

ПОКАЗАТЕЛИ СОГЛАСОВАННОЙ РАБОТЫ СЕРДЦА И СОСУДОВ ПРИ СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ ВЕРТЕБРОГЕННОЙ И НЕВЕРТЕБРОГЕННОЙ ПРИРОДЫ

Н.Н. Каркищенко¹, А.А. Николаев², Ю.А. Чудина², Д.Б. Чайванов^{2*}, А.А. Вартанов²

¹ ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий
Федерального медико-биологического агентства России»
143442, Российская Федерация, Московская обл., Красногорский р-н, п. Светлые горы, владение 1

² ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”»
123182, Российская Федерация, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Настоящая статья посвящена изучению согласованной работы сердца и сосудов при сосудистых заболеваниях вертеброгенной и невертеброгенной природы, характеризующихся нарушениями деятельности сердечно-сосудистой системы, приводящими к недостаточности кровоснабжения спинного и головного мозга. Вертеброгенные патологии изучали на примере нарушения позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника, а невертеброгенные патологии рассматривали при синдроме соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы. Было показано, что степень согласованности срабатывания сердца и сосудов при вертеброгенных и невертеброгенных патологиях снижена по сравнению с нормой.

Ключевые слова: согласованность работы сердца и сосудов, синдром позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника, синдром соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы, длина кардиоинтервала, длина пульсовой волны

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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 невертеброгенной природы. *Биомедицина*. 2020;16(2):47–59. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-16-2-47-59>

Поступила 27.03.2020

Принята после доработки 02.05.2020

Опубликована 10.06.2020

DIFFERENTIAL DIAGNOSTICS OF VERTEBROGENIC AND NONVERTEBROGENIC VASCULAR PATHOLOGIES

Nikolay N. Karkischenko¹, Andrey A. Nikolaev², Yulia A. Chudina², Dmitry B. Chaivanov^{2*},
Alexander A. Vartanov²

¹ Scientific Center of Biomedical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia
143442, Russian Federation, Moscow region, Krasnogorsk district, Svetlye gory village, building 1

² National Research Center “Kurchatov Institute”
123182, Russian Federation, Moscow, Akademika Kurchatova square, 1

This article investigates consistency in the work of the heart and blood vessels in vascular diseases of a vertebrogenic and non-vertebrogenic nature, which are characterized by disorders of the cardiovascular system leading to an insufficient blood supply to the spinal cord and the brain. Vertebrogenic vascular pathologies were studied by the example of vertebral artery disorders in osteochondrosis of the cervical

spine, while non-vertebrogenic pathologies were considered in the syndrome of somatoform dysfunction of the autonomic nervous system. It is shown that, compared to the norm, the degree of consistence in the work of the heart and blood vessels is lower in vertebrogenic and non-vertebrogenic vascular pathologies.

Keywords: consistency of the heart and blood vessels, osteochondrosis of the cervical spine, somatoform dysfunction syndrome of the autonomic nervous system, cardiointerval length, pulse wave length

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

For citation: Karkischenko N.N., Nikolaev A.A., Chudina Yu.A., Chaivanov D.B., Vartanov A.A. Differential Diagnostics of Vertebrogenic and Nonvertebrogenic Vascular Pathologies. *Journal Biomed.* 2020;16(2):47–59. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-16-2-47-59>

Submitted 27.03.2020

Revised 02.05.2020

Published 10.06.2020

Введение

В настоящее время все более распространенными становятся заболевания сердечно-сосудистой системы, которые приводят к ухудшению качества жизни населения развитых стран и сокращению ее продолжительности. Причины развития сердечно-сосудистых заболеваний многочисленны и разнообразны. Наиболее опасными являются патологии, приводящие к ограничению или прекращению притока крови к органам и тканям, что может вызвать их кислородное голодание. Наиболее чувствительной к гипоксии является нервная система, в частности головной мозг, кровь к которому поступает по сонным и позвоночным артериям [13]. Поражение сонных артерий приводит к острым нарушениям мозгового кровообращения и требует скорейшего оперативного вмешательства. Поражение позвоночных артерий характеризуется нарушением кровообращения спинного и частично головного мозга и может привести к снижению или частичной потере работоспособности и даже инвалидности.

Выделяют две основные причины поражения позвоночных артерий: вертеброгенные, обусловленные заболеваниями позвоночника, и невертеброгенные, обусловленные главным образом патологией сосудов. В качестве примера вертеброгенных нарушений позвоночной артерии мож-

но привести остеохондроз шейного отдела позвоночника [11, 12], невертеброгенные нарушения обнаруживаются, в частности, при синдроме соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы [3, 13].

Обе патологии сопровождаются уменьшением просвета позвоночных артерий, возникающим в результате либо их механического сдавливания, либо спастического сужения, что приводит к недостаточности кровоснабжения головного мозга. В этом контексте остеохондроз шейного отдела позвоночника и синдром соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы рассмотрим в качестве моделей сосудистой патологии, вызванной вертеброгенными и невертеброгенными причинами. Для их сравнения с помощью метода вариабельности сердечного ритма (ВСР) [2, 5, 9] оценивали состояние сердечно-сосудистой системы у пациентов, страдающих соматоформной дисфункцией вегетативной нервной системы [4], и пациентов с синдромом позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника [14]. В этих исследованиях было выявлено, что пациенты с рассмотренными патологиями отличаются от нормы одним и тем же набором показателей ВСР, что указывает на сходство изменений в работе сердечно-сосудистой системы.

Сравнение значимо различающихся показателей ВСР у пациентов с синдромом

соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы (невертеброгенные нарушения) и у пациентов, страдающих остеохондрозом шейного отдела позвоночника (вертеброгенные нарушения), позволило выявить закономерности, приведенные ниже.

Согласно этим данным, у пациентов с вертеброгенными нарушениями наблюдается тахикардия (ЧСС более 90 уд./мин), которая сопровождается уменьшением интервала между сердечными сокращениями [5, 9]. В группе с невертеброгенными нарушениями наблюдается некоторое снижение ЧСС на фоне увеличения интервала между сокращениями.

Значения частотных показателей ВСР больше для группы пациентов с невертеброгенными нарушениями, что указывает на увеличение роли вегетативной нервной системы в регуляции сосудистого тонуса на фоне преобладания парасимпатического отдела. Пациенты с вертеброгенными нарушениями обнаруживают преобладание симпатического отдела.

У пациентов с вертеброгенными нарушениями наблюдается гипертония, признаком которой является значение показателя общей мощности спектра ниже 400 мс² [9, 15].

Пациенты с вертеброгенными нарушениями характеризуются увеличением ВСР, что указывает на активацию компенсаторных механизмов, направленных на увеличение просвета сосудистого русла, которое сдвинуто вследствие механических причин [11]. Для пациентов с невертеброгенными нарушениями типично снижение ВСР, связанное с дисфункциями нейрогуморальной регуляции просвета сосудов [6], в частности с усилением влияния вегетативной нервной системы, что приводит к нарушениям на уровне микроциркуляции крови [10, 13].

Проведенный анализ показывает, что и при вертеброгенных, и при невер-

теброгенных нарушениях наблюдаются отклонения в деятельности сердечно-сосудистой системы, которые характеризуются изменением регуляторных и компенсаторных механизмов, определяющих функциональное взаимодействие сердца и сосудов. В этом контексте сосудистые патологии вертеброгенной и невертеброгенной природы адекватно рассматривать как две модели взаимодействия сердца и сосудов. Обе модели описывают состояние, характеризующееся значительным уменьшением просвета позвоночной артерии, возникшее в силу разных причин и сопровождающееся различными компенсаторными механизмами.

Вертеброгенные патологии возникают в результате механического сдавливания сосудистого русла, на которое сердечно-сосудистая система реагирует уменьшением интервалов между сердечными сокращениями, тахикардией, гипертонией и преобладанием симпатической регуляции. В случае вертеброгенных патологий механизмы нейрогуморальной регуляции являются сохраненными.

Причиной невертеброгенной патологии является дисфункция нейрогуморальной регуляции, которая компенсируется за счет чрезмерной постоянной активности отделов вегетативной нервной системы, вызывающей спазмы сосудов, которая сопровождается снижением ЧСС, увеличением интервала между сердечными сокращениями, нормотонией или гипотонией, возникающей под влиянием парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Очевидно, что обе модели отражают разные варианты взаимодействия сердечной и сосудистой деятельности, которые возникли с целью компенсации недостаточности кровоснабжения. Преобладание разных компенсаторных механизмов приведет к различным ответам системы на изменение условий окружающей среды. Следовательно, разные условия стимуля-

ции помогут выявить особенности рассмотренных моделей.

Дальнейшая спецификация моделей сосудистой патологии предполагает выявление взаимодействия сердечно и сосудистой деятельности, которое можно определить по степени согласованности работы сердца и сосудов. В связи с этим встает вопрос, каким образом выявить согласованность сердечной и сосудистой активности. Ранее было показано, что сравнение работы сердца с активностью сосудов успешно осуществляли на основе сравнения данных синхронной записи электрокардиограммы (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ) [12].

Целью настоящего исследования является определение показателей согласованности сердечной и сосудистой активности при сосудистых патологиях вертеброгенной (на примере остеохондроза шейного отдела позвоночника) и невертеброгенной (на примере синдрома соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы) природы. Показатели согласованности работы сердца и сосудов вычисляли путем сравнения длительности сердечного цикла по данным ЭКГ в стандартном отведении с длительностью пульсовой волны, фиксируемой по данным ФПГ в ушном отведении [8, 12]. Выявление особенностей рассматриваемых сосудистых патологий предполагает определение влияния функционального состояния на динамику сердечной и сосудистой активности. Для этого предполагается сравнить показатели согласованности работы сердца и сосудов в условиях разных сенсорных воздействий и в зависимости от этапа стимуляции.

Материалы и методы

Исследование проводили на базе Научного центра биомедицинских технологий ФМБА России. Добровольцы, принявшие участие в исследовании, были

ознакомлены с условиями проведения процедуры, одобренной биоэтической комиссией НЦБМТ ФМБА России, и подписывали информированное добровольное согласие.

В исследовании приняли участие три группы добровольцев, среди которых были две экспериментальные и контрольная. Первая экспериментальная группа (группа 1) состояла из добровольцев, у которых выявили синдром позвоночной артерии при остеохондрозе шейного отдела позвоночника (ОХШОП); в состав второй экспериментальной группы (группа 2) входили добровольцы, у которых диагностировали синдром соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы (ССДВНС). Контрольная группа (группа 3) состояла из добровольцев без каких-либо патологий шейного отдела позвоночника, сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений мозгового кровообращения. В состав каждой из групп входили и мужчины, и женщины. Первая экспериментальная группа включала 6 человек (средний возраст 34 года), вторая экспериментальная группа состояла из 14-ти человек (средний возраст 29 лет), в контрольной группе было 16 человек (средний возраст 22 года).

Для верификации рассмотренных моделей в процедуру исследования разделили на четыре этапа, отличающихся характером стимуляции. На первом этапе на компьютерном экране демонстрировали фотографии природных ландшафтов, на втором этапе через наушники предъявляли спокойную музыку, третий этап включал предъявление через наушники интенсивных и неприятных звуков, на четвертом этапе сочетали предъявление фотографий пейзажей и спокойной музыки. Продолжительность каждого этапа составляла 5 мин. На протяжении всех четырех этапов у испытуемых одновременно фиксировали ЭКГ в стандартном отведении и ФПГ через ушной электрод.

Запись данных осуществляли с помощью аппаратно-программного комплекса «Реакор» (производство «Медиком МТД») у каждого добровольца отдельно в спокойном состоянии в положении сидя. Регистрацию ЭКГ в стандартном отведении проводили с помощью психофизиологического телеметрического устройства «Реакор-Т», ФПГ регистрировали с помощью фотоэлектрического датчика, устанавливаемого на мочке уха с правой стороны.

Для каждого испытуемого по данным ЭКГ была подсчитана длительность кардиоинтервала RR (ДКИ), по данным ФПГ — длительность пульсовой волны (ДПВ). Пример синхронной записи ЭКГ и ФПГ представлен на рис. 1.

В ходе обработки для трех групп испытуемых получили показатели совпадения ДКИ и ДПВ. Степень совпадения ДКИ и ДПВ оценивали на основе коэффициентов линейной аппроксимации ДКИ и ДПВ (коэффициента наклона и коэффициента смещения) и дисперсии точек аппроксимирующей прямой. Степень совпадения

ДКИ и ДПВ оценивали также на основе среднеквадратичного отклонения ДКИ от ДПВ [12]. Эти показатели совпадения ДКИ и ДПВ вычисляли для каждого из четырех этапов отдельно, номер этапа обозначили n .

Коэффициенты линейной аппроксимации вычисляли путем установления линейной зависимости между ДКИ и ДПВ методом наименьших квадратов, который позволяет определить степень соответствия между данными переменными.

Линейная зависимость ДКИ и ДПВ, графически представленная на рис. 2, описывается средней линией, которая в общем виде может быть представлена уравнением (1):

$$y=ax+b, \quad (1)$$

где a — коэффициент наклона аппроксимирующей прямой; b — коэффициент смещения (отклонения точек от прямой) в системе координат.

Коэффициент наклона аппроксимирующей прямой, обозначенный нами как T_n , максимальное значение которого равно единице, показывает, насколько зависимость между ДКИ и ДПВ приближается к идеальной прямой. Соответственно, чем больше коэффициент наклона, тем больше степень совпадения между ДКИ и ДПВ, и наоборот. Коэффициент смещения точек от аппроксимирующей прямой, обозначенный нами как R_n , показывает степень отклонения точек от идеальной прямой. Соответственно, чем меньше коэффициент смещения, тем больше степень совпадения ДКИ и ДПВ, и наоборот: чем больше значение данного показателя, тем меньше степень совпадения ДКИ и ДПВ. Высокую степень совпадения ДКИ и ДПВ можно определить, во-первых, на основе приближения значения коэффициента наклона к единице, во-вторых, по приближению значения коэффициента смещения к нулю. Соответственно, при-



Рис. 1. Пример синхронной записи кардиоинтервалов (сверху) и пульсовых волн (снизу). Красной линией обозначена ДКИ — длительность кардиоинтервала между соседними R пиками, а синей линией показана ДПВ — длительность пульсовой волны между соседними пиками волны пульса.

Fig. 1. An example of synchronously recorded cardio intervals (above) and pulse waves (below). The red line indicates the cardio interval duration (CID), i. e. the duration of a cardio interval between adjacent R peaks. The blue line shows the pulse wavelength (PWL), i. e. the duration of a pulse wave between adjacent peaks of the pulse wave.

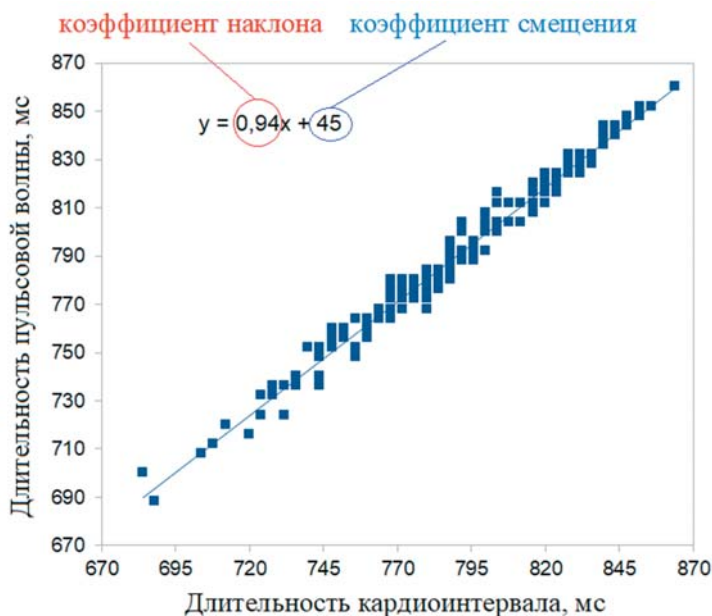


Рис. 2. Графическое представление линейной зависимости между длительностью кардиоинтервалов и длительностью пульсовых волн (на примере данных добровольца Я.М. из группы нормы). Аппроксимирующая прямая характеризуется коэффициентом наклона и коэффициентом смещения.

Fig. 2. A graphical representation of the linear relationship between the duration of cardio intervals and that of pulse waves (on the basis of data from the volunteer Ya.M. from the reference group). The approximating straight line is characterized by a slope coefficient and an offset coefficient.

ближение значения коэффициента наклона к нулю и рост значения коэффициента смещения является признаком невысокой степени совпадения ДКИ и ДПВ.

Кроме самих коэффициентов, которые находили для каждого этапа, вычисляли усредненные показатели: разность между максимальным и минимальным значениями коэффициентов наклона (E_T) и коэффициентов смещения (E_R), дисперсию, среднее арифметическое и медиану для коэффициентов наклона (D_T , T_s , T_m) и дисперсию, среднее арифметическое и медиану для коэффициентов смещения (D_R , R_s , R_m).

Дисперсия точек аппроксимирующей прямой, которую мы обозначили как D_n , указывает на отклонения точек, ее составляющих, от математического ожидания. Следовательно, чем меньше дисперсия, в идеальном варианте она должна стре-

миться к нулю, тем выше степень соответствия ДКИ и ДПВ.

Среднеквадратичное отклонение разности между значениями ДКИ и ДПВ показывает степень несоответствия между ДКИ и ДПВ. Следовательно, чем больше значение среднеквадратичного отклонения, тем ниже степень совпадения ДКИ и ДПВ. Кроме вычисления среднеквадратичного отклонения ДКИ от ДПВ для каждого этапа (MSD_n), находили их среднее арифметическое (MSD_s) и медиану (MSD_m).

Значимость различий между группами добровольцев по вышеописанным показателям определяли на основе непараметрического критерия Манна — Уитни (U). Значимость различий между показателями совпадения ДКИ и ДПВ, полученными на разных этапах, для каждой группы отдельно оценивали на основе критерия Стьюдента (t).

Результаты исследований

В экспериментальной группе ОХШОП (группа 1), экспериментальной группе ССДВНС (группа 2) и в контрольной группе (группа 3) по показателям линейной аппроксимации, дисперсии и среднеквадратичного отклонения ДКИ и ДПВ были вычислены средние значения с учетом этапа исследования (табл. 1).

Согласно данным, представленным в табл. 1, ДКИ и ДПВ больше всего совпадают у добровольцев контрольной группы, т. к. у них коэффициент наклона стремится к единице (среднее значение равно 0,95), а коэффициент смещения принимает мини-

мальное значение по сравнению с экспериментальными группами (среднее значение не превышает 42).

ДКИ и ДПВ меньше всего совпадают в группе ОХШОП, т. к. в этой группе самый низкий коэффициент наклона и самый высокий коэффициент смещения по сравнению с другими группами.

Самые высокие значения дисперсии наблюдаются в группе ССДВНС по сравнению с другими группами. Для контрольной группы и группы ССДВНС характерно снижение дисперсии на третьем этапе стимуляции, а в группе ОХШОП наблюдается снижение значения данного показателя на втором этапе и его увеличение на последнем этапе стимуляции.

Самые низкие значения среднеквадратичного отклонения обнаружены в контрольной группе. В обеих экспериментальных группах значения среднеквадратичного отклонения примерно равны и более чем в два раза превышают значения данного показателя в контрольной группе, что указывает на низкую степень совпадения ДКИ и ДПВ в экспериментальных группах.

Сравнение значений показателей совпадения ДКИ и ДПВ, рассмотренных в совокупности, для разных этапов исследования показало наличие разной динамики у исследуемых групп. В группе нормы наблюдается некоторое снижение совпадения ДКИ и ДПВ на третьем этапе исследования по сравнению другими этапами: коэффициент наклона уменьшается, коэффициент смещения растет и значение среднеквадратического отклонения увеличивается. Такой результат указывает на то, что предъявление неприятных звуков приводит к незначительному снижению совпадения ДКИ и ДПВ, это можно рассматривать как реакцию на стрессовый стимул.

Для группы ОХШОП характерно постепенное снижение совпадения ДКИ и ДПВ к четвертому этапу с некоторым повыше-

Таблица 1. Усредненные значения показателей совпадения ДКИ и ДПВ для каждой группы добровольцев
Table 1. Average values of CID and PWL coincidence for each group of volunteers

	Название группы		
	ОХШОП	ССДВНС	контрольная
Показатели линейной аппроксимации R_R и ДПВ			
T_1	0,82	0,81	0,94
T_2	0,78	0,83	0,95
T_3	0,79	0,91	0,94
T_4	0,73	0,90	0,95
T_s	0,77	0,86	0,95
T_m	0,77	0,88	0,95
E_T	0,19	0,16	0,04
D_T	0,01	0,01	0,00
R_1	122	186	45
R_2	159	163	40
R_3	145	88	44
R_4	189	90	40
R_s	161	132	42
R_m	162	116	40
E_R	129	155	30
D_R	4357	11761	282
D_1	0,77	5,41	1,05
D_2	0,51	5,82	0,99
D_3	0,80	2,92	0,76
D_4	2,58	4,29	0,90
MSD_1	42,32	59,82	19,09
MSD_2	43,93	51,35	17,68
MSD_3	46,73	40,22	21,40
MSD_4	56,00	32,53	15,84
MSD_s	47,25	45,98	18,50
MSD_m	44,40	45,06	16,88

нием на третьем этапе исследования. Такая динамика указывает на то, что причиной снижения согласованности работы сердца и сосудов является длительность исследования, а не стрессовый стимул, который в данном случае выступает в качестве мобилизующего.

Группа ССДВНС характеризуется увеличением степени совпадения ДКИ и ДПВ на последних этапах исследования при несколько большем росте на третьем этапе. Это указывает на мобилизующее влияние неприятных звуков, предъявляемых на третьем этапе исследования, и на адаптацию к экспериментальной ситуации на четвертом этапе.

Обсуждение результатов

Следующим шагом сравнительного анализа показателей совпадения ДКИ и ДПВ, полученных на разных этапах исследования, является определение значимости различий между этапами, которая позволит го-

ворить о достоверности выдвинутых ранее предположений. Вычисление значимости различий между этапами для каждой группы отдельно осуществляли с помощью критерия Стьюдента, результаты вычислений представлены в табл. 2.

Значимые различия были выявлены только в группе ССДВНС между первым и третьим этапами, между первым и четвертым этапами по следующим показателям: коэффициент наклона аппроксимирующей прямой, коэффициент смещения точек от аппроксимирующей прямой, среднеквадратичное отклонение разности между значениями ДКИ и ДПВ. Увеличение коэффициента наклона одновременно с уменьшением коэффициента смещения и среднеквадратичного отклонения на третьем и четвертом этапах по сравнению с первым этапом эксперимента указывает на увеличение совпадения между ДКИ и ДПВ. Следовательно, добровольцы группы ССДВНС реагируют на предъявление не-

Таблица 2. Сравнительный анализ показателей совпадения ДКИ и ДПВ, полученных на разных этапах эксперимента, для каждой группы на основе статистики Стьюдента: значение критерия Стьюдента (t), его вероятность ошибки (p)

Table 2. Comparative analysis of CID and PWL coincidence indicators obtained at different stages of the experiment for each group based on Student's distribution: Student's t -test (t) and its error probability (p)

Показатель	Пары этапов, между которыми вычисляли различия											
	1 и 2		1 и 3		1 и 4		2 и 3		2 и 4		3 и 4	
	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p	t	p
Группа ОХШОП												
T	0,494	0,643	0,330	0,758	0,930	0,405	0,257	0,810	1,481	0,213	0,970	0,387
R	-0,603	0,573	-0,462	0,668	-1,009	0,370	-0,432	0,688	-1,461	0,218	-1,026	0,363
D	1,233	0,272	1,513	0,191	-0,672	0,531	0,115	0,913	-0,910	0,405	-1,072	0,333
MSD	-0,935	0,403	-1,552	0,196	-1,796	0,147	-1,686	0,167	-1,431	0,226	-1,106	0,331
Группа ССДВНС												
T	-0,735	0,476	-2,537	0,026	-2,238	0,045	-1,654	0,124	-1,561	0,145	0,776	0,453
R	0,773	0,455	2,544	0,026	2,466	0,030	1,505	0,158	1,593	0,137	-0,258	0,801
D	-0,216	0,833	1,753	0,105	0,736	0,476	1,631	0,129	1,157	0,270	-1,069	0,306
MSD	1,004	0,335	2,194	0,049	2,257	0,043	1,176	0,262	1,694	0,116	1,202	0,253
Контрольная группа												
T	-0,134	0,895	0,544	0,595	-0,827	0,421	0,601	0,557	-0,751	0,464	-1,036	0,316
R	0,011	0,991	-0,438	0,668	0,832	0,418	-0,404	0,692	0,781	0,447	0,900	0,383
D	-0,415	0,684	0,258	0,800	0,259	0,799	1,021	0,324	0,623	0,542	-0,032	0,975
MSD	1,184	0,257	0,708	0,491	1,296	0,218	0,207	0,840	1,285	0,221	2,021	0,64

Примечание: цветом выделены значимые различия с уровнем значимости менее 0,05.

Note: significant differences with a significance level lower than 0.05 are marked with colour.

приятных звуков как на мобилизующий стимул, который способствует более согласованной работе сердца и сосудов.

Отсутствие значимых различий между этапами в группе ОХШОП и в контрольной группе указывает на то, что степень согласованности работы сердца и сосудов добровольцев из этих групп не меняется под воздействием использованных стимулов.

В целях сравнения экспериментальных и контрольной групп между собой были выявлены достоверные различия по всем показателям совпадения ДКИ и ДПВ на основе непараметрического критерия Манна — Уитни, полученные результаты представлены в табл. 3.

Группа ОХШОП (группа 1) и контрольная группа (группа 3) имеют значимые раз-

Таблица 3. Данные сравнительного анализа исследованных групп между собой для показателей совпадения/несовпадения ДКИ и ДПВ: средние ранги, значение критерия Манна — Уитни (U), вероятность ошибки (p)
Table 3. Comparative analysis of the studied groups in terms of the coincidence/mismatch of CID and PWL indicators: average ranks, Mann — Whitney criterion (U), error probability (p)

Показатели	№ группы		U	p	№ группы		U	p	№ группы		U	p
	ср. ранг	ср. ранг			ср. ранг	ср. ранг			ср. ранг	ср. ранг		
T_1	9,00	10,36	30,0	0,643	4,80	12,94	9,0	0,010	12,43	18,19	69,0	0,074
T_2	7,40	10,93	22,0	0,229	3,40	13,38	2,0	0,002	13,32	17,41	81,5	0,205
T_3	5,25	10,71	11,0	0,071	2,75	12,44	1,0	0,003	14,14	16,69	93,0	0,430
T_4	4,50	10,93	8,0	0,034	3,25	12,31	3,0	0,006	13,29	17,44	81,0	0,198
E_T	12,20	9,21	24,0	0,308	18,40	8,69	3,0	0,002	19,07	12,38	62,0	0,038
D_T	12,40	9,14	23,0	0,267	18,80	8,56	1,0	0,001	19,14	12,31	61,0	0,034
T_s	6,60	11,21	18,0	0,116	3,00	13,50	0,0	0,001	13,07	17,63	78,0	0,158
T_m	6,10	11,39	15,5	0,071	3,00	13,50	0,0	0,001	13,86	16,94	89,0	0,339
R_1	9,40	10,21	32,0	0,781	17,00	9,13	10,0	0,013	18,79	12,63	66,0	0,056
R_2	11,80	9,36	26,0	0,405	18,60	8,63	2,0	0,002	18,93	12,50	64,0	0,046
R_3	13,25	8,43	13,0	0,111	18,00	8,63	2,0	0,005	18,21	13,13	74,0	0,114
R_4	13,75	8,29	11,0	0,071	17,25	8,81	5,0	0,011	18,29	13,06	73,0	0,105
E_R	9,60	10,14	33,0	0,853	18,20	8,75	4,0	0,003	19,57	11,94	55,0	0,018
D_R	9,80	10,07	34,0	0,926	18,80	8,56	1,0	0,001	19,57	11,94	55,0	0,018
R_s	11,80	9,36	26,0	0,405	18,80	8,56	1,0	0,001	19,14	12,31	61,0	0,034
R_m	12,80	9,00	21,0	0,195	18,80	8,56	1,0	0,001	17,93	13,38	78,0	0,158
D_1	5,40	11,64	12,0	0,033	9,00	11,63	30,0	0,409	19,57	11,94	55,0	0,018
D_2	4,20	12,07	6,0	0,007	5,40	12,75	12,0	0,021	20,14	11,44	47,0	0,007
D_3	3,75	11,14	5,0	0,015	10,50	10,50	32,0	1,000	21,86	9,94	23,0	0,000
D_4	8,25	9,86	23,0	0,595	14,38	9,53	16,5	0,143	19,64	11,88	54,0	0,016
MSD_1	5,50	10,64	12,0	0,089	9,25	9,57	27,0	0,915	20,14	8,86	19,0	0,000
MSD_2	6,00	10,50	14,0	0,137	9,25	9,57	27,0	0,915	19,79	9,21	24,0	0,001
MSD_3	7,00	10,21	18,0	0,288	10,00	9,36	26,0	0,832	18,07	10,93	48,0	0,022
MSD_4	12,00	8,79	18,0	0,288	15,75	7,71	3,0	0,008	20,14	8,86	19,0	0,000
MSD_s	7,00	10,21	18,0	0,288	13,00	8,50	14,0	0,137	20,00	9,00	21,0	0,000
MSD_m	6,25	10,43	15,0	0,167	10,50	9,21	24,0	0,671	20,43	8,57	15,0	0,000

Примечание: цветом выделены значимые различия с уровнем значимости менее 0,05.

Note: significant differences with a significance level lower than 0.05 are marked with colour.

личия по показателям для коэффициентов наклона и смещения: T_{1-4} , E_{T^*} , D_{T^*} , T_s , T_m , R_{1-4} , E_{R^*} , D_{R^*} , R_s , R_m . При этом значения T_{1-4} , T_s , T_m выше в контрольной группе, а значения E_{T^*} , D_{T^*} , R_{1-4} , E_{R^*} , D_{R^*} , R_s , R_m выше в группе 1. В группе ОХШОП коэффициенты наклона ниже, чем в норме; разность максимума и минимума, дисперсия коэффициента наклона и коэффициенты смещения выше, чем в норме. Это указывает на то, что добровольцы группы ОХШОП характеризуются низкой согласованностью ДКИ и ДПВ по сравнению с нормой.

Группа ССДВНС (группа 2) значимо отличается от контрольной группы (группа 3) разностью максимума и минимума и дисперсией коэффициента наклона, а также разностью максимума и минимума и дисперсией коэффициента смещения и его средним значением, все эти значения достоверно выше в группе ССДВНС. Группа ССДВНС имеет значимые различия с контрольной группой по показателям дисперсии точек аппроксимирующей прямой (D) и среднеквадратичного отклонения между ДКИ и ДПВ (MSD_{1-4} , MSD_s , MSD_m). Значения всех этих показателей значимо выше для группы ССДВНС по сравнению с контрольной группой. Это указывает на то, что добровольцы группы ССДВНС характеризуются низкой согласованностью ДКИ и ДПВ по сравнению с нормой.

Две экспериментальные группы (группа ОХШОП и группа ССДВНС) имеют значимые различия по следующим показателям: T_4 , D_{1-3} . Значения коэффициента наклона на последнем этапе стимуляции и дисперсии на трех первых этапах исследования оказались выше для группы ССДВНС. Согласованность ДКИ и ДПВ выше в группе ОХШОП на трех первых этапах исследования, а на последнем этапе согласованность ДКИ и ДПВ становится выше в группе ССДВНС. Следовательно, для различения экспериментальных групп друг от друга имеет значение этап исследования.

Выводы

По итогам проведенного исследования можно говорить о том, что экспериментальные и контрольная группы отличаются степенью согласованности работы сердца и сосудов. Основными показателями согласованности сердечной и сосудистой активности являются коэффициент наклона и коэффициент смещения аппроксимирующей прямой зависимости ДКИ и ДПВ и среднеквадратичное отклонение ДКИ от ДПВ, а дисперсию точек аппроксимирующей прямой зависимости ДКИ и ДПВ можно считать дополнительным показателем различения вертеброгенной и невертеброгенной патологии.

Больше всего длительность срабатывания сердца и сосудов совпадает у добровольцев контрольной группы. У них обнаружена самая высокая степень совпадения ДКИ и ДПВ: коэффициент наклона равен 0,95, коэффициент смещения равен 42, среднеквадратичное отклонение равно 18,5.

Добровольцы с синдромом соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы характеризуются уменьшением совпадения длительности срабатывания сердца и сосудов по сравнению с нормой. Эта группа с низкой степенью совпадения ДКИ и ДПВ: коэффициент наклона равен 0,86, коэффициент смещения равен 132, среднеквадратичное отклонение равно 45,98.

Предъявление неприятных звуков приводит к увеличению согласованности работы сердца и сосудов у добровольцев с синдромом соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы.

Наименьшее совпадение длительности срабатывания сердца и сосудов обнаружено в группе добровольцев с остеохондрозом шейного отдела позвоночника. Эта группа характеризуется самой низкой степенью совпадения ДКИ и ДПВ по сравнению с другими группами: коэффициент наклона равен 0,77, коэффициент смещения равен 161, среднеквадратичное отклонение равно 47,25.

Добровольцы с остеохондрозом шейного отдела позвоночника характеризуются снижением совпадения срабатывания сердца и сосудов на четвертом этапе, а у добровольцев с синдромом соматоформной дисфункции вегетативной нервной системы обнаруживается увеличение совпадения активности сердца и сосудов на четвертом этапе исследования.

Заключение

Спецификация моделей (вертеброгенной и невертеброгенной природы) сосудистой патологии путем определения показателей согласованности работы сердца и сосудов позволила выявить их сходства и особенности. Обе патологии характеризуются снижением согласованности сердечной и сосудистой активности по сравнению с нормой. Это выявлено на основе комплекса показате-

телей: коэффициента наклона и коэффициента смещения аппроксимирующей прямой зависимости между ДКИ и ДПВ и среднеквадратичного отклонения ДКИ от ДПВ. Согласованность работы сердца и сосудов при вертеброгенных нарушениях не изменяется под влиянием внешних воздействий. В случае невертеброгенных нарушений наблюдается увеличение согласованности работы сердца и сосудов под воздействием неприятных звуков и зрительно-слуховой стимуляции, осуществляемой на последнем этапе исследования, обладающих мобилизующим действием. Показателем, позволяющим отличить вертеброгенную патологию от невертеброгенной, является дисперсия точек аппроксимирующей прямой зависимости ДКИ и ДПВ, которая в случае невертеброгенных нарушений значимо выше, чем при вертеброгенных нарушениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Акимов Г.А., Филимонов Н.А., Кранов М.Л. и др. Клинические синдромы шейного остеохондроза и его лечение. *Военно-медицинский журнал*. 1987;13–16. [Akimov G.A., Filimonov N.A., Kranov M.L., et al. Klinicheskie sindromy shejnogo osteohondroza i ego lechenie [Clinical syndromes of cervical osteochondrosis and its treatment]. *Voenno-meditsinskij zhurnal [Military Medical Journal]*. 1987;13–16. (In Russian)].
2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Д.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных кардиографических систем (метод. реком.). *Вестник аритмологии*. 2001;24:65–87. [Baevskij R.M., Ivanov G.G., Chirejkin D.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskij P.Ya., Kukushkin Yu.A., et al. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh kardiograficheskikh sistem (metod. rekom.) [Analysis of heart rate variability using various mapping systems (guidelines)]. *Vestnik aritmologii [Bulletin of Arrhythmology]*. 2001;24:65–87. (In Russian)].
3. *Вегетативные расстройства: клиника, лечение, диагностика* / Под ред. А.М. Вейна. М.: Медицинское информационное агентство, 2000. 752 с. [Vegetativnye rasstrojstva: klinika, lechenie, diagnostika [Vegetative disorders: clinic, treatment, diagnosis] Ed. by A.M. Wayne. Moscow: Medical News Agency, 2000. 752 p. (In Russian)].
4. Каркищенко Н.Н., Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А., Николаев А.А. Вариабельность сердечного ритма у пациентов с вегетососудистой дистонией головного мозга. *Биомедицина*. 2018;4:63–71. [Karkischenko N.N., Chajvanov D.B., Chudina Yu.A., Nikolaev A.A. Variabel'nost' serdechnogo ritma u patsientov s vegetososudistoj distoniej golovnogo mozga [Heart rate variability in patients with vegetative vascular dystonia of the brain]. *Journal Biomed*. 2018;4:63–71. (In Russian)].
5. Кильдебекова Р.Н., Гайсина Э.В., Нигматуллин И.М. Влияние мануальной терапии на электрическую деятельность сердца больных остеохондрозом шейного отдела позвоночника по результатам холтеровского мониторирования. *Вестник аритмологии*. 2002;28:5. [Kil'debekova R.N., Gajsina E.V., Nigmatullin I.M. Vliyanie manual'noj terapii na elektricheskuyu deyatel'nost' serdtsa bol'nyh osteohondrozom shejnogo otdela pozvonochnika po rezul'tatam holterovskogo monitorirovaniya [Influence of manual therapy on the electrical activity of the heart of patients with osteochondrosis of the cervical spine based on the results of Holter monitoring]. *Vestnik aritmologii [Bulletin of Arrhythmology]*. 2002;28:5. (In Russian)].
6. Коваленко В.Н., Несукай Е.Г., Дмитриченко Е.В. Вариабельность ритма сердца как показатель функции вегетативной нервной системы у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями. *Український кардіологічний журнал*. 2006;3:68–71. [Kovalenko V.N., Nesukaj E.G., Dmitrichenko E.V.

- Variabel'nost' ritma serdtsa kak pokazatel' funktsii vegetativnoj nervnoj sistemy u bol'nyh s serdechno-sosudistymi zabolevaniyami [Heart rate variability as an indicator of the function of the autonomic nervous system in patients with cardiovascular diseases]. *Ukrainian Journal of Cardiology*. 2006;3:68–71. (In Russian)].
7. Лукачер Г.Я. *Неврологические проявления остеохондроза позвоночника*. М.: Медицина, 1985. 240 с. [Lukacher G.Ya. *Nevrologicheskie proyavleniya osteohondroza pozvonochnika*. [Neurological manifestations of spinal osteochondrosis]. Moscow: Medicine Publ., 1985. 240 p. (In Russian)].
 8. Мошкевич В.С. *Фотоплетизмография*. М.: Медицина, 1970. 154 с. [Moshkevich V.S. *Fotopletizmografiya* [Photoplethysmography]. Moscow: Medicine Publ., 1970. 154 p. (In Russian)].
 9. Михайлов В.М. *Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода*. Иваново, 2000. 200 с. [Mihajlov V.M. *Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda*. [Heart rate variability. Experience in practical application of the method]. Ivanovo, 2000. 200 p. (In Russian)].
 10. Покалев Г.М. *Нейроциркуляторная дистония*. М., 1997. 76 с. [Pokalev G.M. *Nejrocirkulyatornaya distoniya*. [Neurocirculatory dystonia]. Moscow, 1997. 76 p. (In Russian)].
 11. Соков Е.Л., Корнилова Л.Е., Филимонов В.А., Ключева В.Н. Эффективность внутрикостных блокад в лечении спондилогенных расстройств. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2008;5:56–60. [Sokov E.L., Kornilova L.E., Filimonov V.A., Klyueva V.N. *Effektivnost' vnutrikostnyh blokad v lechenii spondilogennyh rasstrojstv* [Effectiveness of intraosseous blockades in the treatment of spondylogenic disorders]. *Zhurnal nevropatologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* [Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]. 2008;5:56–60. (In Russian)].
 12. Стригина М.И., Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А. Исследования погрешностей данных фотоплетизмограммы для анализа вариабельности сердечного ритма. *Биомедицина*. 2013;4:139–148. [Strigina M.I., Chajvanov D.B., Chudina Yu.A. *Issledovaniya pogreshnostej dannyh fotopletizmogrammy dlya analiza variabel'nosti serdechnogo ritma* [Studies of errors in photoplethysmogram data for the analysis of heart rate variability]. *Biomedicine*. 2013;4:139–148. (In Russian)].
 13. Попов С.Н., Валеев Н.М., Гарасева Т.С. и др. *Частная патология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. зав. / Под ред. С.Н. Попова*. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с. [Popov S.N., Valeev N.M., Garaseva T.S., et al. *Chastnaya patologiya: Ucheb. posob. dlya stud. vyssh. uchebn. zav.* [Private pathology: textbook for students of higher educational institutions]. Ed. by S.N. Popov. Moscow: Publishing center "Academiya", 2004. 256 p. (In Russian)].
 14. Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А., Николаев А.А. Показатели вариабельности 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*. [Indicators of heart rate variability in osteochondrosis of the cervical spine]. *Vestnik psikhofiziologii* [Bulletin of Psychophysiology]. 2019;2:79–85. (In Russian)].
 15. Яблучанский Н.И., Мартыненко А.В. *Вариабельность сердечного ритма. В помощь практикующему врачу. Для настоящих врачей*. Харьков, 2010. 131 с. [Yabluchanskij N.I., Martynenko A.V. *Variabel'nost' serdechnogo ritma. V pomoshch' praktikuyushchemu vrachu. Dlya nastoyashchih vrachej*. [Heart rate variability. To help a medical practitioner. For real doctors]. Kharkov, 2010. 131 p. (In Russian)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Николаев Андрей Андреевич, ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”»;
e-mail: nandrey4182@gmail.com

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

Andrey A. Nikolaev, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: nandrey4182@gmail.com

Чудина Юлия Александровна, ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”»;
e-mail: renyxa4@yandex.ru

Yulia A. Chudina, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: renyxa4@yandex.ru

Чайванов Дмитрий Борисович*, ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”»;
e-mail: chaivanov@yandex.ru

Dmitry B. Chaivanov*, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: chaivanov@yandex.ru

Вартанов Александр Александрович, ФГБУ «Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”»;
e-mail: alexandr84.v@mail.ru

Alexander A. Vartanov, National Research Center “Kurchatov Institute”;
e-mail: alexandr84.v@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author