологический дефицит посредством формирования новых нейронных связей [5]. Обоснованы высокий уровень наследуемости когнитивных способностей и генетических основ вариабельности когнитивных функций у людей пожилого возраста как в норме, так и у пациентов с их нарушениями. Разработан метод мультиплексного генотипирования полиморфных маркеров генов, ассоциированных с когнитивными способностями испытуемых, по данным полногеномного анализа ассоциаций [6]. Декомпенсация микроваскулярной патологии, возникающая в момент инфаркта, усугубляет имеющуюся у пациента хроническую мозговую гипоксию, приводит к снижению метаболизма и нарушению работы митохондрий, что может запустить вторичный нейродегенеративный процесс и активизировать гибель нейронов головного мозга [5].

Серьезность проблемы восстановления утраченных функций после инсульта и высокая стоимость реабилитационного оборудования при его невысокой эффективности обуславливают актуальность поиска новых методов реабилитации. С учетом большого опыта гипоксических, гиперкапнических, а также их сочетанных воздействий на человека одним из возможных вариантов для комплексного лечения и реабилитации после инсульта может стать метод гипоксически-гиперкапнических тренировок [7]. Гипоксически-гиперкапническая тренировка – это метод, основанный на стимулирующем и адаптирующем действии

дыхания газовой смесью с уменьшенным содержанием кислорода и повышенным содержанием углекислого газа. Гипоксия и гиперкапния в медико-биологических системах крайне редко встречаются в изолированных друг от друга формах, поэтому они рассматриваются в медицинской практике и как важнейшие звенья патогенеза сердечно-сосудистых, дыхательных и неврологических заболеваний¹, и как перспективные средства профилактики и лечения этих патологий². Эффективность гипоксически-гиперкапнической тренировки показана в реабилитации ишемического повреждения головного мозга в эксперименте [8].

Организация и методы

Нами использована авторская схема проведения реабилитации пациентов пожилого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга (патент № 2821780), включающая проведение ежедневного комплекса лечебно-реабилитационных мероприятий, дополненная проведением ежедневных дыхательных нормобарических дозированных гипоксически-гиперкапнических тренировок (ГТТ) с помощью дыхательного тренажера «Карбоник». Тренировки проводятся в одно и то же время один раз в день в один подход по 20 минут, при этом концентрация газов в альвеолярном воздухе составляет: CO_2 – 7 %, O_2 – 14 %. Продолжительность курса ГТТ составляет 30 дней, так как увеличение количества тренировок не приводит к значимому нарастанию положительного эффекта. Комплекс тренировок реализуется в ходе этапов.

Первый этап включает анализ медицинской документации пациента пожилого возраста, тщательное психологическое и логопедическое обследование, оценку биоэлектриче-

ской активности центров головного мозга по уровню устойчивых сверхмедленных потенциалов (омегаметрия) [5] и нейроэнергетического картирования (НЭК) [9–12].

Второй этап включает обучение пациента дыханию с помощью дыхательного аппарата «Карбоник». У пациентов предварительно регистрируют частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), напряжение кислорода (SPO_2). Пациенту предлагают дышать через дыхательный аппарат, поместив загубник в рот и закрыв носовой проход специальным фиксатором, инструктируют, что дыхание должно быть плавным, ритмичным. Врач следит за правильностью дыхания и самочувствием пациента. После пяти минут тренировки у пациента повторно измеряют АД и ЧСС и сравнивают с фоновыми показателями, зарегистрированными до тренировки. В норме АД в процессе тренировки должно увеличиваться не более чем на 20 % и не превышать 150/100 мм рт. ст., а ЧСС – не более чем на 30 % и не превышать 110 уд./мин. Если параметры указанных показателей у пациентов не превышают должных пределов, продолжительность тренировки устанавливается в 20 минут. Параллельно пациенты проходят курс медицинской реабилитации, включающий эрготерапию, лечебную физкультуру, физиотерапию, сосудистую и нейропротекторную терапию³.

Эффективность описанного выше расширенного комплекса реабилитации больных пожилого возраста с инфарктом головного мозга в отношении риска развития когнитивной недостаточности далее проиллюстрирована на конкретном примере

Пациент П., 1950 года рождения. Ишемический атеротромботический инсульт в бассейне правой средней мозговой артерии, ранний восстановительный период. Левосторонний гемипарез, дизартрия. Анамнез: месяц назад поступил в отделение неврологии с жалобами на нарушение речи, слабость в левых конечностях. По результатам спиральной компьютерной томографии головного мозга

¹ Гиперкапническая гипоксия в профилактике ишемического повреждения головного мозга / А.Г. Беспалов, П.П. Трегуб, И.С. Осипов, А.Ю. Введенский // Материалы съезда, под ред. Л.И. Афтанаса, В.А. Труфакина, В.Т. Манчука, И.П. Артюхова. Красноярск. 2019. С. 58–59;

Нарушения кровообращения в головном и спинном мозге / И.В. Дамулин, В.А. Парфенов, А.А. Скородец и др. // Болезни нервной системы. Руководство для врачей / под ред. Н.Н. Яхно. М. 2005. С. 231–302.

² Калининский Д.П. Когнитивные расстройства у больных в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Владивосток: Тихоокеанский ГМУ. 2018. 26 с.

³ Патент № 2821780 С1 Российская Федерация, МПК А61М 16/00. Способ реабилитации пациентов пожилого и старческого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга: № 2023113927: заявл. 29.05.2023; опубл. 26.06.2024 / С.Н. Шилов, Е.А. Черенева, С.В. Дутова, Н.В. Никифорова; заявитель ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова».

был выявлен очаг ишемии в базальных ядрах правого полушария головного мозга размера-ми 19/13/24 мм.

По результатам исследования нейроэнергетического картирования (НЭК) и омегаметрии было выявлено, что пациент имеет выраженные изменения церебрального энергетического метаболизма, что сопровождается нарушениями функций памяти, внимания и речи.

Согласно описанному авторскому способу реабилитации пациентов пожилого и старческого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга (патент № 2821780) проводили гипоксически-гиперкапнические тренировки (ГГТ) с помощью дыхательного тренажера «Карбоник». Также согласно протоколу лечения проводились реабилитационные мероприятия в стационаре в течение 14 дней. Далее пациент тренировался самостоятельно с помощью дыхательного тренажера.

После 30 тренировок контрольные значения омегаметрии значительно отличались от начальных. Показатели свидетельствовали о значимом улучшении мозговой активности, росте уровня работоспособности, улучшении межполушарного взаимодействия.

Результаты НЭК после дыхательных тренировок указывали на дилатационную реакцию сосудов мозга, оптимизацию нейроэнергетического обмена, в том числе и в зонах головного мозга, участвующих в обеспечении когнитивных функций (память, внимание, речь).

По данным психологического тестирования наблюдались положительные изменения в результатах когнитивных функций на скорость, объем, концентрацию внимания, оперативную и долговременную память. В комплексных тестах Mini-экзамен психического состояния (MMSE) оценки когнитивных нарушений (MoCA) увеличилось количество

правильных ответов, балльная оценка тестов приблизилась к нормативным показателям здоровых людей (см. таблицу).

Логопедическое обследование через три месяца после реабилитации пациента по комплексной авторской методике показало: улучшение прямого и обратного счета на 20 % выше, улучшение серийного вычитания по 7 (на 10 %), повторение фразы (на 17 % меньше ошибок), улучшение отсроченного воспроизведения (на 13 % меньше ошибок), звукопроизношения (на 20 %), улучшение темпа и ритма речи (на 30 %), по сравнению с пациентами, не проходившими гипоксически-гиперкапнических тренировок.

Обсуждение результатов

Применение гипоксически-гиперкапнических дыхательных нагрузок создает адекватную нейрофизиологическую основу для сохранения когнитивных функций (речи, памяти, внимания и др.) вследствие улучшения кровообращения мозга и его метаболизма за счет падения тонуса артерий, раскрытия резервных капилляров, усиления синаптогенеза и роста митохондриальной массы. Проведение тренировок способствует развитию нейропротекторных эффектов [13, 14]. ИГГТ способствуют улучшению показателей функционального состояния системы кровообращения: снижению частоты сердечных сокращений, нормализации уровня систолического и диастолического давления, росту содержания кислорода в артериальной крови. Курс ИГ и ИГГТ вызывает улучшение функционального состояния бронхолегочной системы, увеличение легочных объемов, уменьшение бронхоконстрикции. В ряде исследований отмечено восстановление параметров, характеризующих активность регуляторных систем. Показано, что корректное

Таблица
Table

Результаты когнитивных тестов у пациента 74 лет до и после курса дыхательных гипоксически-гиперкапнических тренировок
Cognitive test results in a 74-year-old patient before and after exercise sessions in hypoxic-hypercapnic settings

Шкала Scale	До курса Before treatment	После курса After treatment
MMSE, балл/score	27,4	30,4
MoCA, балл/score	24,5	26,9
Тест рисования часов, балл Clock drawing test, score	8,2	9,9
Таблица Шульте, с Schulte table, sec	117,5	78,0
Запоминание 10 слов, кол-во Ten-words recall test, number of words	5,6	7,7

применение ИГ у ЛСВГ может вызвать улучшение когнитивных функций, способствует повышению функциональных резервов и качества жизни. Наиболее изученным механизмом влияния ИГ на организм человека является стабилизация индуцируемого гипоксией фактора (HIF-1 α), приводящая к экспрессии генов, способствующих реализации адаптационных возможностей клеток и тканей к гипоксии⁴.

Заключение

Авторский комплекс реабилитации пациентов пожилого возраста с когнитивными нарушениями после инфаркта головного мозга, включающий проведение лечебно-реабилитационных мероприятий с дополнительными ежедневными дыхательными нормобариче-

скими гипоксически-гиперкапническими тренировками с помощью дыхательного тренажера, иллюстрирует эффективность его применения. Результаты НЭК после дыхательных тренировок указывали на дилатационную реакцию сосудов мозга, оптимизацию нейроэнергообмена, в том числе и в зонах головного мозга, участвующих в обеспечении когнитивных функций (память, внимание, речь). По данным психологического тестирования наблюдались положительные изменения в результатах когнитивных функций в пробах на скорость, объем, концентрацию внимания, оперативную и долговременную память. Через 3 месяца после реабилитации пациента по комплексной авторской методике было зарегистрировано улучшение показателей логопедических тестов: прямого и обратного счета, улучшение серийного вычитания, повторения фразы, улучшение отсроченного воспроизведения, звукопроизношения, темпа и ритма речи по сравнению с пациентами, не проходившими гипоксически-гиперкапнических тренировок.

⁴ Королева М.В. Опыт использования комплексной программы улучшения когнитивных функций для пожилых людей в рамках занятий «Московское долголетие» // Современные технологии сохранения здоровья населения РФ (08–09 апреля 2024 г.). М.: ООО «БОС», 2024. С. 82.

Список источников

1. Ефремова Д.Н. Дистанционные технологии реабилитации когнитивных функций людей пожилого возраста // Современная терапия в психиатрии и неврологии. 2019. № 3-4. С. 16–21.
2. Ефремова Д.Н. Современные подходы к разработке программ реабилитации когнитивных функций для людей пожилого возраста в условиях лечения в центре неврологии с восстановительным лечением // Медицинский алфавит. 2018. Т. 3, № 32(369). С. 40–41.
3. Campochiaro P.A. Molecular pathogenesis of retinal and choroidal vascular diseases // Progress in Retinal and Eye Research. 2015. Vol. 49. P. 67–81. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.06.002
4. Intermittent hypoxia and hypercapnia induce pulmonary artery atherosclerosis and ventricular dysfunction in low density lipoprotein receptor deficient mice / R.M. Douglas, K. Bowden, J. Pattison et al. // Journal of Applied Physiology. 2013. Vol. 115(11). P. 1694–704. DOI: 10.1152/jappphysiol.00442.2013.
5. Cardiorespiratory responses to hypoxia and hypercapnia at rest in vocalists / M. Miyamura, K. Ishida, K. Katayama et al. // The Japanese Journal of Physiology. 2003. Vol. 53(1). P. 17–24. DOI: 10.2170/jjphysiol.53.17.
6. Разработка метода мультиплексного генотипирования полиморфных маркеров генов, ассоциированных с когнитивными способностями / К.В. Вагайцева, А.В. Бочарова, А.В. Марусин и др. // Генетика. 2018. Т. 54, № 6. С. 719–726. DOI: 10.7868/S0016675818060139
7. Гиперкапнически-гипоксические дыхательные тренировки как потенциальный способ реабилитационного лечения пациентов, перенесших инсульт / Т.М. Алексеева, П.Д. Ковзелев, М.П. Топузова и др. // Артериальная гипертензия. 2019. Т. 25, № 2. С. 134–142. DOI: 10.18705/1607-419X-2019-25-2-134-142
8. Мурик С.Э. Омегоэлектронцефалография: становление нового метода, диагностические возможности // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 26. С. 69–85. DOI: 10.26516/2073-3372.2018.26.69
9. Грибанов А.В., Депутат И.С. Распределение уровня постоянного потенциала головного мозга у пожилых женщин в циркумполярных условиях // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 3. С. 134–136. DOI: 10.7868/S0131164615030066

10. Wilson M.H., Imray C.H. The cerebral venous system and hypoxia // *Journal of Applied Physiology*. 2016. Vol. 120(2). P. 244–250. DOI: 10.1152/jappphysiol.00327.2015
11. Back S.A. Brain Injury in the Preterm Infant: New Horizons for Pathogenesis and Prevention // *Pediatric Neurology*. 2015. Vol. 53, № 3. P. 185–192.
12. Куликов В.П., Беспалов А.Г., Якушев Н.Н. Эффективность тренировок с гиперкапнической гипоксией в реабилитации ишемического повреждения головного мозга в эксперименте // *Вестник восстановительной медицины*. 2008. № 2. С. 59–61.
13. Агаджанян Н.А., Степанов О.Г., Архипенко Ю.В. Адаптация к гипоксии как метод лечения и профилактики поражений слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2001. Т. 132, № 9. С. 358–360.
14. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор. 2003. 288 с.

Поступила 15.11.2024; одобрена после рецензирования 23.01.2025; принята к публикации 03.02.2025.

Информация об авторах

Шилов Сергей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры коррекционной педагогики, Институт социально-гуманитарных технологий, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева (Россия, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9132-6652>, e-mail: shiloff.serg@yandex.ru

Черенёва Елена Александровна, доктор психологических наук, заведующий кафедрой специальной психологии, Институт социально-гуманитарных технологий, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева (Россия, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2738-7201>, e-mail: elen_korn@bk.ru

Беляева Ольга Леонидовна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой коррекционной педагогики, Институт социально-гуманитарных технологий, Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева (Россия, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4037-5731>; e-mail: oliyass@mail.ru

Жарова Анастасия Владимировна, старший преподаватель кафедры коррекционной педагогики, Институт социально-гуманитарных технологий, Красноярский государственный педагогический университет, им. В.П. Астафьева (Россия, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3789-7125>; e-mail: zharova.nastya92@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Авторы внесли равноценный вклад в работу.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

1. Efremova D.N. Remote technologies of rehabilitation of cognitive functions of elderly people. *Sovremennaya terapiya v psikiatrii i nevrologii = Modern therapy in psychiatry and neurology*. 2019;3-4:16–21. (in Russ.).
2. Efremova D.N. Modern approaches to development of programs for rehabilitation of cognitive functions for elderly in conditions of treatment in centre of neurology with rehabilitation treatment. *Meditsinskii alfavit = Medical alphabet*. 2018;3(32):40–41. (in Russ.).
3. Campochiaro P.A. Molecular pathogenesis of retinal and choroidal vascular diseases. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2015;49:67–81. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.06.002
4. Douglas R.M., Bowden K., Pattison J. et al. Intermittent hypoxia and hypercapnia induce pulmonary artery atherosclerosis and ventricular dysfunction in low density lipoprotein receptor deficient mice. *Journal of Applied Physiology*. 2013;115(11):1694–704. DOI: 10.1152/jappphysiol.00442.2013.
5. Miyamura M., Ishida K., Katayama K. et al. Cardiorespiratory responses to hypoxia and hypercapnia at rest in vocalists. *The Japanese Journal of Physiology*. 2003;53(1):17–24. DOI: 10.2170/jjphysiol.53.17.

6. Vagaytseva K.V., Bocharova A.V., Marusin A.V. et al. Development of Multiplex Genotyping Method of Polymorphic Markers of Genes Associated with Cognitive Abilities. *Genetika = Genetics*. 2018;54(6):719–726. (in Russ.). DOI: 10.7868/S0016675818060139
7. Alekseeva T.M., Kovzelev P.D., Topuzova M.P. Hypercapnic-hypoxic respiratory training as a method of post-conditioning in stroke survivors. *Arterialnaya gipertenziya = Arterial Hypertension*. 2019;25(2):134–142. (in Russ.) DOI: 10.18705/1607-419X-2019-25-2-134-142
8. Murik S.E. Omegaelectroencephalography: Formation History and Diagnostic Capabilities of the New Method in Electrophysiology. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya. Ekologiya = The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*. 2018;26:69–85. (in Russ.). DOI: 10.26516/2073-3372.2018.26.69
9. Gribanov A.V., Deputat I.S. The DC Potential of the Brain in Older Women Circumpolar Region. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2015;41(3):134–136. (in Russ.). DOI: 10.7868/S0131164615030066
10. Wilson M.H., Imray C.H. The cerebral venous system and hypoxia. *Journal of Applied Physiology*. 2016;120(2):244–250. DOI: 10.1152/japplphysiol.00327.2015
11. Back SA. Brain Injury in the Preterm Infant: New Horizons for Pathogenesis and Prevention. *Pediatric Neurology*. 2015;53(3):185–192. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2015.04.006
12. Kulikov V.P., Bepalov A.G., Yakushev N.N. Effectiveness of training with hypercapnic hypoxia in the rehabilitation of ischemic brain damage in an experiment. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny = Bulletin of Restorative Medicine*. 2008;2:59–61. (in Russ.).
13. Aghajanyan N.A., Stepanov O.G., Arkhipenko Yu.V. Adaptation to hypoxia as a method of treatment and prevention of lesions of the gastric and duodenal mucosa. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny = Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2001;132(9):358–360. (in Russ.).
14. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energeticheskaya fiziologiya mozga* [Energy physiology of the brain]. Moscow. Antidor Publ. 2003:288. (in Russ.).

Submitted 15.11.2024; approved after reviewing 23.01.2025; accepted for publication 03.02.2024.

About the authors

Sergey N. Shilov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Correctional Pedagogy, Institute of Social and Humanitarian Technologies, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (89 Ada Lebedeva St., Krasnoyarsk, 660049, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9132-6652>, e-mail: shiloff.serg@yandex.ru

Elena A. Chereneva, Doctor of Psychological Sciences, Head of the Department of Special Psychology, Institute of Social and Humanitarian Technologies, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (89 Ada Lebedeva St., Krasnoyarsk, 660049, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2738-7201>, e-mail: elen_korn@bk.ru

Olga L. Belyaeva, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Correctional Pedagogy, Institute of Social and Humanitarian Technologies, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (89 Ada Lebedeva St., Krasnoyarsk, 660049, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4037-5731>; e-mail: oliyass@mail.ru

Anastasia V. Zharova, Senior Lecturer, Department of Correctional Pedagogy, Institute of Social and Humanitarian Technologies, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (89 Ada Lebedeva St., Krasnoyarsk, 660049, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3789-7125>; e-mail: zharova.nastya92@mail.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

All authors have read and approved the final manuscript.