

**ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ И КАТАЛАЗЫ
В КРОВИ И ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ ОРГАНАХ КРЫС С СИСТЕМНЫМ
ВОСПАЛЕНИЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА**

Горбунова Н.Б., *Батай Л.Е., *Водчиц А.И., Улащик В.С., *Орлович В.А.

Институт физиологии НАН Беларуси,
ул. Академическая, 28, г. Минск, 220072 Беларусь,
тел.: +375 (017) 332-16-00; e-mail: biblio@fizio.bas-net.by; nbgorbunova@mail.ru;
*Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси,
пр. Независимости, 68, г. Минск, 220072 Беларусь, e-mail: l.batay@ifanbel.bas-net.by

Выявлены существенные отличия в изменении активности ферментов антиоксидантной системы защиты (супероксиддисмутаза и каталаза) в крови и иммунокомпетентных органах у крыс с системным воспалением, получивших курс лазерного облучения, по сравнению с животными без системного воспаления, прошедшими курс облучения. Непрерывное низкоинтенсивное лазерное излучение с длиной волны 670 нм при плотностях мощности 5 и 20 мВт/см² оказалось оптимальным для восстановления нарушений, вызванных системным воспалением.

Ключевые слова: низкоинтенсивное лазерное излучение, видимый диапазон спектра, системное воспаление, липополисахарид, супероксиддисмутаза, каталаза

Введение

Системное воспаление – неспецифический синдром, сопутствующий целому ряду заболеваний. Ведущий механизм развития воспаления – окислительный стресс, развивающийся в организме в результате дисбаланса между выработкой свободных радикалов и эндогенными механизмами антиоксидантной защиты [4, 12, 14]. В реализации функций системы антиоксидантной защиты важная роль принадлежит ферментам супероксиддисмутазе (СОД, КФ 1.15.1.1) и каталазе (КФ 1.11.1.6). СОД осуществляет рекомбинацию супероксидных анион радикалов с образованием перекиси водорода и кислорода. Каталаза разлагает образующуюся в процессе биологического окисления перекись водорода на воду и молекулярный кислород. Многие заболевания воспалительного характера сопровождаются изменением активности СОД и каталазы в крови.

В современной медицине важная роль отводится разработке новых физиотерапевтических методов и технологий, направленных на повышение адаптивных и резервных возможностей организма.

К таким методам относится применение низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) [3, 4, 8]. Важным и необходимым для научного обоснования его использования в медицине, а также для разработки новых методических приемов его применения с целью повышения адаптивных возможностей организма является выяснение оптимальных режимов лазерного воздействия.

До недавнего времени отсутствовали сведения об активности ферментов антиоксидантной системы защиты – СОД и каталазы в иммунокомпетентных органах крыс не только при воспалении, но и в норме [2]. Активности антиоксидантных ферментов при варьировании режимов воздействия НИЛИ видимого диапазона спектра ранее не сравнивались.

Цель работы: изучить действие непрерывного НИЛИ с различными длинами волн – красного (670 нм), зеленого (530 нм) и синего (470 нм) - на активность антиоксидантных ферментов (СОД и каталазы) в крови и иммунокомпетентных органах (тимусе, селезенке) крыс при варьировании мощности излучения.

Материалы и методы

Адекватной моделью для исследования воздействия НИЛИ на ответные реакции организма является системное воспаление, вызываемое внутрибрюшинным введением липополисахарида *Escherichia coli* (ЛПС).

Хронические эксперименты выполнены на 160 крысах (самцы) массой 29–32 г. Проведены три серии экспериментов: в первой крыс облучали непрерывным синим НИЛИ (длина волны 470 нм), во второй – зеленым (530 нм), в третьей – красным (670 нм). Во всех сериях контактно воздействовали НИЛИ на область проекции селезенки.

В опытах использовались следующие излучатели: аргоновый лазер (длина волны 470 нм); диодно-накачиваемый неодимовый лазер с удвоением частоты излучения (530 нм) и неодимовый лазер с излучением, преобразованным в процессе вынужденного комбинационного рассеяния (670 нм). Излучение лазеров вводилось в оптический световод, выходной торец которого был состыкован со специальной рассеивающей насадкой, обеспечивающей равномерное освещение участка области проекции селезенки животного площадью 1 см².

Каждая серия состояла из 6 групп. Первую (контрольную) группу образовали интактные животные. Вторая группа крыс – необлученные животные с системным воспалением, вызванным внутрибрюшинным введением ЛПС в дозе 100 кг/кг. В двух группах проводилось облучение животных с системным воспалением при различной плотности мощности НИЛИ: в третьей – 5 мВт/см², в четвертой – 20 мВт/см². Крысам пятой и шестой групп ЛПС не вводился; в этих группах здоровых животных облучалась область проекции селезенки при плотности мощности НИЛИ 5 и 20 мВт/см², соответственно. Облучение проводилось курсом, состоявшим из 7 процедур на протяжении 9 суток. Длительность одной процедуры – 5 минут.

Активность СОД в крови и иммунокомпетентных органах крыс (тимусе, селезенке) измеряли спектрофотометрическим методом по степени торможения реакции окисления кверцетина [6]. Активность каталазы исследовали спектрофотометрическим методом по количеству окрашенного продукта реакции перекиси водорода с молибденовокислым аммонием [5].

Для статистической обработки использовали программы Origin 7.0 и Statistica 6.0. Полученные данные представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения. До-

стоверность отличий между группами оценивалась по *t*-критерию Стьюдента. Различия считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Известно, что ЛПС, введенный парентерально, вызывает значительные изменения патоморфологических и биохимических показателей организма. Наблюдаются снижение массы тимуса, гипертрофия надпочечников, повышение уровня кортикостерона. Это признаки классической стрессовой реакции, независимо от природы и способа введения стресс-фактора [9, 10, 15]. В наших экспериментах внутрибрюшинное введение ЛПС также вызывало воспалительную реакцию, проявляющуюся в изменении исследуемых показателей.

Анализ изменения активности антиоксидантных ферментов при введении ЛПС был проведен при объединении крыс первых и вторых групп всех трех серий; увеличение количества животных в объединенных группах позволило повысить достоверность выявляемых отличий. В сыворотке крови необлученных крыс с системным воспалением (вторая объединенная группа) наблюдалось уменьшение активности СОД и каталазы по сравнению с соответствующими показателями у интактных крыс первой объединенной группы (контроль). Это свидетельствовало о нарушении баланса в системе антиоксидантной защиты организма и, возможно, о ее истощении. Активность исследуемых антиоксидантных ферментов в селезенке практически не отличалась от показателей у интактных животных. В тимусе крыс с системным воспалением наблюдались разнонаправленные тенденции: снижение активности СОД и повышение активности каталазы по сравнению с контролем [2].

Облучение крыс с системным воспалением **синим НИЛИ** (длина волны 470 нм) способствовало достоверному повышению в крови активности СОД до значений, превышающих уровень в интактной группе ($p_{2,3} < 0,001$) при плотности мощности 5 мВт/см². После курса облучения с плотностью мощности 20 мВт/см² активность СОД в циркуляторном русле статистически не отличалась от значений в группе контроля (интактные крысы). При обеих плотностях мощности синего НИЛИ также наблюдалось достоверное ($p_{2,3} < 0,001$) повышение активности каталазы до уровня интактных значений. Активность СОД как в тимусе, так и селезенке после облучения практически не изменялась. Активность каталазы достоверно ($p_{2,3} < 0,001$) уменьшалась в тиму-

Таблица 1

Изменение активности супероксиддисмутазы в крови, тимусе и селезенке крыс после воздействия на область проекции селезенки синим НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (усл. ед./мл)	Тимус (усл. ед./мг белка)	Селезенка (усл. ед./мг белка)
1. Интактные животные	95,9±5,3	1,02±0,03	0,89±0,02
2. Животные с системным воспалением	88,8±3,5 $P_{1,2} < 0,05$	0,77±0,03 $P_{1,2} < 0,01$	0,83±0,04 $p_{1,2} > 0,05$
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	127,2±6,3 $p_{1,3} < 0,05$ $p_{2,3} < 0,001$	0,72±0,02 $p_{1,3} < 0,001$ $p_{2,3} > 0,05$	0,78±0,03 $p_{1,3} > 0,05$ $p_{2,3} > 0,05$
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	95,8±4,1 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$	0,74±0,02 $p_{1,4} < 0,001$ $p_{2,4} > 0,05$	0,83±0,02 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	78,9±5,9 $P_{1,5} > 0,05$	0,95±0,06 $P_{1,5} > 0,05$	0,91±0,03 $P_{1,5} > 0,05$
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	82,8±5,1 $p_{1,6} > 0,05$	1,49±0,09 $p_{1,6} < 0,01$	0,68±0,05 $p_{1,6} < 0,001$

се и не менялась в селезенке, оставаясь на уровне интактных значений (табл. 1, 2).

После курса облучения здоровых крыс синим НИЛИ при обеих плотностях мощности наблюдалась тенденция к снижению активности СОД по сравнению с контролем. Активность каталазы в крови не изменялась при 5 мВт/см² и достоверно снижалась при 20 мВт/см² (табл. 1, 2).

После облучения области проекции селезенки зеленым НИЛИ (длина волны 530 нм) при плотностях мощности 5 и 20 мВт/см² активность СОД в крови крыс с системным воспалением статистически не отличалась от показателя у интактных крыс. Активность каталазы в крови при 5 мВт/см² достигла значений в группе контроля, а при 20 мВт/см² - статистически значимо уменьшилась по

Таблица 2

Изменение активности каталазы в крови, тимусе и селезенке крыс после воздействия на область проекции селезенки синим НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (мкмоль H ₂ O ₂ /с•л)	Тимус (нмоль H ₂ O ₂ /с•мг белка)	Селезенка (нмоль H ₂ O ₂ /с•мг белка)
1. Интактные животные	32,8±0,2	0,56±0,01	1,10±0,03
2. Животные с системным воспалением	30,0±0,3 $P_{1,2} < 0,001$	0,59±0,02 $P_{1,2} > 0,05$	1,03±0,04 $p_{1,2} > 0,05$
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	32,3±0,4 $p_{1,3} > 0,05$ $p_{2,3} < 0,001$	0,46±0,02 $p_{1,3} < 0,001$ $p_{2,3} < 0,001$	1,01±0,04 $p_{1,3} > 0,05$ $p_{2,3} > 0,05$
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	32,2±0,4 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} < 0,001$	0,45±0,02 $p_{1,4} < 0,01$ $p_{2,4} < 0,001$	1,07±0,04 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	32,9±0,2 $p_{1,5} > 0,05$	0,52±0,04 $p_{1,5} > 0,05$	1,01±0,07 $p_{1,5} > 0,05$
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	29,5±0,2 $p_{1,6} < 0,001$	0,85±0,06 $p_{1,6} < 0,001$	1,06 ± 0,06 $p_{1,6} > 0,05$

Облучение области проекции селезенки здоровых крыс синим НИЛИ при плотности мощности 5 мВт/см² не сказывалось на активности СОД и каталазы в иммунокомпетентных органах. При плотности мощности 20 мВт/см² в тимусе наблюдалось достоверное увеличение активности СОД и каталазы, а в селезенке активность СОД достоверно уменьшалась на фоне практически нормальной активности каталазы (табл. 1, 2).

сравнению с показателями у необлученных крыс как первой, так и второй групп. Активность СОД в тимусе при 5 мВт/см² не изменилась по сравнению с группой крыс с системным воспалением, а при 20 мВт/см² в значительной степени и достоверно снизилась ($p_{2,4} < 0,01$). Активность каталазы в тимусе при этом не изменялась. В селезенке активность СОД достоверно снижалась при обеих плотностях мощности зеленого НИЛИ, а активность каталазы

практически не изменялась, оставаясь на уровне контрольных значений (табл. 3, 4).

После облучения здоровых животных зеленым НИЛИ при плотности мощности 5 мВт/см² активность СОД в крови достоверно ($p_{1,5} < 0,001$) уменьшилась по сравнению с интактной группой, при 20 мВт/см² отличия не были верифицированы статистически. Активность каталазы в крови при обеих плотностях мощности достоверно увеличивалась. Активность СОД в тимусе достоверно снизилась при 20 мВт/см²; активность каталазы - достоверно возросла при 5 мВт/см², а при плотности мощности 20 мВт/см² оставалась на уровне контрольной группы. В селезенке активность СОД достоверно уменьшилась относительно интактного контроля при обеих плотностях мощности зеленого НИЛИ на фоне отсутствия изменений активности каталазы в этом органе (табл. 3, 4).

После воздействия **красным НИЛИ** с длиной волны 670 нм при плотности мощности 5 мВт/см² на область проекции селезенки крыс с системным воспалением активность СОД статистически значимо увеличивалась ($p_{2,3} < 0,01$) - до уровня, превышающего уровень в интактной группе. При плотности мощности 20 мВт/см² активность СОД в крови животных с системным воспалением не отличалась от интактных значений. Активность каталазы в крови также достоверно увеличилась при обеих плотностях мощности до уровня, превышающего контрольный. В тимусе активность СОД достоверно увеличилась при 20 мВт/см², активность каталазы статистически не отличалась от показателей первой и второй групп. В селезенке активность СОД достоверно возросла на фоне отсутствия изменений активности каталазы (табл. 5, 6).

Таблица 3

Изменение активности супероксиддисмутазы в крови, селезенке и тимусе крыс после воздействия на область проекции селезенки зеленым НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (усл. ед./мл)	Тимус (усл. ед./мг белка)	Селезенка (усл. ед./мг белка)
1. Интактные животные	94,2±3,8	0,95±0,04	1,01±0,10
2. Животные с системным воспалением	85,3±4,2 $p_{1,2} > 0,05$	1,07±,07 $p_{1,2} > 0,05$	0,95±0,08 $p_{1,2} > 0,05$
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	92,7±5,5 $p_{1,3} > 0,05$ $p_{2,3} > 0,05$	1,01±0,13 $p_{1,3} > 0,05$ $p_{2,3} > 0,05$	0,66±0,07 $p_{1,3} < 0,05$ $p_{2,3} < 0,05$
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	93,5±3,8 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$	0,77±0,06 $p_{1,4} < 0,05$ $p_{2,4} < 0,01$	0,63±0,02 $p_{1,4} < 0,01$ $p_{2,4} < 0,01$
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	66,6±4,5 $p_{1,5} < 0,001$	0,94±0,04 $p_{1,5} > 0,05$	0,61±0,04 $p_{1,5} < 0,01$
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	83,7±5,2 $p_{1,6} > 0,05$	0,69±0,04 $p_{1,6} < 0,01$	0,49±0,02 $p_{1,6} < 0,001$

Таблица 4

Изменение активности каталазы в крови, тимусе и селезенке крыс после воздействия на область проекции селезенки зеленым НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (мкмоль Н ₂ О ₂ /с•л)	Тимус (нмоль Н ₂ О ₂ /с•мг белка)	Селезенка (нмоль Н ₂ О ₂ /с•мг белка)
1. Интактные животные	33,3±0,4	0,53±0,02	1,15±0,09
2. Животные с системным воспалением	28,5±1,0 $p_{1,2} < 0,001$	0,77±0,30 $p_{1,2} < 0,001$	0,96±0,01 $p_{1,2} < 0,05$
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	31,2±0,3 $p_{1,3} < 0,001$ $p_{2,3} < 0,05$	0,72±0,06 $p_{1,3} < 0,001$ $p_{2,3} > 0,05$	0,93±0,02 $p_{1,3} < 0,05$ $p_{2,3} > 0,05$
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	23,6±1,9 $p_{1,4} < 0,001$ $p_{2,4} < 0,05$	0,62±0,06 $p_{1,4} > 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$	0,96±0,02 $p_{1,4} < 0,05$ $p_{2,4} > 0,05$
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	36,7±0,4 $p_{1,5} < 0,001$	0,64±0,05 $p_{1,5} < 0,05$	1,10±0,05 $p_{1,5} > 0,05$
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	36,0±0,5 $p_{1,6} < 0,001$	0,56±0,02 $p_{1,6} > 0,05$	1,03±0,02 $p_{1,6} > 0,05$

После курса облучения здоровых крыс красным НИЛИ при плотности мощности 5 мВт/см² наблюдалось достоверное повышение активности СОД и каталазы в крови на фоне отсутствия изменений в иммунокомпетентных органах. Облучение здоровых животных при плотности мощности 20 мВт/см² способствовало увеличению активности СОД в крови и тимусе на фоне активности каталазы, близкой к уровню интактной группы. Активность СОД в селезенке при 20 мВт/см² соответствовала значениям в контроле, а активность каталазы достоверно повысилась (табл. 5, 6).

Активность антиоксидантных ферментов СОД и каталазы в тканях организма тесно взаимосвязана с уровнем окислительно-восстановительных процессов. Известно, что доноры электронов являются активаторами СОД [7]. Накопление восста-

новленных метаболитов способствует увеличению активности СОД в тканях. При этом наблюдается устранение супероксидного анион радикала. Последний может ингибировать каталазу [17], что ведет к накоплению перекиси водорода (H₂O₂). Инактивацию СОД может вызывать повышение уровня H₂O₂, индуцируя образование 2-оксигистидина из расположенной в активном центре аминокислоты His-118 [13, 16, 18, 19]. Образование избытка окисленных метаболитов включает механизм ингибирования СОД акцепторами электронов [1]. Важность каталазной защиты СОД подчеркивается возможностью последней катализировать образование гидроксильных радикалов из H₂O₂ [16]. Накопление супероксидных анион радикалов, гидроксильных радикалов и H₂O₂ приводит к нарушению баланса системы антиоксидантной защиты

Таблица 5

Изменение активности супероксиддисмутазы в крови, селезенке и тимусе крыс после воздействия на область проекции селезенки красным НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (усл. ед./мл)	Тимус (усл. ед./мг белка)	Селезенка (усл. ед./мг белка)
1. Интактные животные	97,3±4,3	0,90±0,03	0,94±0,05
2. Животные с системным воспалением	88,5±2,8 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05	0,86±0,04 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05	0,84±0,04 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	106,2±4,5 <i>p</i> ₁₋₃ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₃ < 0,01	0,90±0,05 <i>p</i> ₁₋₃ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₃ > 0,05	1,21±0,16 <i>p</i> ₁₋₃ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₃ < 0,05
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	85,8±4,7 <i>p</i> ₁₋₄ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₄ > 0,05	1,01±0,05 <i>p</i> ₁₋₄ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₄ < 0,05	1,16±0,09 <i>p</i> ₁₋₄ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₄ < 0,01
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	120,0±3,5 <i>P</i> ₁₋₅ < 0,01	0,80±0,03 <i>P</i> ₁₋₅ > 0,05	0,96±0,04 <i>P</i> ₁₋₅ > 0,05
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	129,6±3,5 <i>P</i> ₁₋₆ < 0,001	0,97±0,07 <i>p</i> ₁₋₆ < 0,05	1,13±0,10 <i>P</i> ₁₋₆ > 0,05

Таблица 6

Изменение активности каталазы в крови, тимусе и селезенке крыс после воздействия на область проекции селезенки красным НИЛИ

Номер группы, условия эксперимента	Кровь (мкмоль H ₂ O ₂ /с•л)	Тимус нмоль H ₂ O ₂ /с•мг белка)	Селезенка нмоль H ₂ O ₂ /с•мг белка)
1. Интактные животные	31,6±0,2	0,56±0,01	1,07±0,07
2. Животные с системным воспалением	31,44±0,4 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05	0,51±0,05 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05	1,06±0,09 <i>P</i> ₁₋₂ > 0,05
3. Облучение животных с системным воспалением (5 мВт/см ²)	33,0±0,2 <i>p</i> ₁₋₃ < 0,01 <i>p</i> ₂₋₃ < 0,01	0,54±0,03 <i>p</i> ₁₋₃ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₃ > 0,05	1,06±0,10 <i>p</i> ₁₋₃ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₃ > 0,05
4. Облучение животных с системным воспалением (20 мВт/см ²)	33,1±0,3 <i>p</i> ₁₋₄ < 0,01 <i>p</i> ₂₋₄ < 0,01	0,52±0,02 <i>p</i> ₁₋₄ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₄ > 0,05	1,01±0,10 <i>p</i> ₁₋₄ > 0,05 <i>p</i> ₂₋₄ > 0,05
5. Облучение здоровых животных (5 мВт/см ²)	33,0±0,5 <i>P</i> ₁₋₅ < 0,01	0,54±0,02 <i>P</i> ₁₋₅ > 0,05	1,17±0,05 <i>P</i> ₁₋₅ > 0,05
6. Облучение здоровых животных (20 мВт/см ²)	31,8±0,2 <i>p</i> ₁₋₆ > 0,05	0,54±0,03 <i>p</i> ₁₋₆ > 0,05	1,21±0,06 <i>P</i> ₁₋₆ < 0,05

[11, 20]. Из этого следует, что активность антиоксидантных ферментов зависит от уровня активных форм кислорода в тканях.

Как правило, при системном воспалении после воздействия синего (длина волны 470 нм), зеленого (530 нм) и красного (670 нм) НИЛИ практически не обнаружено эффектов снижения активности исследованных ферментов антиоксидантной системы организма (СОД и каталазы) в крови. Однако при исследовании активности антиоксидантных ферментов в иммунокомпетентных органах в ряде случаев после воздействия синим и зеленым НИЛИ происходило снижение активности СОД и каталазы, чего не наблюдалось при облучении животных с системным воспалением красным НИЛИ.

У здоровых животных облучение синим и зеленым НИЛИ сопровождалось уменьшением активности СОД в крови. При этом поведение СОД в иммунокомпетентных органах и активность каталазы имели различный характер в зависимости от длины волны излучения. Воздействие на здоровых животных красным НИЛИ приводило к увеличению активности исследуемых ферментов, или же изменения их активности не наблюдались.

Таким образом, если рассматривать уменьшение активности ферментов СОД и каталазы как факт, отражающий истощение системы антиоксидантной защиты, а повышение их активности -

как ее стимуляцию, следует считать непрерывное красное НИЛИ (длина волны 670 нм) оптимальным средством для восстановления нарушений, вызванных системным воспалением у крыс.

Заключение

Направленность изменений активности ферментов (СОД, каталазы) в крови и иммунокомпетентных органах (тимусе, селезенке) после курсового воздействия непрерывным НИЛИ с различными длинами волн видимого диапазона спектра зависит от плотности мощности и длины волны излучения, а также от функционального состояния организма. Выявлены существенные отличия в изменении активности ферментов антиоксидантной системы защиты в крови и иммунокомпетентных органах у крыс с системным воспалением, получивших курс лазерного облучения, по сравнению с животными без системного воспаления, прошедшими аналогичный курс облучения. Исследование активности антиоксидантных ферментов в иммунокомпетентных органах углубляет представления об их значимости при оксидативном стрессе, сопутствующем воспалению. Воздействие непрерывным красным НИЛИ с длиной волны 670 нм при плотностях мощности 5 и 20 мВт/см² давало наиболее положительный эффект при восстановлении нарушений, сопровождавших системное воспаление.

Литература

1. Артюхов В.Г. Изучение влияния лазерного излучения (540 нм) на отдельные звенья ферментативной антиоксидантной системы крови / В.Г.Артюхов, О.В.Башарина, Л.Т.Рязанцева и др. // Радиационная биология. Радиозология.- 2002.- Т.42, №2.- С.181-185.
2. Горбунова Н.Б. Морфофункциональные и биохимические изменения в крови и иммунокомпетентных органах крыс после внутрибрюшинного введения липополисахарида / Н.Б.Горбунова, Т.Е.Кузнецова, Т.О.Павлють// Новости медико-биологических наук.- 2011.- №1.- С.72-77.
3. Гринзайд М.Н. Иммуномодулирующие эффекты физических факторов.-Пятигорск, 1996.- 49 с.
4. Еськов А.П. Механизм повреждающего действия бактериального эндотоксина / А.П.Еськов, Р.И.Каюмов, А.Е.Соколов // Эфферентная терапия.- 2003.- Т.9, №2.- С.71-74.
5. Королук К.А. Метод определения активности каталазы / К.А.Королук, Л.И.Иванова, И.Г.Майорова и др. // Лабораторное дело.- 1988.- №1.- С.16-19.
6. Костюк В.А. Простой и чувствительный метод определения активности супероксиддисмутазы, основанный на реакции окисления кверцетина / В.А.Костюк, А.И.Потапович., Ж.В.Ковалева // Вопросы медицинской химии.- 1990.- Т.36, №2.- С.88-91.
7. Маринов Б.С. Изменение активности супероксиддисмутазы под действием доноров и акцепторов электронов/Б.С.Маринов, А.Б.Обидин, Н.В.Гуляева// Биохимия.-1987.-Т.52, вып.5.-С.846-849.
8. Улащик В.С. Общая физиотерапия / В.С.Улащик, И.В.Лукомский.- Минск, 2008.- 496 с.
9. Хасина Э.И. Влияние каррагенана на неспецифическую резистентность мышей при ЛПС-индуцированной эндотоксемии / Э.И.Хасина, М.Н.Сребнева, И.М.Ермак и др. // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.- 2007.- №2.- С.57-60.
10. Шварц В. Жировая ткань как орган иммунной системы // Цитокины и воспаление.- 2009.- Т.8, №4.- С.3-10.
11. Fridovich I. Biological effects of the superoxide radical // Arch. Biochem. Biophys.- 1986.- Vol.247, №1.- P.1-11.
12. Gibbs L.S. Mn and Cu/Zn SOD expression in cells from LPS-sensitive and LPS-resistant mice / L.S.Gibbs, P.J.Del Vecchio, J.B.Shaffer // Free Radic. Biol. Med.- 1992.- Vol.12, №2.- P.107-111.
13. Goldstone A.B. Inactivation of copper, zinc superoxide dismutase by H₂O₂: mechanism of protection/A.B.Goldstone, S.I.Liochev, I.Fridovich//Free Radic. Biol. Med.- 2006.- Vol.41, № 12.- P.1860-1863.
14. Goraca A. Effect of alpha-lipoic acid on LPS-induced oxidative stress in the heart / A.Goraca, A.Piechota, H.Huk-Kolega // J. Physiol. Pharmacol.- 2009.- Vol.60, №1.- P.61-68.
15. Gridley D.S. Radiation and primary response to lipopolysaccharide: bone marrow-derived cells and

susceptible organs / D.S.Gridley, G.M.Miller, M.J.Pecaut // In Vivo.- 2007.- Vol.21, №3.- P.453-461.

16. Hodgson E.K. The interaction of bovine erythrocyte superoxide dismutase with hydrogen peroxide: inactivation / E.K.Hodgson, I.Fridovich // Biochemistry.- 1975.- Vol.14, №24.- P.5294-5299.

17. Kono Y. Superoxide radical inhibits catalase / Y.Kono, I.Fridovich // J. Biol. Chem.- 1982.- Vol.257, №10.- P.5751-5754.

18. Uchida K. Identification of oxidized histidine generated at the active site of Cu, Zn-superoxide dismutase

exposed to H₂O₂. Selective generation of 2-oxo-histidine at the histidine 118 / K.Uchida, S.Kawakishi // J. Biol. Chem.- 1994.- Vol.269, №4.- P.2405-2410.

19. Yamakura F. Inactivation of pseudomonas iron-superoxide dismutase by hydrogen peroxide / F.Yamakura, K.Suzuki // Biochim. Biophys. Acta.- 1986.- Vol.874, №1.- P.23-29.

20. Yost F.J., Jr. Superoxide and hydrogen peroxide in oxygen damage / F.J.Yost, jr, I.Fridovich // Arch. Biochem. Biophys.- 1976.- Vol.175, №2.- P.514-519.

**ЗМІНА АКТИВНОСТІ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ І КАТАЛАЗИ В КРОВІ
ТА ІМУНОКОМПЕТЕНТНИХ ОРГАНАХ ЩУРІВ З СИСТЕМНИМ ЗАПАЛЕННЯМ
ПІД ВПЛИВОМ БЕЗПЕРЕРВНОГО НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ СПЕКТРА**

*Горбунова Н.Б., * Батай Л.Є., * Водчій А.І., Улащик В.С., * Орлович В.А.*

*Інститут фізіології НАН Білорусі,
вул. Академічна, 28, м. Мінськ, 220072 Білорусь,
тел.: +375(017)332-16-00; e-mail: biblio@fizio.bas-net.by; nbgorbunova@mail.ru;
Інститут фізики імені Б.І.Степанова НАН Білорусі,
пр. Незалежності, 68, м. Мінськ, 220072 Білорусь,
e-mail: l.batay@ifanbel.bas-net.by*

Виявлено суттєві відмінності в зміні активності ферментів антиоксидантної системи захисту (супероксиддисмутаза і каталаза) у крові та імунокомпетентних органах у щурів з системним запаленням, які отримали курс лазерного опромінення, в порівнянні з тваринами без системного запалення, що пройшли курс опромінення. Безперервне низькоінтенсивне лазерне випромінювання з довжиною хвилі 670 нм при щільності потужності 5 і 20 мВт/см² виявилось оптимальним для відновлення порушень, викликаних системним запаленням.

Ключові слова: *низькоінтенсивне лазерне випромінювання, видимий діапазон спектра, системне запалення, ліпополісахарид, супероксиддисмутаза, каталаза.*

**CHANGES IN ACTIVITY OF SUPEROXIDE DISMUTASE AND CATALASE IN BLOOD
AND IMMUNOCOMPETENT ORGANS OF RATS WITH SYSTEMIC INFLAMMATION
UNDER INFLUENCE OF CONTINUOUS-WAVE LOW INTENSITY VISIBLE LASER
RADIATION**

*Gorbunova N.B., *Batay L.E., *Vodchits A.I., Ulastchik V.S., *Orlovich V.A.*

*Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Belarus,
Akademicheskaya Str., 28, Minsk, 220072 Belarus, tel.: 8-10-375-17-332-16-00;
e-mail: biblio@fizio.bas-net.by; nbgorbunova@mail.ru;
*B.I.Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,
Nezavisimosti Ave., 68, Minsk, 220072 Belarus, e-mail: l.batay@ifanbel.bas-net.by*

Significant differences of changes in activity of enzymes of antioxidant defense system (superoxide dismutase and catalase) in blood and immunocompetent organs of rats with systemic inflammation after a course of laser irradiation compared to animals without systemic inflammation after laser radiation treatment were revealed. Continuous-wave low-intensity red laser radiation with the wavelength of 670 nm at power densities of 5 and 20 mW/cm² was optimal for recovery of disorders caused by systemic inflammation.

Keywords: *low-intensity laser radiation, visible range of the spectrum, systemic inflammation, lipopolysaccharide, superoxide dismutase, catalase.*