УДК 577.35

ЛАЗЕР-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СОСУДОДВИГАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ НА ХОРИОАЛЛАНТОИСНОЙ МЕМБРАНЕ

Е. С. Стюхина, М. А. Курочкин, И. В. Федосов, Д. Э. Постнов

Стюхина Елена Сергеевна, аспирант кафедры оптики и биофотоники, Саратовский национальный исследовательский университет имени Н. Г. Чернышевского, ells03@yandex.ru

Курочкин Максим Андреевич, аспирант кафедры оптики и биофотоники, Саратовский национальный исследовательский университет имени Н. Г. Чернышевского, maxim_optics@mail.ru

Федосов Иван Владленович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники, Саратовский национальный исследовательский университет имени Н. Г. Чернышевского, fedosov_optics@mail.ru

Постнов Дмитрий Энгелевич, профессор, доктор физико-математических наук, начальник отдела НИ № 2, Саратовский национальный исследовательский университет имени Н. Г. Чернышевского, postnov@info.sgu.ru

Сила выраженности и характер вазомоторных реакций дают важную информацию о нормальном функционировании кровеносного сосуда, поскольку механическое сокращение или увеличение его просвета опосредуется сокращением клеток гладкой мускулатуры сосудистой стенки и является универсальным ответом на воздействие со стороны целого ряда физиологических механизмов, включая гуморальную и нейрогенную регуляцию. В то время как методы тестового воздействия на изолированный фрагмент сосуда *ex vivo* хорошо разработаны и широко применяются в ходе исследований, аналогичная задача по отношению к функционирующей микроциркуляторной сети значительно сложнее и во многом не решена. В данной работе исследуются возможности нового метода воздействия на фрагмент артериального сосуда в составе микроциркуляторной сети. А именно охарактеризованы индуцированные лазерным облучением сосудодвигательные реакции одиночного артериального сосуда хориоаллантоисной мембраны куриного эмбриона *in situ*. Установлено, что характер реакции (дилатация либо констрикция) существенно зависит от длины волны излучения лазера. В ряде случаев обнаружен бифазный отклик: начальная дилатация при повторных воздействиях сменяется констрикцией. Разработанная методика предлагается к использованию в качестве неразрушающего бесконтактного физиологического воздействия при исследованиях реакций микроциркуляторной сети как целого.

Ключевые слова: вазореактивность, лазерное воздействие, эритроциты, оксид азота (NO).

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-71-78

Введение

На настоящий момент хорошо изучены механизмы реакции отдельного артериального сосуда на различные вазодилаторные и вазоконстрикторные стимулы, как системные, так и локальные [1]. По мере накопления знаний все более очевидным становится факт, что как сами эти реакции, так и вызванные ими изменения кровотока могут существенно различаться для случаев, когда сосуд изолирован либо находится в своем месте в микроциркуляторной сети (*in situ)*. Эти различия обусловлены как гемодинамическими сетевыми эффектами (перераспределение потоков в сегментах и давлений в узлах сети), так и сигнальными механизмами самой сосудистой стенки, которые лежат в основе, например, функциональной гиперемии [2]. Экспериментальное исследование такой сложной, с внутренними взаимосвязями системы предполагает использование адекватных физиологических проб, которые обеспечили бы локальное и предсказуемое по результатам воздействие на выбранный фрагмент кровеносного сосуда. В настоящее время для этой цели применяются как фармакологическое воздействие [3–4], так и электростимуляция [5–6]. Для локализации доставленного к сосуду вазоактивного агента используют специальные микроконтейнеры [7–8]. Однако перечисленные технологии либо не обеспечивают требуемую локализацию (вследствие, например, диффузии вазоактивного агента), либо технически сложны и нарушают исходную структуру сосудистой сети.

Задачей данной работы являлась разработка и тестирование способа воздействия, которое, с одной стороны, обеспечивало бы хорошо выраженное и локализованное воздействие на выбранный сегмент небольшого артериального сосуда, а с другой – было бы минимально инвазивным, допускающим восстановление нормального кровотока после снятия воздействия. Эта задача решалась с использованием лазерного облучения.

Применение лазеров в биомедицинских исследованиях – это большая и динамично развивающаяся область знаний [9]. В рамках нашего исследования мы оставляем вне рассмотрения многочисленные применения лазеров, вызывающие необратимые изменения физической структуры биотканей (лазерная хирургия, термические эффекты и т.п.). В последние годы определенную известность получила так называемая

© Стюхина Е. С., Курочкин М. А., Федосов И. В., Постнов Д. Э., 2018

низкоинтенсивная лазерная терапия (Low–Level Laser Therapy, LLLT), эффективность которой и механизмы действия продолжают активно обсуждаться [10]. В общей массе публикаций можно выделить немногие работы, раскрывающие механизмы действия низкоинтенсивного лазерного воздействия на состояние кровеносных сосудов.

Так, в работе [11] исследована реакция микрососудов размером 10–50 мкм различных органов крыс на воздействие He–Ne лазера с длиной волны 630 нм. В результате лазерного облучения наблюдались как вазодилатация исследуемых сосудов, так и увеличение скорости кровотока в них в зависимости от места расположения сосуда. В обзоре [12] отмечена группа работ, в которых показано, что лазерное воздействие на кровь внутри сосуда может стимулировать кратковременное высвобождение оксида азота (NO) эритроцитами, что, в свою очередь, оказывает вазодилатирующий эффект [13–15]. В отличие от типичной LLLT, основанной на использовании инфракрасного излучения, в указанных работах отмечается, что эффект тем более выражен, чем короче длина волны лазера. Подчеркнем, что в цитированных выше работах лазерное воздействие не имело необратимых последствий для изучаемых структур.

Наша работа направлена на исследование применимости подобных методов в качестве бесконтактного неразрушающего тестового воздействия, вызывающего локальные (в пределах выбранного сегмента сосуда) изменения состояния сосудистой стенки. В качестве модели микроциркуляторной сети мы использовали сеть сосудов хориоаллантоисной мембраны куриного эмбриона (ХАО).

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что: (1) метод работоспособен, причем выбирая длину волны и плотность мощности (интенсивность) излучения лазера, можно управлять типом реакции сосуда; (2) локализация воздействия составляет 100–300 мкм; (3) индуцированное изменение диаметра сосуда составляет в среднем около 20%, в отдельных случаях достигая 80%; (4) при снятии воздействия параметры сетевого кровотока восстанавливаются на уровне, близком к исходному.

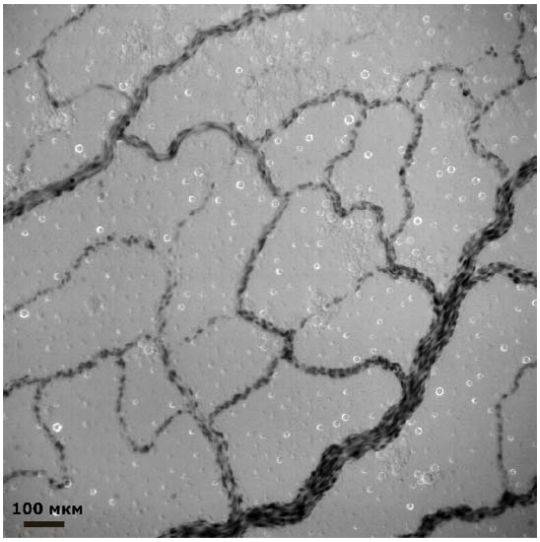
Материал и методы

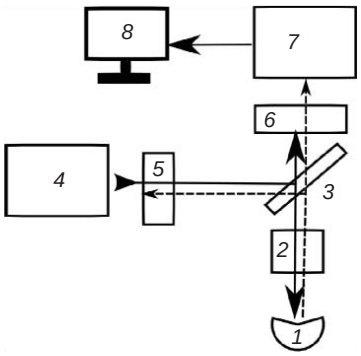
Биологическая модель

Для работы использовались яйца кур породы «Кросс “Супер Ник”», которые перед закладкой в инкубатор промывались холодной проточной водой и обеззараживались спиртом. Инкубация проводилась при температуре 37,8±0.5 °C и влажности воздуха 50–55%. Переворачивание яиц в инкубаторе происходило не менее двух раз в сутки. На 5-й день инкубации проводилось овоскопирование и отсев неоплодотворенных яиц. За 10–15 мин до проведения эксперимента яйцо доставалось из инкубатора с целью адаптации к температуре окружающей среды. Доступ к сосудистой сети осуществлялся путем удаления фрагмента подскорлупной оболочки после вскрытия яйца с тупого конца. Для проведения эксперимента использовались артериолы ХАО эмбриона с 7-го по 12-й день инкубации. Следует отметить необходимость дифференцировать сосудистую сеть ХАО и сосудистую сеть желточного мешка, которые весьма схожи в период разрастания. На рис. 1, *а* приведен типичный вид фрагмента микроциркуляторной сети ХАО в поле зрения системы визуализации, где различимы отдельные эритроциты и их малые агрегаты.

Экспериментальная установка

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1, *б*. Вскрытое яйцо с доступным для наблюдения фрагментом ХАО располагалось в предметной плоскости оптической системы микроскопа *2*, через которую осуществлялось как воздействие, так и запись изображения. Пучок воздействия генерировался лазерным модулем *4*, включающим собственно лазер и расширитель пучка, его мощность регулировалась аттенюатором *5*, состоящим из двух скрещенных поляризационных фильтров. При попадании на дихроичное зеркало рабочая часть пучка попадала в оптическую систему *2* и фокусировалась на объекте, а оставшаяся часть блокировалась светофильтром *6*, защищающим камеру системы регистрации *7* от повреждения лазерным излучением. Для освещения исследуемого объекта в составе оптической системы *2* имелся светодиодный осветитель. Описанная установка была выполнена в двух вариантах, так как параметры дихроичного зеркала и светофильтра, а также длина волны светодиодного осветителя выбирались в соответствии с длиной волны излучения лазера: 405 нм (фиолетовый) либо 532 нм (зеленый). Мощность лазерного излучения на выходе оптической системы составляла 7–10 мВт и 12–15 мВт соответственно. Размер пятна лазерного излучения в фокусе оптической системы был не более 15 мкм, что примерно соответствует размерам одиночного эритроцита кур. Средняя плотность мощности (интенсивность) лазерного излучения на поверхности исследуемого объекта составляла 4–6 кВт/см^2 для фиолетового и 12–14 кВт/см^2 – для зеленого.





а *б*

Рис. 1. Участок сосудистой сети ХАО куриного эмбриона (*а*) и схема экспериментальной установки (*б*): *1* – исследуемый объект; *2* – оптическая система микроскопа; *3* – дихроичное зеркало; *4* – лазер; *5* – поляризационный аттенюатор; *6* – светофильтр; *7* – система регистрации изображения; *8* – компьютер

Протокол эксперимента

До воздействия лазерным излучением выбирался подходящий сегмент сосудистой сети и выполнялась его видеозапись с целью последующего измерения диаметра. Далее в течение 3 с производилось непрерывное лазерное воздействие, после чего вновь проводилась запись последовательности в 500 кадров. Данный процесс повторялся 3–5 раз с перерывом не более 10 с. После окончания серии воздействий записывались дополнительные серии кадров для оценки степени восстановления исходного диаметра сосуда.

Результаты и их обсуждение

В ходе экспериментов были проведены измерения на 24 эмбрионах при воздействии зеленым лазером и на 14 эмбрионах при воздействии фиолетовым лазером. Обнаруженные при этом характерные пространственные паттерны реакции сосудов проиллюстрированы на рис. 2 и 3.

На рис. 2 можно видеть, как лазерное воздействие на длине волны 532 нм вызывает сложную, пространственно-неоднородную реакцию: в непосредственной близости к точке воздействия сосуд значительно расширен, тогда как выше и ниже по потоку имеет место видимое уменьшение его диаметра (ср. панели I и II рис. 2). При прекращении воздействия (панель III) участки констрикции исчезают быстрее, чем дилатационный «пузырек».

На рис. 3 показано, как излучение на длине волны 405 нм вызывает выраженную констрикцию сосуда, причем преимущественно в более

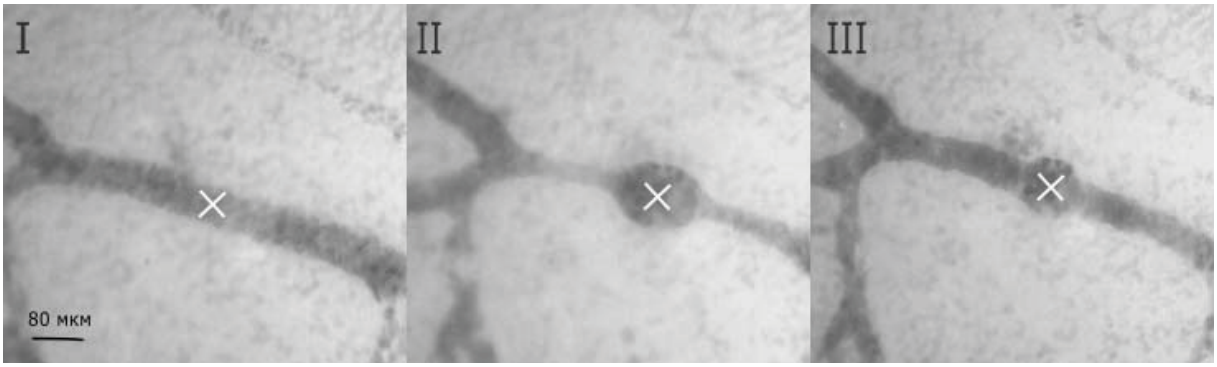


Рис. 2. Изменение артериолы ХАО эмбриона 12-дневной инкубации под действием зеленого лазера: I – до воздействия, II – наиболее выраженная фаза реакции, III – фаза восстановления

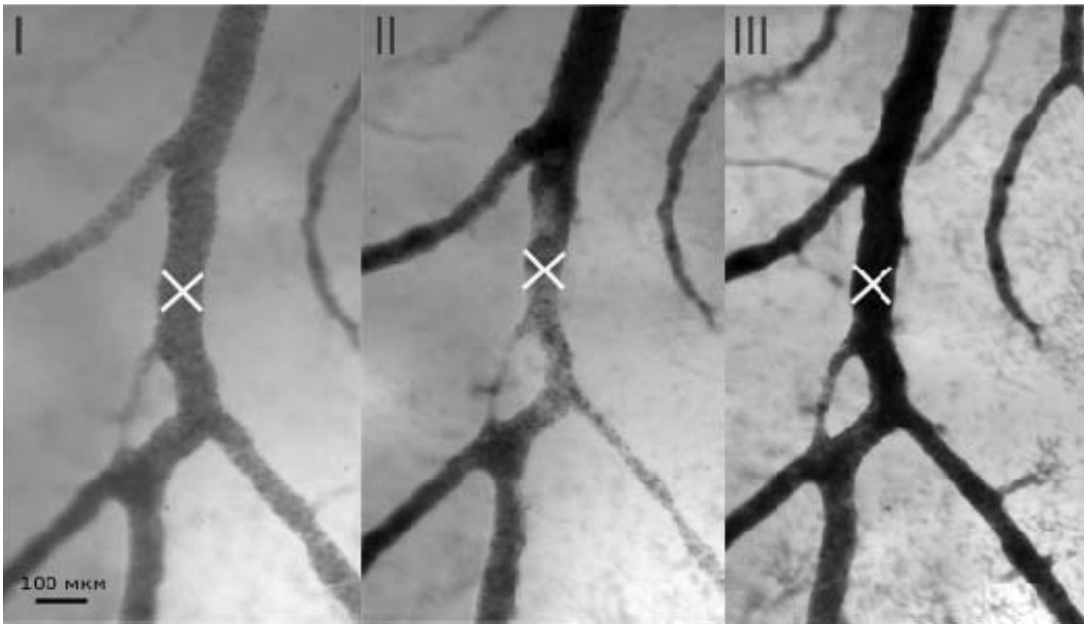


Рис. 3. Изменение артериолы ХАО эмбриона 9-дневной инкубации под действием фиолетового лазера: I – до воздействия, II – выраженная фаза реакции на воздействия, III – фаза полного восстановления после воздействия

тонком сегменте вниз по потоку, за точкой бифуркации. В этом случае снятие воздействия приводит к полному восстановлению исходного состояния сегмента сосудистой сети.

Гистограмма на рис. 4 позволяет сопоставить результаты обеих серий экспериментов. Здесь величина *N* есть количество случаев, когда степень изменения диаметра попадала в заданный интервал значений относительно исходного диаметра (до воздействия). Изменение диаметра сосуда оценивалось после первого 3-секундного импульса лазера.

Как можно видеть, воздействие зеленым лазером, как правило, приводило к локальному расширению сосудов. При этом у наибольшего количества сосудов (14) диаметр вырос в пределах 20% от исходного значения. Еще у 7 сосудов увеличение диаметра составило от 20 до 60%. Наконец, наблюдался один случай аномально сильного расширения (80–100%) и два случая реакции противоположной направленности – уменьшения диаметра.

Воздействие фиолетовым лазером выявило практически обратную картину. А именно 11 со-

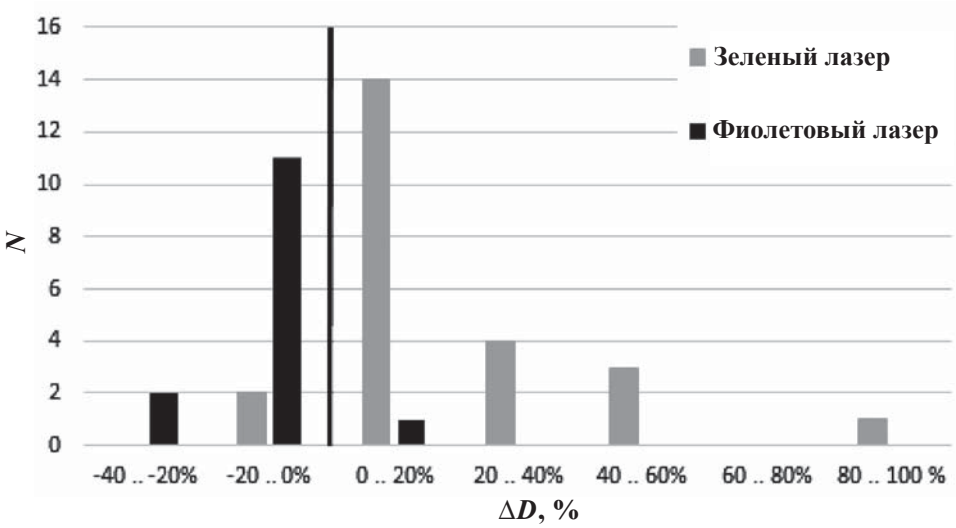


Рис. 4. Изменение размеров сосудов после воздействия зеленым и фиолетовым лазерами. Жирная вертикальная линия соответствует отсутствию реакции

судов отреагировали сужением в пределах 20% от начального диаметра, в 2 случаях констрикция была выражена сильнее, и в одном случае наблюдалась вазодилатация до 20%.

Как уже отмечалось выше, после первого воздействия зеленым лазером 22 из 24 исследованных артериол локально расширились. Однако дальнейшая реакция на серию воздействий в этой группе различалась. На рис. 5 приведены графики, характеризующие динамику изменения диаметра трех артериол сопоставимого диаметра (55, 74 и 81 мкм – кривые I, II и III соответственно).

Как можно видеть, после первого воздействия диаметры увеличились на 50, 22 и 18%, однако дальнейший ход кривых различен. В то время как для кривой I наблюдался выраженный кумулятивный эффект воздействия, действие облучений лазером накапливалось и, видимо, сосуд достиг максимальной дилатации на уровне диаметра почти вдвое (180%) больше начального, кривые II и III показывают немонотонный характер реакции сосуда на серию облучений. А именно примерно через 30 с после начала эксперимента диаметр сосуда III стал уменьшаться и в итоге опустился ниже начального значения – дилатация сменилась констрикцией. Кривая II показывает аналогичную, но менее выраженную реакцию – максимум дилатации достигается позднее, примерно через 1 мин после начала эксперимента, и уменьшение диаметра не такое резкое. В итоге максимальное изменение диаметра в случаях I, II и III составило 80, 45 и 54% и наблюдалось в различные моменты времени. Финальные же изменения диаметра через 30 с после прекращения серии воздействий составляли 80, 16 и 8% соответственно. Таким образом, более тонкие сосуды при облучении зеленым лазером устойчиво расширяются, а по мере увеличения их диаметра возникает тенденция к констрикции сосудов после облучения.

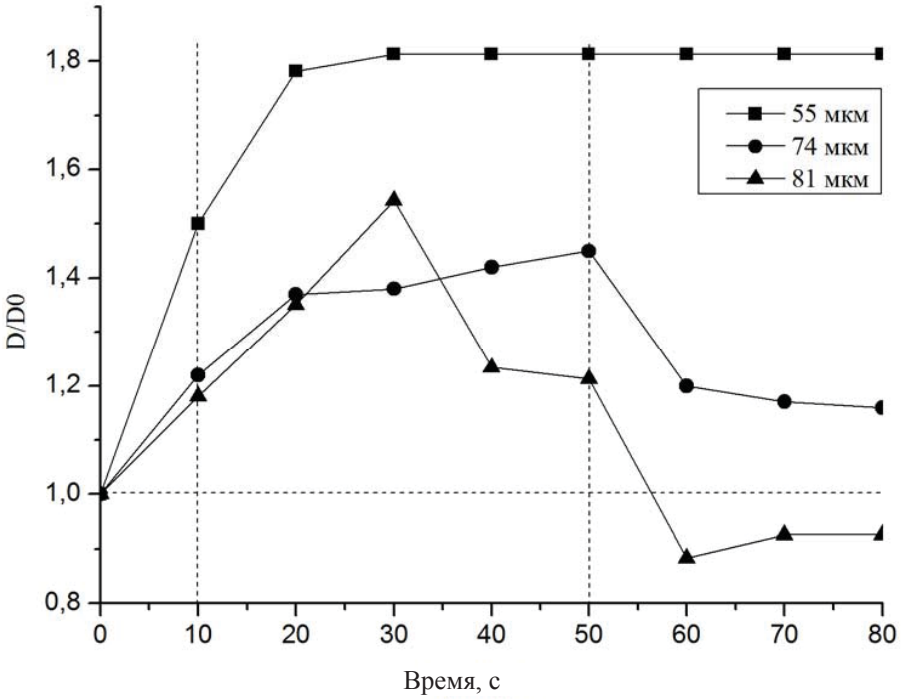


Рис. 5. Динамика изменения диаметра сосуда в ходе эксперимента для трех образцов. Интервал времени между записями – 10 с

Описанные выше результаты позволяют заключить, что ответная сосудистая реакция на лазерное излучение наблюдалась во всех проделанных нами экспериментах. Еще раз подчеркнем, что сочетание мощности, фокусировки и продолжительности лазерного излучения было таково, что не вызывало ни видимых повреждений сосудистой стенки, ни образования тромбов в просвете сосуда. Таким образом, основная задача исследования успешно решена: предложена относительно несложная и недорогая (стоимость соответствующих элементов установки существенно меньше стоимости одного микроманипулятора) методика, позволяющая прицельно и контролируемо воздействовать на выбранный участок сосуда, вызывать изменение его диаметра

и, таким образом, заставлять реагировать окружающие фрагменты микроциркуляторной сети.

Больше вопросов вызывает анализ механизмов наблюдаемых реакций. Следует отметить, что данное исследование не имело целью предложить их доказательную физиологическую интерпретацию, так как в ходе наших экспериментов не контролировался ряд условий и параметров, что необходимо, в частности, для сопоставления данных, полученных для различной длины волны лазера (измерения проводились на различных установках). Тем не менее анализ результатов позволяет сделать ряд предположений касательно механизмов, которые активируются при облучении фрагмента сосуда.

В результате проведенного эксперимента мы увидели локальный дилатационный ответ на лазерное воздействие. Что лежит в его основе, точнее, какая часть системы «сосуд + кровь» обеспечивает реакцию? Так как сосуды хориоаллантоисной мембраны не имеют нервной регуляции, и можно исключить любые другие системные механизмы (в этом случае наблюдалась бы реакция всей сети), то речь идет о локальном механизме дилатации, который с наибольшей вероятностью опосредован оксидом азота NO, запускающим цепочку превращений и действий циклического гуанозинмонофосфата *c*GMP. Вероятных источников NO в данном случае два: это либо клетки эндотелия сосудистой стенки, либо сама кровь, и в первую очередь – эритроциты в ее составе [16].

Как уже упоминалось во введении, в работах [13–15] было показано, что облучение эритроцитов крови лазером заставляет их отдавать присоединенный NO, диффузия которого в клетки гладкой мускулатуры способна индуцировать расширение сосуда. Время реабсорбции (и/или диффузии) NO составляет около 2 с, что в предположении средней скорости монотонного потока в артериоле порядка 200–300 мкм/с дает оценку локализации эффекта около 400–600 мкм *вниз по потоку от места воздействия*. В наших экспериментах (см., напр., рис. 2) участок дилатации меньше, 120–200 микрон, и расположен *как вниз, так и вверх* по потоку. Однако поток крови в артериолах ХАО, как правило, сильно пульсирует вплоть до изменения направления. При этом эритроциты могут смещаться в обе стороны от места облучения, а их средняя скорость может быть значительно меньше максимальной. Таким образом, обсуждаемый механизм как минимум может иметь место.

Другой важной особенностью полученных результатов является наличие зон констрикции, окружающих область воздействия и дилатации (см. рис. 2) или же распространяющихся на значительное удаление от точки воздействия (см. рис. 3). Согласно современным представлениям [2, 17], эти наблюдения могут соответствовать так называемой распространяющейся вазоконстрикции (*conducted vasoconstriction*), эффекту, который наблюдался и исследовался для различных органов лабораторных животных, в то время как авторам неизвестны наблюдения данного эффекта в сосудах ХАО куриного эмбриона. Предположительно, данная реакция обусловлена передачей электрического импульса деполяризации по щелевым контактам между клетками эндотелия. Однако ответ на то, какая именно цепочка событий запускает этот механизм в месте воздействия, требует отдельного исследования.

Также требует дальнейшего исследования первичный механизм передачи энергии лазерного излучения крови и клеткам кровеносных сосудов. В качестве наиболее вероятного механизма следует принять фототермическое воздействие, обусловленное поглощением лазерного излучения кровью. В пользу этого механизма свидетельствует зависимость характера наблюдаемого эффекта от длины волны лазерного излучения и диаметра сосуда. Как известно, поглощение света кровью для длины волны лазерного излучения 405 нм в несколько раз выше, чем для 532 нм [18]. Таким образом, нагревание крови в результате поглощения света будет более значительным при облучении фиолетовым лазером, чем зеленым, несмотря на то что в наших экспериментах плотность мощности излучения зеленого лазера на поверхности объекта была в два раза ниже, чем фиолетового. Можно предположить, что более интенсивный нагрев вызывает констрикцию сосудов, в то время как умеренный нагрев – дилатацию. Данное предположение объясняет также тенденцию к констрикции сосудов большего диаметра при облучении их зеленым лазером. Поглощенная мощность лазерного излучения возрастает по мере увеличения диаметра сосуда, это обусловливает более интенсивный нагрев крови в нем и соответственно констрикцию сосуда.

Заключение

В ходе данной работы были исследованы индуцированные лазерным облучением сосудодвигательные реакции одиночного артериального сосуда хориоаллантоисной мембраны

куриного эмбриона *in situ*. По итогам исследования разработанная методика представляется нам перспективной для использования в качестве неразрушающей бесконтактной физиологической пробы при исследованиях реакций микроциркуляторной сети.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект № 3.1586.2017/4.6.

Д. Э. Постнов также благодарит Минобрнауки РФ за поддержку в рамках задания № 3.5507.2017/6.7.

М. А. Курочкин благодарит за поддержку фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программа «УМНИК», грант № 8959 ГУ2015.

Список литературы

1. Фундаментальная и клиническая физиология : учебник для студентов высших учебных заведений / под ред. А. Г. Камкина, А. А. Каменского. М. : Академия, 2004. 1072 с.
2. *Jensen L. J., Holstein-Rathlou N.-H.* The vascular conducted response in cerebral blood flow regulation // J. of Cerebral Blood Flow & Metabolism. 2013. Vol. 33. P. 649–656.
3. *Yuan T. Y., Yan Y., Wu Y.J., Xu X. N., Li L., Jiao X. Z., Xie P., Fang L. H., Du G. H.* Vasodilatory effect of a novel Rho-kinase inhibitor, DL0805-2, on the rat mesenteric artery and its potential mechanisms // Cardiovasc Drugs Ther. 2014. Vol. 28(5). P. 415–424.
4. *Noguchi M., Mori A., Sakamoto K., Nakahara T., Ishii K.* Vasodilator effects of ibudilast on retinal blood vessels in anesthetized rats // Biol Pharm Bull. 2009. Vol. 32(11). P. 1924–1927.
5. *Kezurer N., Farah N., Mandel Y.* Endovascular Electrodes for Electrical Stimulation of Blood Vessels for Vasoconstriction – a Finite Element Simulation Study // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. P. 31507.
6. *Török J., Zemančíková A.* Agmatine Modulation of Noradrenergic Neurotransmission in Isolated Rat Blood Vessels // Chin. J. Physiol. 2016. Vol. 59(3). P. 131–138.
7. *Liu W., Wang X., Bai K., Lin M., Sukhorukov G., Wang W.* Microcapsules functionalized with neuraminidase can enter vascular endothelial cells in vitro // J. R. Soc. Interface. 2014. Vol. 11(101). P. 20141027.
8. *Postnov D. D., Tuchin V. V., Sosnovtseva O.* Estimation of vessel diameter and blood flow dynamics from laser speckle images // Biomed. Opt. Express. 2016. Vol. 7. P. 2759–2768.
9. *Тучин В. В.* Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. 2-е изд., испр. и доп. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. 488 с.
10. *Avci P., Gupta A., Sadasivam M., Vecchio D., Pam Z., Pam N., Hamblin M.R.* Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin : stimulating, healing, restoring // Semin. Cutan. Med. Surg. 2013. Vol. 32 (1). P. 41–52.
11. *Черток В. М., Коцюба А. Е., Беспалова Е. П.* Особенности реакции сосудов микроциркуляторного русла некоторых органов на воздействие гелий-неонового лазера // ТМЖ. 2007. № 3 (29). С. 48–52.
12. *Hamblin M. R., Demidova T. N.* Mechanisms of low level light therapy // Proc. SPIE. 2006. Vol. 6140. P. 614001.
13. *Владимиров Ю. А., Клебанов Г. И., Борисенко Г. Г., Осипов А. Н.* Молекулярные и клеточные механизмы действия низкоинтенсивного лазерного излучения // Биофизика. 2004. Т. 49, № 2. С. 339–350.
14. *Владимиров Ю. А., Осипов А. Н., Клебанов Г. И.* Фотобиологические основы терапевтического применения лазерного облучения // Биохимия. 2004. Т. 69, № 1. С. 103–113.
15. *Mittermayr R., Osipov A., Piskernik C., Haindl S., Dungel P., Weber C., Vladimirov Y. A., Redl H., Kozlov A. V.* Blue laser light increases perfusion of a skin flap via release of nitric oxide from hemoglobin // Mol. Med. 2007. Vol. 13 (1–2). P. 22–29.
16. *Dejam A., Hunter C.J., Pelletier M.M., Hsu L.L., Machado R. F., Shiva S., Power G. G., Kelm M., Gladwin M. T., Schechter A. N.* Erythrocytes are the major intravascular storage sites of nitrite in human blood // Blood. 2005. Vol. 106 (2). P. 734–739.
17. *Gustafsson F., Andreasen D., Salomonsson M., Jensen B. L., Holsein-Rathlou N.-H.* Conducted vasoconstriction in rat mesenteric arterioles: role for dihydropyridine-insensitive Ca(2+) channels // Amer. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2001. Vol. 280 (2). P. H582–H590.
18. *McKenzie A. L.* Physics of thermal processes in laser-tissue interaction // Phys. in Med. and Biol. 1990. Vol. 35 (9). P. 1175.

Laser-induced Vasomotor Responses on Chorioallantoic Membrane

E. S. Stiukhina, M. A. Kurochkin, I. V. Fedosov, D. E. Postnov

Elena S. Stiukhina, ORCID 0000-0003-1021-358X, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ells03@yandex.ru

Maxim A. Kurochkin, ORCID 0000-0001-6688-4724, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, maxim_optics@mail.ru

Ivan V. Fedosov, ORCID 0000-0002-3615-245X, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, fedosov_optics@mail.ru

Dmitry E. Postnov, ORCID 0000-0002-6575-0975, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, postnov@info.sgu.ru

The strength and the specific features of the vasomotor responses provide important information about the healthy state of the blood vessel, since its contraction or dilation is caused by the activation

or relaxation of vascular smooth muscle cells of the vascular wall and appears to be a universal response to the a number of physiological regulatory pathways, including humoral and neurogenic ones. While the methods for testing the isolated vessel fragment ex vivo are well developed and widely used in research, a similar problem with respect to a functioning microcirculatory network is much more complicated and largely unresolved. In this paper, we investigate the possibilities of a new method of to test a fragment of an arterial vessel within the network. Namely, we study the vasomotor reactions of a single arterial vessel of a chick embryo chorioallantoic membrane in situ induced by laser irradiation. Our results show that the reaction type (dilatation or constriction) depends essentially on the wavelength of the laser radiation. In a number of cases, a biphasic response is detected, when initial dilatation upon repeated exposures is replaced by constriction. The developed technique is proposed to be used as a nondestructive and non-contact experimental technique for the studies of microcirculatory network functions.

Key words: vasoreactivity, laser irradiation, red blood cells, nitric oxide (NO).

Образец для цитирования:

Стюхина Е. С., Курочкин М. А., Федосов И. В., Постнов Д. Э. Лазер-индуцированные сосудодвигательные реакции на хориоаллантоисной мембране // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 71–78. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-71-78.

Cite this article as:

Stiukhina E. S., Kurochkin M. A. , Fedosov I. V., Postnov D. E. Laser-induced Vasomotor Responses on Chorioallantoic Membrane. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 71–78 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-71-78.