

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ МЕЖДУ ДЫХАНИЕМ И СЕРДЕЧНЫМИ РИТМАМИ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ R-R ИНТЕРВАЛОВ

В.И. Гриднев<sup>1</sup>, А.Б. Беспятов<sup>2</sup>, В.И. Пономаренко<sup>2,3</sup>, М.Д. Прохоров<sup>3</sup>,  
А.Р. Киселев<sup>1</sup>, М.Б. Бодров<sup>2</sup>, Б.П. Безручко<sup>2,3</sup>, О.М. Посненкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Саратовский НИИ кардиологии МЗ и СР РФ, г. Саратов*

<sup>2</sup>*Саратовский государственный университет, факультет нелинейных процессов,  
г. Саратов*

<sup>3</sup>*Саратовское отделение Института радиотехники и электроники РАН,  
г. Саратов*

Взаимодействие между основными ритмическими процессами в сердечно-сосудистой системе (ССС) человека может привести к их синхронизации. Наиболее хорошо изученной является кардиореспираторная синхронизация. Синхронизация между дыханием и ритмом с частотой 0.1 Гц была обнаружена сравнительно недавно и исследована менее подробно. Изучение синхронизации между ритмами ССС проводилось на основе анализа бивариантных данных, в качестве которых обычно использовались одновременно измеряемые сигналы ЭКГ и дыхания. Вместе с тем, синхронизация между различными взаимодействующими ритмическими процессами может быть обнаружена на основе анализа унивариантных данных. Благодаря взаимодействию основных ритмов ССС, их проявления видны в различных сигналах: ЭКГ, кровяном давлении, вариабельности сердечного ритма (ВСР). Выделив из сложного сигнала основные ритмические составляющие и определив их фазу можно исследовать синхронизацию между ними.

Целью данной работы являлось изучение кардиореспираторной синхронизации и синхронизации между дыханием и ритмом с частотой 0.1 Гц на основе анализа лишь последовательности R-R интервалов, содержащей информацию сразу о нескольких ритмических процессах, участвующих в динамике ССС.

Мы исследовали 8 здоровых молодых мужчин со средним уровнем физической активности. В ходе экспериментов в течение 10 минут с частотой 250 Гц и 16-ти разрядном разрешении одновременно записывались в положении сидя сигналы ЭКГ, дыхания и кровяного давления на среднем пальце левой руки испытуемых. Показания снимались при трех режимах дыхания: произвольном и с постоянными частотами 0.2 Гц и 0.25 Гц. Для определения из ряда R-R интервалов

фазы основного ритма сердца будем полагать, что в моменты времени  $t_k$ , соответствующие появлению  $R$  пиков, фаза сердцебиения увеличивается на  $2\pi$ , а в промежутках между ними линейно растет. В результате получаем выражение для мгновенной фазы сердечного ритма

$$\phi_h(t) = 2\pi \frac{t - t_k}{t_{k+1} - t_k} + 2\pi k, \quad t_k \leq t < t_{k+1}. \quad (1)$$

После приведения исходной последовательности  $R$ - $R$  интервалов к эквидистантному по времени ряду мы выделяли из него мгновенные фазы и частоты ритма с частотой 0.1 Гц и дыхания с помощью трех методов (вейвлетного преобразования, полосовой фильтрации с преобразованием Гильбрета и эмпирической декомпозиции мод с преобразованием Гильбрета). Полученные значения сопоставлялись со значениями мгновенных фаз и частот, вычисленными непосредственно по временным рядам дыхания и кровяного давления. Обнаружено, что мгновенные фазы и частоты респираторного ритма, выделенного из ряда  $R$ - $R$  интервалов каждым из трех указанных методов, достаточно близко совпадают с мгновенной фазой и частотой, вычисленными непосредственно из записи дыхания. Фазы и частоты ритма с собственной частотой около 0.1 Гц, выделенные из  $R$ - $R$  ряда и из ряда кровяного давления, достаточно близки, однако демонстрируют между собой большее отличие, чем респираторные колебания в исследуемых сигналах. Наличие фазовой синхронизации между основным сердечным ритмом и дыханием мы определяли, вычисляя обобщенную разность фаз

$$\varphi_{n,m}^{hb} = n\phi_h - m\phi_b, \quad (2)$$

где  $\phi_h$  — мгновенная фаза сердечного ритма, определяемая по формуле (1),  $\phi_b$  — мгновенная фаза ритма дыхания, вычисленная по ряду  $R$ - $R$  интервалов,  $n$  и  $m$  — целые числа. При выполнении условия  $|\varphi_{n,m}^{hb} - C| < const$ , где  $C$  — некоторая константа, имеет место фазовая синхронизация порядка  $n:m$ . При этом на графике зависимости относительной фазы от времени имеется участок, на котором  $\varphi_{n,m}^{hb}$  колеблется около некоторого постоянного значения. Мы наблюдали синхронизацию между основным сердечным ритмом и дыханием продолжительностью более 30 секунд у всех 8 испытуемых, как при произвольном дыхании, так и при дыхании с постоянной частотой. При произвольном дыхании чаще других наблюда-

лись порядки синхронизации 1:3 (на 1 период дыхания приходится 3 удара сердца) и 1:4. У большинства испытуемых выявлено по несколько различных порядков синхронизации  $n:m$  в течение одной записи.

Для исследования по ряду  $R$ - $R$  интервалов фазовой синхронизации между дыханием и процессом с частотой 0.1 Гц мы вычисляли обобщенную разность фаз

$$\varphi_{n,m}^{vb} = n\phi_v - m\phi_b, \quad (3)$$

где  $\phi_v$  — мгновенная фаза ритма с частотой около 0.1 Гц, вычисленная по ряду  $R$ - $R$  интервалов. Режимы синхронизации дыхания и процесса регуляции сосудистого тонуса с частотой 0.1 Гц, имеющие продолжительность более 50 с, наблюдались нами у всех 8 испытуемых при каждом из трех исследованных режимов дыхания. При произвольном дыхании наиболее часто встречаемой являлась синхронизация порядков 3:1 (на 3 цикла дыхания приходится один цикл низкочастотных колебаний сердечного ритма) и 5:2. Существование интервалов, на которых отношение мгновенных частот исследуемых ритмов остается постоянным, в то время как сами частоты меняются, а также наличие у большинства испытуемых синхронизации разных порядков  $n:m$  в пределах одного измерения, свидетельствуют в пользу того, что наблюдаемые нами явления действительно связаны с процессом подстройки ритмов, а не являются следствием случайного совпадения частот. Полученные нами результаты исследования синхронизации между ритмами ССС по унивариантным данным в виде ряда  $R$ - $R$  интервалов качественно совпадают с результатами исследований синхронизации по бивариантным данным.

Мы полагаем, что наличие и продолжительность синхронизации между основными ритмами ССС могут быть использованы при диагностике ее состояния. Значительную разницу можно ожидать между длительностью и вообще наличием синхронизации между ритмами ССС у здоровых людей и у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, имеющих сниженную ВСР. Возможность оценивать наличие и длительность синхронизации, имея в распоряжении только запись  $R$ - $R$  интервалов, открывает более широкие возможности применения этой меры на практике.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 03–02–17593, CRDF, Award No. REC–006 и INTAS, грант No. 03–55–920.