

11 - Биофизика, медицинская физика

Абдрахимов Салават Айдарович, магистрант 1 года обучения
Уфа, Уфимский университет науки и технологий, физико-технический институт
Краткий обзор работ по проводимости молекул ДНК
Шарипов Талгат ишмухамедович, к.ф.-м.н.
e-mail: salavat907abdr@gmail.com стр. 165

Вахрушева Елизавета Павловна, 4курс
Томск, Томский государственный университет, физический
Неинвазивная оценка фракционного резерва кровотока на основе данных мультиспиральной компьютерной томографии
Суюндукова Алмагуль Туктаровна
e-mail: lizastepanova52@gmail.com стр. 166

Закирьянов Фарит Кабирович, доцент
Уфа, Уфимский университет науки и технологий, физико-технический институт
Комбинированная модель динамики ДНК
e-mail: farni@rambler.ru стр. 167

Кудояров Данил Шамилевич, аспирант 2 года обучения
Уфа, Уфимский университет науки и технологий, физико-технический институт
Измерение вольт-амперных характеристик олигонуклеотидов с известной последовательностью звеньев
Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.
e-mail: danilkud@mail.ru стр. 168

Лысенко Виктория Юрьевна, магистрант 2 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Локальная атомная структура ионов Zn^{2+} при взаимодействии $ZnCl_2$ низкой концентрации с лентгмюровским монослоем арахиновой кислоты: теоретический анализ спектров XANES
Яловега Галина Эдуардовна, д.ф.-м.н.
e-mail: viktoriya.250699@mail.ru стр. 170

Нечаев Александр Николаевич, аспирант 2 года обучения
Томск, Томский государственный университет, радиофизический
Моделирования процесса СВЧ отогрева глубокого обморожения
Дунаевский Григорий Ефимович, д.т.н.
e-mail: sasha8227039@gmail.com стр. 171

Низамиева Альбина Фаритовна, магистрант 1 года обучения
Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, институт Физики
Изучение взаимодействия радиопротекторного ДНК-связывающегося белка Dsup с модельной ДНК методами малоуглового рассеяния и атомно-силовой микроскопии
Горшкова Юлия Евгеньевна, к.ф.-м.н.
e-mail: alb9061@yandex.ru стр. 172

Пронина Екатерина Вячеславовна, аспирант
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический
Локальная атомная структура ионов Zn^{2+} в дополнительных центрах связывания молекулы гемоглобина: теоретический анализ спектров XANES
Яловега Галина Эдуардовна, д.ф.-м.н.
e-mail: ev_pronina_105@mail.ru стр. 174

Семенова Александра Алексеевна, 4 курс
Томск, Томский политехнический университет, инженерная школа ядерных технологий
Совместное воздействие урана-238 и биоактивных соединений на скорости процессов биолюминесцентной биферментной системы
Сачкова Анна Сергеевна, к.б.н.
e-mail: a.smnv296@gmail.com стр. 175

Смыгалина Полина Павловна, магистрант 2 года обучения
Томск, Томский государственный университет, радиофизический
Распределение СВЧ-поля в камере микроволнового отогрева, работающей на частоте ниже критической, при вариации размера конечности
Дунаевский Григорий Ефимович, д.т.н.
e-mail: psmygalina@gmail.com стр. 176

Суюндукова Алмагуль Туктаровна, аспирант 3 года обучения
Томск, Томский государственный университет, физический
Оценка гемодинамической значимости стенозов в бифуркациях коронарных сосудов
Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н.
e-mail: almagul.suyundukova@mail.ru стр. 177

Юрченко Екатерина Алексеевна, 4 курс
Томск, Томский государственный университет, радиофизический
Разработка системы для диагностики гематом мозга
Торгаев Станислав Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: kattifi@mail.ru стр. 178

Краткий обзор работ по проводимости молекул ДНК

Абдрахимов Салават Айдарович

Уфимский университет науки и технологий

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

salavat907abdr@gmail.com

В следствие бурного развития нанотехнологий дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) является важнейшим биополимером одной из ключевых функций которого заключается в сохранении и передаче наследственной информации при функционировании живых организмов, зачастую все чаще используется в качестве материала для создания наноразмерных устройств[1-3]. Особенные физико-химические свойства дезоксирибонуклеиновой кислоты, такие как: комплементарность цепочек, большая жесткость, высокая плотность заряда, - позволяют в свою очередь создавать наноструктуры, подводящие к решению задач не только в области биологии и молекулярной медицины, но и нанoeлектроники. В связи с этим немаловажный интерес представляет изучение проводимости молекул ДНК.

Применение молекулы ДНК в нанoeлектронике затруднено из-за низких проводящих свойств молекулы. Для того чтобы достичь лучших результатов проводимости молекулу ДНК необходимо металлизировать. Исследователями [4] рассматривался процесс металлизации на ДНК – фибриллах в сравнении с единичными молекулами ДНК с использованием кремневой подложки n-типа (рис.1). В результате было установлено, что повышение плотности заряда и увеличением мест посадки для серебра больше на поверхности ДНК-фибрилл зафиксированных на поверхности кремния p-типа по сравнению с единичной молекулой ДНК.

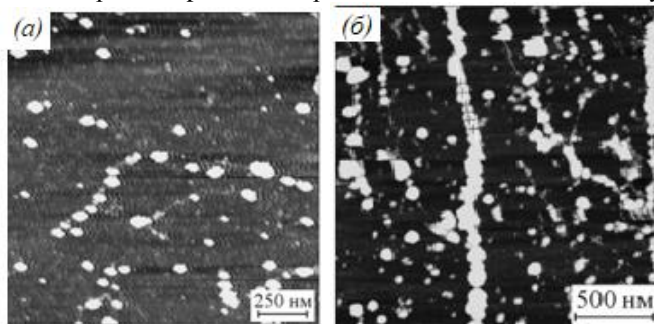


рис. 1. а) АСМ-изображение единичных молекул ДНК; б) АСМ-изображение молекул ДНК, собранных в фибриллы на поверхности кремния после процесса металлизации.

В работе [5] проводилось исследование процесса фиксации молекул ДНК для p и n типов подложек на поверхности монокристаллического кремния в зависимости от типа проводимости подложки.

Фиксация ДНК для p-типа подложки наблюдалась только при освещении капли раствора и только на специально не окисленной поверхности кремния p-типа при добавлении в раствор $MgCl_2$ (рис.2а) Также стоит отметить, что в проведенных исследованиях подложки были гладкими и не имели заметных дефектов.

Для подложек n-типа (рис.2б) представлены изображения специально неокисленных поверхностей кремниевых подложек n-типа, полученные после нанесения и выдержки капли раствора ДНК, содержащего $MgCl_2$, также при освещении. В данном варианте молекулы ДНК уже не могут закрепиться на поверхности. Присутствие ионов магния в растворе также не позволяло зафиксировать молекулы.

Как видно из рис.2б, наблюдается противоположность картине, приведенной на рис 2а. При сравнении видно, что на подложке n-типа не происходит фиксация молекулы ДНК.

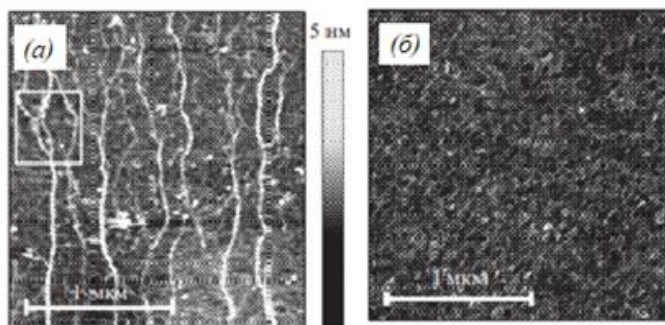


рис. 2. а) АСМ-изображение поверхности кремниевой подложки p-типа проводимости с зафиксированными на ней молекулами ДНК; б) АСМ-изображение подложки n-типа после нанесения раствора ДНК, содержащего $MgCl_2$, при освещении.

Стоит отметить, что в приведенных выше исследованиях фиксация молекул ДНК и дальнейшая проводимость была больше при использовании кремниевых подложек р-типа нежели n-типа. Проводимость молекул дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) имеет перспективы в нанoeлектронике, молекулярной биологии и нанoинженерии.

Список публикаций:

[1] Seeman N.C. // *Current Opinion in Structural Biology*. 1996. № 4. P. 519-526.

[2] Goodman R.P., Schaap L.A.T., Tardin C.F. et al. // *Science*. 2005. № 5754. P. 1661-1665.

[3] Alivisatos P., Johnsson K. Peng X, et al. // *Nature*. 1996. № 382. P. 609-611.

[4] Пучкова А.О., Соколов П.А., Касьяненко Н.А. // *Журнал структурной химии*. Т. 52. № 6. С. 1231-1238.

[5] Волков И.Л., Базлов Н.В., Бондаренко А.С., Вывенко О.Ф., Касьяненко Н.А. // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия*. 2009. № 3. С. 45-51.

Неинвазивная оценка фракционного резерва кровотока на основе данных мультиспиральной компьютерной томографии

Вахрушева Елизавета Павловна

*Суюндукова Алмагуль Туктаровна, Демкин Владимир Петрович, Мельничук Сергей Васильевич,
Завадовский Константин Валерьевич*

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Суюндукова Алмагуль Туктаровна

Lizastepanova52@gmail.com

Коронарная недостаточность является причиной ишемической болезни сердца (ИБС) [1] и заключается в сниженной возможности притока крови, доставки кислорода и питательных веществ по коронарным артериям (КА) к миокарду. Дисбаланс между потребностью и доставкой приводит к нарушению перфузии миокарда и развитию метаболических нарушений, постепенно переходящих в функциональные, которые проявляются сначала диастолической, а затем и систолической дисфункцией. Причинами, ведущими к уменьшению или полному прекращению коронарного кровотока, могут быть функциональные состояния коронарных артерий, такие как: атеросклероз, тромбоз, спазм неизмененных или малоизмененных КА, нарушение микроциркуляции в миокарде, повышение активности свертывающей системы крови.

Степень сужения артерии, а также форма и расположение атеросклеротической бляшки могут влиять на ее гемодинамическую значимость, которая определяется фракционным резервом кровотока (FFR). При $FFR < 0.8$ стеноз считается гемодинамически значимым и указывает на ишемию [2]. К способам лечения ИБС относятся: медикаментозная терапия, аорто-коронарное шунтирование и стентирование КА. Последние два способа в сравнении с консервативной терапией приводят к более быстрому и радикальному восстановлению коронарного кровотока. В свою очередь стентирование в сравнении с коронарным шунтированием имеет важное преимущество, связанное с более низкой травматичностью вмешательства, что играет существенную роль в группе пациентов высокого хирургического риска. Однако возможности прямых измерений морфологических и гемодинамических параметров сосудов ограничены высокой стоимостью, необходимостью использования одноразовых проводников и рисками повреждения сосудистого русла, в то время как математическое моделирование коронарного кровотока на основе доступных экспериментальных данных позволяет обеспечить детальную информацию о состоянии сосудов. Успех численного эксперимента зависит от соответствия математической и вычислительной моделей реальным физическим процессам, протекающим в системе кровообращения человека. В общем случае гемодинамические процессы описываются трехмерными нестационарными уравнениями Навье-Стокса совместно с уравнениями динамики эластичных оболочек сосудов с учетом пространственной геометрии сосудов, физических свойств крови и вариации сердечной нагрузки. Решение таких многопараметрических задач связано с огромными вычислительными затратами, что требует применения высокопроизводительных систем и решения проблем, связанных с минимизацией ошибок метода вычисления. Поэтому наилучшее в практическом отношении качество или эффективность любой модели достигается как оптимальный компромисс между адекватностью модели к оригиналу и простотой, обеспечивающей необходимую точность и возможность ее использования по прямому назначению.

В работе предложен метод для вычисления коронарного кровотока и определения гемодинамической значимости стенозов с использованием 3D-геометрической модели коронарной артерии. Исследование включало в себя два этапа: первый этап – анализ данных, второй этап построение геометрии и выполнения численного моделирования. Анализ проводился для уже имевшихся данных КТ-ангиографии 3-х пациентов, которым выполнялось исследование на 64-срезовом мультиспиральном компьютерном томографе с последующим инвазивным измерением фракционного резерва кровотока. Численное моделирование кровотока в коронарных артериях проводилось методом конечных элементов с использованием программного

обеспечения COMSOL Multiphysics®. Для задания начальных и граничных условий использовались особенности распределения давления в сосудистом русле сердца и данные ультразвуковой диагностики скорости кровотока в коронарных артериях при выходе из аорты. На этапе построения 3D-геометрии, один пациент выбыл, поскольку качество его КТ-данных было снижено ввиду вариабельной частоты сердечных сокращений во время исследования.

Проведенный вычислительный эксперимент показал, что распределение давления крови хорошо согласуется с данными FFR, измеренными инвазивно. В данной работе нами был рассмотрен вопрос, связанный с невозможностью построения 3D-геометрии коронарных артерий по КТ-данным, для тех случаев, когда имеются артефакты: обусловленные движением пациента, нерегулярности сердечного ритма, низкого контраста. Выявленные факторы могут ухудшать точность расчета FFR по причине невозможности точно различить границу стеноза и просвета артерии.

Результаты исследования имеют значение для оценки гемодинамической значимости. Метод неинвазивного определения фракционного резерва кровотока позволит получать точную, персонализированную оценку гемодинамической значимости стеноза без вмешательств в организм пациента, что позволит проводить более оперативную диагностику и персонализировать назначенное лечение.

Список публикаций:

[1] Timmis A., Townsend N., Gale C.P., et al. *European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2019.* // *Eur Heart J.* 2020. V. 41. № 1. P. 12-85.

[2] Tonino P.A., De Bruyne B., Pijls N.H., et al. *Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention.* // *New Engl. J. Med.* 2009. V. 360. №3. P. 213-224.

Комбинированная модель динамики ДНК

Балашова Валентина Николаевна

Уфимский университет науки и технологий

Закирьянов Фарит Кабирович, к.ф.-м.н.

farni@rambler.ru

Хорошо известно, что угловые модели нелинейной динамики молекулы ДНК адекватно описывают конформационные изменения молекулы в процессе её функционирования. При моделировании функциональных движений ДНК наиболее эффективным оказался поиск подходящего механического аналога. Угловая модель состоит из двух параллельных осей с прикрепленными к ним маятниками – точечными массами на палочках определённой длины [1]. Водородные связи описываются через взаимное притяжение оснований – точек, для каждой из которых существует единственная степень свободы – торсионный угол ϕ . Но невозможность прямого сравнения расчётных данных с экспериментами сильно ограничивала применение угловых моделей и серьёзно затрудняла определение их параметров.

По этой причине наряду с угловыми моделями возник ещё один механический подход к изучению динамики ДНК – поперечные модели [2]. Для описания водородных связей в поперечной механической модели был использован потенциал Морзе. Поперечные модели прекрасно зарекомендовали себя для описания процессов денатурации молекулы ДНК. Параметры этих моделей получили надёжное экспериментальное обоснование и хорошо известны [3].

В настоящей работе мы объединили эти два подхода и совместили «геометрию» угловых моделей с потенциалом Морзе, описывающим динамику поперечных моделей.

Предлагаемая нами комбинированная модель ДНК имеет следующую структуру (рис.1):

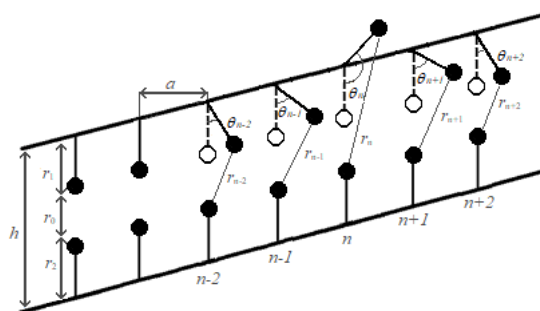


рис. 1. Комбинированная модель ДНК

Здесь θ_1 и θ_2 – углы поворота оснований вокруг сахаро-фосфатного остова в первой и второй цепочках соответственно; r_1 и r_2 – расстояния от сахаро-фосфатных цепочек до азотистых оснований; a и r_0 – расстояния между азотистыми основаниями внутри и между цепочками. Взаимодействие между комплементарными основаниями описывается потенциалом Морзе: $U(\Delta r) = D(e^{-a(r-r_0)} - 1)^2$, где D – параметр, определяемый экспериментально. Уравнения движения получаются из $I_k \ddot{\theta}_k = \frac{\partial U}{\partial \theta_k}$, где $k = 1, 2$; I_1 и I_2 – моменты инерции оснований.

Уравнения движения имеет солитонные решения в виде кинков (рис. 2), параметры которых (ширина, импульс и энергия) уже можно сравнить с экспериментальными результатами.

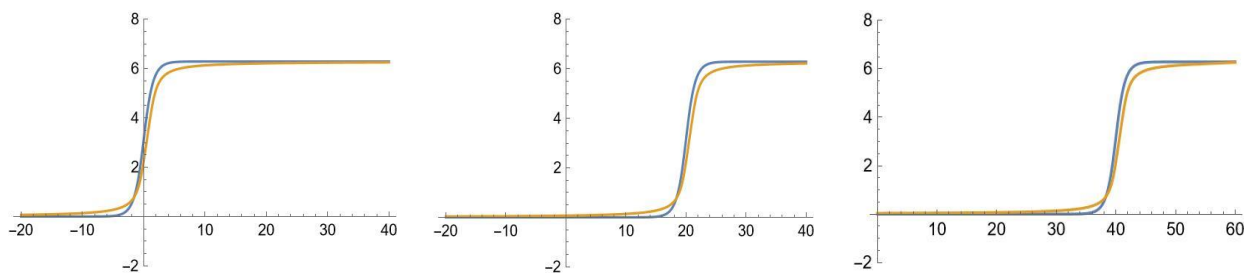


рис. 2. Сравнение решений традиционной угловой и комбинированной моделей ДНК

Список публикаций:

- [1] S.W. Englander, N.R. Kallenbach, A.J. Heeger, J.A. Krumhansl, A. Litwin. *Nature of the open state in long polynucleotide double helices: possibility of soliton excitations* // PNAS USA 77, 1980. – P. 7222–7226.
 [2] M. Peyrard and A.R. Bishop. *Statistical mechanics of a nonlinear model for DNA denaturation* // Phys. Rev. Lett. 62, 1989. – P. 2755–2758.
 [3] M. Peyrard, A.R. Bishop and Th. Dauxois. *Dynamics and thermodynamics of a nonlinear model for DNA denaturation* // Phys. Rev. E 47, 1993. – P. 684–697.

Измерение вольт-амперных характеристик олигонуклеотидов с известной последовательностью звеньев

Кудояров Данил Шамилевич

Уфимский университет науки и технологий

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

danilkud@mail.ru

Цель нашей работы состояла в получении данных атомно-силовой микроскопии и сканирующей-туннельной спектроскопии олигонуклеотидов, которые представляют собой последовательности только одного вида нуклеотида: аденина (dA_{12}) либо цитозина (dC_{12}).

Для получения изображений олигонуклеотидов и оценки их осаждаемости на поверхность подложки мы использовали атомно-силовой микроскоп (АСМ), для измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) применяли сканирующий-туннельный микроскоп (СТМ). Для исследования были использованы олигонуклеотиды с повторяющейся последовательностью, состоящие из 12 одинаковых звеньев.

Термически напыленное в вакууме золото на поверхность слюды использовали в качестве подложек. Раствор олигонуклеотидов нагревали до 85 градусов Цельсия для развертывания молекул-нитей, так как они находятся в состоянии глобул. 5 мкл раствора прикапывали на поверхность золотой подложки. После чего ждали полного высыхания капли в атмосфере воздуха.

Сначала получили данные СТМ поверхности подложки с напыленным в вакууме золотом и измерили её ВАХ во многих точках поверхности (рис.1). Видно, что поверхность имеет малую шероховатость, а ВАХ имеет типичный для металлов вид.

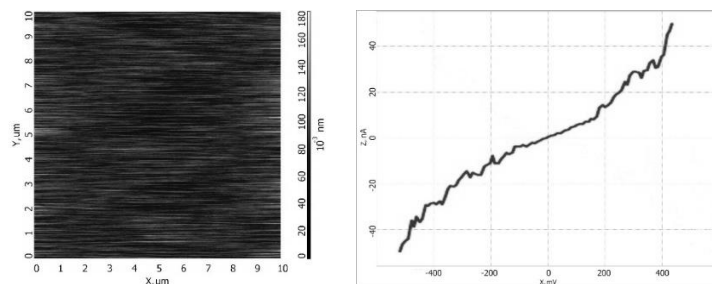


рис.1. а) данные сканирующей-туннельной спектроскопии поверхности подложки с напыленной пленкой золота; б) усредненная вольт-амперная характеристика пленки золота.

Затем получили данные АСМ олигонуклеотидов dA_{12} , осажденных на поверхности золотой подложки (рис.2а).

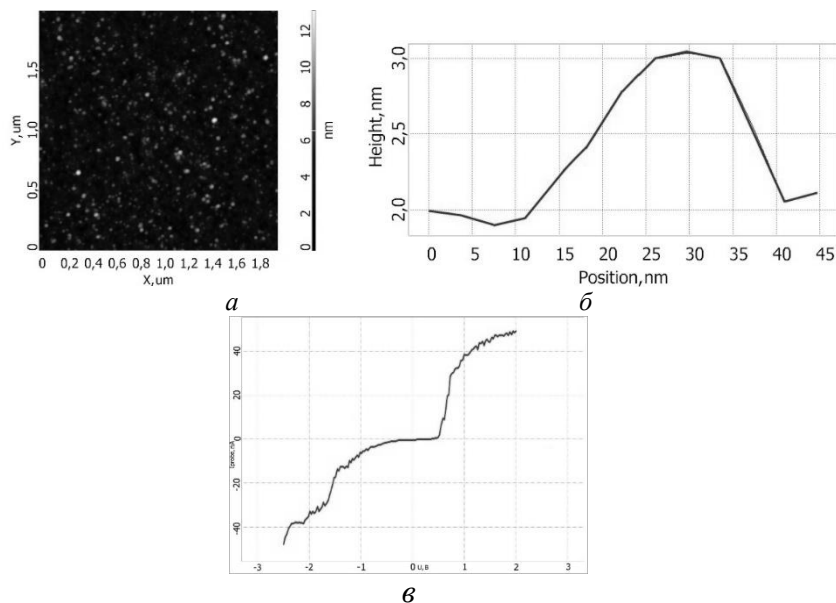


рис.2 - а) АСМ-изображение олигонуклеотидов dA_{12} ; б) профиль сечения кластера олигонуклеотида, выполненного по линии, проведенной на рисунке 2а; в) вольтамперная характеристика олигонуклеотидов dA_{12} .

На АСМ-изображении видны образования сферической формы, по одной из них выполнено сечение (рис.2б). По профилю сечения видно, что размер по латерали составляет около 27 нм, а высота – около 1 нм. Была получена ВАХ макромолекулы (рис.2в). Кривая ВАХ олигонуклеотидов dA_{12} имеет характерный для полупроводников вид. На ВАХ видно, что заметное увеличение туннельного тока происходит при напряжениях, приложенных между кончиком зонда и молекулой, более 0,4 В. При напряжениях от -0,3 В до 0,3 В наблюдается плато без возражений туннельного тока.

Соответствующие измерения ВАХ были выполнены и для другого типа олигонуклеотидов. Кривая вольт-амперной характеристики олигонуклеотидов dC_{12} имеет вид схожий с ВАХ полупроводников. Увеличение туннельного тока наблюдается при напряжениях, приложенных между кончиком зонда и молекулой, более 0,9 В, резкое же возрастание туннельного тока наблюдается при 1,3 В. При напряжениях от -0,9 В до 0,9 В наблюдается плато без возрастания туннельного тока.

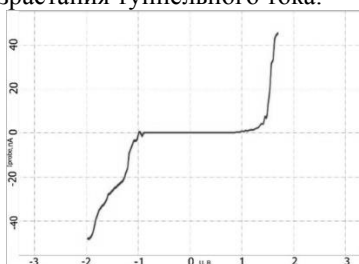


рис.4 - Вольтамперная характеристика олигонуклеотидов dC_{12} на поверхности золотой подложки.

Можно сказать, что проводимость исследуемых олигонуклеотидов ниже, чем проводимость золота. Сравнивая вольт-амперные характеристики видно, что в среднем проводимость олигонуклеотидов dA_{12} выше,

чем проводимость dC_{12} . Полученные данные в будущем могут быть использованы для сравнительного анализа проводимости других нуклеотидов.

Список публикаций:

[1] Ryndyk, D., Shapir, E., Porath, D., Calzolari, A., Di Felice, R., & Cuniberti, G. *Scanning Tunneling Spectroscopy of Single DNA Molecules* // ACS Nano, 2009. – №3(7). – С. 1651–1656.

[2] Кудояров Д.Ш., Толеков Д.А., Муллагалиев И.Н., Шарипов Т.И. Исследование физических свойств гомоолигонуклеотидов. // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2022»: тезисы докладов XIII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию образования математического и физического факультетов БашГУ (г. Уфа, 19 – 22 октября 2022 г.) / отв. ред. Л.А. Габдрахманова. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2022. С. 61-62*

Локальная атомная структура ионов Zn^{2+} при взаимодействии $ZnCl_2$ низкой концентрации с ленгмюровским монослоем арахидоновой кислоты: теоретический анализ спектров XANES

Лысенко Виктория Юрьевна

Кременная Мария Андреевна

Южный федеральный университет

Яловега Галина Эдуардовна, д.ф.-м.н.

viktoriya.250699@mail.ru

Исследование изменений с течением времени в локальном атомном окружении ионов цинка в водном растворе $ZnCl_2$ в присутствии монослоя арахидоновой кислоты представляет собой интерес с точки зрения биологии, так как может выступать в качестве упрощенной модели процесса взаимодействия металла с клеточной мембраной. Одним из методов, исследующих механизмы взаимодействия липид-металл, применимый для систем с малой концентрацией поглощающих атомов, является метод рентгеновской спектроскопии поглощения XANES.

Проведен анализ экспериментальных спектров XANES за К-краем цинка из растворов $ZnCl_2$ различной концентрации ($6 \cdot 10^{-4}$, $6 \cdot 10^{-5}$, $3 \cdot 10^{-6}$ моль/литр) в присутствии монослоя арахидоновой кислоты на поверхности раствора в ленгмюровской ванне методами «отпечатка пальца» и теоретического моделирования спектров рентгеновского поглощения для К-края.

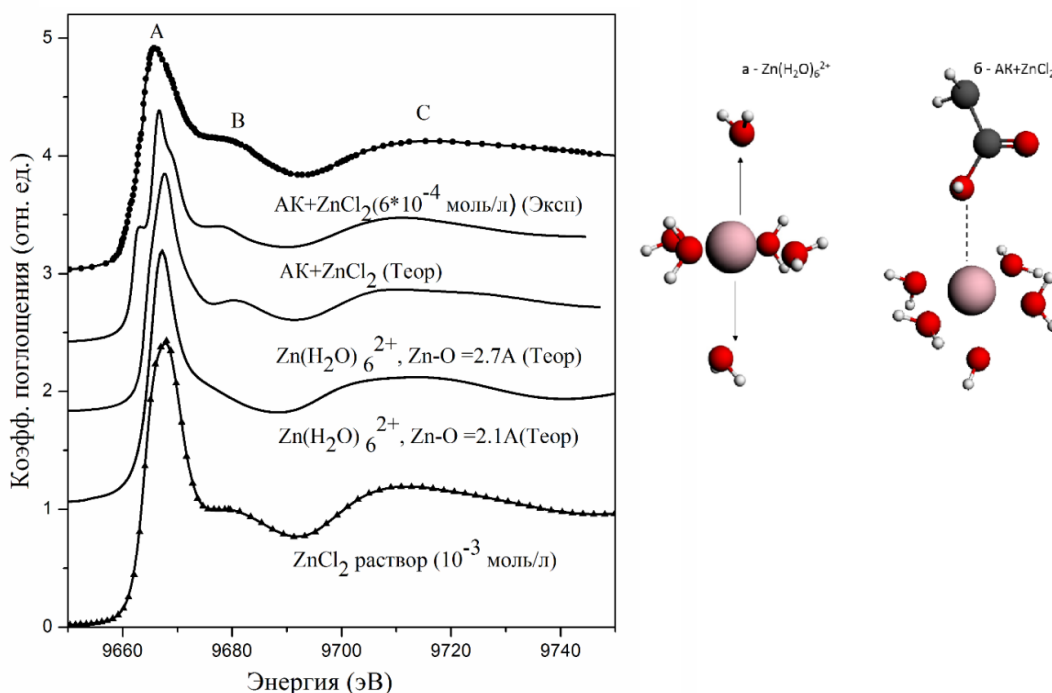


рис.1. Сравнение теоретических спектров XANES за К-краем цинка для модели $Zn(H_2O)_6^{2+}$ (а) и $AK+ZnCl_2$ (б) с экспериментальными спектрами раствора $ZnCl_2$ и $AK+ZnCl_2(6 \cdot 10^{-4})$

Анализ спектров XANES свидетельствует о том, что локальное окружение ионов цинка изменяется с течением времени и в процессе взаимодействия под монослоем не образуются наночастицы ZnO, что было показано в работе [1]. Теоретическое моделирование спектров XANES показало, что одним из способов взаимодействия арахидоновой кислоты с цинком является межмолекулярное взаимодействие между катионом цинка и карбоксильной группой арахидоновой кислоты.

Авторы выражают благодарность Гранту Президента МК-2767.2021.1.2 за финансовую поддержку исследования.

Список публикаций:

[1] Kremennaya M. A., et al., *Journal of Physics: Conference Series*: 2021. №2103, С. 012171.

Моделирование процесса СВЧ отогрева глубокого обморожения

Нечаев Александр Николаевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Дунаевский Григорий Ефимович

Sasha8227039@gmail.com

Эффективность отогрева обморожения конечности с помощью СВЧ- была доказана на животных (кролики) [1]. Для масштабного перехода от маленькой конечности животного к крупной конечности человека необходимо решение большого числа новых задач. Размеры конечности человека, состав и объемы биологических тканей существенно отличаются. Кроме того, необходимо не только обеспечить близкий к равномерному прогрев всего объема холодной травмы, уделяя особое внимание замедленному отогреву «критических зон» (ладоней, пальцев рук). Принципиальная возможность решения этих задач была показана авторами в прежних этапах работы [2, 3, 4, 5, 6].

В связи с этим в программе для 3D-моделирования была построена модель фантома конечности руки человека, позволяющая масштабно изменять её размеры. Фантом имеет упрощенную геометрическую форму набора малых плоских областей.

При более мелком разбиении модели на элементарные ячейки точность воспроизведения конфигурации руки (пальцев, ладони, предплечья) возрастет, нократно увеличится и время вычислений распределения полей. Выбранный в данной работе размер ячейки достаточен и для воспроизведения конфигурации руки при печати оболочки фантома, и для быстрых вычислений распределения полей. Размеры модели руки: высота – 46 см, ширина ладони – 8,5 см, длина среднего пальца – 7,5 см. Для 3D-печати оболочки фантома конечности человека использовался пластик ABS. Диэлектрическая проницаемость используемого пластика ABS на частоте 2,45 ГГц: действительная часть составляет: $\epsilon' = 2,7$, мнимая: $\epsilon'' = 0,1$. Толщина стенок фантомов, созданных методом 3D-печати, составила 2 мм.

Наполнитель фантома имитирует биологическую ткань человека. Подробно методика моделирования биотканей сложными растворами описана в работе [7]. Подбором состава и концентрации различных наполнителей в этой работе получены растворы, по своим диэлектрическим параметрам, близким к значениям соответствующих параметров мышечной тканей человека.

Для исследований объемного распределения тепловых полей в вышеописанных фантомах применялась описанная в [6] экспериментальная установка.

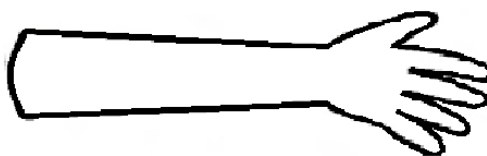
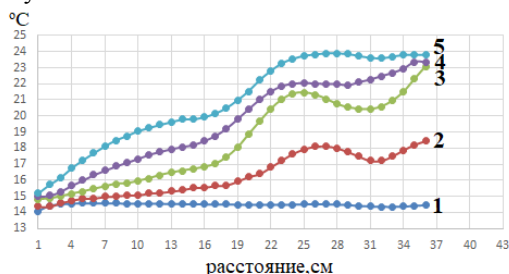


рис.1. – Распределение температуры вдоль центральной оси фантома взрослой руки до СВЧ-нагрева (1), и после 4-х сеансов нагрева (2), (3), (4) и (5)

На рисунке 1 приведены результаты измерения распределений тепловых полей вдоль центральной оси фантома взрослой руки. Перед началом эксперимента фантом охлаждался до температуры ниже 15 °С, соответствующей температуре холодового ишемизирования сосудов [8], после чего размещались в камеру. Затем закрывался защитный чехол, включался генератор, уровень мощности генератора устанавливался равным 40 Вт, и осуществлялся нагрев камеры в течение 6 минут. Затем защитный рукав открывался и производилось погружение термодатчика вдоль той же оси фантома (распределение (2)). После чего термометр извлекался, закрывался защитный чехол и снова осуществлялся нагрев в течение 6 минут при том же уровне мощности. Затем снова измерялось распределение температуры вдоль центральной оси. Подобные сеансы нагрева с последующими измерениями осуществлялись в фантоме 4 раза.

По результатам измерений хорошо видны области более быстрого нагрева в сечениях сужения фантома. Самым важным здесь результатом является соотношение максимальных значений температуры после одинаковых по длительности и мощности процедур нагрева. Для взрослой эта температура составила 24 °С.

Список публикаций:

- [1] Горелик, И.Э // Профилактика некроза при отморожениях конечностей в до-реактивном и раннем реактивном периодах: специальность 14.00.27 «Хирургия», 14.00.16 «Патологическая физиология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук: / Горелик Игорь Эрнестович; Кемерово, 2010. – 22 с. – Место защиты: Кемеровский государственный медицинский университет МЗ РФ.
- [2] Экспериментальное обоснование возможности использования сверхвысоко-кочастотного излучения малой мощности в раннем реактивном периоде при глубоких холодовых травмах: отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.09.2016, выполненный в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2.
- [3] Исследование особенностей микроволнового отогрева отморожения конечности, обусловленных неоднородностями электромагнитного поля: отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.35.2018, выполненный в рамках Программы по-вышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2 – Томск, 2018. – 98 с. – Рег. № НИОКТР АААА-Б19-21902139005-6.
- [4] Исследование динамики изменений электромагнитного и теплового полей в объеме фантома конечности при малоомощном микроволновом нагреве: отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.35.2018Л, выполненный в рамках Программы по-вышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2. – Томск, 2019. – 95 с. – Рег. № НИОКТР АААА – Б20 – 22002119011-2.
- [5] Исследование динамики изменений электромагнитного и теплового полей в объеме фантома конечности при малоомощном микроволновом нагреве: отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.35.2018Л, выполненный в рамках Программы по-вышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2. – Томск, 2019. – 95 с. – Рег. № НИОКТР АААА – Б20 – 22002119011-2.
- [6] Исследование конфигураций тепловых полей, создаваемых радиоволновым излучением в «критических» локальных зонах отогреваемой конечности: отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский Проект № 8.2.35.2018, выполненный в рамках Программы по-вышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2 – Томск, 2020. – 111 с. – Рег. № НИОКТР АААА А18-118110890046-7.
- [7] Agilent E8363B. – URL: <https://www.testunlimited.com/pdf/an/E8364-90027.pdf>.
- [8] Гаврилин, Е.В // Регионарные нарушения внутрикостной гемодинамики в патогенез и лечении криотравмы конечностей: специальность 14.00.27 «Хирургия», 14.00.16 «Патологическая физиология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук: / Гаврилин Евгений Владимирович; Томск, 2001. – 39 с. – Место защиты: Сибирский государственный университет МЗ РФ.

Изучение взаимодействия радиопротекторного ДНК-связывающегося белка Dsup с модельной ДНК методами малоуглового рассеяния и атомно-силовой микроскопии

Низамиева Альбина Фаритовна

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Горшкова Юлия Евгеньевна, к.ф.-м.н.

alb9061@yandex.ru

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) представляет собой макромолекулу, обеспечивающую хранение, передачу из поколения в поколение и реализацию генетических инструкций для развития, функционирования, роста и размножения всех известных организмов и многих вирусов. ДНК необходима для выживания клеток, поэтому её повреждения под воздействием УФ-излучения, γ -радиации и других факторов особенно опасны. Существуют, однако, адаптированные к экстремальным условиям окружающей среды организмы, одними из которых являются тихоходки.

Группа ученых из Японии обнаружила, что своей радиорезистентностью тихоходки обязаны уникальным ядерным белкам, одним из которых является Dsup (damage suppressor). В своей работе [1] исследователи показали, что белок Dsup может повышать устойчивость клеток человека к повреждению ДНК в условиях ионизирующего излучения или обработки перекисью водорода на 40 %.

Dsup представляет собой неупорядоченный сильно заряженный ядерный белок. На данный момент большая часть работ, предметом исследования которых является Dsup, сфокусирована на биологических аспектах его изучения. Исследования на тему физических и структурных свойств белка Dsup и взаимодействия Dsup с ДНК на данный момент не опубликованы, что обуславливает актуальность и новизну данной темы.

Для исследования структуры ДНК и комплекса Dsup-ДНК были использованы методы атомно-силовой микроскопии (АСМ) и малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР). В ходе нашего исследования методом АСМ были получены изображения модельной ДНК и комплекса Dsup-ДНК на слюде с конечными концентрациями макромолекул 1 мкг/мл (рис. 1а-б). При соотношении Dsup/ДНК 85/1 комплекс полностью сворачивается (рис. 1б), что не дает возможности исследовать его структуру методом АСМ. Очевидно, что для выявления всех этапов структурных изменений ДНК в присутствии белка Dsup от связывания до полного сворачивания необходимо провести прецизионные исследования при различных соотношениях концентраций белка Dsup и ДНК.

Для изучения структуры белка Dsup и комплекса Dsup-ДНК в нативной среде (использован буфер PBS, pH = 7,4) был выбран метод МУРР. Обнаружено, что в белке Dsup и комплексе Dsup-ДНК присутствуют 2 структурных уровня (рис. 2а). Для белка Dsup радиусы инерции равны $R_{g1} = 126,2 \text{ \AA} \pm 0,54 \text{ \AA}$ и $R_{g2} = 10,6 \text{ \AA} \pm 0,21 \text{ \AA}$. Для комплекса Dsup-ДНК радиусы инерции равны $R_{g1} = 128,4 \text{ \AA} \pm 0,23 \text{ \AA}$ и $R_{g2} = 9,3 \text{ \AA} \pm 0,43 \text{ \AA}$. Построение Кратки (рис. 2б) указывает на тот факт, что формы белка Dsup и комплекса Dsup-ДНК склонны к компактизации и представляют собой частично гибкие структуры.

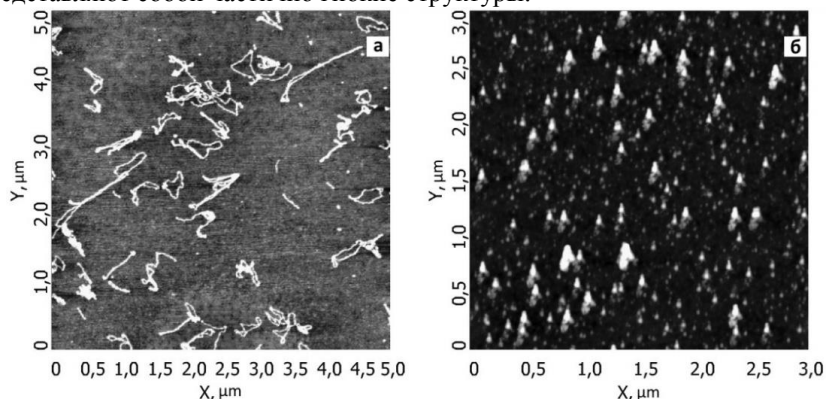


рис. 1. а – молекулы ДНК иммобилизованные на слюде; б – комплекс Dsup-ДНК на слюде

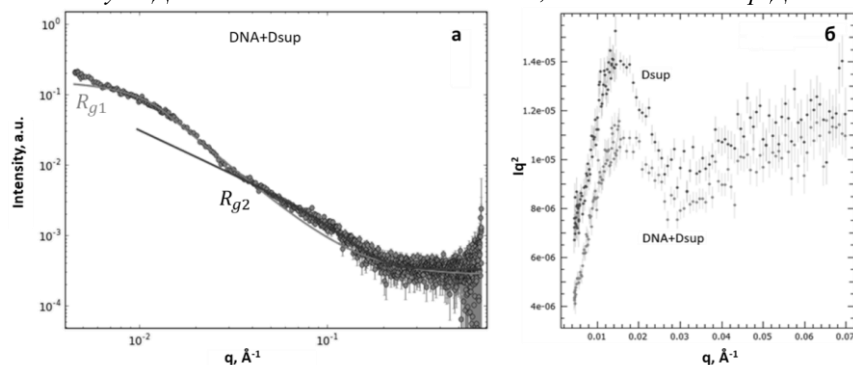


рис. 2. а – кривая МУРР для комплекса Dsup ДНК (точки) и подгонка функцией Гинье-Пород (седая и черная линии) для двух структурных уровней, б – построение Кратки для белка Dsup и комплекса Dsup-ДНК (концентрация белка – 5 мг/мл, ДНК – 60 мкг/мл).

Важно отметить, что компактизация комплекса Dsup-ДНК при рассмотренном соотношении концентраций наблюдается как методом АСМ, так и МУРР. Таким образом, видим, что данные полученные этими комплементарными методами хорошо согласуются друг с другом.

Список публикаций:

[1] Hashimoto T. et al. Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein // Nature communications, 2016. V. 7. №. 1. P.1-14

Исследование локальной атомной структуры Zn^{2+} в дополнительных центрах связывания молекулы гемоглобина: теоретический анализ спектров XANES

Пронина Екатерина Вячеславовна

Кременная Мария Андреевна

Южный федеральный университет

Яловега Галина Эдуардовна, д.ф.-м.н.

epronina@sfedu.ru

Известно, что под воздействием неблагоприятных факторов наблюдается кумуляция переходных металлов на биоорганических макромолекулах, что приводит к нарушению пространственной структуры белка и последующему образованию нефункциональных структур со сниженной активностью [1], [2].

В данной работе возможные структурные модели дополнительных центров связывания переходного металла Zn в молекуле гемоглобина были построены на основе данных Protein Data Bank (PDB): модель цинка, связанного с цистеином, гистидином, глутамином и аспарагиновой кислотой. Для полученных моделей были рассчитаны спектры рентгеновского поглощения XANES для К-края цинка методом конечных разностей, спектры сопоставлялись с экспериментальными спектрами, полученными из работы [3].

Спектры, рассчитанные теоретически для выбранных моделей, показывают повторение спектральных особенностей экспериментального спектра поглощения цинка (Рис.1). Сопоставление теоретических и экспериментальных спектров поглощения для различных структурных моделей показало чувствительность данного метода к изменениям межатомных расстояний и углов связи ионов цинка.

Проанализированные данные позволяют утверждать, что при использовании моделирования и теоретических расчетов спектров поглощения возможно определить локальное окружение атома цинка методом спектроскопии рентгеновского поглощения.

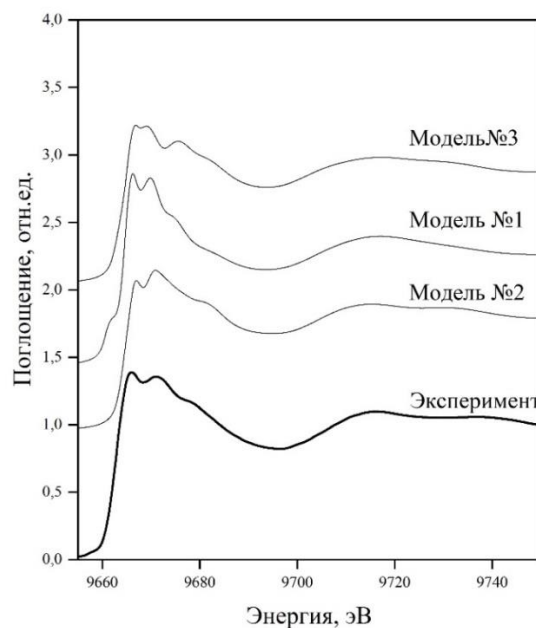


рис.1. Сопоставление теоретического и экспериментальных спектров поглощения цинка в дополнительном центре молекулы гемоглобина

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 19-29-12052 мк.

Список публикаций:

- [1] Gomes, Cláudio M. (2019). *Biophysical and Spectroscopic Methods for Monitoring Protein Misfolding and Amyloid Aggregation* // [Methods in Molecular Biology, Protein Misfolding Diseases Volume 1873 (Methods and Protocols), 10.1007/978-1-4939-8820-4(Chapter 1), 3–18.
- [2] Reeg, Sandra; Grune, Tilman, *Protein Oxidation in Aging: Does It Play a Role in Aging Progression?* // *Antioxidants & Redox Signaling*, 2015, 23(3), 239–255.
- [3] Н. Н. Новикова, С. Н. Якунин, М. В. Ковальчук, Э. А. Юрьева, Н. Д. Степина, А. В. Розачев, М. А. Кременная, Г. Э. Яловега, О. В. Космачевская, А. Ф. Топунов *Возможности рентгеновской абсорбционной спектроскопии в геометрии полного внешнего отражения для исследования белковых пленок на жидкости*// *Кристаллография*. 2019. Т.64, №6, с.931-937

Совместное воздействие урана-238 и биоактивных соединений на скорости процессов биолюминесцентной биферментной системы

Семенова Александра Алексеевна

Медведев Вадим Викторович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Сачкова Анна Сергеевна, к.б.н.

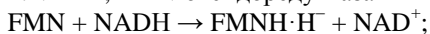
aas296@tpu.ru

Существующий факт загрязнения ураном окружающей среды требует отслеживать количество этого элемента в природных водах до допустимых концентраций [1]. Уран и его соединения токсичны. При попадании в организм уран действует на все органы, являясь общеклеточным ядом. Уран практически необратимо, как и многие другие тяжелые металлы, связывается с белками, прежде всего, с сульфидными группами аминокислот, нарушая их функцию.

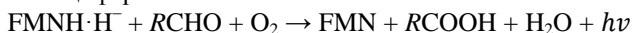
Перспективными биоактивными агентами для снижения токсичности являются гуминовые вещества и фуллеренолы – нанообъекты природного и антропогенного происхождения.

В последнее время биолюминесцентный анализ стал одним из перспективных экспрессных методов биологического мониторинга водной среды [2]. Также, с его помощью можно изучать механизмы снижения токсичности поллютантов [3]. В работе использовали люминесцентную систему двух сопряженных реакций, катализируемых ферментами NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазой и люциферазой:

1. NADH, FMN-оксидоредуктаза



2. Люцифераза



Данная система является моделью живой клетки по изменению её параметров можно косвенно судить о состоянии организма.

Было исследовано влияние нитрата уранила на скорость окисления NADH – восстановителя люминесцентной системы двух сопряженных реакций, катализируемых ферментами NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазой и люциферазой, а также исследованы механизмы снижения токсичности растворов U^{238} гуминовыми веществами и фуллеренолом - $\text{C}_{60,70}(\text{OH})_{20-24}$.

Работа выполнена на спектрофотометре ПЭ - 5400ВИ ЭКРОС. Используемые реактивы: NADH; FMN, KH_2PO_4 и K_2HPO_4 , Гуминовые вещества (ГВ, Гумат-80), азотнокислый уран; фуллеренол $\text{C}_{60,70}(\text{OH})_{20-24}$ и комплекс реактивов аналитической биолюминесценции (КРАБ).

Проводили измерения скорости окисления NADH в реакционных смесях разного состава при длине волны 340 нм. Порядок реакции считаем псевдопервым. Расчет изменения скорости окисления NADH проводили по формуле: $V = -\Delta C / \Delta t$.

Влияние U^{238} на скорость окисления NADH изучали с использованием растворов различного состава. Добавление растворов нитрата уранила как к раствору NADH, так и к смеси NADH + FMN приводило к снижению скоростей процессов. Так, скорость автоокисления NADH снизилась в 2,26 раза (2,3 против 5,1) $\cdot 10^{-7}$, (моль/л)·мин, а скорость биохимической реакции NADH + FMN в 2,6 раза (3,6 против 9,5). Известно, что роль металла в используемой соли урана выполняет катион уранила $[\text{UO}_2]^{2+}$. Ранее, коллегами из Института биофизики СО РАН города Красноярска было показано, что уран приводит к снижению интенсивности биолюминесценции, что свидетельствует о его токсическом воздействии даже при малых концентрациях.

Стоит отметить, что и ГВ, и фуллеренол снижают токсичность раствора урана. Скорость взаимодействия NADH + FMN составляет 9,48 (моль /л)·мин, в то время как добавление раствора урана снижает ее до 3,6, но добавление $\text{C}_{60,70}(\text{OH})_{20}$ ускоряет процессы до $7,02 \cdot 10^{-7}$, (моль /л)·мин, т.е. снижают токсический эффект в 2 раза. Для ГВ получена аналогичная тенденция, но снижение токсичности произошло в 1,7 раза. Снижение скорости процесса при добавлении растворов нитрата уранила может быть связано как с радиационными, так и с химическими механизмами токсического воздействия уранил-иона. Снижение токсического эффекта в присутствии ГВ или $\text{C}_{60,70}(\text{OH})_{20-24}$, предположительно связано с тем, что ГВ и фуллеренол работают как катализатор внутренних окислительно-восстановительных процессов.

Таким образом, было определено влияние нитрата уранила на скорость биохимических процессов биолюминесцентной системы, катализируемой NAD(P)H:FMN-оксидоредуктазой и люциферазой. Показана перспективность использования ГВ и $\text{C}_{60,70}(\text{OH})_{20-24}$ в качестве детоксикантов растворов нитрата уранила.

Список публикаций:

[1]. Орумо К., Елохин А. П., Ксенофонтов А. И. // Глобальная ядерная безопасность. 2020. Т. 35. № 2. С. 16-41.

[2]. Безруких А.Е., Есимбекова Е.Н., Кратасюк В.А. // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2011. Т. 4. № 1. С. 64-72.

[3]. Колесник О.В., Рожко Т.В., Лапина М.А., Соловьёв В.С., Сачкова А.С., Кадрьшиева Н.С. // MDPI. Bioengineering. 2021. Т. 8. № 194. С. 1–13.

Распределение СВЧ-поля в камере микроволнового отогрева, работающей на частоте ниже критической, при вариации размера конечности

Смыгалина Полина Павловна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Дунаевский Григорий Ефимович, д.т.н.

psmygalina@gmail.com

Обморожение конечностей представляет собой повреждение тканей, возникающее при воздействии низких температур. Задача эффективного и быстрого лечения обморожений особо остро стоит в странах с холодным климатом, в высокогорных районах, а также в полевых условиях. В то же время как аппаратура для лечения холодных травм по настоящее время отсутствует не только в России, но и за рубежом [1, 2]. В связи с этим актуальной становится задача разработки компактной переносной аппаратуры для лечения обморожений. Использование теплового эффекта воздействия микроволновых волн является эффективным при отогреве конечности. С целью уменьшить размер устройства для СВЧ-отогрева, а также иметь возможность получить предсказуемое распределение СВЧ-поля в конечности, используется следующее конструктивное решение.

Представляемая камера для отогрева обморожений конечностей представляет собой отрезок волновода, критическая длина волны в котором меньше длины волны возбуждающих колебаний. В отсутствие конечности в объеме камеры, распространения волны не происходит. Однако, размещение в такой камере конечности человека, обладающей высокой диэлектрической проницаемостью, должно приводить к переходу к возбуждению колебаний в волноводе без существенных отражений.

Моделирование распределения СВЧ-поля в камере производилось в среде CST Studio Suite. Габариты описанной камеры 20x30x50 см. Для данных габаритов частота 433 МГц будет ниже критической. Возбуждение электромагнитной волны осуществляется с помощью петлевой антенны. Прямоугольный фантом имитирует собой конечность человека. Значение диэлектрических характеристик фантома соответствует мышечной ткани человека на частоте 433 МГц: величина диэлектрической проницаемости 63,6, проводимость 0,98 См/м [3]. Были рассмотрены прямоугольные фантомы трех различных размеров сечения: 6x6 см, 8x8 см, 10x10 см. Длина фантома 55 см. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

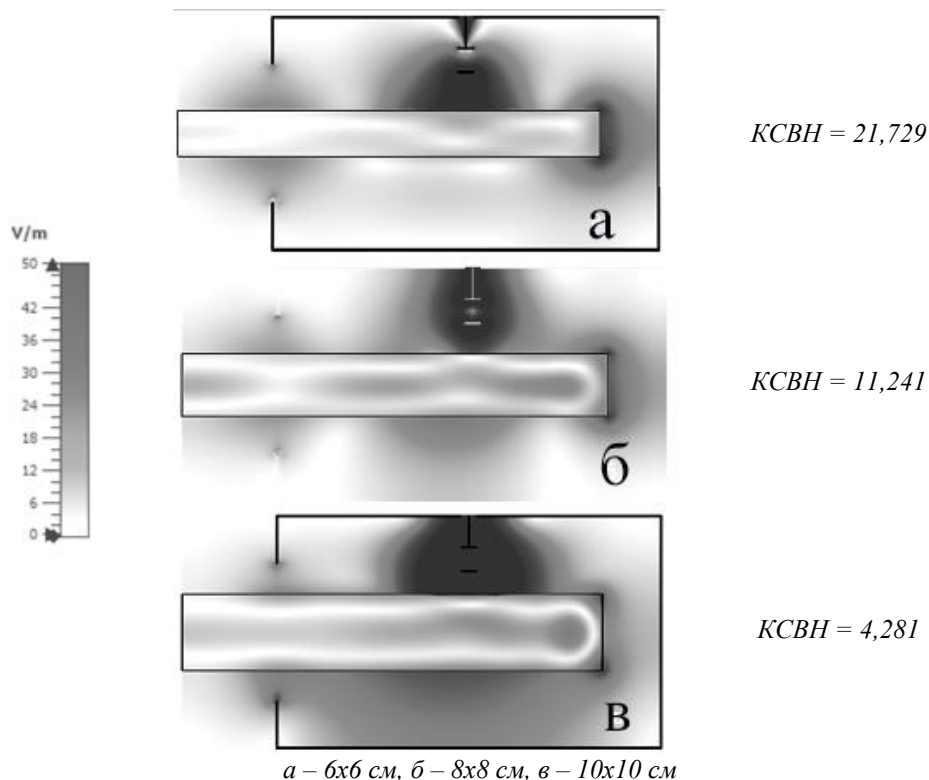


рис.1. Распределение электрического поля за пределами волновода при различных размерах фантома

Представленные на рисунке 1 распределения полей в центральном сечении фантома наглядно демонстрируют, что при увеличении размера фантома, а точнее при увеличении объема заполнения полости камеры диэлектриком со свойствами биологических тканей, СВЧ-поле распространяется эффективнее. Более

того, наблюдается концентрация поля в толщине фантома при размерах 8x8 см и 10x10 см, что свидетельствует о том, что нагрев происходит не только снаружи конечности, но и изнутри.

Список публикаций:

[1] Дунаевский Г. Е. // СВЧ - отогрев глубоких отморожений: новые результаты и новые задачи / Дунаевский Г. Е., Антипов В. Б., Гаврилин Е. В., Дорофеев И. О., Нечаев А. Н., Первеев И. А., Смыгалина П. П. // Актуальные проблемы радиофизики : IX Международная научно-практическая конференция, г. Томск, 20-22 октября 2021 г. Сборник трудов. – Томск : Издательский дом ТГУ, 2021. – 317 с.

[2] Исследование динамики изменений электромагнитного и теплового полей в объеме фантома конечности при маломощном микроволновом нагреве : отчет о НИР / руководитель Г.Е. Дунаевский; Проект № 8.2.35.2018Л, выполненный в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ, мероприятие 8.2. – Томск, 2019. – 95 с. – Рег. № НИОКТР АААА – Б20 – 22002119011-2.

[3] *Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies. Tabulation of the experimental data referred to in Appendix C.* [Электронный ресурс]. – URL: <http://niremf.ifac.cnr.it/docs/DIELECTRIC/AppendixD5.html#D31>.

Оценка гемодинамической значимости стенозов в бифуркациях коронарных сосудов

Суюндукова Алмагуль Туктаровна

Демкин Владимир Петрович, Мельничук Сергей Васильевич, Завадовский Константин Валерьевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович

almagul.suyundukova@mail.ru

Ведущей причиной развития ишемической болезни сердца является атеросклероз коронарных артерий (КА), который ограничивает кровоток к сердечной мышце и может привести к тяжелым последствиям таким как инфаркт, острая сердечная недостаточность, и как следствие к летальному исходу. Важную роль в локализации и прогрессии атеросклероза играют гемодинамические факторы – разделение и рециркуляция потока и низкое колебательное напряжение сдвига стенки. Частыми случаями атеросклеротических поражений коронарных артерий являются стенозы бифуркационной локализации, наиболее подверженные гемодинамической нагрузке [1–3]. В бифуркационных областях КА возникает нарушение ламинарного кровотока, в результате чего происходит существенное изменение пристеночного напряжения сдвига (ПНС). Низкое ПНС обычно возникает на внутренних областях изгибов и проксимальных сужений артерий. Колебательное ПНС характеризуется значительными изменениями, как направления, так и средней величины в течение сердечного цикла. Колебательное ПНС отмечается, в основном, при дистальных сужениях и на латеральных стенках ветвей в бифуркации [2].

Современная диагностическая стратегия в отношении стабильной ИБС предполагает выполнение оценки степени стенозирования коронарных артерий и определение их гемодинамической значимости [4]. Актуальные рекомендации предлагают использование неинвазивной компьютерно-томографической коронарографии (КТКАГ) как теста первой линии у пациентов с низкой предстеновой вероятностью ИБС [4]. Однако данный метод не отвечает на вопрос о гемодинамической значимости стеноза, иными словами, не позволяет установить наличие ишемии, обусловленной конкретным стенозом. При этом важно подчеркнуть, что при наличии сужения КА менее 90 % , именно наличие ишемии является показанием для реваскуляризации.

В настоящее время эталонными методами оценки гемодинамической значимости стенозов, с которыми сравнивают другие методики, являются инвазивное определение фракционного резерва кровотока (FFR) и моментального резерва кровотока (iFR).

Определение фракционного резерва кровотока по данным компьютерно-томографической коронарной ангиографии (КТКАГ) является современным методом оценки ишемии миокарда [5]. Метод демонстрирует высокую информативность и позволяет с высокой точностью идентифицировать гемодинамически значимые стенозы. Однако в клинической практике метод используется недостаточно широко в связи с высокой стоимостью, а анализ КТКАГ проводит только фирма HeartFlow Inc [6]. В связи с этим разработка альтернативных решений для оценки ФРК для выявления значимых стенозов КА по данным КТКАГ, является актуальной задачей.

Численное моделирование кровотока в нормальных физиологических условиях является чрезвычайно трудной задачей ввиду сложной анатомии коронарных сосудов, гибкости артериальной стенки, пульсирующего потока, переменного сосудистого сопротивления и неньютоновских свойств крови. В общем случае гемодинамические процессы описываются трехмерными нестационарными уравнениями Навье-Стокса совместно с уравнениями динамики эластичных оболочек сосудов с учетом пространственной геометрии сосудов, физических свойств крови и вариации сердечной нагрузки.

В работе рассмотрена 3D-модель локальной гемодинамики коронарных сосудов и предложен метод вычисления коронарного кровотока для оперативной диагностики пациентов с атеросклеротическим бифуркационным поражением КА. Исходными данными для применения данной модели являются: геометрические параметры участка артерии, определяемые из МСКТ снимков, измеренные значения скорости кровотока и давления на границе микроциркулярного русла. Проведение расчетов данным методом не требует специализированного программного обеспечения, а осуществляется с помощью стандартных математических пакетов. Результаты расчетов ФРК, основанные на локальной физико-математической модели кровотока в коронарных артериях с бифуркационным поражением, хорошо согласуются с результатами инвазивных измерений ФРК и расчетов, основанных на более сложных моделях коронарной гемодинамики. Представленный в данной работе метод расчета ФРК позволяет оперативно провести персонализированную оценку значимости стеноза для принятия врачебного решения.

Список публикаций:

- [1] Koo B.K., Kang H.J., Youn T. J. et al.// *J Am Coll Cardiol*. 2005. V.46. P. 633-637.
- [2] Хелимский Д.А., Бадоян А.Г., Эралиев Т.К. и др.// *Российский кардиологический журнал*. 2020. Т. 25. № 5. С. 106–113.
- [3] Демкин В.П., Мельничук С.В., Завадовский К.В., Хоряк М.Н., Руденко В.В, Суюндукова А.Т., Кукарцева Д.Н., Цибулина А.О., Удут В.В.// *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2021. Т. 64. №12. С. 172–178.
- [4] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al.// *Eur Heart J*. 2020. V. 41. № 3. P. 407 – 477.
- [5]. Мочула А.В., Мальцева А.Н., Шипулин В.В. и др. // *Российский кардиологический журнал*. 2020. Т. 25. № 2. С. 74–80.
- [6] Rabbat M., Leipsic J., Vax J., et al.// *J. Am. Coll. Cardiol*. 2013. V.61. № 22. P. 2233 – 41.

Разработка системы для диагностики гематом мозга

Юрченко Екатерина Алексеевна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Торгаев Станислав Николаевич, к.ф.-м.н.

kattifi@mail.ru

В случае черепно-мозговых травм важно своевременно выявить наличие внутричерепных гематом. Наиболее точными методами выявления черепно-мозговых травм являются компьютерная и магниторезонансная томографии. Однако проведение обследования посредством томографии непосредственно после получения травмы практически отсутствует. В связи с этим является актуальной задача создания устройства, которое позволит оперативно выявлять наличие внутричерепных гематом.

В разрабатываемом устройстве, для выявления гематомы будет использоваться современный метод анализа различных объектов – ближняя ИК-спектроскопия. В основе метода лежит принцип поглощения молекулами вещества электромагнитных волн различного спектра, а интенсивность поглощения будет зависеть от количества и вида поглощаемого компонента в исследуемом объекте. В нашем случае диагностика и определение характеристик гематом (плотность, размер, местоположение) основаны на поглощении света на определенной частоте хромофором. Например, при наличии гематомы и использовании излучения в диапазоне длин волн от 700 до 900 нанометров большая часть излучения будет поглощена, и малая отразится.

Принцип диагностики внутричерепных гематом с использованием инфракрасного сканера базируется на обработке изображения молекулы гемоглобина, полученного с помощью облучения волнами ИК-спектра ближнего диапазона. Датчик оснащен источником ИК-волн и кремниевым приемником сигнала, и, через источник ИК, посылает инфракрасное излучение, которое попадает на область ткани через оптоволокно. Детектор принимает отраженный сигнал. Далее, сигнал поступает на ПК, который преобразует полученные данные для наглядного представления результата. В результате экспериментов будут получены наборы данных для анализа влияния характеристик гематом на регистрируемые сигналы. На основании полученных данных можно будет разработать методы анализа и обработки, в том числе с привлечением алгоритмов машинного обучения, позволяющие эффективно определять пространственную локализацию и геометрические параметры гематом.

Был разработан макет для проведения исследований (см. рис.1.), который состоит из системы 3D позиционирования (для возможности перемещения аналога гематомы в пространстве), фантом головы (включает в себя аналоги тканей человека), аналог гематомы (закрепляется на проволоке), источник и приемник излучения (расположенных над модельной средой имитирующей структуры головы), микроконтроллер для управления составляющими, и ПК для сбора и анализа данных. Таким образом, с помощью ПК есть возможность управления экспериментом и получения данных для дальнейшей обработки.

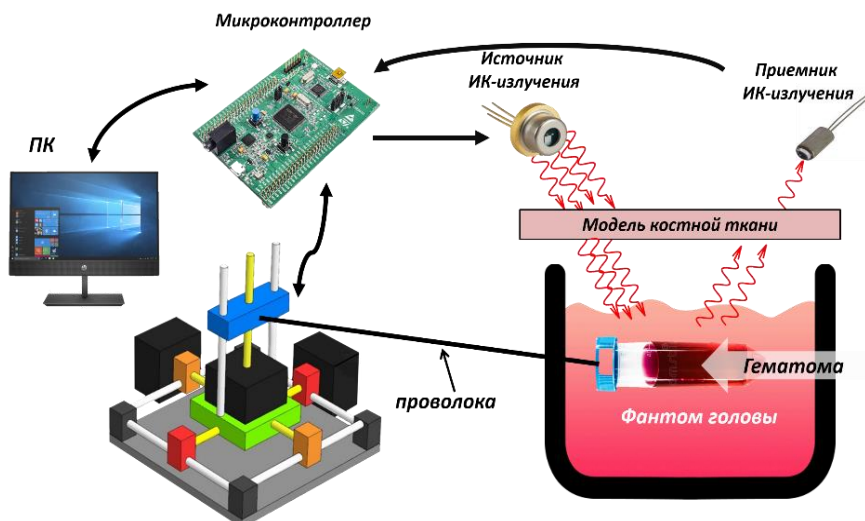


рис.1. Макет программно-аппаратного комплекса

В дальнейшем планируется реализация данного макета, подборка аналогов для тканей человека и проведение экспериментальных исследований с целью сбора данных. Также планируется разработать собственное программное обеспечение для визуализации результатов экспериментов и их машинного анализа.

Список публикаций:

[1] *Infrascanner in the Diagnosis of Intracranial Damage in Children with Traumatic Brain Injuries* – URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26653997/. (дата обращения: 15.03.2023).

[2] *ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ: НАДЕЖНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОЗГОВОЙ АКТИВАЦИИ В ПРОЦЕССЕ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.* – URL: www.science-education.ru/ru/article/view?id=24640. (дата обращения: 09.03.2023).

