

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Исследование биологической обратной связи в контуре регуляции ритма сердца

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентка 4 курса 4081 группы
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

институт физики

Чепурнова Юлия Олеговна

Научный руководитель:
доцент, к.ф.-м.н.



15.06.23

Е.И. Боровкова

подпись, дата

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., доцент



подпись, дата

А.С. Каравасв

15.06.23

Саратов 2023

Введение

Медленное дыхание является центральным компонентом биологической обратной связи вариабельности сердечного ритма. Было выявлено, что медленное дыхание на резонансной частоте человека оказывает терапевтическое значение и может быть полезно для пациентов с высоким артериальным давлением, бессонницей и тревогой, так как оно может улучшить качество сна [1]. Также медленное дыхание может применяться в качестве профилактики стресса и повышения работоспособности.

Однако в настоящее время открытым является вопрос о стабильности резонансной частоты при повторных экспериментах. До сих пор неизвестно, достаточно ли двухминутных записей для оценки резонансной частоты и достоверно ли оно по сравнению с пятиминутными записями. Также существует вопрос, способно ли ритмичное напряжение скелетных мышц рук и ног заменить медленное дыхание при оценке резонансной частоты.

Целью работы является исследование стационарности собственной частоты регуляции процессов автономной регуляции кровообращения.

Основными задачами являются:

- исследование стационарности резонансной частоты;
- оценка респираторной синусовой аритмии у здоровых испытуемых в ходе экспериментов с биологической обратной связью, реализуемой посредством: стимулированного глубокого дыхания на частоте барорефлекторного резонанса данного испытуемого и управляемого ритмичного сокращения скелетных мышц с заданной частотой;
- разработка нового метода организации биологической обратной связи с помощью ритмичного напряжения скелетных мышц рук и ног на резонансной частоте.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка литературы.

Пункт 1 «Биологическая обратная связь» содержит описание

сердечно-сосудистой системы, вариабельности сердечного ритма, описание барорецепторного рефлекса и стандартный протокол оценки резонансной частоты.

Пункт **2 «Эксперимент»** содержит описание эксперимента и полученные результаты.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Основное содержание работы

В первой главе «Биологическая обратная связь» рассказывается про вариабельность сердечного ритма (ВСР), барорецепторный рефлекс и резонанс в биологической обратной связи.

ВСР представляет собой колебания временных интервалов между последовательными сердечными сокращениями, которые называются RR-интервалами [2]. У здоровых людей ВСР довольно высокая, однако снижение показателей ВСР говорит о нарушениях сердечно-сосудистой системы [3].

Целью биологической обратной связи по ВСР является увеличение респираторной синусовой аритмии (РСА), то есть ускорения и замедления сердечного ритма на протяжении всего цикла дыхания [4, 5], чтобы повысить вегетативный гомеостатический потенциал. Биологическая обратная связь по ВСР широко используется для лечения целого ряда расстройств, например, астмы, депрессии, проблем со сном

Краткосрочные (около 5 мин) измерения ВСР производятся путем взаимодействия между вегетативной, сердечно-сосудистой, центральной нервной, эндокринной и дыхательной системами. Эти интегрированные системы используют обратную связь от барорецепторов (рецепторов, которые обнаруживают изменения артериального давления) и хеморецепторов. Такое явление называется барорецепторный рефлекс.

Барорецепторы расположены в стенках крупных артерий большого круга кровообращения [7, 8]. Они чувствительны к изменению давления внутри артерий и передают информацию об изменениях в мозг. Далее, эти сигналы обрабатываются мозгом и посылаются обратно к сердцу через блуждающий нерв, чтобы замедлить скорость его сокращения.

В некоторых случаях медленное дыхание может усиливать барорецепторный рефлекс. Например, при дыхании в ритме 6-8 вдохов в минуту диафрагмальное дыхание может стимулировать барорецепторы на стенках артерий, что вызывает уменьшение артериального давления. Это может быть полезно при лечении гипертонии и других заболеваний,

связанных с повышенным артериальным давлением.

Модель резонансной частоты предсказывает, что мы можем лучше всего стимулировать барорефлекс и увеличивать RSA на уникальной для каждого человека резонансной частоте. Эта модель также предполагает, что дыхание и ритмичное напряжение скелетных мышц рук и ног на резонансной частоте (около 0.1 Гц) могут увеличить RSA и ВСР [2]. Внешняя стимуляция, такая как медленное дыхание или ритмичное напряжение скелетных мышц рук и ног вблизи точной резонансной частоты человека [5], вызывает наибольшее увеличение RSA и увеличивает усиление барорефлекса.

Оценка резонансной частоты определяет уникальную частоту дыхания, которая наилучшим образом стимулирует барорефлекс и максимизирует амплитуду RSA. В таблице 1 указаны частоты дыхания, которые колеблются от 4.5 до 7.5 вдохов в минуту для взрослых и соответствующие им пиковые частоты.

Таблица 1 - Частота дыхания и соответствующие пиковые частоты

Частота дыхания, вд./мин	Частота, Гц
4.5	0.075
5.0	0.08
5.5	0.09
6.0	0.10
6.5	0.11
7.0	0.12
7.5	0.13

Во второй главе «Эксперимент» описан дизайн эксперимента и полученные результаты.

Для 7 здоровых добровольцев (21±2 года) со средним уровнем физической активности, был проведен эксперимент для оценки резонансной частоты. Эксперимент состоял из шести серий, в первых пяти из которых добровольцев просили дышать с определённым режимом. Стимулом ко вдоху и выдоху испытуемого являлся звуковой сигнал, издаваемый

программой для компьютера. В последнем эксперименте человек ритмично также под специальный звуковой сигнал сокращал мышцы рук и ног.

Каждая серия эксперимента состояла из 16 эпох. Длительность дыхания и сокращения мышц с каждой частотой составляла 5 минут. На рисунке 1 представлен дизайн эксперимента, где f_0 соответствует обычному дыханию человека, f_1 соответствует дыханию на частоте 4.5 вдохов в минуту, f_2 соответствует дыханию на частоте 5 вдохов в минуту, f_3 соответствует дыханию на частоте 5.5 вдохов в минуту, f_4 соответствует дыханию на частоте 6 вдохов в минуту, f_5 соответствует дыханию на частоте 6.5 вдохов в минуту, f_6 соответствует дыханию на частоте 7 вдохов в минуту, f_7 соответствует дыханию на частоте 7.5 вдохов в минуту.

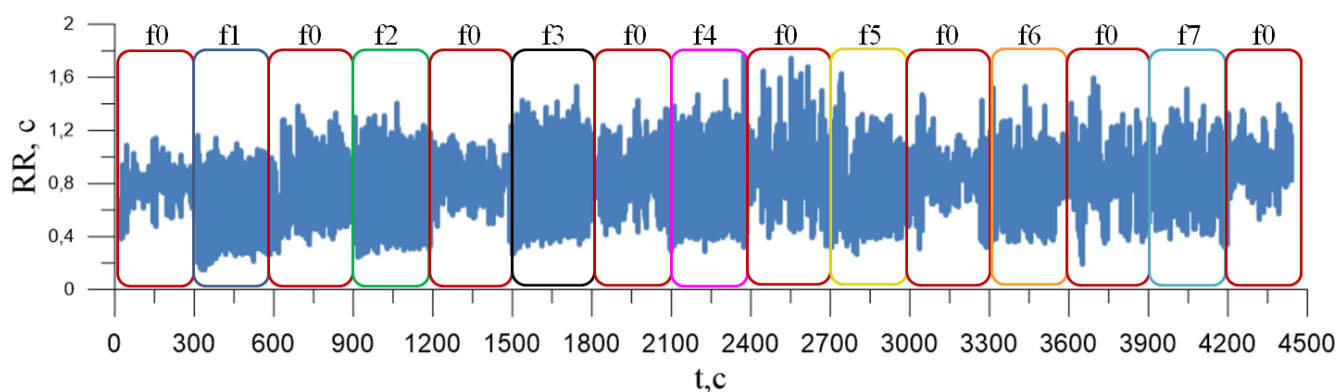


Рисунок 1 – Дизайн эксперимента

В ходе эксперимента с сокращением скелетных мышц рук и ног испытуемые сидели в удобном для них положении, вытянув ноги. После звукового сигнала испытуемые сокращали мышцы рук и ног.

Для каждого испытуемого в серии экспериментов с медленным дыханием были получены спектрограммы сигнала RR-интервалов и дыхания. На рисунке 2 представлены спектрограммы RR интервалов и сигналов дыхания для первого испытуемого.

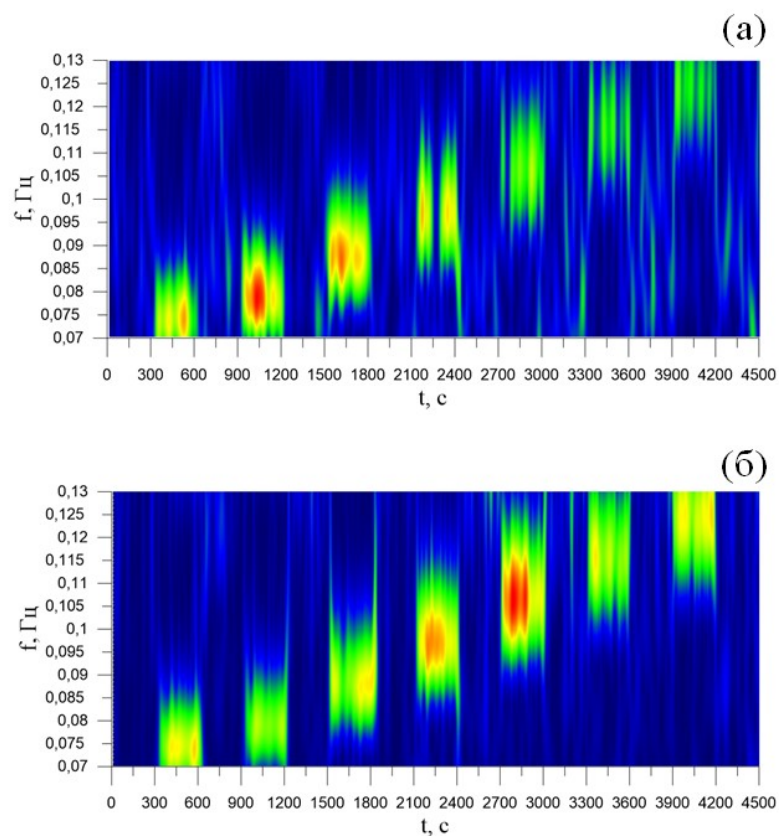


Рисунок 2 - Вейвлет-спектры в ходе первого эксперимента медленного дыхания для первого испытуемого: (а) – RR-интервалов; (б) – сигнала дыхания

Темные области соответствуют моментам, когда человек дышал спонтанно. Цветные области соответствуют моментам, когда человек дышал с определенными частотами. Оранжевые участки указывают на интенсивность амплитуды - чем ярче цвет, тем выше амплитуда колебаний.

В ходе эксперимента с ритмичным напряжением скелетных мышц рук и ног были также получены спектрограммы RR-интервалов для добровольцев. На рисунке 3 представлен вейвлет-спектр RR-интервалов для второго добровольца.

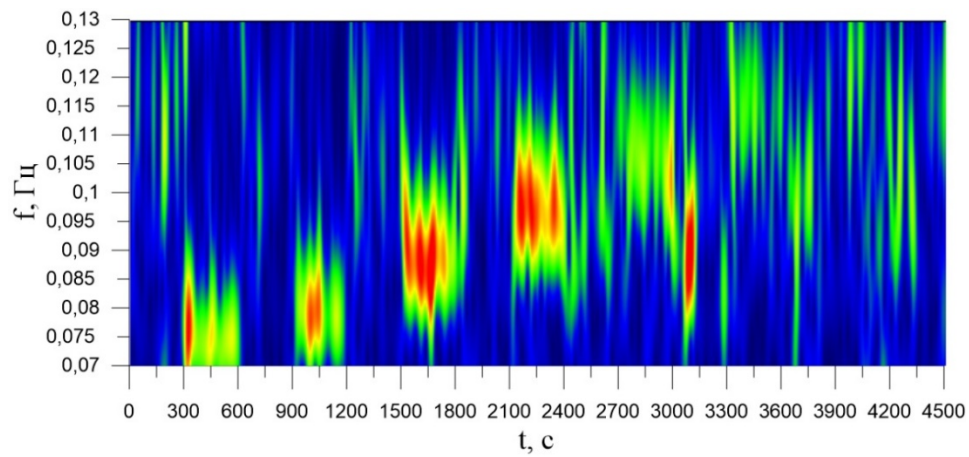


Рисунок 3 - Вейвлет-спектр RR-интервалов в ходе эксперимента ритмичного напряжения мышц для второго испытуемого

Для определения резонансной частоты каждого добровольца был посчитан индекс PCA – разница между длительностью самого длинного и самого короткого RR-интервала. На рисунках 4 - 5 изображены графики зависимости показателя PCA от частот для первого испытуемого для пяти экспериментов, на которых точка с наибольшим значением PCA указывает на резонансную частоту человека.

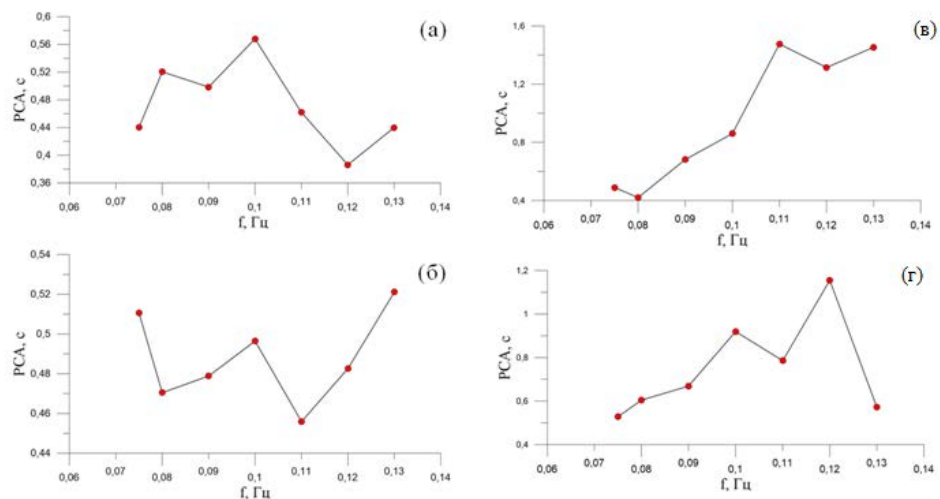


Рисунок 4 - Индекс PCA для первого добровольца во время: (а) – первого эксперимента; (б) – второго эксперимента; (в) – третьего эксперимента; (г) – четвертого эксперимента

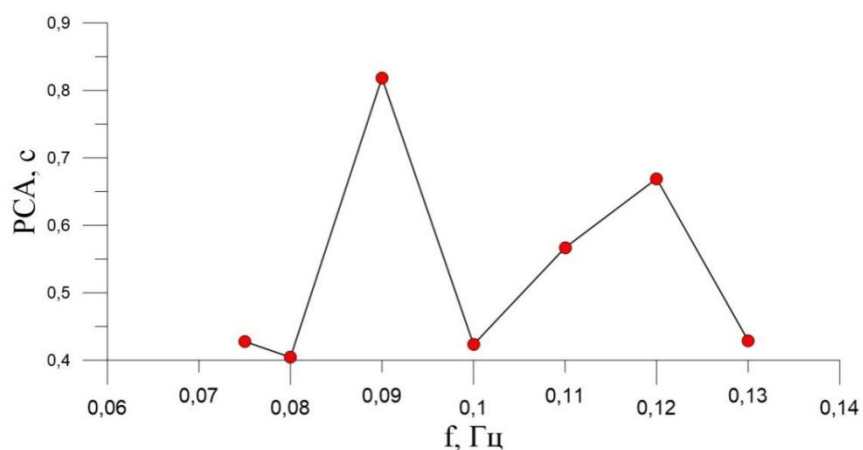


Рисунок 5 - Индекс РСА для первого добровольца во время пятого эксперимента

В таблице 2 показаны полученные резонансные частоты для всех 7 добровольцев в ходе V экспериментов медленного дыхания.

Таблица 2 – Резонансные частоты испытуемых

	I эксперимент	II эксперимент	III эксперимент	IV эксперимент	V эксперимент
1 испытуемый	0.1 Гц	0.13 Гц	0.11 Гц	0.12 Гц	0.09 Гц
2 испытуемый	0.12 Гц	0.09 Гц	0.12 Гц	0.11 Гц	0.09 Гц
3 испытуемый	0.08 Гц	0.08 Гц	0.09 Гц	0.1 Гц	0.075 Гц
4 испытуемый	0.1 Гц	0.08 Гц	0.08 Гц	0.1 Гц	0.1 Гц
5 испытуемый	0.09 Гц	0.12 Гц	0.13 Гц	0.13 Гц	0.11 Гц
6 испытуемый	0.12 Гц	0.12 Гц	0.11 Гц	0.1 Гц	0.08 Гц
7 испытуемый	0.11 Гц	0.11 Гц	0.12 Гц	0.09 Гц	0.11 Гц

Исходя из посчитанных индексов РСА для каждого испытуемого, можно сделать вывод, что резонансная частота не является стационарной. Это означает, что перед каждым экспериментом с медленным дыханием следует сначала узнать резонансную частоту человека на данный момент.

В ходе эксперимента с ритмичным сокращением мышц рук и ног было выявлено увеличение показателя РСА, как видно из рисунка 7, где красными прямоугольниками выделены моменты сокращения мышц. Зелёными стрелками указаны полученные индексы РСА во время сокращения мышц, а розовыми стрелками указаны показатели РСА во время покоя.

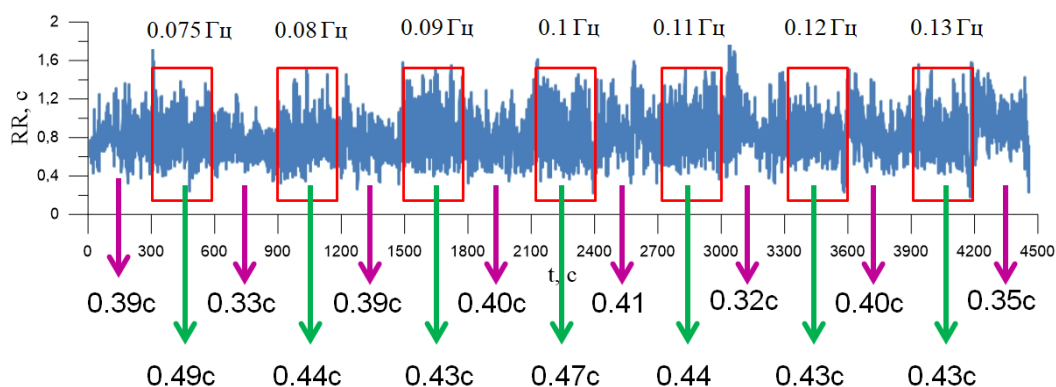


Рисунок 7 – Посчитанные показатели РСА второго испытуемого во время ритмичного сокращения мышц

Таким образом, исходя из рисунков выше, можно сказать, что ритмичное сокращение скелетных мышц рук и ног также вызывает увеличение показателя РСА, что указывает на возможность заменить медленное дыхание ритмичным сокращением мышц.

Заключение

Все цели и задачи были выполнены в полном объёме. Было выполнено:

- исследование стационарности резонансной частоты;
- оценка респираторной синусовой аритмии у здоровых испытуемых в ходе экспериментов с биологической обратной связью, реализуемой посредством: стимулированного глубокого дыхания на частоте барорефлекторного резонанса данного испытуемого и управляемого ритмичного сокращения скелетных мышц с заданной частотой;
- разработка нового метода организации биологической обратной связи с помощью ритмичного напряжения скелетных мышц рук и ног на резонансной частоте.

Список использованных источников

1. Vaschillo, E. G., Vaschillo, B., and Lehrer, P. M. Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback // Appl. Psychophysiol. Biofeedback - 2006 - №31 - С.129–142.
2. Shaffer F., Zachary M. M. A Practical Guide to Resonance Frequency Assessment for Heart Rate Variability Biofeedback // Front. Neurosci. - 2020 -№2 - С. 1350–1430.
3. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // Circulation. – 1996. –№93. – С. 1043–1065.
4. Eckberg, D. L. Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. - 1983 - №54 - С. 961–966.
5. Schafer, A., Vagedes, J. How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram // Int. J. Cardiol. - 2013 - №166, С. 15–29.
6. Kougiyas, P., Weakley, S. M., Yao, Q., Lin, P. H., and Chen, C. Arterial baroreceptors in the management of systemic hypertension // Med. Sci. Monit. - 2010 - №16 - С. 1–8.
7. Lin, G., Xiang, Q., Fu, X., Wang, S., Wang, S., Chen, S. Heart rate variability biofeedback decreases blood pressure in prehypertensive subjects by improving autonomic function and baroreflex // J. Altern. Complement. Med. - 2012 - №18 - С. 143–152.
8. Hohnloser S. H., Klingenhoben T., van de Loo A. Reflex versus tonic vagal activity as a prognostic parameter in patients with sustained ventricular tachycardia or ventricular fibrillation // Circulation. – 1994. – №89. – С. 1068–1073.

15.06.2023
Сечин - Ченукова 100