

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА НА ОРТОСТАТИЧЕСКУЮ ПРОБУ

APPLICATION OF LASER DOPPLER FLOWMETRY TO STUDY
THE BLOOD FLOW RESPONSE TO AN ORTHOSTATIC TEST

Ю. И. Локтионова*, М. А. Михайлова**, Е. В. Жарких*, А. А. Федорович**,
Е. А. Жеребцов*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева»

**ФГБУ «НМИЦ ПМ» Минздрава России, Москва

Локтионова Ю. И. – студентка кафедры приборостроения, метрологии и сертификации

Жарких Е. В. – аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации

Научные руководители: канд. мат. наук, ст. науч. сотр. Федорович А. А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Жеребцов Е. А.

Аннотация. Для оценки изменений микроциркуляторного русла условно здоровых добровольцев при проведении ортостатической пробы использовались носимые лазерные анализаторы, реализующие метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Одновременно микрокровоток регистрировался в шести точках. Статистически значимая разница между показателями в разных положениях тела была найдена в параметре микроциркуляции, индексе дыхательной пробы, а также нормированных на среднеквадратичное отклонение (СКО) показателей осцилляций микроциркуляции.

Ежегодно всё большее количество людей умирает от заболеваний сердечно-сосудистой системы (30 % от общего числа смертей) [1]. Однако тяжелые осложнения можно предотвратить или отсрочить при своевременной ранней диагностике. Так, в настоящее время широкое распространение получили ультразвуковая доплерография, дуплексное сканирование и триплексное сканирование – методы, основанные на эффекте Допплера и анализе отраженного от потока крови ультразвукового излучения. Главным недостатком является невозможность оценить кровоток в мелких сосудах. Для ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) важно иметь возможность характеризовать микроциркуляторное русло, где изменения и нарушения происходят в первую очередь. Для этого используется метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Он основан на лазерном зондировании ткани и анализе отраженного от эритроцитов света [2].

Показатель микроциркуляции (ПМ) – интегральный параметр, измеряемый доплеровскими флоуметрами. Он зависит от скорости и количества эритроцитов в диагностическом объеме. Также метод ЛДФ позволяет оценить колебательные процессы в микроциркуляторном русле, характеризующие вклад различных факторов в сигнал ЛДФ: эндотелиальный (0,0095–0,021 Гц), нейрогенный (0,021–0,052 Гц), миогенный (0,052–0,145 Гц), дыхательный (0,145–

0,6 Гц) и сердечный (0,6–2 Гц) [3]. Для получения дополнительной информации о состоянии микроциркуляторного русла применяются различные функциональные пробы.

В данной работе в качестве диагностических устройств были выбраны 6 лазерных анализаторов микроциркуляции крови с длиной волны излучения 850 нм. Устройства закреплялись на лбу, на тыльной стороне запястий, а также на ногах в нижних частях голеней. В экспериментах приняли участие 10 условно здоровых добровольцев мужского пола. Средний возраст выборки составил 44 ± 12 лет.

В исследовании использовали ортостатическую и дыхательную пробы: доброволец находился в горизонтальном положении (п.1), вертикальном (голова вверх, п.2) и положении Тренделенбурга (п.3). Длительность записи ПМ в каждом положении составила 15 мин., на 11 мин. измерялось АД волонтера, на 12 и 14 мин. доброволец выполнял дыхательную пробу – глубокий вдох и задержку дыхания на 15 с.

Для оценки состояния кровотока добровольцев был рассчитан средний ПМ, нормированные амплитуды колебаний, индексы первой и второй дыхательных проб (ИДП₁ и ИДП₂). Статистически значимые различия (СЗР) определялись с помощью теста Манна-Уитни с уровнем доверительной вероятности $P=95\%$.

СЗР были найдены в ПМ в запястьях между п.1 и п.2 и в голенях между п.1 и п.2, п.1 и

п.3. Во всех точках измерения (ТИ) наблюдалось увеличение перфузии крови при понижении головы относительно тела. Также СЗР были найдены в нормированных на ПМ колебаниях: миогенных (в ТИ на лбу между п.1 и п.2), дыхательных и сердечных (в ТИ в голенях между п.1, п.2 и п.3). В нормированных на СКО в нейрогенных колебаниях на лбу между п.2 и п.3, а также в миогенных, дыхательных и сердечных колебаниях в голенях между п.1, п.2 и п.3. СЗР были найдены в ИДП₁ и ИДП₂ в записях со лба между п.2 и п.3, в ИДП₂ в записях с голеней между п.2 и п.3. Выявленные зависимости, подтвержденные статистически, указывают на то, что при различных положениях тела работают разные механизмы регуляции кровотока.

Исследование выполнено за счет гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований 20–08-01153 А.

Список использованных источников

1. ВОЗ О сердечно-сосудистых заболеваниях, URL: https://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/ru/ (дата обращения 09.06.2020).
2. *Daly, S.* Go with the flow: review of methods and advancements in blood flow imaging / S. Daly, M. Leahy // Journal of Biophotonics. 2013. V. 6. – P. 217–255.
3. *Крупаткин, А. И.* Функциональная диагностика состояния микроциркуляторнотканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А. И. Крупатки, В. В. Сидоров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.

О СПЕЦИАЛЬНОМ ОТНОШЕНИИ НА МНОЖЕСТВЕ ВЕРШИН ВРЕМЕННОЙ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

ABOUT THE SPECIAL RELATION ON VERTICES OF TIME MODEL OF COMPLEX SYSTEM

Е. А. Лукьянова, А. В. Дереза

«Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь

Аннотация. В работе на основании введённого отношения – разделённого отношения линейного времени обосновывается редуцированное представление структуры временной сети Петри в виде матрицы инцидентности специального вида – усеченной матрицы инцидентности.

Использование интеллектуальных технологий в системах реального мира предваряется стадией проектирования и разработки их моделей, на которых проводится тщательная проверка выполнения требуемых свойств и удовлетворения критериям безопасности и эффективности их функционирования. Математические модели таких систем, систематизируя и упорядочивая данные в формализованную структуру, позволяют исследовать функционирование сложных систем качественно и на основании полученных результатов принимать обоснованные управленческие решения. При этом, комплексные, наглядно воспринимаемые человеком структуры для организации данных в математические модели, при установлении поведенческих свойств сталкиваются с проблемой вычислимости, а заведомо счетные подходы конструирования и исследования моделей дают узкое рассмотрение решаемой задачи. Существующие методики трансформации «человеко-ориентированных» моделей в инструментально вычислимые влекут дополнительные затраты на проверку адекватности отображения

исходной системы и сохранения новой моделью ключевых свойств. Модели на основе математического аппарата временных сетей Петри (ВСП), обладая параллельно-последовательной структурой, формализуют условно-событийное функционирование системы во времени, наглядно и комплексно отображают решаемую проблему. Временные сети Петри активно используются в научных исследованиях для разработки методологий эффективного проектирования систем технологического и организационного управления, проектирования программных, коммуникационных, криптографических средств и комплексов. В настоящее время, безальтернативными средствами анализа поведения ВСП остаются перечислительные техники, аналогичные технике построения графа достижимых разметок для сети Петри. Несмотря на высокую практическую ценность такого подхода, проверенного в промышленных и университетских исследованиях и внедрённого в программные средства системного анализа, даже в случае конечного числа классов состояний ВСП, это число классов состояний может быть огром-