

Экспериментальные исследования
МИЛЛЕР К. Л., СЕРГЕЕВ И. В.,
ДВОРЕЦКИЙ Д. П.

Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения красного и дальнего инфракрасного диапазонов на кровь

Институт физиологии им. И. П. Павлова
e-mail: tch@infran.ru

Реферат

Целью работы являлось исследование в острых опытах на крысах воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения ($\lambda=0,63$ мкм, 1,7 мВт, 20 мин; $\lambda=0,65$ мкм, 20 мВт, 40 мВт, 20 мин; $\lambda=1-56$ мкм, 1,1 мВт, 20 мин) на параметры кислотно-щелочного равновесия и газового состава крови. Отмечено достоверное уменьшение pH в пробах артериальной крови, тогда как в пробах венозной крови достоверное уменьшение pH было обнаружено только при лазерном излучении с длиной волны 1–56 мкм. Эффект лазерного излучения на кислотно-щелочное равновесие и газовый состав крови трактуется как обусловленный изменениями конформации гемоглобина.

Ключевые слова: низкоинтенсивное лазерное излучение, артериальная и венозная кровь, кислотно-щелочное равновесие крови, газовый состав крови.

Miller K. L., Sergeev I. V., Dvoretzky D. P.

Effects of low intensity red and distant infra-red laser irradiation on the blood

I. P. Pavlov Institute of Physiology
e-mail: tch@infran.ru

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of low-intensity laser irradiation ($\lambda=0,63$ microm, 1,7 mW, 20 min; $\lambda=0,65$ microm, 20 mW, 40 mW, 20 min; $\lambda=1-56$ microm, 1,1 mW, 20 min) on the parameters of acid-base balance and of gas composition of blood of the rats. After low-intensity laser irradiation statistically significant decrease in pH in the samples of blood was noted. Significant differences of changes of pO_2 and pCO_2 in arterial and venous blood were observed. The effect of laser irradiation on the acid-base balance and gas composition of blood by changes of hemoglobin conformation might be explained.

Keywords: low-intensity laser irradiation, arterial and venous blood, acid-base balance of blood, gas composition of blood.

Введение

В настоящее время в клинической медицине при лечении различных заболеваний широкое распространение получило применение лазерного излучения низкой интенсивности. В клинических исследованиях при применении низкоинтенсивного лазерного излучения выявлено улучшение микроциркуляции и заживления ран, а также уменьшение боли. Согласно данным Simunovic Z. [20], использование лазеров низкой интенсивности (He-Ne, $\lambda=632,8$ нм; $\lambda=820-830$ нм, непрерывное излучение; $\lambda=904$ нм, импульсное излучение) у больных, имеющих боли различного генеза, приводило к улучшению локальной микроциркуляции и снабжению кислородом гипоксических клеток в триггерных точках. В работах Schindl A. et al. [16, 19] отмечено улучшение микроциркуляции в коже у больных с диабетической микроангиопатией под воздействием лазерного излучения низкой интенсивности (He-Ne, $\lambda=632,8$ нм, 30 Дж/см²) на основании впервые выполненных ими рандомизированных двойных слепых плацебо-контролируемых клинических исследований.

Вместе с тем механизмы действия лазеров низкой интенсивности на биологические объекты остаются во многом еще не раскрытыми.

Цель исследования

Установить влияние низкоинтенсивного лазерного излучения красного ($\lambda=0,63$ мкм, 1,7 мВт, 20 мин; $\lambda=0,65$ мкм, 20 мВт, 40 мВт, 20 мин) и дальнего инфракрасного ($\lambda=1-56$ мкм, 1,1 мВт, 20 мин) диапазонов на параметры кислотно-щелочного равновесия и газового состава артериальной и венозной крови крыс *in vitro*.

Материал и методы исследования

Работа выполнена на крысах-самцах линии Вистар. От наркотизированных уретаном животных получали артериальную кровь при катетеризации *ar. femoralis* и венозную кровь при катетеризации *v. femoralis*. В качестве антикоагулянта применяли гепарин, который вводили животным через катетер, установленный в *ar. femoralis* или *v. femoralis* перед взятием крови. В опытах применяли источники низкоинтенсивного лазерного излучения различных длин волн, в частности, диодный кремниевый генератор инфракрасного излучения с длинами волн 1–56 мкм, разработанный в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе РАН Баграевым Н. Т. и соавт. (1996), гелий-неоновый лазер с длиной волны 0,63 мкм и диодный лазер с длиной волны 0,65 мкм

KLM-M650-40-5, специально переделанный фирмой “ФТИ-Оптроник” для работы в длительном режиме свечения с управляемой мощностью излучения. Мощность лазерного излучения определяли с помощью прибора измерителя средней мощности и энергии лазерного излучения (ИМО-2Н, Россия). Температура крови в течение влияния лазерного излучения различных длин волн не изменялась, что было установлено с помощью термодпары. Воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения проводили на артериальную или венозную кровь *in vitro* в течение 20 минут. Облучение крови ($V=0,5$ мл) лазером с длиной волны 1–56 мкм осуществляли в специально сконструированной камере, имеющей цинк-селеновый фильтр, пропускающий инфракрасное лазерное излучение. Для облучения крови ($V=1,5$ мл) лазером с длиной волны 0,63 мкм в камере со специальным стеклом, пропускающим гелий-неоновое лазерное излучение, использовали световод диаметром 10 мм. Для исключения температурного влияния лазера с длиной волны 0,65 мкм мощностью 20 мВт и 40 мВт была разработана экспериментальная установка в Институте физиологии им. И. П. Павлова РАН сотрудниками лаборатории физиологии кровообращения, позволяющая поддерживать температуру в пределах 24,5–25°C. Две камеры со специальными стеклами, пропускающими лазерное излучение в красном диапазоне, имели два отдела, верхний отдел которых заполнялся контрольными или опытными пробами крови ($V=0,5$ мл), через нижний отдел протекала дистиллированная вода по приводящим и отводящим трубкам. Перфузию дистиллированной воды осуществляли с помощью насоса (НР-003, Россия) со скоростью 220–240 мл/мин., температура поддерживалась термостатом (ТW-2, ELMU, Латвия) в пределах 25°C. В контрольных и облученных пробах определяли методом Аструпa водородный показатель (рН), парциальное напряжение углекислого газа (pCO_2) и парциальное напряжение кислорода (pO_2) артериальной и венозной крови с помощью ВМЕ 33 Blood Micro Equipment (Radiometer, Denmark). Для определения рН, pCO_2 и pO_2 в микропробах крови объемом 130 мкл применяли микроанализатор кислотно-щелочного равновесия – термостатированный прибор с микроэлектродами. Калибрование рН-электрода по двум буферам (рН=7,383, рН=6,841) осуществляли один раз в течение всего эксперимента и по одному буферу (рН=7,383) — перед каждой серией измерений. Калибрование pCO_2 -электрода проводили с помощью двух газовых смесей с высоким (11,22 %) и низким (5,61 %) содержанием CO_2 . Для калибрования этого электрода и эквilibрации микропроб крови по газовым смесям применяли прецизионный газосмесительный блок. При калибровании этого электрода для расчета низкого и высокого pCO_2 использовали следующую формулу: $pCO_2 = BP - 47/100 \times CO_2$ мм рт. ст., где BP – барометрическое давление (мм рт. ст.), CO_2 % – содержание CO_2 в газовой смеси. Калибрование pO_2 -электрода выполняли нулевым раствором и водой из термостата, эквilibрированной с атмосферным воздухом. При калибровании

этого электрода для расчета применяли следующую формулу: $pO_2 = BP - 47/100 \times 20,93$ мм рт. ст., где BP – барометрическое давление (мм рт. ст.). После калибрования рН-, pCO_2 - и pO_2 -электродов измерялись показатели кислотно-щелочного равновесия и газового состава крови. Длительность проведения измерений показателей рН, pCO_2 и pO_2 составляла 15 секунд, 30 секунд и 50 секунд соответственно, результаты которых отображались на мониторе для определения рН и газов крови.

Достоверность различий определялась по t-критерию Стьюдента. Результаты представлены как среднее арифметическое значение (M) ± средняя ошибка среднего арифметического (SEM).

Результаты исследования

В контрольных и опытных пробах артериальной крови средние значения pO_2 были равны 98,42±1,59 мм рт. ст. и 86,8±2,18 мм рт. ст. ($p<0,05$) соответственно, а средние значения pCO_2 составляли 29,07±1,16 мм рт. ст. и 30,08±0,77 мм рт. ст. соответственно. При облучении лазером с длиной волны 1–56 мкм проб артериальной крови ($n=26$) показатель pO_2 снизился на 17,43±1,45 % в 57,7 % проб, в остальных пробах этот показатель не изменился. Лазерное излучение этой же длины волны в пробах артериальной крови увеличило pCO_2 на 22,74±2,52 % в 34,6 % проб и не изменило этот показатель в остальных пробах. Увеличение pCO_2 сопровождалось понижением показателя рН с 7,42±0,01 до 7,37±0,01 ($p<0,05$) (рис. 1). В контрольных и опытных пробах венозной крови средние значения pO_2 были равны 55,52±1,7 мм рт. ст. и 55,31±1,72 мм рт. ст. соответственно, а средние значения pCO_2 после облучения достигали 38,78±1,33 мм рт. ст. и 40,49±0,72 мм рт. ст. соответственно. Лазерное воздействие с длиной волны 1–56 мкм на венозную кровь ($n=27$) снизило в ней pO_2 на 16,9±6,16 % в 7,4 %, в остальных случаях достоверных изменений этого показателя крови не обнаружено. При облучении лазером этой же длины волны проб венозной крови отмечено повышение pCO_2 на 27,63±3,26 % в 33,3 % проб и отсутствие изменений этого показателя в остальных пробах крови. При увеличении pCO_2 достоверно понижался показатель рН с 7,38±0,02 до 7,32±0,01 ($p<0,05$) (рис. 2). Средние значения pO_2 равнялись 86,97±3,69 мм рт. ст., 80,65±0,9 мм рт. ст., 78,33±0,93 мм рт. ст., и сред-

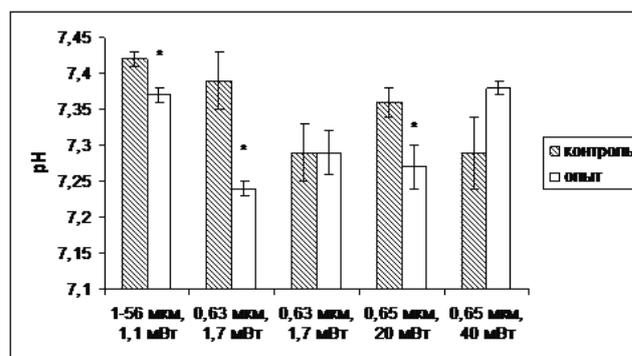


Рис. 1. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на водородный показатель (рН) артериальной крови при экспозиции 20 мин. * $p<0,05$ по сравнению с контролем

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

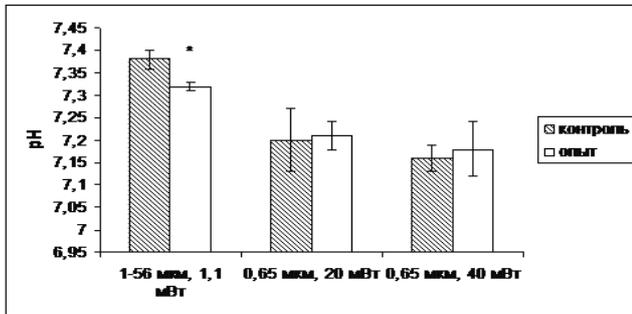


Рис. 2. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на водородный показатель (рН) венозной крови при экспозиции 20 мин. * $p < 0,05$ по сравнению с контролем

ние значения pCO_2 достигали $31,56 \pm 2,15$ мм рт. ст., $29,58 \pm 0,44$ мм рт. ст., $19,78 \pm 0,35$ мм рт. ст. в контрольных пробах артериальной крови. В опытных пробах артериальной крови средние значения pO_2 при мощностях НИЛИ 1,7 мВт ($\lambda=0,63$ мкм), 20 мВт ($\lambda=0,65$ мкм), 40 мВт ($\lambda=0,65$ мкм) были равны $86,89 \pm 3,74$ мм рт. ст., $81,84 \pm 1,27$ мм рт. ст., $83,66 \pm 0,9$ мм рт. ст. ($p < 0,05$) соответственно. Средние значения pCO_2 в опытных пробах артериальной крови при мощностях НИЛИ 1,7 мВт ($\lambda=0,63$ мкм), 20 мВт ($\lambda=0,65$ мкм), 40 мВт ($\lambda=0,65$ мкм) составляли $32,18 \pm 1,88$ мм рт. ст., $34,53 \pm 0,71$ мм рт. ст. ($p < 0,05$), $22,45 \pm 0,45$ мм рт. ст. ($p < 0,05$), соответственно. В пробах артериальной крови ($n=16$) лазерное излучение с длиной волны 0,63 мкм (1,7 мВт) в абсолютном большинстве случаев не приводило к изменениям показателя pO_2 . Действие лазера с длиной волны 0,65 мкм при мощности излучения 20 мВт на пробы артериальной крови ($n=22$) вызывало повышение показателя pO_2 на $10,5 \pm 0,4$ % в 9,09 % проб и отсутствие изменений в остальных пробах. Лазер этой же длины волны мощностью 40 мВт в пробах артериальной крови ($n=17$) вызывал повышение pO_2 на $13,33 \pm 1,67$ % в 35,29 % проб и не изменял этот показатель в остальных случаях. Лазерное облучение с длиной волны 0,63 мкм (1,7 мВт) проб артериальной крови инициировало повышение показателя pCO_2 на $31,08 \pm 3,01$ % в 25,0 % проб, понижение pCO_2 на $15,8 \pm 2,12$ % в 25,0 % проб, отсутствие изменений pCO_2 выявлялось в 50,0 % проб. В пробах, в которых pCO_2 увеличивался, показатель рН значимо понижался с $7,39 \pm 0,04$ до $7,24 \pm 0,01$ ($p < 0,05$). В пробах, в которых pCO_2 уменьшался, показатель рН не изменялся в опытных пробах ($7,29 \pm 0,03$) по сравнению с контрольными пробами ($7,29 \pm 0,04$) (рис. 1). Показатель pCO_2 при мощности лазера 20 мВт с длиной волны 0,65 мкм повышался на $23,83 \pm 2,44$ % в 68,18 % проб, при этом показатель рН уменьшался с $7,36 \pm 0,02$ до $7,27 \pm 0,03$ ($p < 0,05$). При мощности лазера 40 мВт этой же длины волны повышение показателя pCO_2 на $16,49 \pm 1,25$ % отмечалось в 82,35 % проб, показатель рН в этих пробах увеличивался с $7,29 \pm 0,05$ до $7,38 \pm 0,01$, в остальных случаях изменений pCO_2 не наблюдалось (рис. 3). Средние значения pO_2 равнялись $47,9 \pm 0,58$ мм рт. ст., $43,44 \pm 0,94$ мм рт. ст., $43,89 \pm 0,58$ мм рт. ст., и средние значения pCO_2 достигали $49,86 \pm 1,88$ мм рт. ст., $40,31 \pm 1,29$ мм рт. ст., $41,11 \pm 1,31$ мм рт. ст. в контрольных пробах венозной крови. Средние значения pO_2 в опытных пробах

венозной крови при действии НИЛИ составляли $51,01 \pm 0,86$ мм рт. ст. ($p < 0,05$) ($\lambda=0,63$ мкм, 1,7 мВт), $43,18 \pm 0,53$ мм рт. ст. ($\lambda=0,65$ мкм, 20 мВт), $43,19 \pm 0,46$ мм рт. ст. ($\lambda=0,65$ мкм, 40 мВт). Средние значения pCO_2 в опытных пробах венозной крови под воздействием НИЛИ различной мощности были равны $51,29 \pm 2,28$ мм рт. ст. (1,7 мВт), $43,45 \pm 1,24$ мм рт. ст. (20 мВт), $44,18 \pm 1,41$ мм рт. ст. (40 мВт).

Обсуждение результатов

В проведенных опытах при облучении лазером с длиной волны 0,63 мкм (1,7 мВт, 20 мин.) проб венозной крови отсутствовали изменения показателя рН, что согласуется с данными В. В. Кожекина и соавт. [6], несмотря на различия в способах воздействия лазера. Так, авторы применили внутрисосудистое лазерное излучение, мы осуществляли лазерное облучение крови *in vitro*. Л. И. Иржак и соавт. [3] установили, что при низкоинтенсивном лазерном излучении (He-Ne, $\lambda=632$ нм, 25 мВт, 10 мин, 15 мин, 20 мин) отмечалось увеличение рН. Мы предполагаем, что различие в действии лазера на водородный показатель, по-видимому, связано с особенностями его предъявления и исследуемыми объектами. Л. И. Иржак и соавт. [3] подвергали лазерному воздействию растворы гемоглобина, в наших экспериментах лазерное излучение осуществлялось на цельную кровь.

В литературе обсуждается наличие фотоакцепторов для реализации эффекта лазера низкой интенсивности. В наших экспериментах лазерное воздействие инфракрасного и красного диапазонов изменяло параметры кислотно-щелочного равновесия и газового состава крови, по-видимому, в результате поглощения световой энергии лазера гемоглобином, выступающим в роли фотоакцептора. Согласно данным О. W. Assendeff Van, W. G. Zuilstra [9] максимальные значения спектров поглощения составляли для оксигемоглобина 415 нм, 542 нм, 576 нм и дезоксигемоглобина 430 нм, 555 нм. Stadler I. et al. [24] продемонстрировали, что присутствие гемоглобина могло способствовать биостимулирующему эффекту низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 660 нм. Авторы предположили, что гемоглобин мог принимать участие в абсорбции световой энергии в течение лазерного излучения с длиной волны 600–700 нм. Мы полагаем, что эффект лазера красного диапазона на параметры кислотно-щелочного равновесия и газового состава крови определяется совпадением длины волны лазера со спектром поглощения фотоакцептора. По данным Wilden L., Karthein R. [25] низкоинтенсивное лазерное излучение красной области спектра и ближнего инфракрасного диапазона хорошо соответствовало характеристикам энергии и уровням абсорбции соответствующих компонентов дыхательной цепи. Клебановым Г. И. и соавт. [5] в качестве фотоакцепторов в инфракрасной области спектра рассматриваются продукты деградации эндогенных порфиринов.

В наших экспериментах выявленные изменения параметров кислотно-щелочного равновесия и газового состава крови при лазерном воздействии, в

частности, повышение показателя $p\text{CO}_2$ и значимый сдвиг показателя $p\text{H}$ в сторону ацидоза уменьшали сродство гемоглобина к кислороду. Поскольку в проведенных опытах температура крови при лазерном излучении не изменялась, этот фактор не влиял на сродство гемоглобина к кислороду. В уменьшении сродства гемоглобина к кислороду, по-видимому, принимал участие эффект Бора. Отмечено понижение эффекта Бора при низкоинтенсивном лазерном излучении в работах Кожекина В. В. и соавт. [6] ($\lambda=630$ нм, 1 мВт, 15 мин.), Иржак Л.И. и соавт. [3] (He-Ne, $\lambda=632$ нм, 25 мВт, 10 мин, 15 мин, 20 мин). Наши данные в отношении уменьшения сродства гемоглобина к кислороду при лазерном излучении с длиной волны 0,63 мкм (1,7 мВт, 20 мин) согласуются с результатами, полученными С. В. Гацура и соавт. [2]. Так, авторы при низкоинтенсивном лазерном облучении ($\lambda=630$ нм) крови, полученной из правого предсердия кролика, обнаружили выраженную тенденцию к уменьшению сродства гемоглобина к кислороду при экспозиции лазера 15 минут, приводящую к возрастанию показателя P50. Необходимо отметить, что показатель P50 характеризует насыщение кислородом гемоглобина на 50 %, с увеличением P50 повышается отдача кислорода гемоглобином тканям. В то же время в работе Л. И. Иржак и соавт. [3] продемонстрировано увеличение сродства гемоглобина к кислороду при низкоинтенсивном лазерном воздействии, что, по-видимому, обусловлено особенностями предъявления лазера и исследуемыми объектами. Авторы при низкоинтенсивном лазерном облучении (He-Ne, $\lambda=632$ нм, 25 мВт) растворов гемоглобина выявили наибольший эффект в отношении сродства гемоглобина к кислороду при экспозиции лазера 20 минут, некоторое повышение при экспозиции лазера 15 минут и отсутствие изменений при экспозиции лазера 10 минут. А. В. Шапошников, Т. А. Линник [7] установили, что низкоинтенсивное лазерное излучение ($\lambda=890$ нм, 20 мин.) увеличивало уровень 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах свежезабранной и консервированной донорской крови в день заготовки. Сходные результаты получены Кожекиным В. В. и соавт. [6] в отношении увеличения уровня 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах при внутрисосудистом лазерном воздействии низкой интенсивности ($\lambda=630$ нм, 1 мВт, 15 мин.). По данным Spodaryk K. [23] уровень 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах не изменялся при низкоинтенсивном лазерном облучении различных длин волн (He-Ne, $\lambda=632,8$ нм; GaAlAs, $\lambda=780$ нм; GaAs, $\lambda=904$ нм; 5 мин., 15 мин., 30 мин.) суспензии эритроцитов. Лазерное воздействие красного диапазона, примененное *in vivo*, повышало уровень 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах, в то же время использование лазера этого диапазона *in vitro* не изменяло концентрацию 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах. Мы полагаем, что в наших опытах облучение крови *in vitro* лазером с длиной волны 0,63 мкм не изменяло концентрацию 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах.

В наших исследованиях лазерное излучение красного и инфракрасного диапазонов, по-видимому, вызывало конформационные модификации в геме и

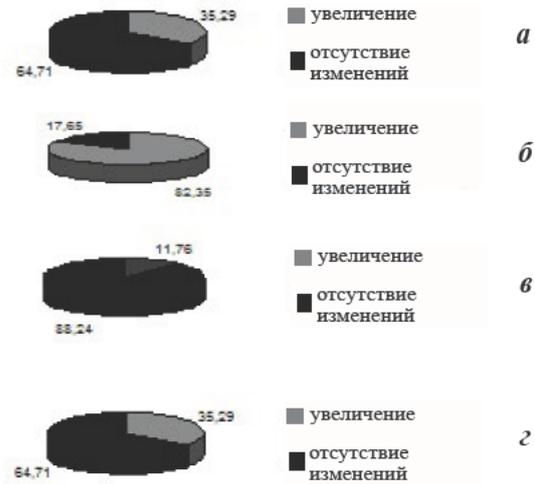


Рис. 3. Изменения показателей $p\text{O}_2$ и $p\text{CO}_2$ крови под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения красного диапазона ($\lambda=0,65$ мкм, 40 мВт): а — $p\text{O}_2$ артериальной крови, б — $p\text{CO}_2$ артериальной крови, в — $p\text{O}_2$ венозной крови, г — $p\text{CO}_2$ венозной крови

белковой глобуле гемоглобина, приводящие к изменению сродства гемоглобина к кислороду. Согласно данным Н. А. Шигиной [8], в пробах венозной крови с помощью метода спектроскопии резонансного комбинационного рассеяния (РКР) низкоинтенсивное лазерное излучение ($\lambda=630$ нм) изменяло конформацию порфирина. Автор предположила, что под воздействием лазерного излучения перераспределялась электронная плотность молекулы порфирина, и изменялось положение атома железа по отношению к плоскости макроцикла. Структурные изменения порфирина, по-видимому, инициировали дополнительное сжатие его “ядра”, что фиксировало атом железа в высокоспиновом состоянии и уменьшало время нахождения комплекса кислород-железо в плоскости макроцикла. Подобные изменения конформации порфирина могли быть в результате структурных перестроек белка гемоглобина, вызывая повышение эффективности обмена кислорода. Мы полагаем, что в наших экспериментах лазерное излучение изменяло конформацию порфирина и положение атома железа по отношению к плоскости макроцикла, что определяло эффективность обмена кислорода. Согласно данным Wilden L., Karthein R. [25] в зависимости от длины волны лазерное воздействие могло стимулировать макромолекулы и инициировать конформационные изменения белков, переносить энергию к электронам.

В наших опытах при действии лазера различных длин волн выявлена разная восприимчивость артериальной и венозной крови, которая обуславливалась, по-видимому, неодинаковой структурой спиновых состояний железа оксигемоглобина и дезоксигемоглобина. Мы также отметили зависимость эффекта лазера от длины волны и мощности излучения, что согласуется с данными ряда авторов [10, 12, 13, 17, 22, 25]. На основании полученных нами результатов, можно предположить, что к лазерному воздействию низкой интенсивности, вероятно, более чувствителен

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

оксигемоглобин, в противоположность дезоксигемоглобину.

При действии низкоинтенсивного лазера уменьшение сродства гемоглобина к кислороду предположительно связано с конформационными изменениями в геме и белковой глобуле гемоглобина и

повышением концентрации 2,3-дифосфоглицерата в эритроцитах. Необходимы дальнейшие исследования для решения данного вопроса. Проведенные опыты однозначно свидетельствуют о том, что использованные режимы лазерного излучения улучшают оксигенацию крови.

Литература

1. Барабанова, В. В. Влияние излучения He-Ne-лазера на функциональную активность гладкомышечных клеток воротной вены крыс / В. В. Барабанова [и др.] // *Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова*. — 2001. — Т. 87. — № 5. — С. 659–664.
2. Гацура, С. В. Влияние низкоэнергетического лазерного излучения на размеры экспериментального инфаркта миокарда, ПОЛ и сродство гемоглобина к кислороду / С. В. Гацура, С. П. Гладких, М. Н. Титов // *Бюл. эксперимент. биол.* — 2004. — Т. 137. — № 4. — С. 403–405.
3. Иржак, Л. И. Изменение физико-химических и функциональных свойств гемоглобина человека под влиянием лазерного облучения *in vitro* / Л. И. Иржак, Е. А. Зотова, С. А. Мамаева // *Бюл. эксперимент. биол.* — 1997. — Т. 123. — № 1. — С. 15–17.
4. Кирсанова, А. К. Применение лазерного облучения крови при реанимации после клинической смерти: влияние на сердечный выброс и кислородный баланс / А. К. Кирсанова [и др.] // *Бюл. эксперимент. биол. Прил.* 2. — 2000. — С. 77–79.
5. Клебанов, Г. И. К вопросу о механизме лечебного действия низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения / Г. И. Клебанов [и др.] // *Бюл. эксперимент. биол.* — 2001. — Т. 131. — № 3. — С. 286–289.
6. Кожекин, В. В. Внутривенное лазерное облучение крови и кислородтранспортная функция / В. В. Кожекин [и др.] // *Анестезиол. и реаниматол.* — 1995. — № 1. — С. 42–43.
7. Шапошников, А. В. Регуляторные особенности кислородтранспортной функции свежезабранной и консервированной донорской крови при воздействии полупроводникового лазера / А. В. Шапошников, Т. А. Линник // *Известия Северо-Кавказ. науч. центра высш. школы. Естеств. науки*. — 1992. — № 3–4. — С. 111–115.
8. Шугина, Н. А. Изменение сродства кислорода к гемоглобину при действии низкочастотного импульсного магнитного поля и низкоэнергетического излучения лазера / Н. А. Шугина // *Физиол. человека*. — 2002. — Т. 28. — № 5. — С. 134–136.
9. Assendeff Van, O. W. Extinction coefficients for use in equations for the spectrophotometric analysis of hemoglobin mixtures / O. W. van Assendeff, W. G. Zuilstra // *Analyt. Biochem.* — 1975. — № 69. — С. 43–48.
10. Funk, J. O. Cytokine production after helium-neon laser irradiation in cultures of human peripheral blood mononuclear cells / J. O. Funk, A. Kruse, H. Kirchner // *J. Photochem. Photobiol. B.* — 1992. — № 16 (3–4). — С. 347–355.
11. Funk, J. O. Helium-neon laser irradiation induces effects on cytokine production at the protein and the mRNA level / J. O. Funk [et al.] // *Exp. Dermatol.* — 1993. — № 2 (2). — С. 75–83.
12. Kujawa, J. Low-intensity near-infrared laser radiation-induced changes of acetylcholinesterase activity of human erythrocytes / J. Kujawa [et al.] // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 2003. — № 21 (6). — С. 351–355.
13. Kujawa, J. Effect of low-intensity (3,75–25 J/cm²) near-infrared (810 nm) laser radiation on red blood cell ATPase activities and membrane structure / J. Kujawa [et al.] // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 2004. — № 22 (2). — С. 111–117.
14. Schaffer, M. Effects of 780 nm diode laser irradiation on blood microcirculation: preliminary findings on time-dependent T1-weighted contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI) / M. Schaffer [et al.] // *J. Photochem. Photobiol. B.* — 2000. — № 54 (1). — С. 55–60.
15. Schaffer, M. Magnetic resonance imaging (MRI) controlled outcome of side effects caused by ionizing radiation, treated with 780 nm-diode laser: preliminary results / M. Schaffer [et al.] // *J. Photochem. Photobiol. B.* — 2000. — № 59 (1–3). — С. 1–8.
16. Schindl, A. Systemic effects of low-intensity laser irradiation on skin microcirculation in patients with diabetic microangiopathy / A. Schindl [et al.] // *Microvasc. Res.* — 2002. — № 64 (2). — С. 240–246.
17. Schindl, A. Direct stimulatory effect of low-intensity 670 nm laser irradiation on human endothelial cell proliferation / A. Schindl [et al.] // *Br. J. Dermatol.* — 2003. — № 148 (2). — С. 334–336.
18. Schindl, A. Reciprocity regulation in photobiology: an overview / A. Schindl, B. Rosado-Schlosser, F. Trautinger // *Hautarzt*. — 2001. — № 52 (9). — С. 779–785.
19. Schindl, A. Low-intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy / A. Schindl [et al.] // *Diabetes Care*. — 1998. — № 21 (4). — С. 580–584.
20. Simunovic, Z. Low level laser therapy with trigger points technique: a clinical study on 243 patients / Z. Simunovic // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 1996. — № 14 (4). — С. 163–167.
21. Siposan, D. G. Effect of low-level laser radiation on some rheological factors in human blood: an *in vitro* study / D. G. Siposan, A. Lukacs // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 2000. — № 18 (4). — С. 185–195.
22. Siposan, D. G. Relative variation to received dose of some erythrocytic and leukocytic indices of human blood as a result of low-level laser radiation: an *in vitro* study / D. G. Siposan, A. Lukacs // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 2001. — № 19 (2). — С. 89–103.
23. Spodaryk, K. The influence of low-power laser energy on red blood cell metabolism and deformability / K. Spodaryk // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* — 2001. — № 25 (3–4). — С. 145–151.
24. Stadler, I. *In vitro* effects of low-level laser irradiation at 660 nm on peripheral blood lymphocytes / I. Stadler [et al.] // *Lasers Surg. Med.* — 2000. — № 27 (3). — С. 255–261.
25. Wilden, L. Import of radiation phenomena of electrons and therapeutic low-level laser in regard to the mitochondrial energy transfer / L. Wilden, R. Karthein // *J. Clin. Laser Med. Surg.* — 1998. — № 16 (3). — С. 159–165.