

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные лекции

<i>Абрашкин А. А.</i> Обобщенные волны Герстнера.....	10
<i>Афанасьев А. А.</i> Многофазная фильтрация при размещении углекислого газа в водонасыщенных пластах. от малых к большим масштабам.....	15
<i>Бекежанова В. Б., Гончарова О. Н.</i> О некоторых трудностях математического моделирования испарительной конвекции в двухфазных системах.....	20
<i>Кокорина А. В., Слюняев А. В.</i> Регистрация поверхностных морских волн у о-ва сахалин и численное моделирование.....	26
<i>Нипполайнен Э., Камшилин А. А., Зайцев В. В., Ставцев Д. Д., Щербинин А. В.</i> Оценка церебрального кровотока во время нейрохирургической операции по удалению опухоли.....	31
<i>Пакари К., Доксуа Т., Ерманиук Е., Метц П., Мулен М., Жубо С.</i> Аттракторы внутренних и инерционных волн в осесимметричном бассейне.....	36
<i>Пелиновский Е. Н., Талипова Т. Г., Flamarionb М.</i> Модульные солитоны и компактоны.....	41

Материалы секционных докладов

<i>Агеева М. В., Демин В. А.</i> Сопряженный массоперенос паров кремния в неоднородном температурном поле при пропитке пористого углеродного волокна.....	46
<i>Алабужев А. А.</i> Влияние гистерезиса краевого угла на динамику зажатога пузырька.....	51
<i>Алабян А. М., Демиденко Н. А., Крыленко И. Н., Лебедева С. В., Панченко Е. Д., Попрядухин А. А., Федорова Т. А.</i> Исследование гидродинамики приливных устьев европейского сектора российской арктики.....	56
<i>Алавердова А. А., Панченко Е. Д.</i> Трансформация приливной волны в устьях рек мезень и печора.....	61
<i>Богомолов А. В., Лепихин А. П., Синцова Т. Н.</i> Структура внутрисуточных колебаний физических показателей качества воды в камском водохранилище.....	67
<i>Бушуева А. В., Дьякова В. В., Полежаев Д. А.</i> Экспериментальное исследование массопереноса в колеблющейся жидкости в прямоугольной ячейке Хеле-Шоу.....	74
<i>Быков А. В., Сухановский А. Н., Калинин Н. А., Степанов Р. А., Фрик П. Г., Ветров А. Л.</i> Моделирование предельных состояний планетарной атмосферы с использованием пакета wgf-argw.....	77
<i>Васильев А. Ю., Сухановский А. Н., Попова Е. Н.</i> Влияние наклона дна на бароклинные волны в лабораторной модели общей циркуляции атмосферы.....	82
<i>Васильев А. Ю., Попова Е. Н., Фрик П. Г., Сухановский А. Н.</i> Динамика свободноплавающих тел в слое жидкости с радиационным нагревом.....	87
<i>Верезуб Н. А., Простомолотов А. И.</i> Гидродинамическая неустойчивость при обтекании фронта кристаллизации в процессе чохраньского.....	92
<i>Володин И. В., Алабужев А. А.</i> Влияние вибраций на динамику тонкой пленки магнитной жидкости в постоянном магнитном поле.....	97
<i>Габышев Д. Н., Ганопольский Р. М.</i> О морфологически-зависимых резонансах в освещаемых каплях воды.....	102

ОЦЕНКА ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КРОВОТОКА ВО ВРЕМЯ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ПО УДАЛЕНИЮ ОПУХОЛИ

Э. Нипполайнен^a, А. А. Камшилин^{a,b}, В. В. Зайцев^{a,b}, Д. Д. Ставцев^c,
А. В. Щербинин^b

^a Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
690041, Владивосток, ул. Радио, 5

^b Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л. Г. Соколова
ФМБА, 194291, Санкт-Петербург, пр. Культуры, 4

^c ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова,
119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8

В данной работе представлены исследования по оценке распределений церебрального кровотока во время нейрохирургических операций по удалению опухоли головного мозга системой визуализирующей фотоплетизмографии. Наряду с ранее использовавшимися параметрами оценки динамики кровотока, такими как амплитуда пульсаций и время прихода пульсовой волны, мы предлагаем использовать новый параметр: вариативность пульсовой волны в последовательных кардиоциклах.

Ключевые слова: визуализирующая фотоплетизмография; опухоль головного мозга; динамика церебрального кровотока

ASSESSMENT OF THE CEREBRAL BLOOD FLOW DURING NEUROSURGERY TO REMOVE A TUMOR

E. Nippolainen^a, A. A. Kamshilin^{a,b}, V. V. Zaytsev^{a,b}, D. D. Stavtsev^c,
A. V. Shcherbinin^b

^a Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, 5 Radio str.,
690041, Vladivostok

^b North-Western District Scientific and Clinical Center FMBA, 4 Kultury av.,
194291, St. Petersburg

^c I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 8 Trubetskaya str.,
119991, Moscow

This study is devoted to assessment of cerebral blood flow distributions and its dynamics by means of imaging photoplethysmography during neurosurgery to remove a brain tumour. Along with the previously used parameters for assessing the blood-flow dynamics, such as the pulsations amplitude and the pulse arrival time, we propose to use a new parameter: the variability of the pulse wave in successive cardiocycles.

Keywords: imaging photoplethysmography; brain tumour; blood flow dynamics

Интраоперационный мониторинг тканевой перфузии чрезвычайно важен при хирургических вмешательствах, особенно при операциях на

головном мозге. Система мониторинга должна быть простой в обращении, бесконтактной и обеспечивать количественную визуализацию кровотока в режиме реального времени. Оптические методы повсеместно рассматриваются как очень перспективные для бесконтактных измерений параметров кровотока. На сегодняшний день предложенные оптические методы оценки кровообращения в обычной клинической практике в основном находятся в стадии исследований и разработок. В данном материале обсуждаются особенности применения визуализирующей фотоплетизмографии (ВФПГ) для интраоперационной визуализации и количественной оценки тканевой перфузии головного мозга, особенно динамики её изменения.

Измерения перфузии с использованием ФПГ известны с 30-х годов прошлого века [1]. Широкое применение метода ФПГ в клинической практике началось в 80-х годах после изобретения пульсоксиметрии [2]. Однако пульсоксиметры являются датчиками контактного типа, оценивающие параметры кровотока только в одной точке ткани. Первый полностью бесконтактный метод позволяющий проводить визуализацию с количественной оценкой кровотока одновременно в большом количестве точек был предложен Wu et.al [3]. Тем не менее, обсуждения физиологической модели, лежащей в основе предложенного метода, все еще продолжаются, что является одной из причин трудностей применения данного метода в клинической практике. Альтернативная модель модуляции света при взаимодействии с кровеносными сосудами *in vivo* была предложена Kamshilin et.al [4]. На основе этой модели группой А.А. Камшилина была разработана система интраоперационной визуализации кровотока, которая использует только видеозапись исследуемой ткани с последующей соответствующей обработкой данных. Отличительной особенностью системы является синхронная запись видеокадров и электрокардиограммы.

В данной работе осуществлялась интраоперационная оценка параметров церебрального кровотока во время открытых нейрохирургических операций на головном мозге с помощью системы ВФПГ, синхронизированной с электрокардиографом. Записи церебрального кровотока производились во время 13 операций по удалению опухоли головного мозга. В каждом случае видеозапись всей открытой области головного мозга проводилась при подсветке зелёным светом в течение 60 сек до удаления опухоли и после. Записанные видеоданные и синхронизированные с ними электрокардиограммы обрабатывались в автономном режиме с помощью специального программного обеспечения, реализованного на платформе MATLAB, подробно описанного в наших предыдущих работах [5], [6]. В результате обработки данных были построены карты пространственного распределения нормализованной пульсационной компоненты сигнала ФПГ (отражающие распределение амплитуды пульсаций крови, APC, являющейся индексом

перфузии) и карты распределения времени прихода пульсовой волны (pulse arrival time или ПАТ) в разные регионы коры головного мозга с разрешением в каждом пикселе. Кроме того, был предложен новый маркер адекватности кровоснабжения различных участков коры: вариативность формы импульса ФПГ сигнала от одного цикла сокращения сердца к другому. Это дало возможность получения новой важной информации о параметрах кровоснабжения головного мозга, а именно оценки стабильности пульсовой волны артериального давления, снабжающей головной мозг, как в пространстве, так и во времени.



Рис. 1. Пример выбора 14 ROI до и после оперативного вмешательства (операция №10). Показано относительное распределение перфузии в процентах к максимальному значению а) до, и б) после операции

Для количественной оценки индекса перфузии APC, ПАТ и вариативности формы импульса ФПГ сигнала было выбрано 14 областей (ROI). Вследствие того, что оперативное вмешательство приводит к значительному изменению топологии коры головного мозга, положение ROI на долях коры было выбрано вручную максимально совпадающим до и после операции (рис.1). Проведённые исследования показали, что после оперативного вмешательства наблюдается более равномерное распределение и значительное увеличение индекса перфузии по всей области головного мозга, в то время как время прихода пульсовой волны в большинстве областей уменьшается после оперативного вмешательства. Сравнение средних значений APC и ПАТ по 13 операциям показаны на рис.2. В среднем по сумме всех операций индекс перфузии растёт на 46%, а время прихода пульсовой волны уменьшается на 5.2%, данные по изменению APC являются статистически значимыми ($p = 0.037$).

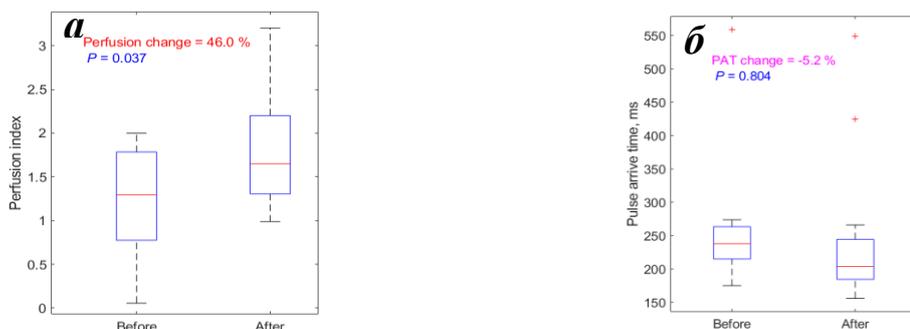


Рис. 2. Сравнение средних значений по 13 операциям а) APC и б) ПАТ до и после операционного вмешательства

Для количественной оценки вариативности формы пульсовой волны мы ввели параметр RMSE, который вычисляется для каждого ROI, как среднеквадратичное отклонение формы пульсовой волны в каждом конкретном кардиоцикле от усреднённой формы пульсовой волны по 13 последовательным кардиоциклам (рис. 3).

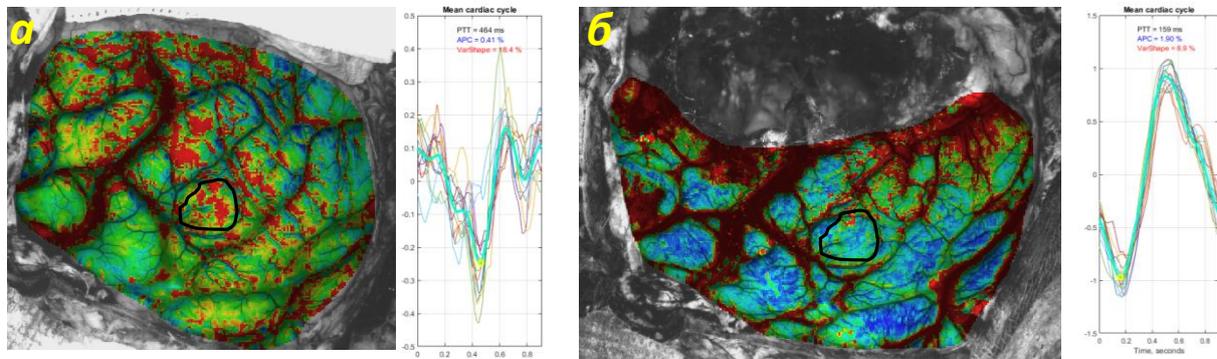


Рис. 3. Карта вариативности пульсового сигнала и форма пульсового сигнала в выбранной ROI (операция №10) а) до, и б) после оперативного вмешательства. Тонкими цветными линиями показаны собранные вместе пульсовые волны 13 последовательных кардио-циклов так, что их начало отсчитывается от момента R-пика ЭКГ. Жирная зелёная линия показывает форму импульса, усреднённую по 13 кардио-циклам

Как видно из Рис. 3, до операции пульсовая волна в выбранной ROI хуже синхронизована с R-пиками ЭКГ, чем после.

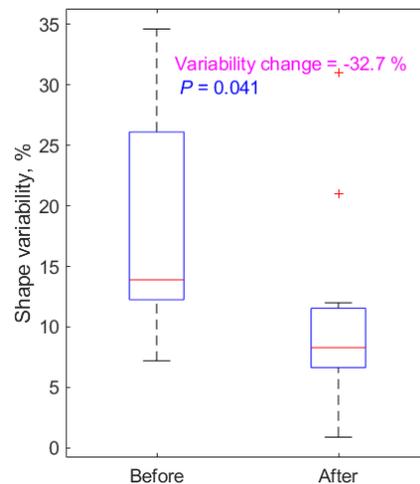


Рис. 4. Сравнение средних значений вариативности формы ($RMSE_N$) пульсовой волны по 13 операциям до и после операционного вмешательства

Данное явление наблюдалась во всех проведенных операциях. Если до удаления опухоли в большинстве областей коры головного мозга наблюдалась значительная вариативность формы импульса ФПГ сигналов и

их десинхронизация с R-пиками ЭКГ в 13 последовательных сердечных циклах, то после удалении опухоли форма импульса стабилизировалась, а синхронизация восстанавливалась практически по всему полю наблюдения. В среднем по сумме всех операций вариативность пульсовой волны уменьшилась на 32%, данные изменения являются статистически значимыми ($p = 0.041$). Нестабильность формы ФПГ-импульса до удаления опухоли очевидно связано с изменением структуры ткани и с нарушением прямого пути кровоснабжения коры головного мозга, что заставляет кровоток дополнительно поступать по различным окружным путям [7]. Удаление опухоли восстанавливает прямые пути кровоснабжения коры головного мозга.

Приведенные экспериментальные данные указывают на то, что мультимодальная система ВФПГ, работающая при зеленом освещении и синхронизованная с электрокардиографом, предлагает новый подход к объективной количественной оценке изменений кровотока головного мозга во время нейрохирургической операции по удалению опухоли головного мозга.

Исследование реализовано при поддержке гранта № 22-65-00096 Российского научного фонда.

Список литературы

1. A. B. *Hertzman*. The blood supply of various skin areas as estimated by the photoelectric plethysmograph // *Am. J. Physiol. Content*, vol. 124, no. 2, pp. 328–340, 1938.
2. J. W. *Severinghaus* and Y. *Honda*. History of blood gas analysis. VII. Pulse oximetry // *J. Clin. Monit.*, vol. 3, pp. 135–138, 1987.
3. W. *Richardson*, D. *Wilkinson*, L. *Wu*, F. *Petrigliano*, B. *Dunn*, and D. *Evseenko*. Ensemble multivariate analysis to improve identification of articular cartilage disease in noisy Raman spectra. // *J. Biophotonics*, vol. 8, no. 7, pp. 555–566, Jul. 2015, doi: 10.1002/jbio.201300200.
4. A. A. *Kamshilin et al.* A new look at the essence of the imaging photoplethysmography // *Sci. Rep.*, vol. 5, 2015, doi: 10.1038/srep10494.
5. V. A. *Kashchenko*, V. V. *Zaytsev*, V. A. *Ratnikov*, and A. A. *Kamshilin*. Intraoperative visualization and quantitative assessment of tissue perfusion by imaging photoplethysmography: comparison with ICG fluorescence angiography // *Biomed. Opt. Express*, vol. 13, no. 7, pp. 3954–3966, 2022.
6. A. A. *Kamshilin*, T. V. *Krasnikova*, M. A. *Volynsky*, S. V. *Miridonov*, and O. V. *Mamontov*. Alterations of blood pulsations parameters in carotid basin due to body position change // *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2018.
7. O. V. *Mamontov*, A. V. *Shcherbinin*, R. V. *Romashko*, and A. A. *Kamshilin*. Intraoperative imaging of cortical blood flow by camera-based photoplethysmography at green light // *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 18, p. 6192, 2020.

ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПЕРМСКИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

Сборник статей по материалам
IX Всероссийской конференции,
посвященной памяти профессоров
Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого
и Д. В. Любимова



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД
Уральского отделения Российской академии наук – филиал Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Пермского
федерального исследовательского центра Уральского отделения
Российской академии наук

ПЕРМСКИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

**Сборник материалов IX Всероссийской конференции,
посвященной памяти профессоров
Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова**

(г. Пермь, ПГНИУ, 4–6 октября 2023 г.)



Пермь 2023

УДК 532.5

ББК 22.25

П26

П26

Пермские гидродинамические научные чтения [Электронный ресурс]: сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции, посвященной памяти профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова / отв. ред. Т. П. Любимова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – 20 Мб; 502 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/permskie-gidrodinamicheskie-nauchnyechniya-2023.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3158-2

Представлены статьи по материалам VIII Всероссийской конференции, проходившей на базе Пермского государственного национального исследовательского университета 4 – 6 октября 2023 г. Конференция посвящена памяти руководителей Пермской гидродинамической научной школы – ведущей научной школы Российской Федерации – профессоров Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкого и Д. В. Любимова.

Тематика сборника охватывает широкий спектр актуальных исследований в области физической гидродинамики, перспективных материалов и технологий, физики мягких конденсированных сред.

Издание предназначено для научных работников, аспирантов и студентов естественнонаучных специальностей вузов.

УДК 532.5

ББК 22.25

*Издается по решению ученого совета физического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты

- Кривилев М.Д.** – д.ф.-м.н., доцент, заведующий лабораторией физики конденсированных сред, Удмуртский государственный университет, г. Ижевск;
- Баяндин Д.В.** – к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедры общей физики Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь

ISBN 978-5-7944-3158-2

© ПГНИУ, 2023