
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭРИТРОЦИТЫ КРЫС*

**Л.В. Полуднякова, Д.Р. Арсланова, Т.В. Абакумова,
О.С. Воронова, Т.П. Генинг**

Кафедра физиологии и патофизиологии
Ульяновский государственный университет
ул. Арх. Ливчака, 2, Ульяновск, Россия, 432000

Л.А. Белозерова

Кафедра психологии
Ульяновский государственный педагогический университет
пл. 100-летия со дня рождения В.И. Ленина, 4, Ульяновск, Россия, 432700

А.С. Курков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
ул. Вавилова, 38, Москва, Россия, 119991

Исследовалось влияние непрерывного высокоинтенсивного лазерного излучения на эритроциты крыс. Установлено, что лазерное излучение с используемыми дозами усиливает процессы липопероксидации мембран эритроцитов и стимулирует активность клеточных ферментов антиоксидантной защиты.

Ключевые слова: эритроциты, высокоинтенсивное лазерное излучение, перекисное окисление липидов, антиоксиданты (АО).

В течение ряда лет отстаивается идея, согласно которой инфракрасный свет ($\lambda = 1264 \pm 4$ нм) может напрямую возбуждать молекулы кислорода в биологических системах и тем самым вызывать регулирование метаболизма или даже гибель клеток («светокислородный эффект») [2]. Исследования в этом направлении основываются на гипотезе профессора Р.В. Амбарцумяна о механизме генерации синглетного кислорода при возбуждении линий поглощения молекулярного кислорода [1]. Для подтверждения гипотезы была проведена серия экспериментов на суспензиях эритроцитов, микробах, клеточных культурах опухолей и солидных опухолях животных [1, 2, 3]. Авторы отмечают, что наиболее высокая биологическая активность лазерного воздействия, особенно на опухоли, наблюдается на длине волны 1268 нм. Для получения устойчивого цитотоксического эффекта требуется увеличение плотности импульсной мощности [3]. Полученные данные являются обоснованием для совершенно нового метода лечения онкологических заболеваний — прямой фотохимической деструкции опухолей без использования экзогенных сенсibilizаторов.

НЦВО РАН совместно с УлГУ разработали уникальный непрерывный итербиевый волоконный ВКР-лазер с рабочей мощностью до 5,5 Вт и длиной волны

* Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009—2013 гг.» ГК №П1355 от 11.06.2010, № П338 от 07.05.2010, № 16.740.11.0347 от 07.10.2010.

1,26—1,27 мкм, которой должен устранить возникшее затруднение [4]. Целью исследовательских программ в экспериментальной онкологии является нахождение способов наиболее эффективного уничтожения неопластических новообразований при минимальных побочных реакциях для организма. Эффекты лазерного излучения часто изучаются на стандартном модельном объекте — эритроцитах. О состоянии их мембран можно судить по системе перекисное окисление липидов (ПОЛ) — АО. Литературных данных, посвященных воздействию ВКР-лазеров на эритроциты, мы не обнаружили.

Целью исследования явилась оценка уровня ПОЛ и активности ферментов антиоксидантной системы защиты в эритроцитах при высокоинтенсивном непрерывном лазерном воздействии.

Материалы и методы. Исследования проводились на эритроцитах белых крыс. Рабочая взвесь эритроцитов ресуспендировалась в 0,85% NaCl в соотношении 1 : 1 и помещалась в пластиковую кювету. Облучение велось волоконным ВКР-лазером ($\lambda = 1265$ нм) непрерывно с максимальной выходной мощностью 5,5 Вт. При этом дозы получаемые суспензией эритроцитов составили: 7,8; 10,8; 39; 54; 78; 108; 156 и 216 Дж/см². Интенсивность ПОЛ оценивалась спектрофотометрически с учетом разведения (1 : 100). В эритроцитах определяли концентрацию малонового диальдегида (МДА) по Л.И. Андреевой (1988); активность каталазы, глутатион-S-трансферазы (ГТ) по А.И. Карпищенко (1999) и супероксиддисмутазы (СОД) по Nishikimi (1972). В надосадочной жидкости гемоглобинцианидным методом определялся уровень гемоглобина. Статистическая значимость полученных результатов оценивалась с помощью непараметрического критерия Манна—Уитни (в Stata 6.0) и *t*-критерия Стьюдента. Различия между группами считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования обобщены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние системы ПОЛ — АО в эритроцитах при лазерном воздействии

Доза излучения (Дж/см ²)	МДА (мкмоль/л)	Каталаза (ммоль/мин·л)	ГТ (ммоль/мин·л)	СОД (усл.ед/л)	Гемоглобин (г/л)
Контроль	152,15 ± 11,41	9,25 ± 0,73	0,033 ± 0,007	0,421 ± 0,048	1,57 ± 0,13
7,8	150,35 ± 8,93	9,06 ± 0,71	0,041 ± 0,004	1,733 ± 0,330*	3,35 ± 0,53*
10,8	192,38 ± 8,98*	11,57 ± 0,52*	0,046 ± 0,007*	1,357 ± 0,405*	4,15 ± 0,47*
39	156,35 ± 12,25	11,36 ± 1,18	0,057 ± 0,005*	1,858 ± 0,494*	3,55 ± 0,32*
54	184,16 ± 5,76*	12,32 ± 0,57*	0,050 ± 0,006*	1,653 ± 0,387*	4,20 ± 0,54*
78	148,91 ± 12,92	10,91 ± 0,91	0,048 ± 0,005	2,032 ± 0,537*	3,76 ± 0,75*
108	221,57 ± 9,63*	10,99 ± 0,63	0,047 ± 0,004*	1,207 ± 0,289*	4,30 ± 0,46*
156	208,91 ± 11,71*	15,10 ± 0,97*	0,050 ± 0,002	2,033 ± 0,460*	2,92 ± 0,38*
216	215,81 ± 15,19*	10,89 ± 0,60	0,034 ± 0,010	1,410 ± 0,336*	3,31 ± 0,51*

Примечание: * — различия с контрольной группой статистически значимы ($p < 0,05$).

Воздействие высокоинтенсивного непрерывного лазерного излучения усиливает процессы липопероксидации мембран эритроцитов, что проявляется в повышении уровня продукта ПОЛ — МДА. Однако этот показатель остался близким к контролю при дозах лазерного излучения в 7,8; 39 и 78 Дж/см². Высокоинтенсивное лазерное излучение активизировало ферментативное звено антиоксидантной защиты. Наиболее выраженным и достоверным оказалось повышение уровня ак-

тивности СОД. Облучение суспензии эритроцитов ВКР-лазером сопровождается усилением их гемолиза, о чем свидетельствует повышение уровня гемоглобина в надосадочной жидкости. Следует отметить небольшой спад уровня гемоглобина в надосадке при дозе облучения 156 и 216 Дж/см² по сравнению с более низкими дозами воздействия, что может быть связано с термической денатурацией гемоглобина при данных режимах воздействия [5].

Заключение. Воздействие высокоинтенсивного непрерывного лазерного излучения с используемыми параметрами усиливает процессы ПОЛ в эритроцитах и стимулирует активность ферментов антиоксидантной защиты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Амбарцумян Р.В., Кишко В.И., Соколов В.Г.* Лазерная фотохимическая деструкция злокачественных опухолей без экзогенных сенсibilизаторов // V Межд. форум «Высокие технологии XXI века». — М., 2004. — С. 339.
- [2] *Захаров С.Д., Иванов А.В.* Светокислородный эффект в клетках и перспективы его применения в терапии опухолей // Квант. электр. — 1999. — № 9. — С. 192—214.
- [3] *Корси Л.В., Соколов В.Г.* Лазерный способ фотохимической деструкции опухолей без экзогенных сенсibilизаторов // Лазерно-оптические системы и технологии. Сб. ст. — М., 2009. — С. 101—106.
- [4] *Курков А.С.* Волоконный ВКР-лазер для прямой фотодинамической терапии // phch.mrsu.ru/2009-2/pdf/2Kurkov.pdf.
- [5] *Yamaykina I.V., Chernizkiy E.A.* Денатурация гемоглобина — первая стадия термогемолиза эритроцитов // Биофизика. — 1989. — № 11—12. — С. 656—659.

THE EFFECT OF RAMAN-LASER IRRADIATION ON ERYTHROCYTES OF RATS

**L.V. Poludnyakova, D.R. Arslanova, T.V. Abakumova,
O.S. Voronova, T.P. Gening**

Chair of physiology and pathophysiology
Ulyanovsk State University
Arch. Livchak Str., 2, Ulyanovsk, Russia, 432000

L.A. Belozerova

Chair of psychology
Ulyanovsk State pedagogical university
V.I. Lenina's birth anniversary sq., 4100, Ulyanovsk, Russia, 432700

A.S. Kurkov

General Physics Institute n.a A.M. Prokhorov
of Russian Academy of Sciences
Vavilov Str., 38, Moscow, Russia, 119991

The effect of RAMAN-laser irradiation on erythrocytes of rats was investigated. It was established that laser irradiation with doses used increases lipid peroxidation in membranes of red blood cells and stimulates the activity of cellular antioxidant enzymes.

Key words: red blood cells, RAMAN-laser irradiation, lipid peroxidation, antioxidants.