

ПРОЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ ЛЕГКОЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЕ

MANIFESTATIONS OF AUTONOMIC REGULATION DISTURBANCES IN MILD CRANIO-BRAIN INJURY

Цветовский С.Б. Tsvetovsky S.B.
Ступак В.В. Stupak V.V.

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России,

г. Новосибирск, Россия

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after Y.L. Tsivyan,

Novosibirsk, Russia

Нарушения вегетативной регуляции являются одним из ведущих клинических проявлений легкой черепно-мозговой травмы (ЧМТ). Для патогенетической терапии необходимо оценивать вклад симпатических и парасимпатических влияний в суммарные изменения вегетативного тонуса и реактивности. Данные литературы во многом противоречивы, в основном базируются на анализе стационарных участков записи кардиоритмограмм. Не учитываются временные характеристики и фазность реакций ритма на функциональные пробы, недостаточно сопоставлений с характеристиками дыхания и артериального давления (АД).

Цель – получение комплексного представления об особенностях вегетативной регуляции у пациентов с легкой черепно-мозговой травмой.

Материал и методы. У 138 пациентов, госпитализированных по поводу легкой ЧМТ, с помощью компьютерной системы регистрировались кардиоритмограммы, в том числе переходных процессов при ортостатических пробах, частота дыхания и артериальное давление, анализировались взаимоотношения этих параметров в ходе выполнения функциональных проб.

Результаты. С клиническими признаками травмы чаще коррелирует повышение симпатического тонуса и реактивности, а также вегетативного обеспечения деятельности. У большей части пациентов повторные обследования показывают уменьшение превалирования симпатикотонического регулирования, тенденцию к эйтонии.

Реже изменяются фазные: симпатическая активность начального периода сменяется резким сдвигом «в парасимпатическую сторону», а при начальной ваготонии на 3-5-е сутки превалируют симпатикотонические изменения ЧСС, а также АД и сопротивления сосудистой сети в покое, при недостаточной реактивности и снижении тонуса резистивных сосудов в ортостазе. Активация обоих отделов вегетативной нервной системы приводит к разнонаправленным изменениям тонуса и реактивности.

Сниженное АД в покое, отсутствие приращения диастолического АД в ортостазе, падение тонуса и реактивности сосудов, грубые изменения структуры ритма отмечены в ранние сроки при более тяжелых травмах.

Заключение. Механизмы и симптомы нарушения вегетативного статуса при легкой ЧМТ вариативны. Фазность, разнонаправленность изменений, низкое вегетативное обеспечение связаны с тяжестью травмы.

Ключевые слова: легкая черепно-мозговая травма; вегетативная дисфункция; кардиоритмография

Disorders of autonomic regulation are one of the leading clinical manifestations of mild traumatic brain injury. For pathogenetic therapy, it is necessary to assess the contribution of sympathetic and parasympathetic influences to the total changes in vegetative tone and reactivity. The literature data are largely contradictory, mainly based on the analysis of stationary sections of recording cardiogram. The temporal characteristics and phasicity of rhythm reactions to functional tests are not taken into account, comparisons with the characteristics of respiration and blood pressure are insufficient.

Objective – to obtain a comprehensive understanding of the features of autonomic regulation in patients with mild traumatic brain injury.

Materials and methods. In 138 patients hospitalized for mild TBI, cardiogram were recorded using a computer system, including transients during orthostatic tests, respiratory rate and blood pressure, and the relationship of these parameters was analyzed during functional tests.

Results. An increase in sympathetic tone and reactivity, as well as vegetative support of activity, is more often correlated with clinical signs of trauma. In most patients, repeated examinations show a decrease in the prevalence of sympathicotonic regulation, and a tendency to eitonía. Less often, the changes are phasic: the sympathetic activity of the initial period is replaced by a sharp shift «in the parasympathetic direction», and with initial vagotonia, sympathicotonic changes in heart rate, as well as blood pressure and vascular network resistance at rest prevail on 3-5 days, with insufficient reactivity and a decrease in the tone of resistive vessels in orthostasis. Activation of both departments of vegetative nervous system leads to multidirectional changes in tone and reactivity. Reduced blood pressure at rest, no increment of diastolic blood pressure in orthostasis, a drop in vascular tone and reactivity, and gross changes in the rhythm structure were noted in the early stages with more severe injuries.

Conclusion. Mechanisms and symptoms of vegetative status disorders in mild TBI are variable. Phasicity, multidirectional changes, low vegetative support are associated with the severity of the injury.

Key words: mild traumatic brain injury; vegetative dysfunction; cardiac rhythmography

Согласно клиническим рекомендациям, утвержденным на XXXXIII Пленуме правления ас-

социации нейрохирургов России (г. Санкт-Петербург) 15 апреля 2016 года, к легкой черепно-моз-

говой травме (ЧМТ) относятся сотрясение и ушиб головного мозга легкой степени тяжести [1].

Для цитирования: Цветовский С.Б., Ступак В.В. ПРОЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ ЛЕГКОЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЕ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2022. № 4, С. 46-55.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/436>

DOI: 10.24412/1819-1495-2022-4-46-55

Нарушения вегетативной регуляции являются одним из ведущих, а нередко и единственным клиническим проявлением как острого, так и отдаленного периода легкой черепно-мозговой травмы [2-4]. Выраженность и характер вегетативной дисрегуляции связаны с тяжестью травмы и зависят также от адекватности адаптационных реакций. Для проведения целенаправленной патогенетической терапии необходимо дифференцировать ваготоническую и симпатикотоническую направленность вегето-сосудистых нарушений. Важно также оценивать вклад симпатических и парасимпатических влияний в суммарную картину изменений вегетативного тонуса и реактивности, отражающую вегетативную дисрегуляцию.

Таким образом, существует необходимость в использовании объективных способов выявления характера и степени нарушений регуляции вегетативных функций у данного контингента больных. Задача объективизации диагностики патологических изменений вегетативного статуса и контроля за динамикой состояний требует применения количественных методов. Достаточно давно используются такие количественные оценки регуляции сердечного ритма, как индекс напряжения по Баевскому и индекс парасимпатических влияний, вегетативный индекс Кердо, основанный на сопоставлении частоты сердечных сокращений с диастолическим давлением, индекс Хильдебрандта, чувствительный к функциональному рассогласованию регуляции сердечной и дыхательной систем [5].

Однако в большинстве случаев эти показатели используются не в комплексе, причем анализу подвергаются лишь стационарные участки записи ритмограмм. В реакциях на функциональные пробы рассматриваются только соотношения максимальной и минимальной длительности кардиоинтервалов, не учитываются временные характеристики и фазность реакций [6]. Суждения о волновой структуре ритма строятся на основе формального разделения высокочастотного и низкочастотного диапазонов длительности волн или с разбиением на большее число

«порядков» [6, 7], причем волны длительностью менее 15 сек однозначно читаются дыхательными.

С относительно недавнего времени рассматриваются также спектральные характеристики кардиоритмограмм, с вычислением общей спектральной мощности [8-10]. Такого рода анализ используется для выявления групповых различий между пациентами с разной степенью тяжести травмы и мало подходит для оценки особенностей состояния и отслеживания его динамики у конкретного пациента. Интегральные спектральные характеристики не отражают различия в структуре ритма.

Цель исследования — получение комплексного представления об особенностях вегетативной регуляции у пациентов с легкой черепно-мозговой травмой при использовании параллельного анализа сердечного ритма, ритма дыхания и артериального давления, с вычислением ряда гемодинамических показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 138 пациентов с клиническими проявлениями легкой ЧМТ в возрасте от 14 до 49 лет, мужского пола. Обследование проводилось в день поступления, т. е. в сроки, максимально приближенные к моменту травмы, и по прошествии реабилитационного периода от 4 до 11 дней. Для сравнения обследовано 12 здоровых испытуемых.

Информированное согласие пациентов (или их близких родственников, в случае ограниченной способности больного к общению) было получено и соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации (2013 г.), «Правилам клинической практики в Российской Федерации» (Приказ Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266). Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ «НИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России (протокол заседания 007/22 от 27.10.2022 г.).

Активная ортостатическая проба использовалась для выявления отклонений от нормы вегетативного тонуса и реактивности, а также вегетативного обеспечения деятельно-

сти. Дополнительная информация регистрировалась при применении проб с задержкой дыхания и гипервентиляцией.

Применяющаяся аппаратура обеспечивает регистрацию ЭКГ в отведении с наибольшей выраженностью R-зубца, а также пневмограммы. В одном варианте использовался модуль от системы слежения для палат интенсивной терапии, позволяющий регистрировать ЭКГ и, реографическим способом, сигнал дыхания с помощью одной пары электродов (блок CMSm12, «Медикор», Венгрия). Во втором варианте регистрация дыхания осуществлялась с помощью термодатчика, с применением модуля респирометра. Запись ритма сердца и дыхания осуществляется путем накопления массивов отсчетов RR-интервалов и временных интервалов между актами дыхания. Вводились также данные о величинах артериального давления на момент каждой записи кардиоритмограммы, анализировались массивы не менее 220 кардиоинтервалов.

При анализе зарегистрированных записей строятся ритмограммы — ступенчато меняющиеся кривые, в которых высота каждой ступени пропорциональна длительности следующих друг за другом RR-интервалов. Графическое отображение ритмограмм необходимо для визуальной их оценки при сопоставлении с данными количественного анализа и для выявления артефактов записи. Оно же позволяет осуществить анализ временных и амплитудных характеристик реакций ритма на ортостатическую и другие функциональные пробы. С этой целью с помощью перемещения по экрану специального курсора можно отмечать на ритмограмме до 6 точек с фиксацией значения длительности RR-интервала в каждой точке, расстояний между точками по времени и по числу сердечных сокращений, попавших в этот временной промежуток, с определением разницы в длительностях соседних помеченных интервалов и в соответствующих значениях мгновенной частоты пульса (рис. 1).

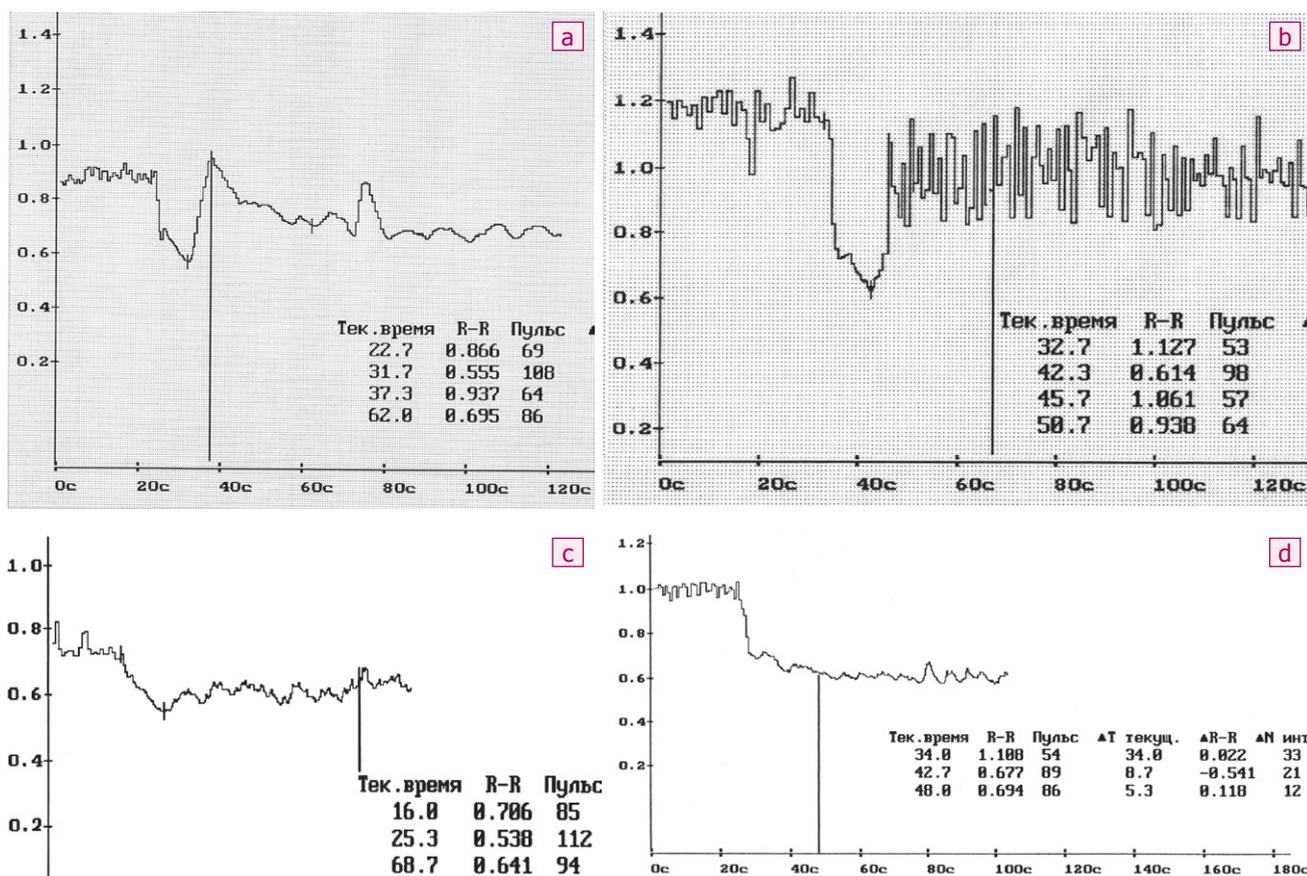
Другими постоянно присутствующими метками на ритмограмме от-

Рисунок 1

Реакции сердечного ритма на переход в ортостатическое положение: а) ритмограмма отражает симпатическую вазоконстрикторную реакцию резистивных сосудов, определяющую вторичное урежение ритма, вариант нормы; б) реакция ритма на ортостаз в условиях высокого парасимпатического тонуса в покое при адекватной симпатической реактивности; в) реакция ритма на ортостаз при исходно высоком симпатическом тонусе. По отношению к тахикардии в фоне реакции снижены и затянуты по времени; д) недостаточное вегетативное обеспечение. Симпатические реакции приращения ударного объема и тонуса сосудов недостаточны, урежение ритма отсутствует

Figure 1

Reactions of the heart rate to the transition to the orthostatic position: a) rhythmogram reflects the sympathetic vasoconstrictor reaction of resistive vessels, which determines the secondary slowing of the rhythm, a variant of the norm; b) rhythm response to orthostasis under conditions of high parasympathetic tone in the duct with adequate sympathetic reactivity; c) rhythm response to orthostasis with initially high sympathetic tone. In relation to tachycardia in the background of the reaction, they are reduced and delayed in time; d) insufficient vegetative provision. Sympathetic responses of increments in stroke volume and vascular tone are insufficient, there is no decrease in rhythm



мечаются RR-интервалы, в пределах которых поступает фронт сигнала дыхания (рис. 2). Для оценки истинной выраженности дыхательной аритмии и выделения ее из составляющих синусовой аритмии, не связанной с дыханием, производится усреднение отрезков ритмограмм по сигналу дыхания. С этой целью рассчитываются средние значения для первых за сигналом дыхания RR-интервалов, затем для вторых и т. д. Усредненная кривая дыхательной волны отображается графически (рис. 2), при этом в конце кривой усредненные значения RR-интервалов, образованные

менее чем десятью отсчетами, отбрасываются. Таким образом, при вариабельности частоты дыхания обеспечивается достоверное определение закономерно связанных с актами дыхания изменений сердечного ритма. Определяются абсолютный (в мс) и относительный размах дыхательной аритмии (в процентах по отношению к средней длительности кардиоинтервалов). Оценивается вклад дыхательной аритмии в общую дисперсию кардиоритма с помощью вычисления отношения усредненной амплитуды дыхательной волны к величине общей дисперсии ритма.

Волновая структура ритма анализируется и вне связи с актами дыхания. Рассчитываются характеристики распределений длительности полуволн ритма, в течение которых происходит удлинение или укорочение кардиоинтервалов. При этом длительность полуволн характеризуется числом составляющих их кардиоциклов. Для определения длительности полуволн при переходе к каждому последующему интервалу вычисляется показатель аритмичности, представляющий собой отношение разности последующего и предыдущего интервалов к их сумме, с учетом знака

разности. Полуволна считается продолжающейся, если этот показатель не меняет знака или становится равным нулю, или меняет знак, но при этом не превышает порогового значения. Таким образом, исключается реакция ритма на участках со слабо варьирующими длительностями RR-интервалов. Отношение разности средних значений длительности полуволн к их сумме дает показатель асимметрии волн ритма. Определяются также средние значения длительностей полуволн по времени (в секундах) и показатель асимметрии для этих величин. Волны ритма характеризуются также средним значением амплитуд, то есть разниц по длительности между самым длинным и самым коротким RR-интервалом в полуволе, числом волн и их частотой на анализируемом отрезке кардиоритмограммы.

Кроме дыхательных и более медленных волн ритма на ритмограммах как здоровых испытуемых, так и, особенно, у пациентов с вегетативной дисрегуляцией, могут присутствовать мелкие вариации длительности соседних RR-интервалов. Визуально структура ритма, т. е. зависимость последующих в ряду кардиоинтервалов от предыдущих может быть оценена по ритмограмме и путем построения скатерграмм (рис. 3, 4, 5). Для количественной оценки структуры ритма строятся распределения показателя аритмичности. Раздельно подсчитывается число отсчетов, попавших в область положительных значений (когда RR-интервал удлиняется по сравнению с предыдущим), в область отрицательных значений и в нулевой класс. Вычисляются соотношения числа положительных и отрицательных отсчетов. Раздельно рассчитываются средние значения величин положительных и отрицательных отсчетов индекса аритмичности, с определением ошибки среднего.

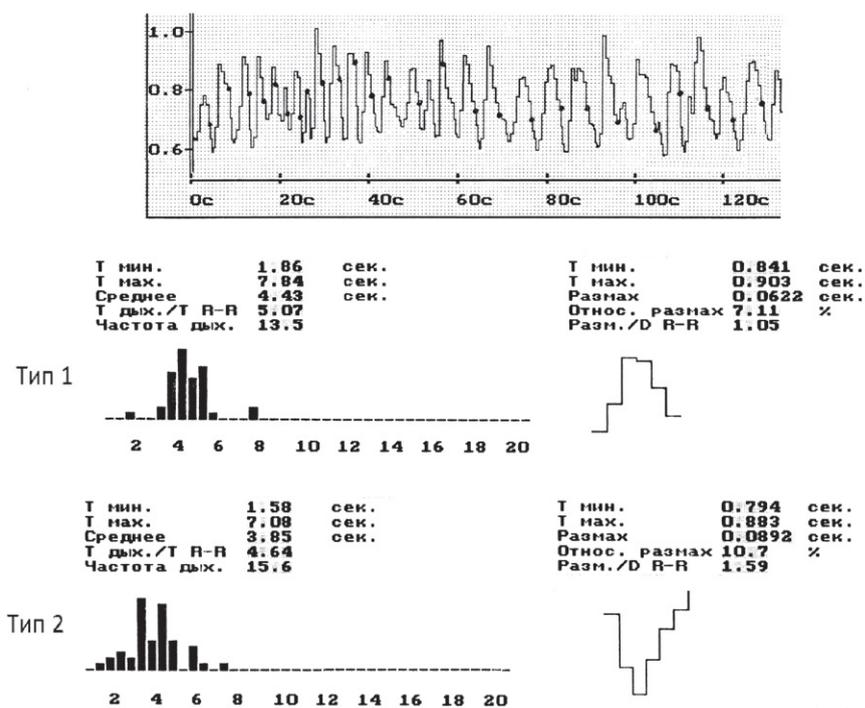
Для стационарных участков записи, таких как в покое лежа и в стационарном состоянии в ортостазе, анализ ритма сердца и дыхания осуществляется с помощью статистических методов. Строятся гистограммы и рассчитываются характеристики распределений кардиоинтервалов: среднее, диспер-

Рисунок 2

Пример записи кардиоритмограммы с наличием выраженной дыхательной периодичности и метками актов дыхания. Результаты анализа ритма дыхания (левая часть) и характеристик дыхательной аритмии сердечного ритма (справа). Два типа изменений ритма в такт с дыханием

Figure 2

An example of recording a cardiorhythmogram with the presence of pronounced respiratory periodicity and marks of respiratory acts. The results of the analysis of the respiratory rhythm (left part) and the characteristics of the respiratory arrhythmia of the heart rhythm (right). Two types of rhythm changes in time with breathing



сия, ошибка среднего, асимметрия и т.д. Определяются также среднее, максимальное и минимальное значение частоты пульса. Рассчитываются диагностически значимые индексы: индекс напряжения (ИН), индекс парасимпатических влияний (ИПВ). Наличие данных об артериальном давлении позволяет определять вегетативный индекс Кердо, оценку минутного объема кровообращения и сопротивления периферической сосудистой сети. Оценка значимости различий характеристик регуляции ритма при динамических наблюдениях, в том числе в ходе проведения функциональных проб, а также отличий от средних значений соответствующих параметров, определенных для группы здоровых испытуемых, осуществлялась с использованием критерия Стьюдента.

Индекс напряжения по Баевскому определяется как $ИН = \frac{Am}{2 \times Mo \times D}$, где Am — амплитуда моды, то есть

число кардиоинтервалов, попавших в класс, соответствующий моде распределения, в процентах от общего числа интервалов в анализируемом массиве, Mo — значение моды распределения длительностей RR-интервалов, D — разница между минимальной и максимальной длительностью интервалов.

Индекс парасимпатических влияний: $ИПВ = \frac{W \times D \times M}{0,25 \times Am}$, где W — ширина распределения на уровне $1/4$ от значения амплитуды моды, M — средняя продолжительность кардиоцикла, D и Am — то же, что и в предыдущей формуле.

Вегетативный индекс Кердо: $ВИК = (1 - \frac{Dd}{ЧСС}) \times 100$, где Dd — диастолическое давление, $ЧСС$ — частота сердечных сокращений в минуту. При «вегетативном равновесии» в сердечно-сосудистой системе $ВИК = 0$. При преобладании симпатических влияний $ВИК$ положительный, при повышенном парасимпатическом тоне — отрицательный.

Минутный объем кровообращения оценивался путем расчета: 1) пульсового давления: $ПД = АД_{сис} - АД_{диаст}$; 2) среднего давления: $АД_{ср} = \frac{2 \times АД_{диаст} + АД_{сис}}{3}$; 3) редуцированного пульсового:

$$РПД = \frac{ПД}{АД_{ср}} \times 100$$

Минутный объем равен:

$$МО = \frac{РПД}{ЧСС}$$

Оценка общего периферического сопротивления сосудов:

$$ОПСС = \frac{АД_{ср}}{МО \times 1332 \times 60}$$

Результаты обработки выводятся на экран и в печать в виде гистограмм, скатерграмм и таблиц численных значений. Строятся и отображаются гистограммы временных интервалов между актами дыхания, определяется средняя частота дыхания и т.д., вычисляется индекс Хильдебрандта, чувствительный к функциональному расстройству регуляции сердечной и дыхательной систем. Индекс рассчитывается: $ИХ = ЧСС / ЧД$, где ЧД – число дыханий в минуту. Диапазон нормы – от 2,8 до 4,9.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ввиду отсутствия в большинстве случаев данных о преморбидном статусе пострадавших и неоднородности проявлений нарушения регуляции вегетативных функций особое внимание уделялось контролю динамики показателей в ходе лечения.

Обнаружено, что у лиц нормальной конституции при легкой черепно-мозговой травме тяжесть клинического течения болезни чаще коррелирует с нарастанием признаков, отражающих повышение симпатического тонуса и реактивности, а также вегетативного обеспечения деятельности, контролируемого по характеру изменений показателей при переходе в ортостатическое положение. В нашем исследовании положительные значения индекса Кердо в покое регистрировались в 81,9 %, в ортостазе – в 91,3 % случаев.

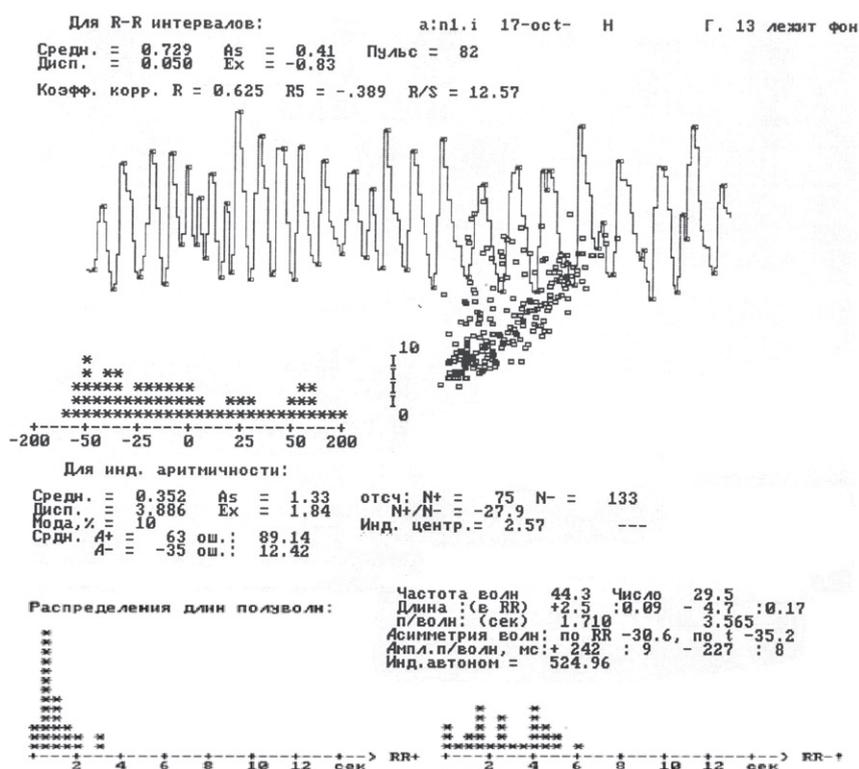
Симпатический тонус в покое чаще проявляется сдвигом в сторону

Рисунок 3

Графическое отображение и количественные характеристики волновой структуры ритма. Ритмограмма с отметками границ полуволн, скатерграмма, гистограмма распределения показателя аритмичности. Статистические характеристики распределений RR-интервалов, показателя аритмичности, волн ритма. Гистограммы распределений полуволн. Асимметрия полуволн с большей длительностью фаз учащения ритма

Figure 3

Graphic display and quantitative characteristics of the wave structure of the rhythm. Rhythmogram with marks of the boundaries of half-waves, scattergram, histogram of the distribution of the arrhythmia index. Statistical characteristics of the distributions of RR intervals, arrhythmia index, rhythm waves. Histograms of half-wave distributions. Asymmetry of half-waves with a longer duration of the phases of the acceleration of the rhythm



тахикардии и реже – брадиформами с повышенным систолическим АД за счет увеличения сердечного выброса. В ортостазе же чаще наблюдается гиперсимпатическое повышение величины диастолического давления с тахикардией, обусловленной необходимостью обеспечить должный минутный объем в условиях повышенного сопротивления периферической сосудистой сети. Такое же и еще большее приращение ЧСС в ортостазе наблюдается и при значительном превалировании парасимпатического тонуса с понижением артериального давления. Здесь, однако, тахикардия компенсирует снижение сердечного выброса, что находит отражение в характере

ритмограмм и оценках «напряженности» ритма.

При этом наблюдается рассогласование регуляции ритма сердца и дыхания, приводящее к выходу значений ИХ за пределы, относящиеся к норме (2,8-4,9), в области, соответствующие дистонии. Рассогласование ритма сердца и дыхания с увеличением ИХ наиболее выражено в ортостазе. В покое у 30 % больных наблюдалось умеренное увеличение частоты дыхания за счет малой глубины дыхательных экскурсий в положении лежа. При сочетании с также умеренным повышением частоты пульса ИХ удерживается в пределах нормальных значений. При переходе в ортостаз приращение частоты дыха-

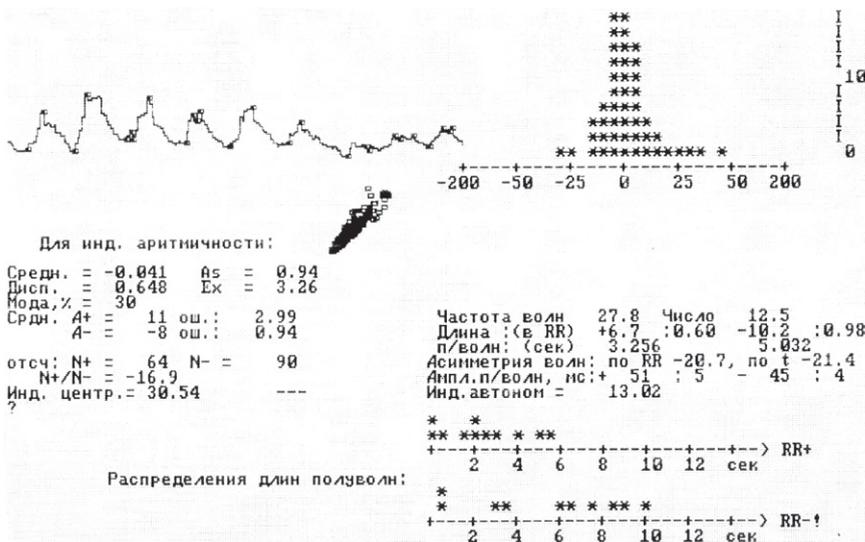
ния в этих случаях невелико или даже отрицательно, реакция же сердечного ритма выражена.

Ваготония, симпатикотония и вегетативный баланс, эйтония отражаются как в размахе, так и в фазе колебаний сердечного ритма в такт с дыханием. Фаза изменений сердечного ритма в связи с актом дыхания оказалась более наглядным и чувствительным показателем согласованности или дизрегуляции межсистемных взаимоотношений, чем индекс Хильдебрандта, поскольку она представляет собой не формальное число, а конкретный качественный физиологический параметр. Примеры различных вариантов изменений ритма в связи с актами дыхания приведены на рисунке 2. При преобладании парасимпатических влияний усредненная кривая дыхательной аритмии показывает замедление ритма с последующим возвращением (тенденцией) к среднему значению (тип 1), при симпатикотонии, наоборот, наблюдается начальное учащение (тип 2), при эйтонии реакция умеренно брадикардическая или двухфазная: начальное учащение – урежение. Симпатикотонический тип регуляции в покое со снижением относительного размаха дыхательной аритмии ниже значения 2,2 % или уменьшение этого показателя более чем в 3 раза при переходе в ортостаз являются свидетельством симпатикотонии и повышенной симпатической реактивности и отражают изменения, обусловленные легкой черепно-мозговой травмой.

Для выявления соотношения симпатической и парасимпатической активности, их баланса или выхода за нормальные границы информативен показатель асимметрии волн ритма. При симпатическом тоне в волновой периодике удлинение кардиоинтервалов происходит в течение меньшего числа кардиоциклов, чем укорочение, т.е. дольше существуют периоды учащения пульса (рис. 4). Показатель асимметрии отрицательный. При анализе данных обследований отмечена высокая корреляция между оценками общего сопротивления сосудистой сети и степенью отрицательной асимметрии волн ритма. У каждого отдельного ис-

Рисунок 4
Графическое отображение и количественные характеристики структуры ритма. Исходная симпатикотония, гиперсимпатическая реакция на ортостаз. Высокое значение индекса централизации. Выраженная отрицательная асимметрия полувольт ритма

Figure 4
Graphic display and quantitative characteristics of the rhythm structure. Initial sympathicotonia, hypersympathetic reaction to orthostasis. High value of the centralization index. Pronounced negative asymmetry of rhythm half-waves



пытываемого сдвиг в сторону отрицательной асимметрии однозначно имел место в случаях, когда переход в ортостатическое положение был связан с уменьшением минутного объема при увеличении сопротивления периферических сосудов. Отрицательная асимметрия более -10 в покое, ее увеличение более чем до -20 в ортостазе (или более чем 4-кратное увеличение) отражают повышенное симпатическое напряжение и патологически усиленное вегетативное обеспечение деятельности. Дистоническое повышение тонуса сосудов и диастолического давления, не сопровождающееся адекватным повышением ударного и минутного объемов, является признаком дизрегуляции с фактической недостаточностью вегетативного обеспечения деятельности.

С выраженными клиническими проявлениями тесно коррелировали и являются несомненным признаком легкой травмы мозга следующие изменения структуры ритма, хорошо различаемые на ритмограмме: на фоне медленных колебаний разной степени выраженности присутствуют мелкие вариации длительности соседних RR-интер-

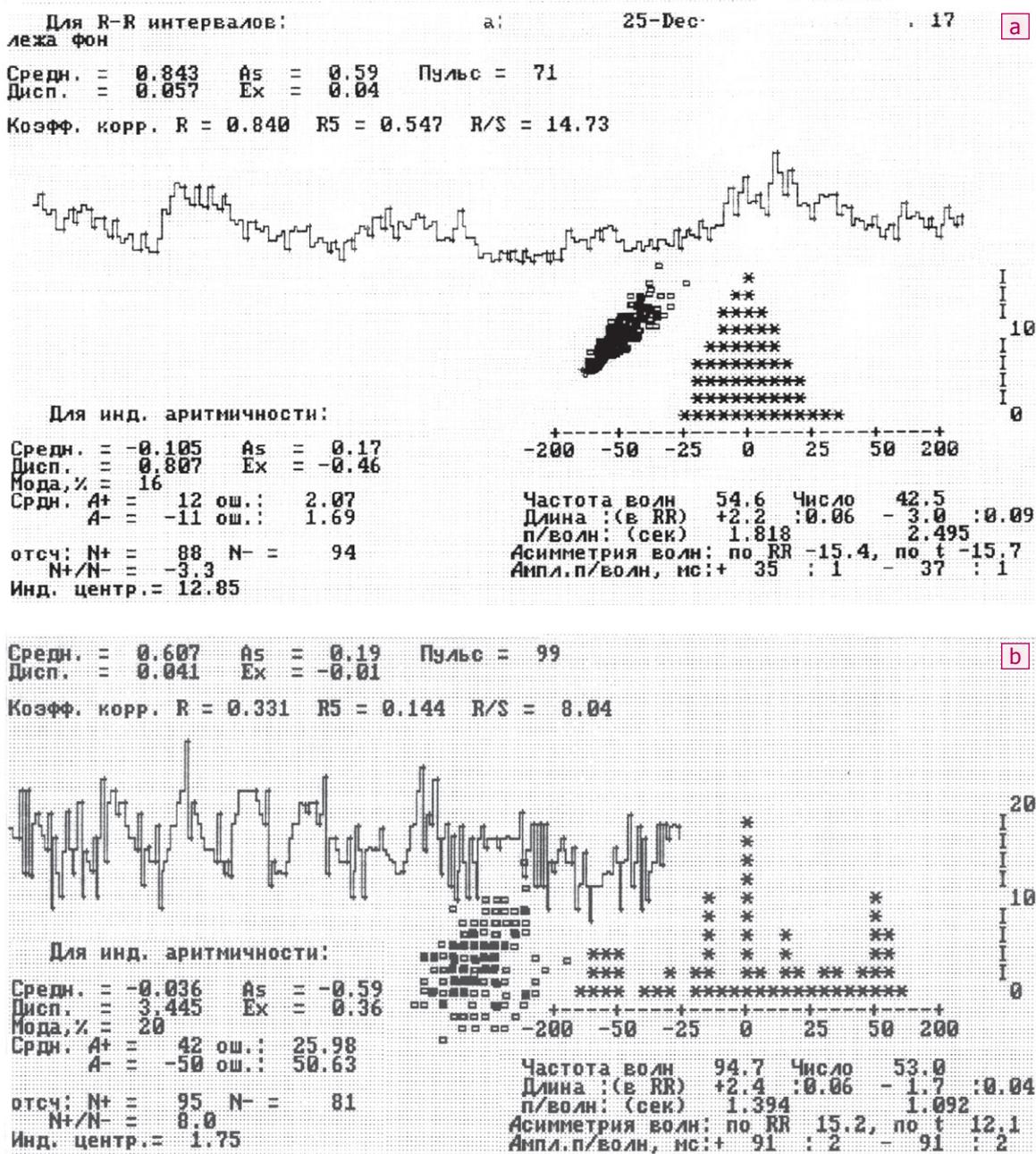
валов, образуя участки записи, на которых практически каждый интервал меняется в сторону, отличную от предыдущего. Другая степень этого же явления – наличие на фоне коррелированных изменений кардиоинтервалов, образующих дыхательную и «сосудистую» периодику, или на фоне ригидного ритма выраженных аритмических событий (рис. 5b). Последние представляют собой сочетания из резко удлиненного по отношению к фону интервала и последующего укороченного или отдельные удлиненные и укороченные интервалы. Комплексы из длинного и короткого интервалов отличают это явление от экстрасистолии, при которой вначале следует укороченный предэкстрасистолический интервал, а затем компенсаторная пауза. Кроме того, «размах» этих комплексов много меньше, чем при экстрасистолии, не более 20%. Аритмические явления всегда сочетаются со сниженным сопротивлением периферической сосудистой сети, невысоким диастолическим АД. Систолическое давление при этом нормальное или повышенное, минутный объем увеличен, т.е. имеются признаки одновременно-

Рисунок 5

А – медленноволновые изменения ритма, коррелирующие с колебаниями тона сосудов, при наличии признаков симпатикотонии и начальных проявлениях дизритмии; b – ритмограмма с наличием аритмических комплексов. При высокой частоте пульса RR-интервалы не коррелированы, индекс централизации низок, показатели асимметрии волн положительны

Figure 5

A – slow-wave changes in rhythm, correlating with fluctuations in vascular tone, in the presence of signs of sympathicotonia and initial manifestations of dysrhythmia; b – rhythmogram with the presence of arrhythmic complexes. At a high heart rate, RR intervals are not correlated, the centralization index is low, and wave asymmetry indicators are positive.



го усиления разнонаправленных эффектов регуляции. Нерегулярные аритмии возникают при нарушении функции автоматизма водителей ритма, прежде всего синусового узла [11]. Описываемые сочетания быстрой нерегулярной аритмии с медленноволновой ритмикой отражают дистоническое

рассогласование между функцией автоматизма и центральным уровнем регуляции.

В связи с тем, что тахикардия и колебания ритма в ортостазе могут быть обусловлены различными вариантами нарушений регуляции, для дифференцирования состояний важное значение имеет регистрация

и анализ переходного процесса реакции на ортостаз.

При нормальных реакциях на ортостаз регистрируется выраженное начальное приращение ЧСС (12-20 %), компенсирующее уменьшение венозного возврата, обусловленного оттоком крови в объемные сосуды нижних конеч-

ностей, нормальный тонус которых относительно невысок. Далее следует нормальная симпатическая реакция резистивных сосудов мышечного типа, приводящая к восстановлению венозного возврата и вторичному урежению ритма. Высокая симпатическая реактивность сосудов при отсутствии постоянно поддерживаемого симпатического тонуса отражается в двухфазности переходного процесса, когда вторичное урежение велико и сменяется вновь учащением пульса до достижения стационарного для ортостатического положения состояния (рис. 1а). Выраженность и длительность этой фазы урежения ритма служат мерой реактивности сосудов, значительные колебания ритма на последнем участке переходного процесса свидетельствуют об одновременной активации симпатических и вагусных влияний и являются коррелятами дистонии в собственном смысле слова. При высоком постоянном симпатическом тоне первичное учащение пульса в этой реакции относительно невелико, вторичное урежение затянуто по времени, реакция однофазная (рис. 1с). При падении тонуса сосудов в условиях преобладания парасимпатических влияний первичная реакция выраженнее по отношению к фону, урежение пульса после нее практически отсутствует (рис. 1d). Эти типы реакций отличаются от нормальных.

Количественные характеристики симпатической вазоконстрикторной гиперреактивности: длительность фазы вторичного урежения ритма менее 15 сек, длительность RR-интервалов на пике урежения 0,8-1,2 от исходной, последующее быстрое учащение более чем на 18 %. Высокий симпатический тонус: частота пульса в покое более 85/мин, удлинение фазы первичного учащения до 20 и более секунд, величина учащения менее 15 %, удлинение фазы урежения пульса без колебаний ритма, незначительное приращение частоты пульса в ортостазе по отношению к покою.

Динамические наблюдения важны для диагностики легкой ЧМТ. Повышенные симпатический тонус и реактивность, вызванные стрессующим воздействием травмы,

при отсутствии повреждения мозга нормализуются в течение 2 суток после травмы. Длительное их сохранение является диагностически ценным признаком. Однако более чем у четверти больных с травмой головного мозга (в наших наблюдениях у 28,3 %) отмечена фазность течения травматической болезни, выражающаяся в том, что высокая симпатическая активность начального периода сменяется резким сдвигом «в парасимпатическую сторону». При обследовании на 4-8-й день после поступления регистрируется картина вегетативной регуляции, значительно отличающаяся от исходной и в некоторых отношениях дальше отстоящая от нормы. Отмечаются симптомы снижения сосудистого тонуса и реактивности, часто со снижением АД, и, как следствие, тахикардия в ортостазе. Таким образом, наблюдается фаза «отдачи», сменяющая повышенный симпатический тонус начального периода и свидетельствующая о том, что вегетативная дисрегуляция длится дольше нормализации клинических симптомов.

Снижение диастолического АД в ортостазе по отношению к положению лежа — патологическая реакция, особенно в сочетании с уменьшением систолического давления более чем на 10 мм рт. ст. Уменьшение при переходе в ортостаз расчетной оценки сопротивления периферической сосудистой сети более чем на 20 % определенно следует относить к недостаточности вегетативного обеспечения.

Присутствие в покое и ортостазе медленных вариаций ритма и его колебаний с периодом 10-40 сек, отражающих колебания тонуса сосудов, т.е. волны Траубе-Геринга (рис. 5а), указывает на высокую вероятность наличия мозговой травмы. Вегетативный статус в этом случае нестабилен. Даже при начальной слабо выраженной ваготонии на 3-5-е сутки превалируют сдвиги «в симпатическую сторону» хронотропной функции, а также АД и сопротивления сосудистой сети в покое, при признаках недостаточной реактивности и снижения тонуса резистивных сосудов в ортостазе. Резкая смена признаков ваготонии на подобные симпатико-

тонические проявления в покое и недостаточность вегетативного обеспечения в пробах — признак наличия травмы мозга и особенность ее фазного течения.

Снижение же симпатического тонуса, отражающееся в снижении АД в покое, в отсутствии нормального приращения диастолического АД в ортостазе, в признаках падения тонуса и реактивности сосудов с самого начала наблюдения отмечено в случаях более тяжелых черепно-мозговых травм. Единственным поддерживаемым симпатической активностью параметром у таких больных является компенсаторное увеличение ЧСС в ортостазе. У части таких пациентов в ортостазе, в стационарном уже состоянии для вертикального положения наблюдались эпизоды относительного замедления ритма, связанные с головокружением и невозможностью сохранять ортостатическое положение. Очевидно, что замедление ЧСС при низком АД и тоне сосудов приводит к недостаточности кровоснабжения мозга. Таким образом, эти явления, как и в целом наличие выраженных медленных, нерегулярных (не дыхательных) волн ритма, отражают травматическое воздействие на сосудодвигательный центр головного мозга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выраженность клинических признаков травмы чаще коррелирует с нарастанием признаков, отражающих повышение симпатического тонуса и реактивности, а также вегетативного обеспечения деятельности, контролируемого по характеру изменений показателей при переходе в ортостатическое положение.

У большей части пациентов повторные обследования в сроки 3-5 дней показывают уменьшение выраженности признаков превалирования симпатикотонического регулирования вегетативных функций, тенденцию к возвращению к эйтоническому типу. У меньшей части (28,3 %) отмечается фазность течения травматической болезни, выражающаяся в том, что высокая симпатическая активность начального периода сменяется резким сдвигом «в парасимпатическую сторону», а при начальной слабо вы-

раженной ваготонии на 3-5-е сутки преобладают сдвиги «в симпатическую сторону» хронотропной функции, а также АД и сопротивления сосудистой сети в покое, при признаках недостаточной реактивности и снижения тонуса резистивных сосудов в ортостазе. Активация обоих отделов вегетативной нервной системы приводит к разнонаправленным изменениям тонуса и реактивности. Снижение же симпатического тонуса, отражающееся в снижении АД в покое, в отсутствии нормального приращения диастолического АД в ортостазе, в

признаках падения тонуса и реактивности сосудов отмечено в ранние сроки в случаях более тяжелых травм. У таких пациентов встречаются грубые изменения структуры ритма, «хаотическая» аритмия. У части таких пациентов в ортостазе, в стационарном уже состоянии для вертикального положения наблюдались эпизоды относительного замедления ритма, связанные с головокружением и невозможностью сохранять ортостатическое положение.

Таким образом, существуют различные механизмы и симптомы на-

рушения вегетативного статуса у больных, перенесших легкую черепно-мозговую травму. Фазность течения травматической болезни, разнонаправленные изменения, низкое вегетативное обеспечение связаны с тяжестью травмы.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтных интересов, связанных с публикацией данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Mild traumatic brain injury. Clinical guidelines /AA Potapov, LB Likhтерman, AD Kravchuk, et al. Moscow: Association of Neurosurgeons of Russia, 2016. 23 p. Russian (Лёгкая черепно-мозговая травма. Клинические рекомендации /А.А. Потапов, Л.Б. Лихтерман, А.Д. Кравчук и др. Москва: Ассоциации нейрохирургов России, 2016. 23 с.)
2. Likhтерman LB. Neurology of traumatic brain injury. Moscow: IP "Т.М. Andreeva", 2009. P. 33-34. Russian (Лихтерман Л.Б. Неврология черепно-мозговой травмы. Москва: ИП «Т.М. Андреева», 2009. С. 33-34.)
3. Kovalenko AP. Vegetative disorders in patients with consequences of traumatic brain injury: abstracts of PhD in medicine. Sciences. St. Petersburg, 2001. 170 p. Russian (Коваленко А.П. Вегетативные расстройства у больных с последствиями черепно-мозговой травмы: дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2001. 170 с.)
4. Selyanina NV, Karakulova YuV. Neurodynamic disorders in mild traumatic brain injury. *Modern problems of science and education*. 2015; (3): 41. Russian (Селянина Н.В., Каракулова Ю.В. Нейродинамические нарушения при черепно-мозговой травме лёгкой степени тяжести //Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 41.)
5. Baevsky RM, Ivanov GG. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of clinical application. *Ultrasonic functional diagnostics*. 2001; (3): 108-127. Russian (Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения //Ультразвуковая функциональная диагностика. 2001. № 3. С. 108-127.)
6. Poverennova IE, Zakharov AV, Melnikov KN, Kurov MV. Evaluation of heart rate variability in the complex diagnosis and examination of mild traumatic brain injury. *Ulyanovsk Medical Biological Journal*. 2017; (4): 20-25. Russian (Повереннова И.Е., Захаров А.В., Мельников К.Н., Куров М.В. Оценка показателей вариабельности сердечного ритма в комплексной диагностике и экспертизе лёгкой черепно-мозговой травмы //Ульяновский медико-биологический журнал. 2017. № 4. С. 20-25.)
7. Malakhov NV. Possibilities of computer cardiointervalography in expert assessment of mild forms of traumatic brain injury. *Problems of expertise in medicine*. 2007; 7(1): 36-39. Russian (Малахов Н.В. Возможности компьютерной кардиоинтервалографии при экспертной оценке лёгких форм черепно-мозговой травмы //Проблемы экспертизы в медицине. 2007. Т. 7, № 1. С. 36-39.)
8. Melnikov KN. Cardiointervalography in patients at different periods of concussion. *Postgraduate Bulletin of the Volga Region*. 2016; (1-2):

- 195-199. Russian (Мельников К.Н. Кардиоинтервалография у пациентов в различные периоды сотрясения головного мозга // Аспирантский вестник Поволжья. 2016. № 1-2. С. 195-199.)
9. Chebykin AV, Melnikov KN. Analysis of the use of cardiointeralography in the examination of temporary disability in primary and repeated concussion of the brain. *Bulletin of the Medical Institute «Reaviz»* (Samara). 2017; (3): 73-77. Russian (Чебыкин А.В., Мельников К.Н. Анализ применения кардиоинтервалографии в экспертизе временной нетрудоспособности при первичном и повторном сотрясении головного мозга // Вестник медицинского института «Реавиз» (Самара). 2017. № 3. С. 73-77.)
10. Krasnenkova MB. Predicting outcomes in patients with severe traumatic brain injury: the possibilities of monitoring the autonomic nervous system. *Issues of traumatology and orthopedics*. 2012; 4(5): 39-42. Russian (Красненкова М.Б. Прогнозирование исходов у больных с тяжёлой черепно-мозговой травмой: возможности мониторинга вегетативной нервной системы // Вопросы травматологии и ортопедии. 2012. № 4(5). С. 39-42.)
11. Bokeria LA, Bokeria OL, Glushko LA. Mechanisms of heart rhythm disturbance. *Annals of Arrhythmology*. 2010; (3): 70-78.) Russian (Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Глушко Л.А. Механизмы нарушения ритма сердца // Анналы аритмологии. 2010. № 3. С. 70-78.)

Сведения об авторах:

Цветовский С.Б., к.б.н., ведущий научный сотрудник отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

Ступак В.В., д.м.н., профессор, начальник отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

Адрес для переписки:

Цветовский Сергей Борисович, ул. Фрунзе, 17, г. Новосибирск, Россия, 630091

E-mail: sercvet@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 01.11.2022

Рецензирование пройдено: 11.11.2022

Подписано в печать: 01.12.2022

Information about authors:

Tsvetovsky S.B., candidate of biological sciences, senior researcher of neurosurgery department, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after Y.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia.

Stupak V.V., MD, PhD, professor, chief of neurosurgery department, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after Y.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia.

Address for correspondence:

Tsvetovsky Sergey Borisovich, Frunze St., 17, Novosibirsk, Russia, 630091

E-mail: sercvet@mail.ru

Received: 01.11.2022

Review completed: 11.11.2022

Passed for printing: 01.12.2022