

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 612.172.2:612.2+612.172.4

ВЛИЯНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОГО РЕЗОНАНСА НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ИНТЕРВАЛА QT ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

THE EFFECT OF CARDIORESPIRATORY RESONANCE ON THE VARIABILITY OF QT-INTERVAL OF THE ELECTROCARDIOGRAM

Д. А. Димитриев, Н. М. Ремизова

D. A. Dimitriev, N. M. Remizova

*ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический
университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары*

Аннотация. Одним из наиболее ярких проявлений взаимодействия между дыхательной и сердечно-сосудистой системами является кардиореспираторный резонанс, который проявляется в резком повышении variability сердечного ритма при совпадении дыхательного цикла с циклом барорефлекторной активности. Нами произведена запись электрокардиограммы испытуемых во время дыхания со свободной и резонансной частотами, на основе которой вычислены параметры интервала QT. Установлено, что дыхание на резонансной частоте влияет на различные показатели variability интервала QT.

Abstract. One of the most striking manifestations of the interaction between the respiratory and cardiovascular systems is cardiorespiratory resonance that manifests itself in a sharp increase of heart rate variability at the coincidence of the respiratory cycle with the cycle of baroreflex activity. We have performed the ECG to the subjects during respiration with resonant and non-resonant frequencies, on the basis of which the parameters of the QT interval have been calculated. It has been established that the breath at the resonant frequency affects different variability of the QT interval.

Ключевые слова: *кардиореспираторная система, кардиореспираторный резонанс, частота дыхания, электрокардиограмма, QT-интервал.*

Keywords: *cardiorespiratory system, cardiorespiratory resonance, respiratory rate, electrocardiogram, QT-interval.*

Актуальность исследуемой проблемы. Одним из актуальных разделов физиологии человека является исследование кардиореспираторного взаимодействия, которое

проявляется в виде изменения ритма сердца при переходе от одной фазы дыхательного цикла к другой [4]. Наиболее ярким проявлением такого взаимодействия является кардиореспираторный резонанс (КРР).

Функциональный резонанс в сердечно-сосудистой системе возникает при внесении в управление сердечным ритмом внешнего ритмического воздействия [15]. Кардиореспираторным резонансом называется функциональный резонанс, вызванный контролируемым дыханием. Чаще всего КРР возникает во время дыхания с навязанной частотой 0,1 Гц (6 дых/мин) [1].

Феномен резонанса опосредован замкнутым циклом барорефлекторной системы [7], [14], который является системой с отрицательной обратной связью [16], и взаимодействием между дыхательным и сосудодвигательным центрами на уровне ствола мозга [8]. Это проявляется в физическом совпадении частот двух гармонических колебательных процессов: внешнего дыхательного возмущения и собственных колебаний сердечно-сосудистой системы [3]. Хотя исследование механизма кардиореспираторного резонанса является актуальной проблемой и ей посвящено много работ [5], [11], [13], в то же время не изучено влияние резонансной частоты дыхания на продолжительность интервала QT электрокардиограммы (ЭКГ).

В связи с этим целью нашей работы является изучение воздействия кардиореспираторного резонанса на вариабельность интервала QT ЭКГ.

Материал и методика исследований. Исследование проводилось на базе лаборатории «Физиология человека» при кафедре биологии и основ медицинских знаний ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» с января 2014 по январь 2015 года. В исследовании принимали участие 29 здоровых студентов факультета естественнонаучного образования ЧГПУ им. И. Я. Яковлева в возрасте от 18 до 22 лет, из них мужчин – 4 человека, женщин – 25 человек. При планировании и осуществлении эксперимента учитывались требования Хельсинкской декларации: было получено разрешение этического комитета, все обследуемые давали письменное согласие на участие в эксперименте.

Исследование проводилось в межсессионный период в первой половине дня с 8 до 12 часов при температуре воздуха в помещении 21°C. Испытуемый находился в состоянии покоя лежа не менее 5 мин до начала регистрации кардиоинтервалов. В исследовании применялись различные режимы дыхания испытуемых: свободная частота дыхания и навязанные частоты дыхания – 6,5 дых/мин, 6 дых/мин, 5,5 дых/мин, 5 дых/мин, 4,5 дых/мин. Частота дыхания (ЧД) задавалась с помощью голосовых команд, записанных в виде mp3-файла и транслируемых через динамики. Для каждого из режимов дыхания в положении лежа записывалась 5-минутная электрокардиограмма согласно рекомендациям Европейской Ассоциации Кардиологии [12]. Регистрация сердечного ритма осуществлялась с помощью программно-аппаратного комплекса «Поли-спектр – 8/E» («Нейрософт»).

Определение кардиореспираторного резонанса проводилось посредством спектрального анализа продолжительности интервала RR согласно следующему алгоритму. На первом этапе осуществлялся спектральный анализ интервалов RR с целью определения амплитуды колебаний на дыхательной частоте. Затем проводился сравнительный анализ пиковых значений амплитуды при различных режимах дыхания. В качестве резонансной выбиралась та частота, на которой отмечалась максимальная амплитуда дыхательной аритмии.

На основе записанной ЭКГ нами вычислялись как традиционные, так и инновационные показатели variability интервала QT. Посредством вариационного статистического анализа вычислялись дисперсия QT (SDQT) и дисперсия различий между соседними интервалами QT (RMSSD). В результате спектрального анализа колебаний продолжительности интервала QT была вычислена спектральная мощность низкочастотных колебаний (LF), высокочастотных колебаний (HF) и общая мощность колебаний (Total). Путем анализа «облака» на графике Пуанкаре была определена ширина скатерограммы (SD1) и вычислена ее длина (SD2). Для определения информационной энтропии в системе, формирующей сердечный ритм, вычислялся показатель SampEn [10]. Поскольку физиологические системы ведут себя как фракталы [6], нами был использован хорошо апробированный метод анализа фрактальных свойств временных последовательностей [9] – детрендный флуктуационный анализ – и вычислены показатели α , $\alpha 1$ и $\alpha 2$. Кроме того, производилось вычисление медианы и средней продолжительности QT.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета профессиональной статистики «Statistica7.0 for Windows». Полученные результаты исследования приведены в виде «средняя±ошибка средней». При подсчете достоверности различий использовался непараметрический критерий Вилкоксона. Статистически значимыми считались различия с $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ распределения резонансных частот свидетельствует о том, что наиболее часто резонанс отмечался при дыхании с частотой 6 дых/мин (37 % испытуемых), что согласуется с ранними исследованиями [1]. У 24 % студентов резонанс отмечался при дыхании с частотой 6,5 дых/мин, у 15 % – при дыхании с частотой 5,5 дых/мин, у 15 % – при дыхании с частотой 5 дых/мин. У некоторых студентов (9 %) резонанс возникал при дыхании с очень низкой частотой – 4,5 дых/мин. Таким образом, установлена достаточно выраженная variability значения резонансной частоты дыхания. Существенные межиндивидуальные различия в величине резонанса связаны с конституциональными и функциональными особенностями, которые способны существенно повлиять на данный феномен [14].

Полученные результаты variability интервала QT представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения параметров variability интервала QT при свободном дыхании (СД) и дыхании на резонансной частоте (РД)

Параметры	СД	РД	Z	p
Средняя длина интервала QT (мс)	377,52±4,82	379,16±3,59	1,243	0,214
Медиана (мс)	377,65±4,82	379,05±3,56	1,09	0,27
SDQT (мс)	4,59±0,33	5,59±0,51	1,79	0,07
RMSSD (мс)	4,1±0,33	5,41±0,59	1,94	0,05
LF (мс ²)	1,89±0,29	3,7±1,96	0,33	0,74
HF (мс ²)	3,35±0,58	12,39±3,51	4,29	0,00002
Total (мс ²)	6,48±0,99	17,97±6,56	3,21	0,001
SD1 (мс)	2,9±0,23	3,83±0,42	1,96	0,05
SD2 (мс)	5,73±0,45	6,82±0,63	1,65	0,099
SampEn (y. e.)	1,77±0,05	1,87±0,07	1,98	0,048
α (y. e.)	0,88±0,04	0,67±0,02	4,14	0,00003
$\alpha 1$ (y. e.)	0,78±0,02	1,01±0,04	4,16	0,00003
$\alpha 2$ (y. e.)	0,96±0,05	0,67±0,03	3,95	0,00008

Хотя дыхание с навязанной частотой вызывает изменение частоты сердечных сокращений [2], нами не обнаружено статистически значимого изменения продолжительности интервала QT ($p > 0,05$). Анализ вариационных рядов, составленных из интервалов QT, не выявил достоверных различий между свободным дыханием и дыханием на резонансной частоте по показателям дисперсии QT ($p > 0,05$). Кардиореспираторный резонанс не оказал существенного влияния на различие между соседними интервалами QT, выраженными в виде RMSSD ($p > 0,05$). Данный физиологический феномен имеет гораздо большее значение для спектральных параметров variability QT: значительно увеличивается общая амплитуда колебаний (повышение Total) ($p < 0,05$), увеличиваются колебания в высокочастотном диапазоне HF ($p < 0,05$); повышение амплитуды низкочастотных колебаний LF не носит достоверного характера ($p > 0,05$). Дыхание с навязанной частотой КРР вызвало изменение формы «облака» на графике Пуанкаре (рис. 1).

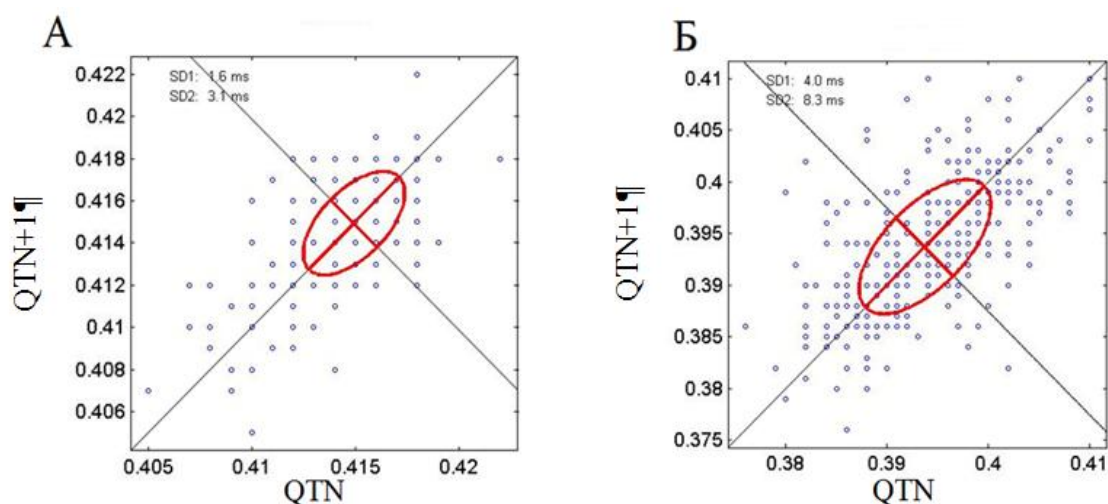


Рис. 1. Примеры графика Пуанкаре при СД (А) и РД (Б)

Как видно из рис. 1, площадь облака несколько увеличилась за счет увеличения как ширины (SD1), так и длины (SD2). В то же время статистический анализ не выявил наличия достоверных различий между значениями показателей графика Пуанкаре при свободном дыхании и КРР ($p > 0,05$).

Нами установлено достоверное повышение величины параметра SampEn интервала QT на 6 % при КРР по сравнению со свободным дыханием, что является свидетельством увеличения сложности временного ряда интервала QT ($p < 0,05$).

При КРР произошло значительное (на 26 %) повышение величины параметра $\alpha 1$ и снижение (на 30 %) параметра $\alpha 2$ ($p < 0,05$). Это говорит об увеличении фрактальных свойств и корреляции для коротких временных рядов интервала QT, что предположительно связано с увеличением упорядоченности интервалов в пределах фазы и цикла дыхания при воздействии контролируемой частоты дыхания в контексте респираторной синусовой аритмии. Анализ индивидуальных динамик $\alpha 1$ и $\alpha 2$ подтверждает справедливость этого заключения для большинства обследованных (рис. 2).

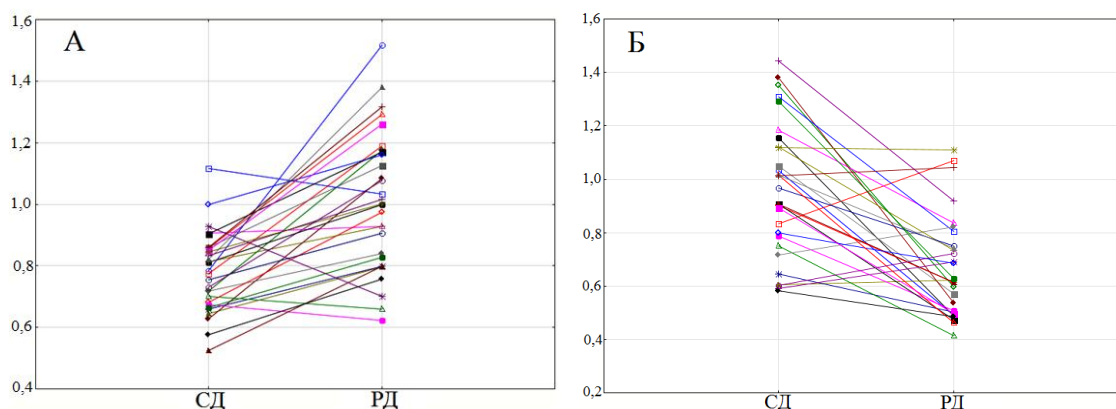


Рис. 2. Индивидуальные изменения параметра $\alpha 1$ (А) и $\alpha 2$ (Б) интервала QT

Резюме. Таким образом, нами установлено, что кардиореспираторный резонанс оказывает существенное влияние на вариабельность интервалов QT ЭКГ, что сопровождается усилением процессов укорочения и удлинения данного интервала, что отражает усиление вариабельности электрических процессов, происходящих в клетках миокарда при кардиореспираторном резонансе. Установлено, что дыхание на резонансной частоте вызывает увеличение вариабельности интервала QT по сравнению со свободной ЧД. КРР сопровождается повышением информационной энтропии и изменением фрактальных динамик функциональной системы, влияющей на процессы деполяризации и реполяризации в сердечной мышце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варавина Л. Ю., Якунченко Т. И. Модели резонансного дыхания в биотехнической системе ультразвуковой терапии // *Фундаментальные исследования*. – 2005. – № 9. – С. 81–82.
2. Димитриев Д. А., Ремизова Н. М. Влияние дыхания с заданной частотой на вариабельность интервалов QT электрокардиограммы // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева*. – 2014. – № 2(82). – С. 14–20.
3. Красников Г. В., Пискунова Г. М., Танканаг А. В., Тюрина М. Й., Чемерис Н. К. Резонансно-подобное взаимодействие колебаний кровотока в микроциркуляторном русле кожи человека при контролируемом дыхании // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2010. – Т. 17, № 4. – С. 1–17.
4. Чуян Е. Н., Бирюкова Е. А., Раваева М. Ю., Янцев А. В., Заячникова Т. В. Изменение показателей вариабельности ритма сердца и фрактальной нейродинамики в условиях управляемого дыхания на частоте колебаний спектра сердечного ритма // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия : Биология, химия*. – 2009. – Т. 22 (61), № 3. – С. 174–191.
5. Chalaye P., Goffaux P., Lafrenaye S., Marchand S. Respiratory effects on experimental heat pain and cardiac activity // *Pain Medicine*. – 2009. – Vol. 10(8). – P. 1334–1340.
6. Goldberger A. L., Amaral L. A., Hausdorff J. M., Ivanov P. C., Peng C. K., Stanley H. E. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2002. – Vol. 99, № 1. – P. 2466–2472.
7. Lehrer P., Vaschillo E., Trost Z., France C. R. Effects of rhythmical muscle tension at 0.1 Hz on cardiovascular resonance and the baroreflex // *Biological psychology*. – 2009. – № 81(1). – P. 24–30.
8. Malpas S. Neural influences on cardiovascular variability: Possibilities and pitfalls // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* – 2002. – Vol. 282. – P. 6.
9. Peng C. K., Havlin S., Stanley H. E., Goldberger A. L. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. – 1995. – Vol. 5, № 1. – P. 82–87.

10. Richman J. S., Moorman J. R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // *American journal of physiology Heart and circulatory physiology*. – 2000. – Vol. 278 (6). – P. 2039–2049.
11. Sutarto A. P., Wahab M. N. A., Zin N. M. Heart Rate Variability (HRV) biofeedback: A new training approach for operator's performance enhancement // *Journal of industrial engineering and management*. – 2010. – Vol. 3, № 1. – P. 176–198.
12. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standard of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation*. – 1996. – Vol. 93, № 5. – P. 1043–1065.
13. Wheat A. L., Larkin K. T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: A critical review // *Applied psychophysiology and biofeedback*. – 2010. – Vol. 35, № 3. – P. 229–242.
14. Vaschillo E. G., Vaschillo B., Lehrer P. M. Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 2006. – Vol. 31, № 2. – P. 129–142.
15. Vaschillo E. G., Vaschillo B., Pandina R. J., Bates M. E. Resonances in the cardiovascular system caused by rhythmical muscle tension // *Psychophysiology*. – 2011. – № 48 (7). – P. 927–936.
16. Vaschillo E. G., Vaschillo B., Buckman J. F., Pandina R. J. The investigation and clinical significance of resonance in the heart rate and vascular tone baroreflexes // *Biomedical Engineering Systems and Technologies: proceedings of the 4th International Joint Conf.* – Rome, 2011. – P. 224–237.