



ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ КРОВΟΣНАБЖЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА

А.А. Николаев^{1*}, Н.Н. Каркищенко², Ю.А. Чудина¹, Д.Б. Чайванов¹, А.А. Вартанов¹

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182, Российская Федерация, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

² ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»
143442, Российская Федерация, Московская обл., Красногорский р-н, п. Светлые горы, 1

Настоящая работа посвящена созданию нового упрощенного метода экспресс-диагностики по данным электрокардиограммы и фотоплетизмограммы патологий нарушения мозгового кровоснабжения вертеброгенной и невертеброгенной природы на примере синдрома позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника и соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы, соответственно. В ходе работы было проведено несколько экспериментальных исследований динамики характеристик variability сердечного ритма и дифференциальных показателей согласованной работы сердца и сосудов по данным методов электрокардиографии и фотоплетизмографии у добровольцев с особенностями мозгового кровоснабжения, возникающими вследствие потери пластичности и сужения кровеносных сосудов головного мозга, а также возникающими вследствие механического сдавливания кровеносных сосудов, по сравнению со здоровыми добровольцами. По результатам исследований было выявлено наличие значимых (с уровнем значимости менее 0,05) различий между каждой из групп испытуемых по ряду показателей. В конце работы проводится канонический дискриминантный анализ показателей согласованности работы сердца и сосудов для всех трех групп испытуемых в целях определения критериев и дифференциальной возможности показателей к разделению лиц с нарушениями вертеброгенной природы, невертеброгенной природы и здоровых добровольцев. В результате проведенного анализа была показано, что разделяющей способностью обладают три переменные, каждая из которых по-разному характеризует соответствие между работой сердца и сосудов.

Ключевые слова: нарушения мозгового кровоснабжения, патологии вертеброгенной и невертеброгенной природы, variability сердечного ритма, показатели согласованной работы сердца и сосудов, электрокардиограмма, фотоплетизмограмма

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Николаев А.А., Каркищенко Н.Н., Чудина Ю.А., Чайванов Д.Б., Вартанов А.А. Электрооптический метод дифференциальной диагностики патологий кровоснабжения головного мозга. *Биомедицина*. 2021;17(3):68–73. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-3-68-73>

Поступила 16.04.2021

Принята после доработки 17.05.2021

Опубликована 10.09.2021

AN ELECTRO-OPTICAL METHOD FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PATHOLOGIES OF BLOOD SUPPLY TO THE BRAIN

Andrei A. Nikolaev^{1,*}, Nikolay N. Karkischenko², Yulia A. Chudina¹, Dmitriy B. Chaivanov¹,
Alexandr A. Vartanov¹

¹ National Research Center "Kurchatov Institute"
123182, Russian Federation, Moscow, Academician Kurchatov Square, 1

² Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia
143442, Russian Federation, Moscow Region, Krasnogorsk District, Svetlye Gory Village, 1

This work is devoted to the development of a new simplified method for express diagnostics of cerebral blood supply disorders of a vertebrogenic and non-vertebral nature based on electrocardiogram and photoplethysmogram data. The research was conducted using the example of vertebral artery syndrome in osteochondrosis of the cervical spine and somatoform dysfunction of the autonomic nervous system, respectively. Several experimental studies into the dynamics of heart rate variability and differential indicators of the coordinated work of the heart and blood vessels were carried out according to the data of electrocardiography and photoplethysmography. Three experimental groups included healthy volunteers and volunteers with cerebral blood supply disorders connected with either the loss of plasticity and narrowing of brain blood vessels or their mechanical squeezing. According to the research results, statistically significant (with a significance level of less than 0.05) differences by a number of indicators were revealed between the experimental groups. A conventional discriminant analysis of the indicators of the coordinated work of the heart and blood vessels was carried out for all experimental groups in order to determine criteria for differentiating people with vertebrogenic disorders, non-vertebral disorders and healthy volunteers. It is concluded that three variables can be used for such differentiation, each of which describes the coordinated work of the heart and blood vessels in a specific way.

Keywords: cerebral blood supply disorders, pathologies of vertebrogenic and non-vertebral nature, heart rate variability, indicators of coordinated work of the heart and blood vessels, electrocardiogram, photoplethysmogram

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Nikolaev A.A., Karkischenko N.N., Chudina Yu.A., Chaivanov D.B., Vartanov A.A. An Electro-Optical Method for Differential Diagnosis of Pathologies of Blood Supply to the Brain. *Journal Biomed.* 2021;17(3):68–73. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-17-3-68-73>

Submitted 16.04.2021

Revised 17.05.2021

Published 10.09.2021

Введение

В настоящее время все более распространяются профессии, успешность реализации которых основана на необходимости эффективного сопряжения решения умственных задач с точным выполнением двигательных. Примером таких профессий являются операторы сложных технических комплексов. Успешность выполнения разной профессиональной деятельности, требующей высокой точности

и эффективности, основана на поддержании необходимого и достаточного кровоснабжения головного мозга. Такие профессии, как правило, сопряжены с длительным и неподвижным пребыванием на рабочем месте, что, в свою очередь, способствует риску развития гипоксии головного мозга.

В связи с нехваткой кровоснабжения головного мозга стали широко распространены заболевания вертеброгенной, т. е. обусловленные изменениями в позвоноч-

нике, и невертеброгенной, т. е. обусловленные иными изменениями, природы. Среди множества таких заболеваний наиболее типичными и опасными являются синдром позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника (СПА при ОШОП, М47.0+ по международной классификации болезней (МКБ-10)), сопровождающийся механическим сдавливанием кровеносных сосудов, и соматоформная дисфункция вегетативной нервной системы (СДВНС, F45.3), сопровождающаяся нарушением нервной регуляции сосудистого тонуса. Опасность данных патологий обуславливается слабобыраженной или, в некоторых случаях, отсутствующей симптоматикой на начальных стадиях заболевания, что затруднительно или не может быть обнаружено с помощью традиционных методов, основанных на эффекте Доплера и ультразвуковых способах диагностики. Более того, дальнейшее развитие данных патологий способствует развитию внезапных и деструктурирующих нарушений в работе органов, что может привести к частичной или полной потере работоспособности, инвалидности и даже смерти.

В связи с этим работа посвящена созданию нового упрощенного метода экспресс-диагностики данных патологий на ранних этапах заболевания, основанного на сравнительном анализе особенностей кровоснабжения головного мозга при нормальных условиях и в условиях нехватки кислорода на примере СПА при ОШОП и СДВНС.

Целью работы является разработка и создание метода непрерывного мониторинга и дифференциальной диагностики особенностей кровоснабжения головного мозга на основе показателей согласованности работы сердца и сосудов по данным электрокардиограммы (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ).

Материалы и методы

Дизайн эксперимента

В работе был проведен ряд экспериментальных исследований, проходивших на базе ФГБУН НЦБМТ ФМБА России. Добровольцы, принявшие участие в исследовании, были ознакомлены с условиями проведения процедуры, одобренной биоэтическим комитетом, и подписывали информированное добровольное согласие.

В исследовании приняли участие три группы добровольцев, среди которых были две экспериментальные и одна контрольная. В состав каждой из групп входили и мужчины, и женщины. Первая экспериментальная группа (группа СПА) состояла из 6-ти человек (средний возраст — 34 года) с диагностированным СПА при ОШОП, в состав второй экспериментальной группы (группа СДВНС) вошли 18 человек (средний возраст — 30 лет) с диагностированной СДВНС. Контрольная группа (группа КГ) состояла из 16-ти человек (средний возраст — 22 года) без каких-либо патологий шейного отдела позвоночника, сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений мозгового кровообращения.

Запись данных осуществлялась непрерывно на протяжении всех четырех этапов исследования при помощи аппаратно-программного комплекса «Реакор» («Медиком МТД», Россия) у каждого добровольца в положении сидя. Регистрацию ЭКГ в стандартном отведении проводили с помощью психофизиологического телеметрического устройства «Реакор-Г», ФПГ регистрировали с помощью фотоэлектрического датчика, устанавливаемого на мочке уха с левой стороны. На протяжении записи испытуемым предъявлялись зрительные и слуховые стимулы, изменяющиеся по типу и характеру стимуляции от этапа к этапу.

Для каждого испытуемого по данным ЭКГ была подсчитана длительность кардиоинтервала RR (ДКИ), по данным ФПГ — длительность пульсовой волны (ДПВ).

Метод диагностики изменений мозгового кровоснабжения

Метод основан на сравнении активности сердца и сосудов, где их сопоставление позволяет выявить эффективность мозгового кровоснабжения. При этом активность сердечной системы определяли на основе длительности кардиоинтервалов (ДКИ), фиксируемой электрокардиограммой, а активность сосудистой системы определяли по длительности пульсовой волны (ДПВ), фиксируемой фотоплетизмограммой.

Сопоставление сердечной и сосудистой систем осуществлялось при помощи показателей согласованности ДКИ и ДПВ, вычисляемых методом корреляционно-регрессионного анализа и являющихся коэффициентами уравнения линейной регрессии вида

$$y = k \times x + b,$$

где k — коэффициент наклона аппроксимирующей прямой, b — коэффициент смещения, а также показателей рассогласованности ДКИ и ДПВ, вычисляемых как среднеквадратичное отклонение разности между значениями ДКИ и ДПВ.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе было проведено экспериментальное исследование особенностей дифференциальных характеристик у группы СДВНС по сравнению с группой КГ с целью выяснить, какими отличительными особенностями показателей согласованной работы сердца и сосудов обладают добровольцы с нарушениями нервной регуляции сосудистого тонуса по сравнению со здоровыми добровольцами [1]. Для этого был проведен сравнительный анализ показателей между данными групп на основе непараметрического критерия Манна—Уитни, показавший наличие значимых (с уровнем значимости менее 0,05) различий.

На втором этапе было проведено экспериментальное исследование особенностей дифференциальных характеристик variability сердечного ритма у группы СПА по сравнению с группой КГ с целью выяснить, какими отличительными особенностями показателей обладают добровольцы с диагностированным механическим сдавливанием кровеносных сосудов по сравнению со здоровыми добровольцами [3]. Аналогично первому этапу, был проведен сравнительный анализ показателей на основе критерия Манна—Уитни между двумя группами испытуемых, также показавший наличие значимых различий.

На третьем этапе было проведено экспериментальное исследование особенностей показателей согласованной работы сердца и сосудов у группы СПА и группы СДВНС с целью определения отличительных особенностей в показателях у данных групп [2]. В результате проведенного анализа на основе непараметрического критерия Манна—Уитни было обнаружено наличие значимых различий среди следующих показателей: коэффициент наклона аппроксимирующей прямой, дисперсия точек аппроксимирующей прямой.

На последнем этапе в целях выявления набора показателей согласованной работы сердца и сосудов, обладающих способностью дифференцировать три группы добровольцев друг от друга, был проведен канонический дискриминантный анализ с принудительным включением. В качестве группирующей (зависимой) переменной использовали переменную, указывающую на принадлежность к одной из трех групп: группа СПА, группа СДВНС и группа КГ. В качестве независимых переменных были использованы: дисперсия между ДКИ и ДПВ (Д), среднеквадратичное отклонение ДКИ от ДПВ (СКО), коэффициент наклона аппроксимирующей прямой ДКИ и ДПВ (КН), коэффициент смещения прямой (КС),

отклонение ДКИ и ДПВ от среднего значения (ОС) и коэффициент достоверности аппроксимации (КДА). В результате проведенного дискриминантного анализа было выявлено, что дискриминантной способностью обладают следующие переменные: СКО для группы СДВНС, ОС для группы СПА и КДА для группы КГ. На основе проведенного анализа были выявлены специфичные для каждой из заданных групп паттерны значений дискриминантных переменных.

Выводы

Проведенный дискриминантный анализ показателей согласованности работы сердца и сосудов показал способность показателей к дифференциации добровольцев на группы патологий вертеброгенной и не-

вертеброгенной природы и группу здоровых добровольцев.

Был выявлен конкретный набор и особенности показателей согласованности работы сердца и сосудов, позволяющий осуществлять дифференциальную диагностику рассматриваемых патологий от нормы.

Были выявлены показатели согласованности работы сердца и сосудов при нарушении мозгового кровоснабжения неverteброгенной природы, которые могут быть использованы для различения пациентов с СДВНС от нормы.

Были выявлены показатели согласованности работы сердца и сосудов при нарушении мозгового кровоснабжения вертеброгенной природы, которые могут быть использованы для различения пациентов с СПА при ОШОП от нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Вартанов А.А., Николаев А.А., Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А. Показатели согласованности и рассогласования временных характеристик ЭКГ и ФПГ у лиц с особенностями кровоснабжения головного мозга, обусловленными сужением кровеносных сосудов вследствие потери их эластичности. *Вестник психофизиологии*. 2018;3:91–100. [Vartanov A.A., Nikolaev A.A., Chajvanov D.B., Chudina Yu.A. Pokazateli soglasovannosti i rassoglasovaniya vremennykh kharakteristik JeKG i FPG u lic s osobennostyami krovosnabzheniya golovnogo mozga, обусловленными сужением кровеносных сосудов вследствие потери их эластичности [Indicators of alignment and misalignment temporal characteristics of ECG and PPG in patients with features of cerebral blood supply due to narrowing of blood vessels due to loss of their elasticity]. *Bulletin of psychophysiology*. 2018;3:91–100. (In Russian)].
2. Каркищенко Н.Н., Николаев А.А., Чудина Ю.А., Чайванов Д.Б., Вартанов А.А. Показатели согласованной работы сердца и сосудов при сосудистой патологии вертеброгенной и неverteброгенной природы. *Биомедицина*. 2020;16(2):47–59. [Karkischenko N.N., Nikolaev A.A., Chudina Yu.A., Chajvanov D.B., Vartanov A.A. Pokazateli soglasovannoy raboty serdca i sosudov pri sosudistoy patologii vertebrogennoj i nevertebrogennoj prirody [Differential diagnostics of vertebrogenic and non-vertebrogenic vascular pathologies]. *Biomeditsina [Journal Biomed]*. 2020;16(2):47–59. (In Russian)]. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-16-2-47-59>.
3. Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А., Николаев А.А. Показатели варибельности сердечного ритма при остеохондрозе шейного отдела позвоночника. *Вестник психофизиологии*. 2019;2:79–85. [Chajvanov D.B., Chudina Yu.A., Nikolaev A.A. Pokazateli variabel'nosti serdechnogo ritma pri osteohondroze shejnogo otdela pozvonochnika [The indices of heart rate variability in patients with cervical spine osteochondrosis]. *Bulletin of psychophysiology*. 2019;2:79–85. (In Russian)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Николаев Андрей Андреевич*, Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»;
e-mail: Nikolaev-AA@nrcki.ru

Andrei A. Nikolaev*, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: Nikolaev-AA@nrcki.ru

Каркищенко Николай Николаевич, акад. РАН, чл.-корр. РАН, д.м.н., проф., ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА России»;
e-mail: niknik2808@yandex.ru

Nikolay N. Karkischenko, Academician of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Prof., Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia;
e-mail: niknik2808@yandex.ru

Чудина Юлия Александровна, к.психол.н., Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»;
e-mail: Chudina_YA@nrcki.ru

Yulia A. Chudina, Cand. Sci. (Psychol.), National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: Chudina_YA@nrcki.ru

Чайванов Дмитрий Борисович, к.ф.-м.н., Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»;
e-mail: Chayvanov_DB@nrcki.ru

Dmitriy B. Chajvanov, Cand. Sci. (Phys.- Math.), National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: Chayvanov_DB@nrcki.ru

Вартанов Александр Александрович, Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»;
e-mail: Vartanov_AA@nrcki.ru

Alexandr A. Vartanov, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: Vartanov_AA@nrcki.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author