

# АКТИВНОСТЬ РЕГУЛЯТОРНЫХ СТРУКТУР МОЗГА ПРИ БОЕВОЙ ТРАВМЕ И ТРАВМЕ МИРНОГО ВРЕМЕНИ

Олеся Евгеньевна Гурская<sup>1</sup>, Евгений Викторович Ивченко<sup>2</sup>, Максим Юрьевич Кабанов<sup>3</sup>, Василий Николаевич Цыган<sup>4</sup>, Анна Андреевна Разинова<sup>5</sup>, Альбина Геннадьевна Джиоева<sup>6</sup>, Никита Вячеславович Макеев<sup>7</sup>, Елена Владимировна Попова<sup>8</sup>

<sup>1,2,4,5,6,7,8</sup>Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Госпиталь для ветеранов войн, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>gurskaya\_olesya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6804-4670>

<sup>2</sup>gniiivm\_2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5582-1111>

<sup>3</sup>maksabanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9901-8520>

<sup>4</sup>vn-t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1199-0911>

<sup>5</sup>annichok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8043-1326>

<sup>6</sup>alya.dzhioeva.96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8358-4735>

<sup>7</sup>nic1698@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9570-3616>

<sup>8</sup>elena-ppf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7682-1583>

**Аннотация.** Активация регуляторных систем организма обеспечивает адаптацию к воздействию патогенных факторов. Затяжной характер воздействия экстремальных факторов в ходе боевых действий может привести к формированию очага патологически усиленного возбуждения в центральной нервной системе. Цель – сравнительная оценка напряженности центральных регуляторных структур у пострадавших с боевой травмой и травмой мирного времени в остром периоде для разработки критериев индикации выраженности функциональных расстройств центральной нервной системы и патогенетического лечения. Обследовано 20 военнослужащих, получивших минно-взрывную травму в результате боевых действий, 20 пострадавших с бытовой травмой, 20 здоровых испытуемых мужчин. Использовали нейрофизиологические и ультразвуковые методы исследования для оценки функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем: электроэнцефалографию с количественным анализом, транскраниальную доплерографию с функциональными пробами, электрокардиографию с оценкой вариабельности сердечного ритма. Оценивали индекс спектральной мощности ритмов в альфа/тета-диапазонах; индексы спектральной мощности сердечного ритма (показатель вагосимпатического баланса; индекс централизации; индекс активации подкорковых структур), показатели вазодилатации/вазоконстрикции, отражающие реактивность мозговых сосудов на пробы с гипер/гипокапнией. Выявлены следующие статистически значимые различия между травмой мирного и военного времени: снижение резервов вазодилатации на гиперкапнию, а в ряде случаев – их отсутствие при боевой травме; повышение индексов централизации и активации подкорковых структур при боевой травме; снижение индекса спектральной мощности ритмов в альфа/тета-диапазонах за счет повышения мощности тета-диапазона при боевой травме. На основе данного комплекса показателей разработана шкала количественной оценки степени напряженности регуляторных подкорковых структур в баллах для раннего выявления больных с избыточной активацией центрального регуляторного контура, ведущей к дезадаптации и неблагоприятному течению посттравматического периода.

**Ключевые слова:** боевая травма, центральный регуляторный контур, последствия черепно-мозговой травмы, вариабельность сердечного ритма, индекс централизации, спектральный анализ электроэнцефалограммы, реактивность сосудов головного мозга

**Шифр специальности:** 3.3.3. Патологическая физиология.

**Для цитирования:** Гурская О. Е., Ивченко Е. В., Кабанов М. Ю., Цыган В. Н., Разинова А. А., Джиоева А. Г., Макеев Н. В., Попова Е. В. Активность регуляторных структур мозга при боевой травме и травме мирного времени // Вестник СурГУ. Медицина. 2024. Т. 17, № 1. С. 73–81. DOI 10.35266/2949-3447-2024-1-11.

## Original article

# REGULATORY BRAIN STRUCTURE ACTIVITY IN BATTLE AND PEACETIME TRAUMAS

Olesya E. Gurskaya<sup>1</sup>, Evgeniy V. Ivchenko<sup>2</sup>, Maksim Yu. Kabanov<sup>3</sup>, Vasiliy N. Tsygan<sup>4</sup>, Anna A. Razinova<sup>5</sup>, Albina G. Dzhioeva<sup>6</sup>, Nikita V. Makeev<sup>7</sup>, Elena V. Popova<sup>8</sup>

<sup>1,2,4,5,6,7,8</sup>Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Hospital for War Veterans, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup>gurskaya\_olesya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6804-4670>

<sup>2</sup>gniiivm\_2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5582-1111>

<sup>3</sup>makskabanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9901-8520>

<sup>4</sup>vn-t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1199-0911>

<sup>5</sup>annichok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8043-1326>

<sup>6</sup>alya.dzhioeva.96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8358-4735>

<sup>7</sup>nic1698@yandex.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0009-0002-9570-3616>

<sup>8</sup>elena-ppf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7682-1583>

**Abstract.** Activation of the body's regulatory systems provides adaptation to the impact of pathogenic factors. Prolonged exposure to extreme factors during combat operations can lead to the formation of a focus of pathologically increased exaltation in the central nervous system. The study aims to comparatively assess the tension of central regulatory structures in victims with battle and peacetime traumas in the acute period to develop criteria for indicating the severity of functional disorders of the central nervous system and pathogenetic treatment. Twenty servicemen who received mine-explosive trauma as a result of combat operations, twenty victims of domestic trauma, and twenty healthy males were examined. Neurophysiological and ultrasound methods of research were used to assess the functional state of the central nervous and cardiovascular systems: electroencephalography with quantitative analysis, transcranial Doppler with functional tests, electrocardiography with assessment of heart rate variability: The study assessed the index of spectral power of rhythms in alpha/theta ranges, indices of spectral power of heart rhythm (index of vagosympathetic balance; index of centralization; index of activation of subcortical structures), indices of vasodilatation/vasoconstriction reflecting reactivity of cerebral vessels to tests with hyper/hypocapnia. The following statistically significant differences were revealed between peacetime and wartime traumas: a decrease in vasodilation reserves for hypercapnia, and in some cases, their absence during battle trauma; increasing indices of centralization and activation of subcortical structures during battle trauma; decrease in the index of spectral power of rhythms in the alpha/theta ranges due to an increase in the power of the theta range during battle trauma. Based on this set of indicators, a scale of quantitative assessment of the degree of tension of regulatory subcortical structures in points was developed for early detection of patients with excessive activation of the central regulatory circuit leading to maladjustment and unfavorable course of the post-traumatic period.

**Keywords:** battle trauma, central regulatory circuit, aftereffects of head injury, heart rate variability, centralization index, spectral analysis of electroencephalography, brain vessels responsiveness

**Code:** 3.3.3. Pathophysiology.

**For citation:** Gurskaya O. E., Ivchenko E. V., Kabanov M. Yu., Tsygan V. N., Razinova A. A., Dzhioeva A. G., Makeev N. V., Popova E. V. Regulatory brain structure activity in battle and peacetime traumas. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2024;17(1):73–81. DOI 10.35266/2949-3447-2024-1-11.

## ВВЕДЕНИЕ

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) представляет собой один из ключевых медицинских разделов во всех развитых странах мира ввиду высокого спектра социальных и экономических последствий, массовости и тяжести коррекции последующих когнитивных нарушений. В последние годы встречаемость боевой ЧМТ увеличилась в связи с увеличением числа участников боевых действий в приграничных районах страны. Материалы и методы по реабилитации и социализации пациентов с психическими и физическими осложнениями в результате терапии боевой ЧМТ требуют дальнейшего совершенствования, что определяет приоритет Российской Федерации по обеспечению общественного и финансового благополучия населения.

Особенности психологического воздействия на патогенез ЧМТ участников боевых действий остается предметом многочисленных дискуссий среди отечественных представителей научного сообщества. Повышенные физические и эмоциональные нагрузки, сопровождающие течение травмы военнослужащего, могут оказывать дополнительное нежелательное воздействие на когнитивные навыки, процессы нейроэндокринной регуляции и функционирование жизненно важных центров головного

мозга пострадавшего. Данные осложнения дают основание на вынесение боевой ЧМТ в отдельную область изучения и терапии, поднимают вопрос о целесообразности внедрения новых методик коррекции основных функций центральной нервной системы (ЦНС) контингента Вооруженных сил РФ.

**Цель** – проведение сравнительной оценки напряженности центральных регуляторных структур у пострадавших с боевой травмой и травмой мирного времени в остром периоде для разработки критериев индикации выраженности функциональных расстройств центральной нервной системы и патогенетического лечения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 20 военнослужащих, получивших минно-взрывную травму в результате боевых действий (средний возраст  $30 \pm 7$ ), 20 пострадавших с бытовой травмой (средний возраст  $32 \pm 9$ ), 20 здоровых испытуемых мужчин (средний возраст  $33 \pm 12$ ) в течение 3–5 месяцев после травмы. Военнослужащие находились на стационарном лечении в ФГКУ «442-й окружной военный клинический госпиталь», СПб ГБУЗ «Госпиталь для ветеранов войн» [1]. Пострадавшие от бытовой травмы проходили стационарное

лечение в Городской больнице № 26, Городской Александровской больнице.

Критериями исключения в группах с боевой и гражданской травмой были: ушиб головного мозга средней и тяжелой степени, нарушения сознания, наличие хронических сопутствующих заболеваний ЦНС и сердечно-сосудистой системы (ССС), психиатрические расстройства, прием седативных средств и наркотических анальгетиков на момент обследования [1].

Электроэнцефалографию (ЭЭГ) регистрировали в 19 отведениях по стандартной методике на компьютерных электроэнцефалографах («Нейрон-Спектр-4», Россия). Фоновая запись ЭЭГ (без предъявления афферентных раздражителей) составляла не менее 3 минут. Далее проводили стандартные функциональные пробы с ритмической фотостимуляцией и гипервентиляцией. Спектральный анализ ЭЭГ проводили с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье в 19 отведениях в программном обеспечении компьютерных энцефалографов. Перед проведением математического анализа ЭЭГ проводили коррекцию артефактов. Анализировали безартефактные участки ЭЭГ длительностью 2–3 минуты фоновой записи. Вычисляли показатели абсолютной (мкВ<sup>2</sup>/Гц) спектральной мощности альфа- ( $\alpha$ ; 8–13 Гц), тета- ( $\theta$ ; 4–7 Гц) диапазонах, а также относительный показатель спектральной мощности ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах в фоновой записи  $K\alpha/\theta$  в 19 отведениях и в локальных областях (лобных, центральных, височных, теменных, затылочных). Сравнивали  $K\alpha/\theta$  спектральной мощности ЭЭГ между группами с боевой травмой, гражданской травмой в остром периоде и контрольной группой, а также с ранее полученными данными у больных с отдаленными (более года после травмы) последствиями ЧМТ легкой и среднетяжелой степени [2].

Количественная оценка вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы осуществлялась с помощью спектрального и статистического анализа вариабельности ритма сердца (ВРС) с использованием программного обеспечения Поли-Спектр.NET (Нейрософт).

С помощью спектрального анализа ВРС вычисляли следующие показатели: HF, % (мощность высокочастотного компонента ВРС в % от суммарной мощности колебаний) – отражает активность парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга; LF, % (мощность низкочастотного компонента ВРС в % от суммарной мощности колебаний) – отражает активность симпатических центров продолговатого мозга; VLF, % (мощность очень низкочастотного компонента ВРС в % от суммарной мощности колебаний) – отражает действие центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции [3, 4]. Из относительных показателей вычисляли LF/HF – отношение средних значений низкочастотного и высокочастотного компонента ВРС (норма  $0,7 \pm 1,5$ ) [3, 4]; индекс централизации (ИЦ =  $(LF + VLF)/HF$ ) – интегральный показатель, отражающий степень преобладания активности центрального контура регуляции над автономным контуром регуляции деятельности сердца. Нормальные показатели по литературным данным варьируют в диапазоне  $3,9 \pm 0,2$  [4, 5]. При воздействии стрессорных факторов

и при различных заболеваниях величина ИЦ растет. Индекс активации подкорковых центров (ИАП =  $VLF/HF$ ) – интегральный показатель, отражающий активность сердечно-сосудистого подкоркового центра к более высоким уровням управления, у молодых лиц составляет  $1,4 \pm 0,4$  [5].

Транскраниальное дуплексное сканирование мозговых артерий проводили на аппарате экспертного класса (CHISON SonoTouch 80) с помощью секторального датчика 2,5–4 МГц с использованием режима транскраниального сканирования сосудов (режим TCD) через темпоральный доступ. Гиперкапническая проба приводит к возрастанию концентрации эндогенного CO<sub>2</sub> в крови и увеличению скорости кровотока в интракраниальных артериях в среднем на 20–25 %, максимальное усиление скорости кровотока в средней мозговой артерии (СМА) при гиперкапнии может достигнуть 52 % по сравнению с исходным уровнем. В то же время максимальное снижение скорости кровотока при гипервентиляции и снижении напряжения CO<sub>2</sub> в крови может достигнуть 35 % по сравнению с исходным уровнем. В исследуемых группах регистрировали диапазон изменений систолической скорости кровотока в средней мозговой артерии (СЛСК<sub>СМА</sub>) при проведении проб с гиперкапнией (задержка дыхания) и гипокапнией (гипервентиляция) [1].

Для выполнения поставленной цели был изучен следующий комплекс показателей:

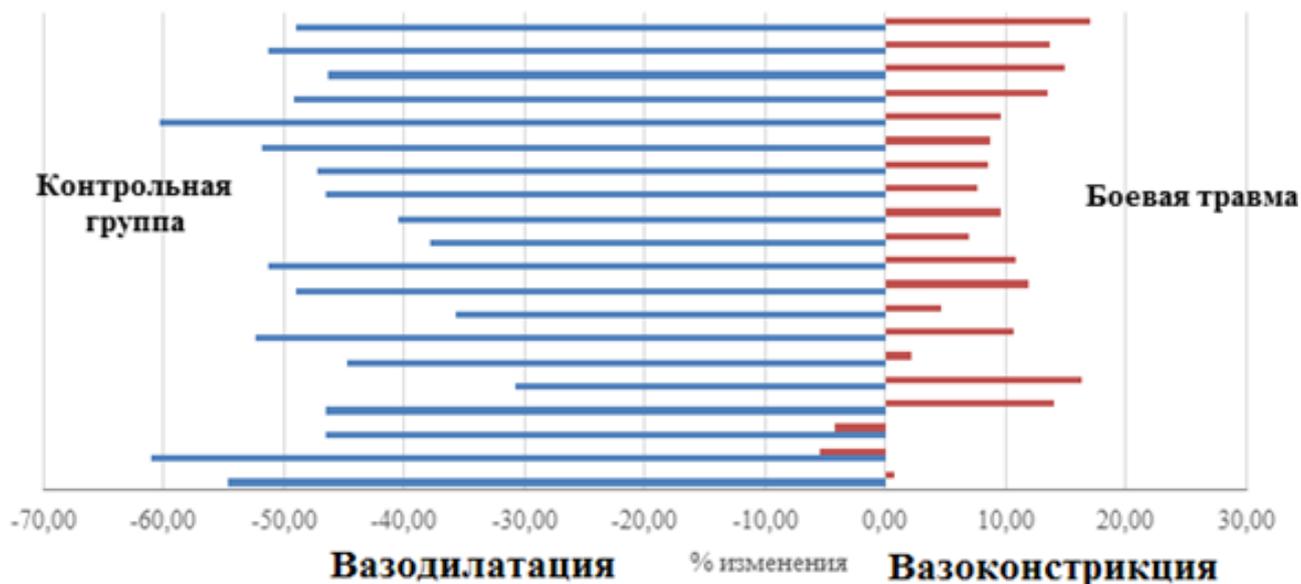
- индекс спектральной мощности ЭЭГ в альфа/тета-диапазонах ( $K\alpha/\theta$ , мкВ<sup>2</sup>/Гц);
- индексы спектральной мощности сердечного ритма: показатель вагосимпатического баланса LF/HF; индекс централизации ИЦ =  $(LF + VLF)/HF$ ; индекс активации подкорковых структур ИАП ( $VLF/HF$ );
- индексы показателей вазодилатации/вазоконстрикции, отражающие CO<sub>2</sub> реактивность мозговых сосудов на пробы с гипер/гипокапнией.

Статистическая обработка полученных данных проводилась в программах Microsoft Excel, Statistica 10.0. Группы формировались простым рандомизированным отбором. Проверка характера распределения всех полученных данных проводилась с использованием критерия Шапиро – Уилка. По результатам проверки на нормальность было выявлено ненормальное распределение данных в выборках, поэтому дальнейшая статистическая обработка проводилась с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни для независимых выборок. Различия считались достоверными при  $p < 0,05$ . По результатам расчета статистики критерия в программе Microsoft Excel были построены гистограммы для наглядного представления данных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В группе пострадавших с боевой травмой в остром периоде более чем в 90 % случаев резервы вазодилатации были исчерпаны при гиперкапнической пробе, систолическая скорость кровотока в средней мозговой артерии (ССК<sub>СМА</sub>) не нарастала (ССК<sub>СМА</sub> при гиперкапнии между контрольной группой и группой с боевой травмой,  $p < 0,05$ , критерий Манна – Уитни). В норме ожидаемый прирост ССК<sub>СМА</sub> составляет до 30 % [6]. Кроме того, наблюдалась парадоксальная реакция вазоконстрикции на гиперкапнию, уменьшение ССК<sub>СМА</sub> составило в среднем 8,5 % (рис. 1) [1].

## ССК при гиперкапнии



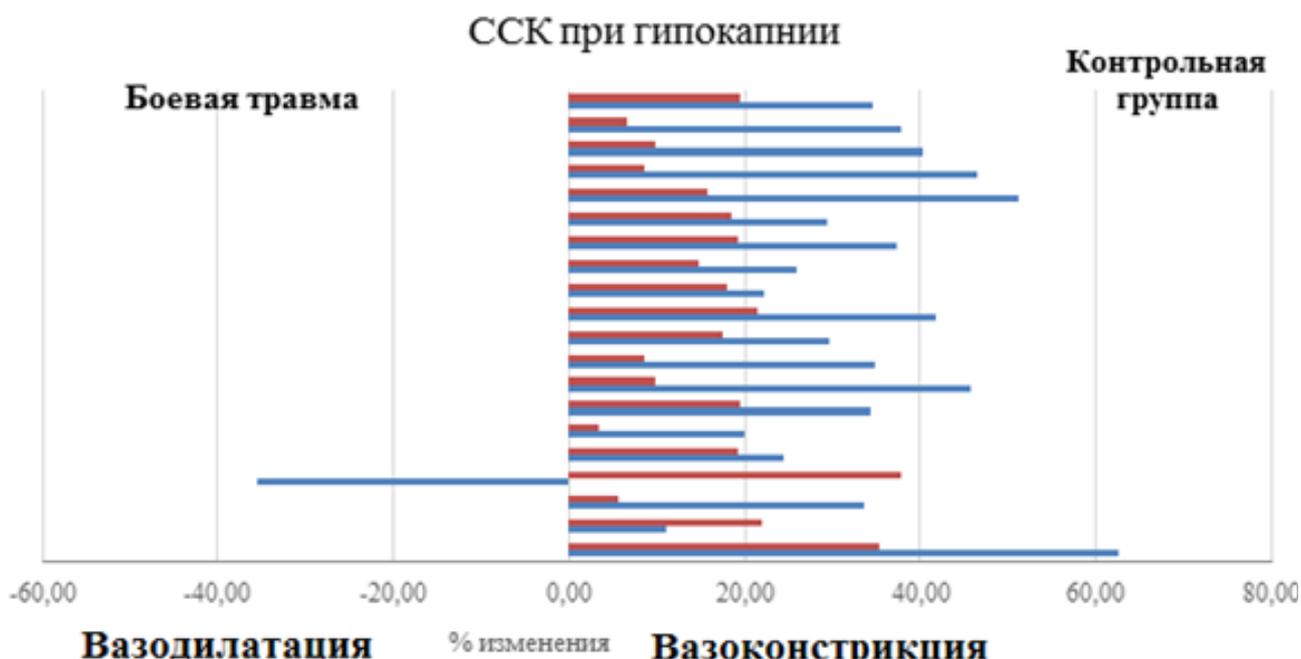


Рис. 3.  $CCK_{CMA}$  при гипокапнии между контрольной группой и группой с боевой травмой  
Примечание: составлено по источнику [1].

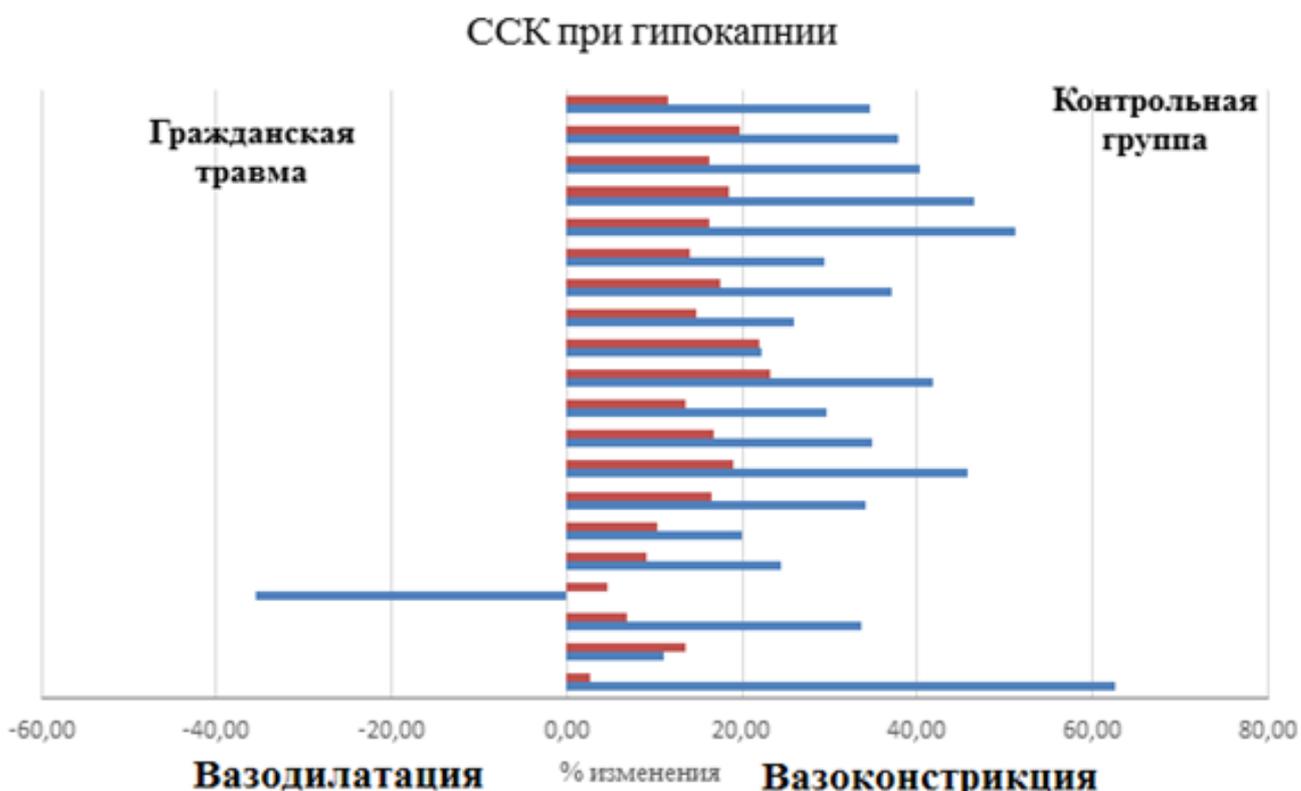


Рис. 4.  $CCK_{CMA}$  при гипокапнии между контрольной группой и группой с гражданской травмой  
Примечание: составлено по источнику [1].

При боевой травме в остром периоде выявили диффузное повышение спектральной мощности тета-ритма относительно альфа-ритма, выявили статистически значимое снижение индекса  $K\alpha/\theta$  в группе с боевой травмой по сравнению с гражданской травмой ( $p < 0,01$ , критерий Манна – Уитни). Медианное значение индекса  $K\alpha/\theta$  в 19 отведениях при боевой травме составило 1,74 (1,53; 3,45), при гражданской травме – 2,64 (2,23; 3,74). Наибольшее снижение ин-

декса наблюдали в лобно-центральных областях за счет повышения спектральной мощности тета-ритма у пострадавших (очаговые изменения в головном мозге при нейровизуализации в лобных долях отсутствовали). На рис. 5 приведена сравнительная характеристика  $K\alpha/\theta$  по областям в группе с боевой травмой, в группах с отдаленными последствиями ЧМТ [2] и в контрольной группе.

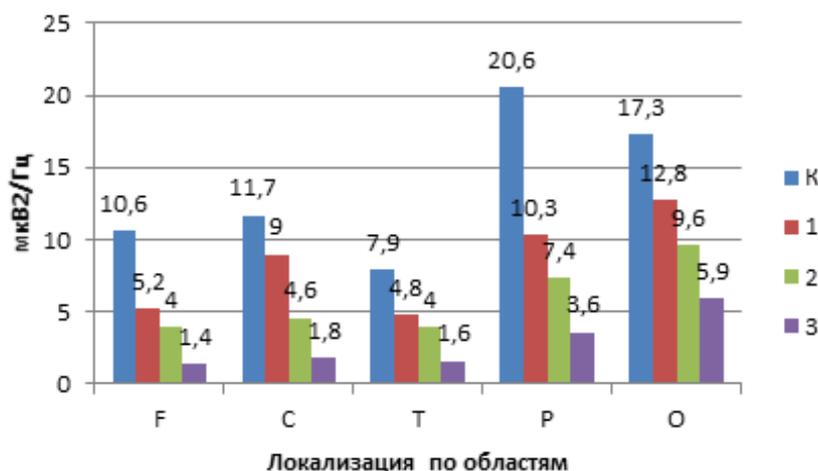


Рис. 5. Сравнительная характеристика  $K\alpha/\theta$  в группах с последствиями ЧМТ. Приведены медианные значения спектральной мощности ритмов ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах ( $K\alpha/\theta$ ,  $\mu KV^2/\text{Гц}$ ) по областям

Примечание: F – лобные области; С – центральные области; Т – височные области; Р – теменные области;

О – затылочные области; К – контрольная группа; 1 – группа с последствиями ЧМТ легкой степени;

2 – группа с последствиями ЧМТ средней и тяжелой степени; 3 – группа больных с боевой травмой в остром периоде.

Составлено авторами с учетом ранее полученных данных по гражданской травме [2].

В наших предыдущих исследованиях [2] было выявлено статистически значимое снижение критерия  $K\alpha/\theta$  у больных с последствиями ЧМТ легкой и среднетяжелой степени по сравнению с контрольной группой, а также достоверные различия критерия  $K\alpha/\theta$  в группах больных с последствиями ЧМТ разной степени тяжести. По сравнению с группами больных с последствиями легкой и среднетяжелой ЧМТ показатель  $K\alpha/\theta$  в группе с боевой травмой имел самые низкие значения (рис. 5), что свидетельствовало о наиболее выраженных диффузных изменениях

биоэлектрической активности головного мозга в данной группе.

При боевой травме статистически значимо повышен индекс централизации (ИЦ) и индекс активации подкорковых структур (ИАП) по сравнению с гражданской травмой (критерий Манна – Уитни,  $p < 0,05$ , рис. 6).

ИЦ<sub>(LF + VLF/HF)</sub> при боевой травме – 9,5 усл. ед., при гражданской травме – 4,3 усл. ед. (средняя норма у молодых людей по Баевскому  $3,9 \pm 0,2$  усл. ед.) [7].

ИАП<sub>(VLF/HF)</sub> при боевой травме – 6,2 усл. ед., при гражданской травме – 3,2 усл. ед. (контроль 2,9 усл. ед.).

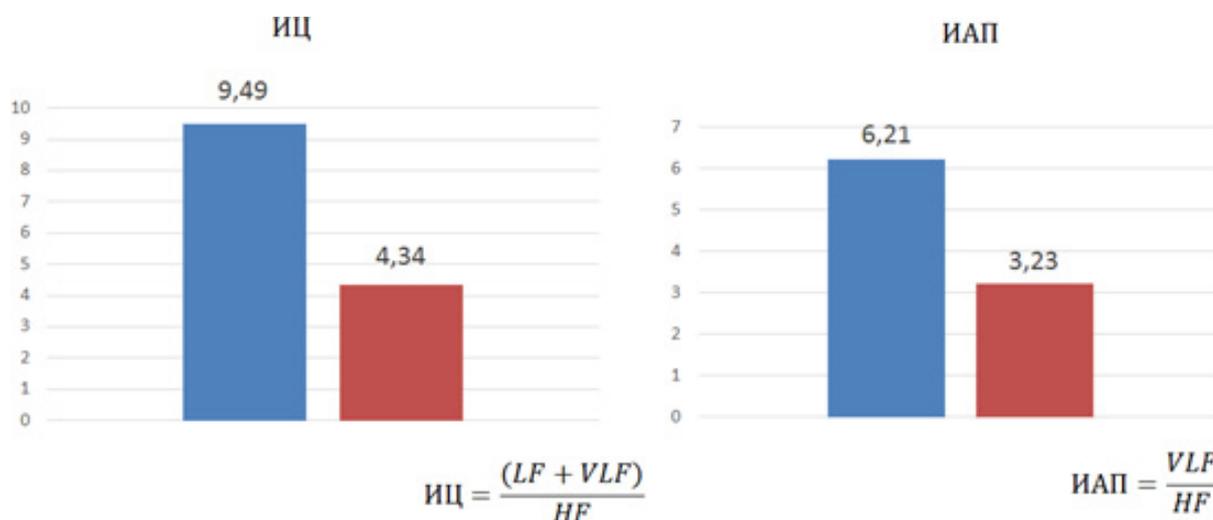


Рис. 6. ИЦ и ИАП в группах больных с военной и гражданской травмой

Примечание: составлено авторами.

Индекс вагосимпатического баланса (рис. 7) был существенно повышен в группе с боевой травмой: в группе с боевой травмой индекс  $LF/HF$  составил 3,2; в группе с гражданской травмой – 1,25, нормативные значения – 0,7 (0,5; 1,1) [3, 4]. Изменения вышеперечисленных индексов показывают, что в целом наблюдалась парасимпатическая депрессия и активация симпатических, надсегментарных центров вегетатив-

ной регуляции сердечного ритма в группе с боевой травмой.

В ответ на любое стрессорное воздействие активируется регуляторная система «гипоталамус – гипофиз – надпочечники». Анализ вариабельности сердечного ритма хорошо отражает степень напряженности данной регуляторной системы и возникающую в ответ реакцию симпатoadреналовой системы [4, 8, 9].

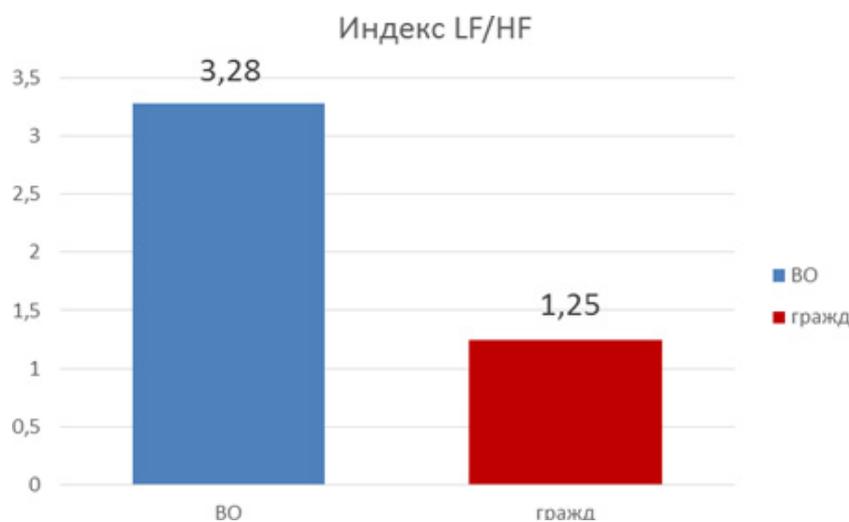


Рис. 7. Индекс LF/HF в группах больных с военной и гражданской травмой  
Примечание: составлено авторами.

Синусовый узел, блуждающие нервы и их ядра в продолговатом мозге составляют автономный контур регуляции ВРС. Из литературы известно, что в основе автономного контура лежит парасимпатическая регуляция, поэтому централизация управления означает смещение вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной регуляции [8, 9]. Управляющий, или центральный контур управления сердечным ритмом включает все уровни нейрогуморального управления физиологическими функциями от ядер продолговатого мозга до гипоталамо-гипофизарного уровня вегетативной регуляции и уровня корковых влияний на вегетативные функции. Центральный контур регуляции характеризуется различными медленно-волновыми составляющими (VLF) при исследовании вариабельности сердечного ритма [10]. Установлена связь VLF с энергодифицитными процессами, изменениями функционального состояния иммунной и эндокринной систем в организме, кислород-зависимыми процессами, динамикой психоэмоционального статуса. Была выявлена роль медленно-волновых составляющих сердечного ритма в адаптационных процессах после рабочей нагрузки, связь с колебаниями содержания в крови катехоламинов и кортикостероидов, активностью системы гипофиз-надпочечники [10].

Выявленные глубокие изменения в ауторегуляции мозгового кровотока при боевой травме подчеркивают известную закономерность, что более высокие уровни управления тормозят активность более низких уровней регуляции. Парасимпатическая нервная система обеспечивает текущую регуляцию физиологических процессов, а симпатический отдел – быструю мобилизацию резервов и вовлечение многих органов и систем в реакцию на воздействующий фактор.

Если в группе с гражданской травмой наблюдали в основном сниженную  $CO_2$  реактивность, то в группе с боевой травмой ауторегуляторный ответ мозгового кровотока на гиперкапнию был исчерпан, и наблюдалась вазоконстрикторная реакция. Гипоталамус обеспечивает реализацию сердечно-сосудистого компонента эмоций, поведенческих реакций. Формирование очага застойного возбуждения на фоне хронического стресса в условиях боевых

действий на уровне подкорковых структур приводит не только к парасимпатической депрессии, но и нарушениям гуморальной регуляции ( $CO_2$  реактивности), выражающимся в истощении резервов вазодилатации на гиперкапнию, в то же время сохраняются резервы вазоконстрикции на гипокапническую пробу, подтверждающие избыточную симпатикотонию [1].

Данное положение имеет также нейрофизиологические корреляции в виде повышения спектральной мощности и индексов тета-ритма в лобно-центральных областях у пострадавших с боевой травмой по сравнению с гражданской травмой. По литературным данным, тета-ритм является нейрофизиологическим маркером динамики процессов эмоциональной регуляции при обработке мотивационно и эмоционально значимой для человека информации, а также процессов внимания и памяти, регистрируется преимущественно в гиппокампе и неокортексе [11]. При стрессе наблюдают избыточную активацию тета-ритма, в связи с ростом напряженности регуляторных подкорковых структур, таких как лимбико-ретикулярный комплекс, гипоталамо-диэнцефальные структуры [12].

У обследованных больных не было выявлено очагов повреждения при нейровизуализации, что могло бы внести свой вклад в рост спектральной мощности тета-ритма при их наличии. Кроме того, известно, что количественный анализ ЭЭГ при легкой ЧМТ часто выявляет рост спектральной мощности тета-ритма по отношению к альфа-ритму, даже если этот феномен сглажен при визуальном анализе ЭЭГ, что связывают с активацией диэнцефальных структур и лимбико-ретикулярного комплекса при ЧМТ [2]. Особенностью нашего исследования стало выявление различий в степени активации данных структур при сравнении групп с боевой и гражданской травмой: так, при сравнении  $K\alpha/\theta$  он был более низким не только по отношению к группе с гражданской травмой, но и по отношению к группам больных с последствиями ЧМТ средней и тяжелой степени, имевших очаговые повреждения головного мозга в анамнезе (рис. 5). При визуальном анализе ЭЭГ в группе с боевой травмой с более высокой частотой наблюдали генерализованные вспышки волн альфа-, тета-диапазонов, что также свидетельствовало о выраженной

ирритации стволовых структур на диэнцефальном уровне.

Таким образом, с помощью вышеперечисленных функциональных показателей был разработан алгоритм для оценки напряженности центральных регу-

ляторных структур, который может быть основой прототипа диагностической технологии ранней индикации степени функциональных расстройств ЦНС при боевой травме (таблица).

Таблица

### Скрининговая оценка напряженности центральных регуляторных структур при боевой травме

Диагностические показатели	Оценка степени напряженности центральных регуляторных структур в баллах		
	0	+1	+2
Индекс спектральной мощности ЭЭГ Ка/θ фронтальный	10,6–5,2	5,2–4	< 3
CO <sub>2</sub> реактивность (СЛСК <sub>СМА</sub> )	Повышение ССК <sub>СМА</sub> от 30 %	ССК <sub>СМА</sub> без динамики	ССК <sub>СМА</sub> ниже исходной
ИЦ (LF + VLF/HF)	2–4,5	4,5–8	ИЦ > 8
ИАП (VLF/HF)	< 3	3–6	ИАП > 6
Суммарный эффект	0 Индекс напряжения нейтральный	1–5 Умеренная напряженность	5–10 Резко выраженная напряженность

Примечание: составлено авторами.

Индекс напряжения центральных регуляторных структур в диапазоне от 1 до 5 баллов может рассматриваться как умеренное напряжение, в диапазоне от 5 до 10 баллов – резко выраженное напряжение.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У больных с боевой и травмой мирного времени наблюдается снижение резервов вазодилатации на гиперкапнию, при этом в группе больных с боевой травмой резервы вазодилатации в значительно большей степени исчерпаны по сравнению с травмой мирного времени. У больных с боевой травмой в значительно большей степени повышен индекс централизации и индекс активации подкорковых структур по сравнению с травмой мирного времени. Избыточная активация подкорковых регуляторных структур

имеет нейрофизиологическую корреляцию с индексом Ка/θ спектральной мощности ЭЭГ. Шкала количественной оценки в баллах степени напряженности регуляторных подкорковых структур на основе исследованного комплекса показателей, характеризующих функциональное состояние ЦНС и ССС, способствует раннему выявлению больных с избыточной активацией центрального регуляторного контура, ведущей к дезадаптации и более неблагоприятному течению посттравматического периода.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Разинова А. А., Джиоева А. Г., Makeev Н. В. Исследование ауторегуляции мозгового кровотока при боевой травме // Актуальные вопросы современных научных исследований : сб. ст. VII Междунар. науч.-практич. конф., 20 октября 2023 г., г. Пенза. Пенза : Наука и Просвещение, 2023. С. 165–168.
2. Гурская О. Е. Нейрофизиологические механизмы церебро-васкулярных нарушений функций головного мозга и их патогенетическая нейропротекция : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2018. 40 с.
3. Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. М. : ИНФРА-М, 2023. 470 с.
4. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. 2-е изд., перераб. и доп. Иваново : Иванов. гос. мед. академия, 2002. 288 с.
5. Новые методы электрокардиографии / под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина. М. : Техносфера, 2007. 549 с.
6. Шахнович А. Р., Шахнович В. А. Диагностика нарушений мозгового кровообращения: транскраниальная доплерография. М. : Ассоц. книгоиздателей, 1996. 446 с.

#### REFERENCES

1. Razinova A. A., Dzhioeva A. G., Makeev N. V. Research of cerebral blood flow autoregulation in combat trauma. In: *Proceedings of the 7th International Research-to-Practice Conference "Aktualnye voprosy sovremennykh nauchnykh issledovaniy"*, October 20, 2023, Penza. Penza: Nauka i Prosveshchenie; 2023. p. 165–168. (In Russ.).
2. Gurskaya O. E. Neurofiziologicheskie mekhanizmy tserebrovaskuliarnykh narushenii funktsii golovnogo mozga i ikh patogeneticheskaia neuroproteksiia. Doctoral (Medicine) Thesis. St. Petersburg; 2018. 40 p. (In Russ.).
3. Kulaichev A. P. Kompiuternaia elektrofiziologija i funktsionalnaia diagnostika. Moscow: INFRA-M; 2023. 470 p. (In Russ.).
4. Mikhailov V. M. Variabelnost ritma serdtsa: opyt prakticheskogo primeneniia metoda. 2nd ed., rev. ed. Ivanovo: Ivanovo State Medical Academy; 2002. 288 p. (In Russ.).
5. Grachev S. V., Ivanov G. G., Syrkin A. L., editors. Novye metody elektrokardiografii. Moscow: Tekhnosfera; 2007. 549 p. (In Russ.).
6. Shakhnovich A. R., Shakhnovich V. A. Diagnostika narushenii mozgovogo krovoobrashchenia: transkraniialnaia dopplerografiia. Moscow: Assots. knigoizdatelei; 1996. 446 p. (In Russ.).

7. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 221 с.
8. Kim H. G., Cheon E. J., Bai D. S. Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature // *Psychiatry Investig.* 2018. Vol. 15, no. 3. P. 235–245.
9. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. М.: Слово, 2008. 176 с.
10. Флейшман А. Н., Кораблина Т. В., Петровский С. А. и др. Сложная структура и нелинейное поведение very low frequency variability ритма сердца: модели анализа и практические приложения // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика.* 2014. Т. 22, № 1. С. 55–70. DOI 10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70.
11. Асташева Е. В. Исследование осцилляторной активности и межструктурных взаимоотношений в лимбической системе // *Фундаментальные исследования.* 2011. № 12–4. С. 699–703.
12. Патологическая физиология – военной медицины. В 2 т. Т. 1 / под ред. проф. В. Н. Цыгана. СПб.: Модерн, 2021. 200 с.
7. Baevsky R. M., Kirillov O. I., Kletskin S. Z. *Matematicheskii analiz serdechnogo ritma pri strese.* Moscow: Nauka; 1984. 221 p. (In Russ.).
8. Kim H. G., Cheon E. J., Bai D. S. Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investig.* 2018;15(3):235–245.
9. Baevsky R. M., Berseneva A. P. *Vvedenie v donozologicheskuiu diagnostiku.* Moscow: Slovo; 2008. 176 p. (In Russ.).
10. Fleishman A. N., Korablina T. V., Petrovsky S. A. et al. Complex structure and nonlinear behavior of very low frequency of heart rate variability: Model of analysis, and practical applications. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* 2014;22(1):55–70. DOI 10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70. (In Russ.).
11. Astasheva E. V. Investigation of oscillatory activity and interrelations of structures in the limbic system of the brain. *Fundamental Research.* 2011;(12–4):699–703. (In Russ.).
12. Tsygan V. N., editor. *Patofiziologiya – voennoi meditsine.* In 2 vols. Vol. 1. St. Petersburg: Modern; 2021. 200 p. (In Russ.).

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ****О. Е. Гурская** – доктор медицинских наук.**Е. В. Ивченко** – доктор медицинских наук, доцент.**М. Ю. Кабанов** – доктор медицинских наук, профессор.**В. Н. Цыган** – доктор медицинских наук, профессор, академик РАЕН.**А. А. Разинова** – преподаватель.**А. Г. Джиева** – аспирант.**Н. В. Макеев** – преподаватель.**Е. В. Попова** – преподаватель.**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS****O. E. Gurskaya** – Doctor of Sciences (Medicine).**E. V. Ivchenko** – Doctor of Sciences (Medicine), Docent.**M. Yu. Kabanov** – Doctor of Sciences (Medicine), Professor.**V. N. Tsygan** – Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences.**A. A. Razinova** – Lecturer.**A. G. Dzhioeva** – Postgraduate.**N. V. Makeev** – Lecturer.**E. V. Popova** – Lecturer.