

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ОЦЕНКЕ БОЛЕВОГО СИНДРОМА

С.А. Черняев^{1*}, Е.М. Новиков^{1,2}, А.В. Наговицын¹, И.В. Казанцева¹, В.Н. Ардашев^{1,3},
С.В. Журавлев^{1,3}, В.В. Бояринцев³¹ ФГБУ «Клиническая больница № 1» Управления делами Президента РФ, Москва² Филиал «Мединцентр» ФГУП «Главное производственно-коммерческое управление по обслуживанию дипломатического корпуса при МИД РФ», Москва³ ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, Москва

HEART RATE VARIABILITY IN THE ASSESSMENT OF PAIN SYNDROME

S.A. Chernyaev^{1*}, E.M. Novikov^{1,2}, A.V. Nagovitsyn¹, I.V. Kazantseva¹, V.N. Ardashev^{1,3},
S.V. Zhuravlev^{1,3}, V.V. Boyarintsev³¹ Clinical Hospital No 1 of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia² "MedinCenter", "Main Production and Commercial Directorate for Servicing the Diplomatic Corps under the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation", Moscow, Russia³ Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

*E-mail: ctac988@mail.ru

Аннотация

Хронический болевой синдром – это сложный психофизиологический феномен, вызывающий дисбаланс в работе нервной и сердечно-сосудистой систем. Для оценки выраженности болевого синдрома используют визуально-аналоговую шкалу (ВАШ), основанную на субъективном восприятии пациентом своих ощущений. В ряде случаев, когда пациент без сознания или некоммуникабелен, оценка болевого синдрома и адекватный контроль боли могут быть затруднены. **Цель исследования** – изучение изменений вариабельности сердечного ритма у пациентов с хроническим болевым синдромом. **Материалы и методы.** Для решения поставленной задачи нами исследовано 12 пациентов с люмбоишиалгией, средний уровень боли по ВАШ – 8.33 балла. В группу контроля вошли 43 пациента, отрицающие болевой синдром (ВАШ – 0 баллов). Всем пациентам дополнительно проведены магнитно-резонансная томография позвоночника и электрокардиограмма (ЭКГ) по Холтеру с оценкой вариабельности сердечного ритма. **Результаты.** В результате математической обработки полученных данных выявлены корреляции между болью «ВАШ 8–10 баллов» и показателями анализа вариабельности сердечного ритма. Предложено дискриминантное уравнение оценки болевого синдрома. **Заключение.** Использование показателей анализа вариабельности сердечного ритма может служить объективным методом оценки болевого синдрома, быть средством контроля эффективности обезболивания и терапии у пациентов. Поэтому необходимо дальнейшее изучение в последующих исследованиях.

Ключевые слова: боль, контроль, ЭКГ, люмбоишиалгия.

Abstract

Chronic pain syndrome is a complex psychophysiological phenomenon that causes an imbalance in nervous and cardiovascular systems functioning. To assess the severity of pain, a visual analogue scale (VAS) is used – an instrument to measure patient's subjective perception of his/her sensations. In some cases, if the patient is unconscious or uncommunicative, pain assessment and adequate pain control can be difficult. **Purpose.** To study changes in the heart rate variability in patients with chronic pain syndrome. **Materials and methods.** 12 patients with lumbishalgia and average pain level of 8.33 points by VAS scale were enrolled in the study. The control group consisted of 43 patients who did not complaint on pain syndrome (VAS = 0 points). Besides, all patients had MRI examination of the spine and Holter ECG to assess their heart rate variability. **Results.** The obtained data were processed mathematically. And correlations were identified between pain «VAS 8-10 points» and indices of heart rate variability. A discriminant equation for assessing pain syndrome was proposed. **Conclusion.** The heart rate variability analysis can serve as an objective method for assessing the pain syndrome and as a tool for monitoring the effectiveness of pain control and therapy in patients. Thus, further researches are required in this direction.

Keywords: pain, control, electrocardiogram (ECG), lumbishalgia.

Ссылка для цитирования: Черняев С.А., Новиков Е.М., Наговицын А.В., Казанцева И.В., Ардашев В.Н., Журавлев С.В., Бояринцев В.В. Анализ вариабельности сердечного ритма в оценке болевого синдрома. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2025; 1: 56–59.

Введение

Боль является защитной реакцией организма, выработанной и сохраненной в процессе эволюции как сигнал о грозящей опасности. Под влиянием потока болевых импульсов происходят изменения в функционировании

ряда жизненно важных органов и систем: повышается тонус симпатической нервной системы, активизируются эндокринные и внутренние органы. Это проявляется тахикардией, тахипноэ и повышением артериального давления [1]. При сохранении потока болевых импульсов

резко расширяются периферические сосуды, наступает децентрализация кровообращения, ухудшается мозговой кровоток, вплоть до потери сознания [2]. Наиболее распространенный метод оценки болевого синдрома – визуально-аналоговая шкала (ВАШ) – является субъективным и не позволяет в полной мере врачу оценить небольшие изменения самочувствия пациента. При рассмотрении общих и специальных методов исследования, применяемых для контроля изменения в организме под воздействием боли, необходимо отметить, что метод электрокардиографии (ЭКГ) является наиболее чувствительным при изменении гомеостаза под влиянием болевых импульсов [3].

Цель исследования – изучение изменений вариабельности сердечного ритма у пациентов с хроническим болевым синдромом.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи нами обследовано 12 пациентов с люмбоишиалгией, поступивших в неврологическое отделение ФГБУ КБ № 1 (Волынская) УДП РФ с 01.02.2024 г. по 31.05.2024 г. Средний возраст больных составил 62.0 ± 8.99 года, средний уровень боли по ВАШ – 8.33 балла, парестезии наблюдались у 66.7%, грыжа межпозвонкового диска – у 83.3% пациентов. Стеноз позвоночного канала диагностирован у 41.7%, парез мышц индикаторов – у 33.3% пациентов. Длительность болевого синдрома составила 4.08 ± 1.81 месяца. Всем пациентам при поступлении произведена оценка болевого синдрома по ВАШ, выполнено суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру с оценкой вариабельности сердечного ритма. Курс терапии был назначен в соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава РФ. Перед выпиской повторно произведена оценка болевого синдрома по ВАШ и суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру. В качестве контрольной группы были исследованы 43 пациента, отрицающие болевой синдром (ВАШ – 0 баллов), средний возраст больных составил 54.2 ± 7.9 года. Пациентам контрольной группы произведено суточное мониторирование ЭКГ по Холтеру однократно. Отмечается, что контрольная группа была собрана амбулаторно, с учетом отсутствия поражения по данным магнитно-резонансной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника и с усло-

вием прохождения суточного мониторирования ЭКГ по Холтеру.

Статистический анализ данных выполнен с использованием приложения Microsoft Excel и пакета Statistica 13.3 for Windows (StatSoft Inc., USA). Количественные переменные описывали следующими статистическими показателями: числом больных, средним арифметическим значением (М), стандартным отклонением от среднего арифметического значения (δ), 25-м и 75-м процентиллями, медианой. Качественные переменные описывали абсолютными и относительными частотами (процентами). Различия считались статистически значимыми при достигнутом уровне $p < 0.05$. Для количественных переменных проводили тест на нормальность распределения. Оценку полученных результатов исследования проводили с использованием методов статистического анализа: χ^2 -критерия Пирсона, непарного t-критерия Стьюдента. Если выборки из переменных не соответствовали нормальному закону распределения, применяли непараметрические тесты: U-тест по методу Манна – Уитни, критерий Краскела – Уоллиса. Для определения взаимного влияния показателей использовали корреляционный анализ Спирмена. Дополнительно использовали корреляционный и регрессионный анализ для построения моделей в форме уравнений. Для оценки различий средних значений дискриминантной функции между собой в исследуемых группах использовали критерий Лямбды Уилкса.

Результаты

Результаты анализа вариабельности сердечного ритма, полученные по данным суточного мониторирования ЭКГ по Холтеру, представлены в табл. 1. У пациентов с болевым синдромом достоверно отличаются стандартное отклонение RR интервалов, а также показатели спектрального анализа сердечного ритма (мощность общего спектра, HF, LF, VLF).

По окончании курса терапии, проведенного в соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава РФ, была произведена повторная оценка вариабельности ритма сердца и болевого синдрома. Помимо снижения балла по ВАШ (8.15 ± 3.0 балла) наблюдалось снижение средних значений SDNN (134.46 ± 106.76 мс), RMSD (73.85 ± 23.69 мс), спектральных характеристик HF (5974.77 ± 2320.07 мс²) и LF (2592.69 ± 1033.30 мс²).

Таблица 1

Анализ вариабельности сердечного ритма

Показатель	Основная группа, n = 12	Группа контроля, n = 43	p
Среднесуточная ЧСС, уд/мин	69.58 ± 8.27	77.80 ± 9.34	0.008
SDNN, мс	134.46 ± 44.11	32.92 ± 13.94	0.001
RMSD, мс	73.85 ± 61.94	22.97 ± 17.68	0.154
Общая мощность спектра, мс ²	12435.0 ± 6110.61	1172.70 ± 1106.82	0.001
VLF, мс ²	1838.69 ± 1647.46	240.53 ± 223.64	0.001
LF, мс ²	2592.69 ± 1823.31	396.17 ± 432.00	0.002
HF, мс ²	5974.77 ± 4901.38	149.91 ± 166.01	0.001
Соотношение LF/HF	0.50 ± 0.18	3.77 ± 2.97	0.001

Примечание. ЧСС – частота сердечных сокращений; SDNN – стандартное отклонение RR-интервалов; RMSD – среднее квадратичное отклонение разницы RR-интервалов; VLF – мощность спектра волн очень низкой частоты; LF – мощность спектра волн низкой частоты; HF – мощность спектра волн высокой частоты; p – достоверность различий между группами при дискриминантном анализе, статистически значимы при $p < 0.05$.

Оценка различий между группами по критерию Лямбда Уилкса

Показатель	Лямбда Уилкса	Частная лямбда Уилкса	F-remove (1.49)	p
SDNN, мс	0.612	0.096	459.35	0.001
RMSD, мс	0.114	0.517	45.77	0.001
LF, мс ²	0.088	0.666	24.47	0.001
HF, мс ²	0.114	0.513	46.46	0.001

Примечание. F-remove – F-критерий, связанный с исключением данного признака из анализа; SDNN – стандартное отклонение RR интервалов; RMSD – среднее квадратичное отклонение разницы RR интервалов; LF – мощность спектра волн низкой частоты; HF – мощность спектра волн высокой частоты; p – достоверность различий между группами при дискриминантном анализе, статистически значимы при $p < 0.05$.

На основании полученных данных составлена матрица из анамнестических, клинических, рентгенологических и ЭКГ признаков. В зависимости от степени выраженности болевого синдрома была рассмотрена группа сильного болевого синдрома (группа 1а, n = 8), слабого болевого синдрома (группа 1б, n = 4) и контрольная группа (группа 2, n = 43). Произведена математическая обработка полученных данных. Кроме подтверждающих корректность анализа средней и сильной корреляционных связей «ВАШ 8-10 баллов» с признаками продолжительности болевого синдрома, наличия грыжи межпозвонкового диска, стеноза позвоночного канала, наличия парестезии, пареза и возраста пациентов были обнаружены средней степени связи с показателями среднесуточного ЧСС (-0.36), SDNN (0.62), мощность спектра вариабельности сердечного ритма (0.59), HF % (0.62), LF % (0.35), коэффициент LF/HF % (-0.60), pNN 50% (-0.47).

С учетом результатов статистической обработки было предложено дискриминантное уравнение определения выраженного болевого синдрома по данным частотных и спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма.

Болевой синдром = $X_1 \times 1.0022 - X_2 \times 0.5531 - X_3 \times 0.0155 + X_4 \times 0.0099 > 85$, где: X_1 – стандартное отклонение RR-интервалов (SDNN), мс; X_2 – среднее квадратичное отклонение разницы RR-интервалов (RMSD), мс; X_3 – мощность спектра волн низкой частоты (LF), мс²; X_4 – мощность спектра волн высокой частоты (HF), мс².

Для проверки различий данных двух групп использовали критерий Лямбды Уилкса (табл. 2).

Априорная чувствительность метода составила 77%, специфичность – 74%. Полученные значения свидетельствуют о перспективности предложенного подхода и необходимости дальнейшего изучения на более крупной выборке пациентов.

Обсуждение

Существуют двунаправленные взаимодействия между вегетативной нервной системой и болью. При болевом воздействии на соматические ноцицепторы наблюдается повышение активности коры головного мозга и увеличение некоторых показателей вариабельности ритма сердца (SDNN, RMSD) [4–6]. Эта базисная функциональная связь между паравентрикулярной областью и вентромедиальной префронтальной корой была продемонстрирована

в работе D.J. Hohenschurz-Schmidt с соавт. и была обусловлена более высокой низкочастотной вариабельностью сердечного ритма во время холодовой стимуляции и более низкими субъективными оценками холодовой боли. Это позволяет предположить, что роль вегетативной нервной системы в модуляции ноцицепции может быть обусловлена (по крайней мере, частично) функциональными связями между паравентрикулярной областью и корой головного мозга [7].

Это положение стало основой в попытке объективизации боли у различных когорт пациентов. В работе И.А. Бариновой и соавт. при изучении компрессионной радикулопатии были выявлены корреляции между интенсивностью болевого синдрома в острый период и мощностью специфической соматосенсорной аффертации [8]. Коллективом авторов предложена модель эффективности лечения пациентов на основе амплитуды CNV (условной отрицательной вариации) и нормированного показателя мощности спектра волн высокой частоты (HF). К техническим сложностям предложенной методики относится выполнение исследования на различных аппаратах: помимо ЭКГ высокого разрешения проводятся дополнительная регистрация F-ответа при стимуляции большеберцового нерва в дистальной точке с двух сторон и регистрация H-ответа при стимуляции большеберцового нерва в подколенной ямке. Основным ограничением является узкий спектр применения данной методики [8].

В рамках контроля общей анестезии при хирургических вмешательствах врачами из Петрозаводского государственного университета был предложен к использованию индекс анальгезии-ноцицепции, основанный на регистрации вариабельности сердечного ритма с акцентом на дыхательном паттерне. Замечено, что при адекватной анестезии на вариабельность сердечного ритма влияет только дыхательная синусовая аритмия. Как только на анестезию оказывает дестабилизирующее действие какое-либо событие, дыхательные паттерны становятся нерегулярными, наблюдается снижение их амплитуды [9]. Авторами отмечена перспективность индекса анальгезии-ноцицепции при ряде ограничений: его нельзя использовать при апноэ и после введения ряда медикаментов (миорелаксанты, атропин и др.). Дополнительным ограничением является привязка к конкретному автоматизированному

аппарату, невозможность вычисления индекса ручным способом при использовании иных регистрирующих устройств.

Немаловажный аспект проблемы объективной оценки болевого синдрома – это случаи невозможности использования инструментов самооценки боли, например, у людей с когнитивными или неврологическими нарушениями. В литературном обзоре 2024 г., посвященном изучению данного вопроса, наиболее перспективными инструментами являются электроэнцефалограмма и ЭКГ с оценкой вариабельности сердечного ритма [10]. Авторами отмечается важность изучения опыта использования этих инструментов на конкретных клинических группах пациентов с последующей унификацией методики.

Заключение

Представленные данные и дальнейшие исследования по изучению изменений вариабельности сердечного ритма у пациентов с хроническим болевым синдромом призваны определить, как изменяются эти функциональные связи и может ли модуляция активности высшей нервной системы защитить от хронической боли. Эти данные могут стать катализатором разработки и применения целенаправленных методов лечения боли, таких как биологическая обратная связь по ЧСС, стимуляция блуждающего нерва или терапия активации барорецепторов.

Полученные нами показатели зависимости вариабельности сердечного ритма при выраженном болевом синдроме позволяют дать косвенную оценку эффективности и адекватности анальгезии, особенно у пациентов с ограниченным речевым контактом. Эти показатели могут служить инструментом для диагностики пациентов при экспертной оценке или подборе инвазивных методов лечения (имплантация стимулирующих устройств Deep brain stimulation (DBS)), а также стать обоснованием использования методов физического воздействия на центральную нервную систему (транскраниальная магнитная стимуляция) в рамках лечения хронического болевого синдрома. Предложенный нами подход нуждается в дальнейшем изучении с целью возможности его применения в различных клинических ситуациях.

Литература

1. Drummond P.D. The effect of pain on changes in heart rate during the Valsalva manoeuvre // *Clinical Autonomic Research*. – 2003. – V. 13. – P. 316–320. DOI: 10.1007/s10286-003-0127-1.
2. Абузарова Г.Р. и др. Хронический болевой синдром (ХБС) у взрослых пациентов, нуждающихся в паллиативной медицинской помощи: клинические рекомендации МЗ РФ. – 2023. [Abuzarova G.R. et al. Chronic pain syndrome (CPS) in adult patients in need of palliative care: clinical recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation. – 2023. In Russian]. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/400_2.
3. Новиков Е.М. и др. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (обзорная статья) // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. – 2019. – № 4. – С. 81–89. [Novikov E.M. et al. Methods for studying heart rate using ECG data: heart rate variability and dispersion mapping (review article) // *Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. – 2019. – No 4. – P. 81–89. In Russian]. DOI: 10.26269/4t6g-mx35.
4. Prudnikau H.A. et al. Dependence of cardiac-related modulation in dorso-medial medullar neural activity on pain influence // *Ukrainian Journal of Young Scientists Hist.* – 2008. – No 9.
5. Boscan P. et al. The nucleus of the solitary tract: an integrating station for nociceptive and cardiorespiratory afferents // *Experimental physiology*. – 2002. – V. 87. – No 2. – P. 259–266. DOI: 10.1113/eph8702353.
6. Drummond P.D. The effect of pain on changes in heart rate during the Valsalva manoeuvre // *Clinical Autonomic Research*. – 2003. – V. 13. – P. 316–320. DOI: 10.1007/s10286-003-0127-1.
7. Hohenschurz-Schmidt D.J. et al. Linking pain sensation to the autonomic nervous system: the role of the anterior cingulate and periaqueductal gray resting-state networks // *Frontiers in Neuroscience*. – 2020. – V. 14. – P. 147. DOI: 10.3389/fnins.2020.00147.
8. Барина И.А. и др. Клинико-нейрофизиологические характеристики пациентов с компрессионными радикулопатиями // *Наука молодых – Eruditio Juvenium*. – 2024. – Т. 12. – № 3. – С. 355–364. [Barinova I.A. et al. Clinical and Neurophysiological Characteristics of Patients with Compressive Radiculopathies // *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. – 2024. – V. 12. – No 3. – P. 355–364. In Russian]. DOI: 10.23888/HMJ2024123355-364.
9. Спасова А.П. и др. Индекс анальгезии-ноцицепции: возможности и пределы // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. – 2015. – Т. 12. – № 5. – С. 64–70. [Spasova A.P. et al. Analgesia-nociception index: possibilities and limits // *Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation*. – 2015. – V. 12. – No 5. – P. 64–70. In Russian]. DOI: 10.21292/2078-5658-2015-12-5-64-70.
10. Халмухамедов Ж.А. и др. К вопросу объективной оценки острой боли // *Вестник экстренной медицины*. – 2019. – Т. 12. – № 2. – С. 82–85. [Khalmuhamedov J.A. et al. Objective assessment of acute pain // *Bulletin of Emergency Medicine*. – 2019. – V. 12. – No 2. – P. 82–85. In Russian].