

ЛЕЙКОЦИТАРНАЯ РЕАКЦИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ И СТЕНОК БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ ЗДОРОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ НА ДЕЙСТВИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО И НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,0 МКМ

Коробов А. М., Лесная Т. А., Коробов В. А., Лобанов А. Н.

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
НИ лаборатория квантовой биологии и квантовой медицины
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина, тел.: +38 (057)754-80-37, +38 (057)761-63-09,
тел./факс +38 (057)707-51-91, e-mail: lblm@univer.kharkov.ua

В работе изучена лейкоцитарная реакция периферической крови и стенок брюшной полости здоровых экспериментальных животных на действие монохроматического (лазерного) и немонахроматического (светодиодного) излучения инфракрасного диапазона спектра.

Эксперимент поставлен на 78 половозрелых крысах-самцах линии Вистар массой 180–200 г. Облучение экспериментальных животных проводилось светодиодными и лазерными источниками инфракрасного излучения с длиной волны максимума полосы излучения 1,0 мкм. Мощность излучения лазерного и светодиодного источников была одинаковой и составляла 25 мВт при апертуре 1 см². Облучение зоны пупартовой связки проводили ежедневно в течение 14 дней по 5 минут на сеанс.

Лейкоцитарная реакция периферической крови и стенок брюшной полости на действие лазерного и светодиодного излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм практически идентична.

Динамика изменения общего количества лейкоцитов, равно как и всех их видов, при действии лазерного и светодиодного излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм носит колебательный характер.

Действие инфракрасного излучения с длиной волны 1,0 мкм также, как и с длиной волны 0,8 мкм, на здоровых экспериментальных животных повышает неспецифическую резистентность организма за счет формирования общего адаптационного синдрома.

Полученные результаты позволяют предположить, что как лазерное, так и светодиодное излучение одинаково эффективно можно использовать для профилактики наиболее распространенных заболеваний человека.

Ключевые слова: лейкоцитарная реакция, периферическая кровь, стенки брюшной полости, монохроматическое излучение, немонахроматическое излучение, инфракрасный диапазон спектра.

Введение

Выполненные нами комплексные исследования действия немонахроматического электромагнитного излучения инфракрасного диапазона спектра на иммунную систему экспериментальных животных позволили установить целый ряд неожиданных зависимостей.

Априори было понятно, что реакция организма животных с моделью острого воспаления на действие света будет ярко выраженной. И это четко прослеживается в полученных нами экспериментальных зависимостях [5, 8, 9]. А вот то, что реакция организма здоровых

животных на действие света также ярко выражена, стало для нас откровением.

Впервые мы обнаружили такую ярко выраженную зависимость при изучении динамики лейкоцитарной реакции периферической крови и стенок брюшной полости здоровых экспериментальных животных на действие немонахроматического излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 0,8 мкм [7]. Через 6 часов после первого воздействия и до 3-х суток наблюдалось увеличение содержания нейтрофилов и лимфоцитов в экссудате и снижение их в крови, что обусловлено активизацией миграции клеток из крови в ткань. Далее, на 7-е сутки наблюдалось восстановление общего количества лейкоцитов в крови за счет усиленного выхода

их из костномозгового резерва. Таким образом, при действии немонахроматического излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 0,8 мкм повышалась резистентность организма здоровых экспериментальных животных за счет формирования общего адаптационного синдрома. Это дает основание предположить, что немонахроматическое инфракрасное излучение может быть с высокой эффективностью использовано для профилактики наиболее распространенных заболеваний человека.

Несколько ранее, авторами работы [1] было установлено, что в зависимости от дозы инфракрасного лазерного (монахроматического) облучения здоровых экспериментальных животных изменяются электрокинетические свойства лимфоцитов разных лимфоидных органов и их субпопуляционный состав в результате усиления миграции, пролиферации и дифференцировки клеточных элементов, стимулируется продукция важнейших провоспалительных цитокинов (ИЛ-1, ИЛ-6, ФНО- α), повышается степень депротеидизации клеточной ДНК и возрастает общая транскрипционная активность.

Высокая эффективность низкоинтенсивной лазерной терапии многими авторами объясняется специфичностью лазерного излучения, а именно, его высокой монахроматичностью, когерентностью и поляризацией.

Однако, известно, что по мере проникновения вглубь биологического материала уже на глубине 200–300 мкм когерентность и поляризация лазерного излучения нарушаются, и далее начинает распространяться некогерентное, но монахроматическое излучение [4, 11, 12, 13].

С другой стороны, низкоинтенсивное немонахроматическое излучение светодиодов также широко используется для лечения и профилактики наиболее распространенных заболеваний человека [2, 3, 6, 10].

Поэтому вопрос об определяющей роли такого специфического параметра лазерного излучения, как монахроматичность, в достижении высокого терапевтического эффекта остается дискуссионным.

Вопрос этот не является праздным и чисто теоретическим. Ответ на него позволит обосновать выбор оптимального источника света для использования в практической медицине.

К сожалению, до настоящего времени не было выполнено ни одной работы, в которой корректно (в рамках одного эксперимента) сравнивались бы результаты действия источни-

ков света с различной степенью монахроматичности на биологические объекты.

Логически целесообразным звеном в цепи перечисленных выше исследований, а следовательно, и **целью** настоящей работы стало изучение и сравнение динамики лейкоцитарной реакции периферической крови и стенок брюшной полости здоровых экспериментальных животных на действие монахроматического (лазерного) и немонахроматического (светодиодного) излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм.

Материалы и методы

Эксперимент поставлен на 78 половозрелых крысах-самцах линии Вистар массой 180–200 г. Облучение экспериментальных животных проводилось светодиодными и лазерными источниками инфракрасного излучения с длиной волны максимума полосы излучения 1,0 мкм. Ширина полосы излучения на уровне половинной интенсивности у лазерного источника составляла 0,001 мкм, а у светодиодного — 0,03 мкм. Мощность излучения лазерного и светодиодного источников была одинаковой и составляла 25 мВт при апертуре 1 см². Транскутанное облучение зоны пупартовой связки проводили ежедневно (по 5 минут на сеанс) в течение двух недель.

Для изучения динамики лейкоцитарной реакции животные выводились из эксперимента через 6 часов после облучения, а дальше через 1 сутки, 2 суток, 3 суток, 7 суток, 14 суток.

О лейкоцитарной реакции периферической крови судили на основании определения общего количества лейкоцитов (ОКЛ) и лейкоцитарной формулы.

О лейкоцитарной реакции стенок брюшной полости судили на основании определения общего количества лейкоцитов (ОКЛ) и клеточного состава перитонеального смыва. Перитонеальный смыв получали промыванием брюшной полости крыс 5 мл изотонического раствора NaCl.

Результаты и их обсуждение

Лейкоцитарная реакция периферической крови.

На рис.1, а представлена динамика изменения общего количества лейкоцитов в периферической крови здоровых экспериментальных животных при действии монахроматического (лазерного) и немонахроматического (светодиодного) излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм.

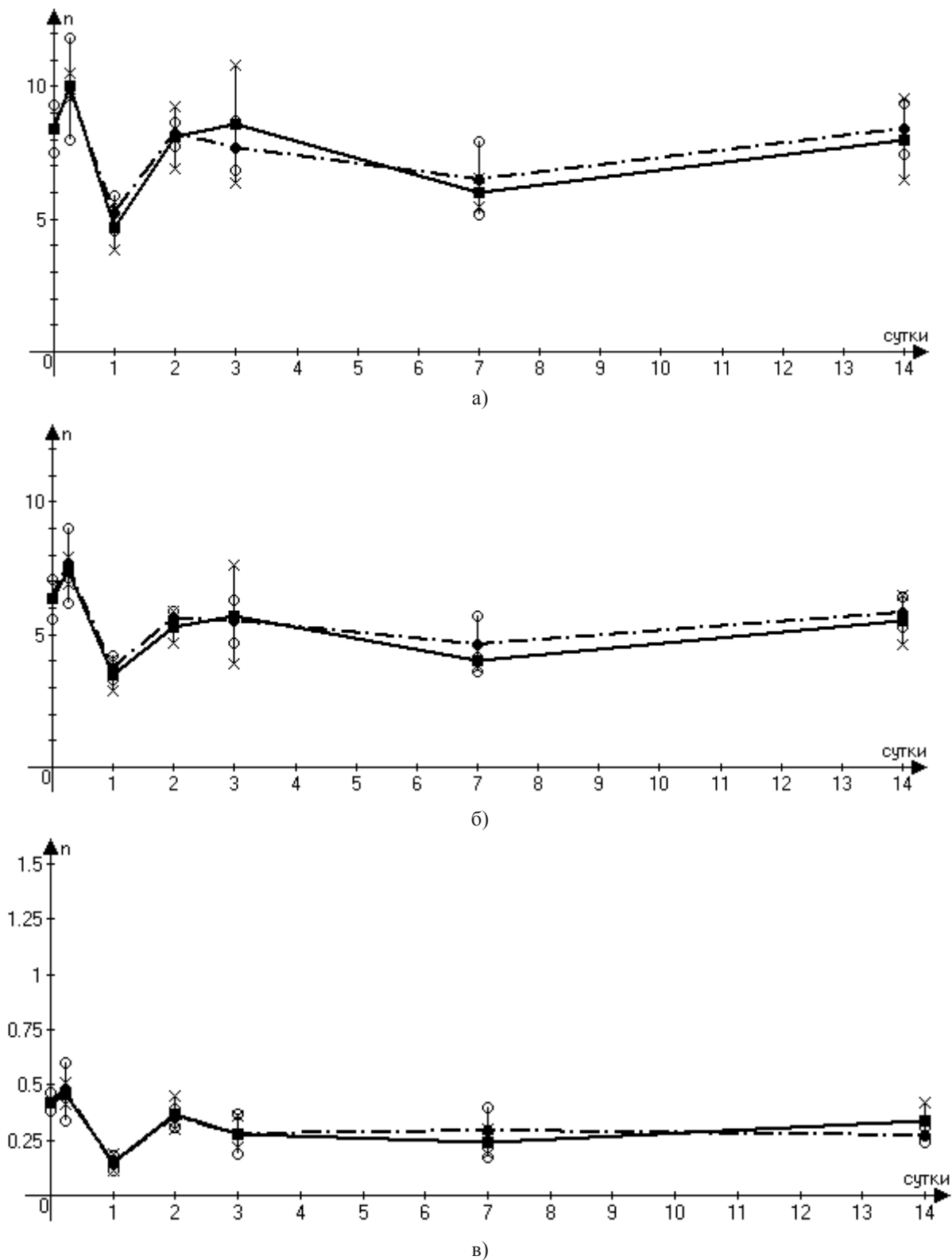


Рис. 1, лист 1. Лейкоцитарная реакция периферической крови на действие светодиодного (штрихпунктирная линия) и лазерного (сплошная линия) излучений:

- а) — общее количество лейкоцитов ($\times 10^9/\text{л}$);
- б) — количество лимфоцитов ($\times 10^9/\text{л}$);
- в) — количество моноцитов ($\times 10^9/\text{л}$).

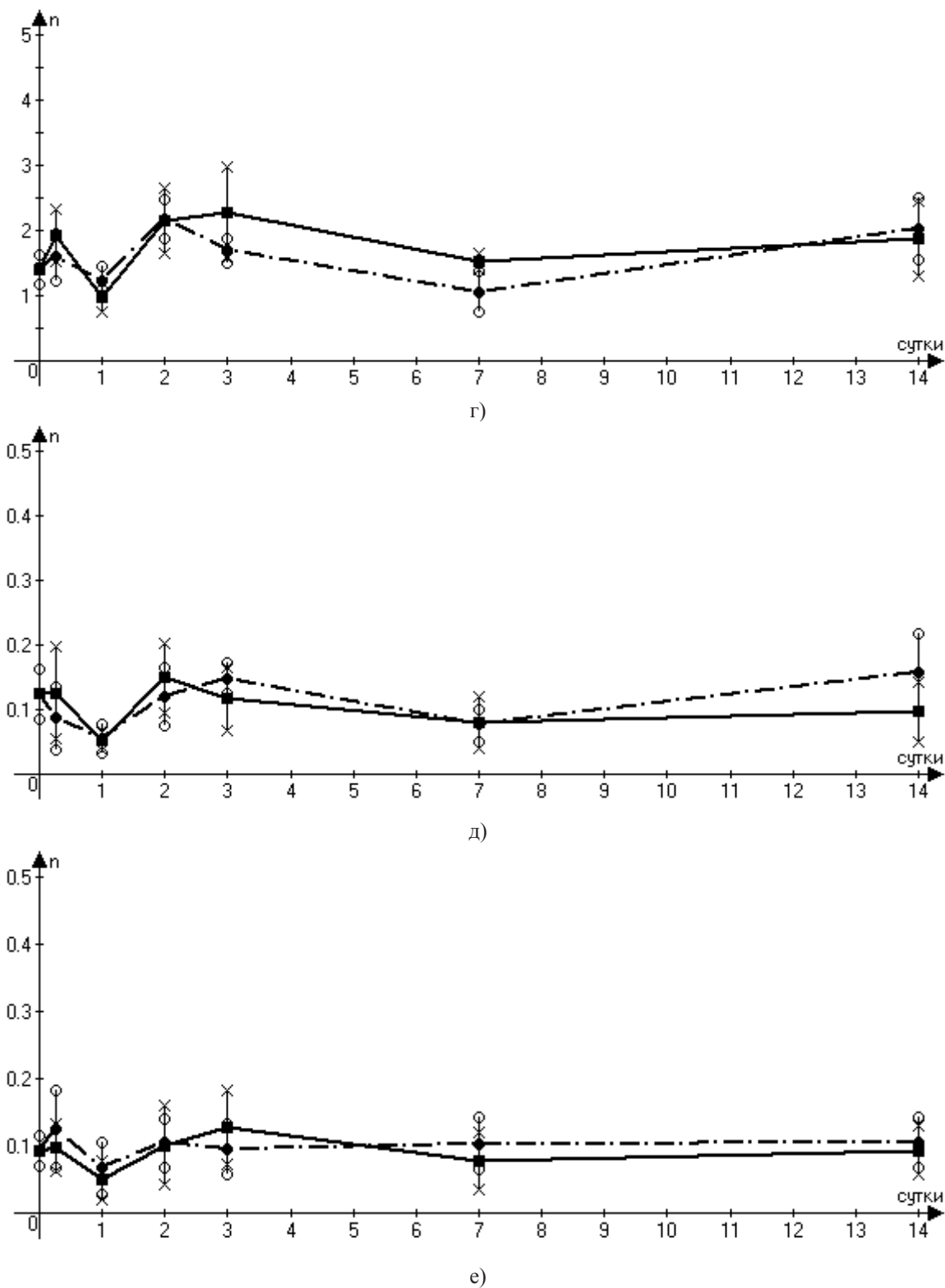


Рис. 1, лист 2.

г) — количество сегментоядерных нейтрофилов ($\times 10^9/l$);

д) — количество палочкоядерных нейтрофилов ($\times 10^9/l$);

е) — количество эозинофилов ($\times 10^9/l$).

Как видно из приведенного рисунка, при действии как лазерного излучения, так и светодиодного, динамика изменения общего количества лейкоцитов в крови практически совпадает.

В обоих случаях к 6-му часу после первого облучения наблюдается повышение ОКЛ по сравнению с контролем (интактные животные). К 1-м суткам ОКЛ достоверно уменьшается в 1,78 раза при лазерном воздействии

и в 1,61 раза при действии светодиодного излучения. К 2-м суткам ОКЛ в крови экспериментальных животных возрастает до уровня ОКЛ в крови интактных животных, а затем постепенно снижается к 7-м суткам и вновь возрастает до контрольного значения к 14-м суткам.

На рисунке 1, б-е представлены изменения основных видов лейкоцитов в периферической крови здоровых животных при действии лазерного и светодиодного излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм.

У крыс преобладающими клетками в лейкоцитарной формуле являются лимфоциты. Из анализа кривых следует, что динамика изменения количества лимфоцитов (рис.1, б) как при лазерном, так и при светодиодном воздействии аналогична динамике изменения общего количества лейкоцитов. А именно, к 6-му часу содержание лимфоцитов несколько увеличивается по сравнению с контролем, достоверно снижается в 1,7 раза к 1-м суткам, возрастает ко вторым и третьим суткам почти до уровня контроля, снижается к 7-м суткам и вновь возрастает к 14-м суткам, достигая значений количества лимфоцитов в контроле.

На рис.1, в представлена динамика изменения количества моноцитов в крови экспериментальных животных при действии лазерного и светодиодного излучения. Из рисунка следует, что количество моноцитов как при лазерном, так и при светодиодном воздействии практически совпадает во все время наблюдения (14 суток), а амплитуда отклонения количества моноцитов от контрольных значений весьма малая. Только на 1-е сутки было отмечено достоверное уменьшение количества моноцитов в 2,8 раза по сравнению с интактными животными.

Количество сегментоядерных нейтрофилов в крови экспериментальных животных было в 3–4 раза меньше, чем количество лимфоцитов. Динамика изменения количества сегментоядерных и палочкоядерных нейтрофилов (рис.1, г и д) имеет такой же характер, как и динамика изменения ОКЛ, однако значения количества нейтрофилов при лазерном и светодиодном облучении отличаются друг от друга сильнее, чем у других видов лейкоцитов. Причем, в некоторых точках количество сегментоядерных нейтрофилов при лазерном воздействии больше, чем при светодиодном (6 часов, 3 суток, 7 суток), в некоторых точках, наоборот, меньше (1 сутки, 14 суток), а на вторые сутки их значения совпадают.

Содержание эозинофилов в крови экспериментальных животных практически не изменяется на протяжении всего эксперимента (рис.1, е).

Лейкоцитарная реакция стенок брюшной полости.

На рис. 2, а представлена динамика изменения общего количества лейкоцитов в перитонеальном смыве брюшной полости здоровых экспериментальных животных при действии монохроматического (лазерного) и немонахроматического (светодиодного) излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм.

Как видно из приведенного рисунка, при действии как лазерного излучения, так и светодиодного, динамика изменения общего количества лейкоцитов в брюшной полости практически совпадает. В обоих случаях к 6-му часу после первого облучения наблюдается повышение ОКЛ по сравнению с контролем (интактные животные). К первым суткам ОКЛ при действии светодиодного излучения несколько снижается, а у экспериментальных животных при действии лазерного излучения продолжает возрастать и в 1,6 раза превышает уровень интактных животных. На 2-е сутки ОКЛ достигает максимальных значений и достоверно превышает уровень интактных животных в 1,72 раза при действии светодиодного излучения и в 2 раза при действии лазерного излучения. К 3-м суткам ОКЛ в обеих группах снижается (при действии лазерного излучения — до уровня интактных животных). Далее ОКЛ вновь возрастает и на 14-е сутки в 1,4 раза превышает уровень интактных животных.

Динамика изменения содержания лимфоцитов в перитонеальном смыве стенок брюшной полости приведена на рисунке 2, б, из которого видно, что она аналогична динамике изменения общего количества лейкоцитов. Это обусловлено тем, что основной вклад в общее количество лейкоцитов у крыс вносят именно лимфоциты, и их количество значительно изменяется при действии различных факторов. К 6-у часу содержание лимфоцитов в перитонеальном смыве обеих групп животных достоверно увеличивается в среднем в 1,8 раза, на 1-е сутки практически не изменяется, а на 2-е сутки достигает максимального значения. А именно, при действии светодиодного излучения достоверно превышает контрольный уровень в 2,3 раза, а при действии лазерного излучения — в 3 раза. Далее, начиная с 3-х суток, в группе животных,

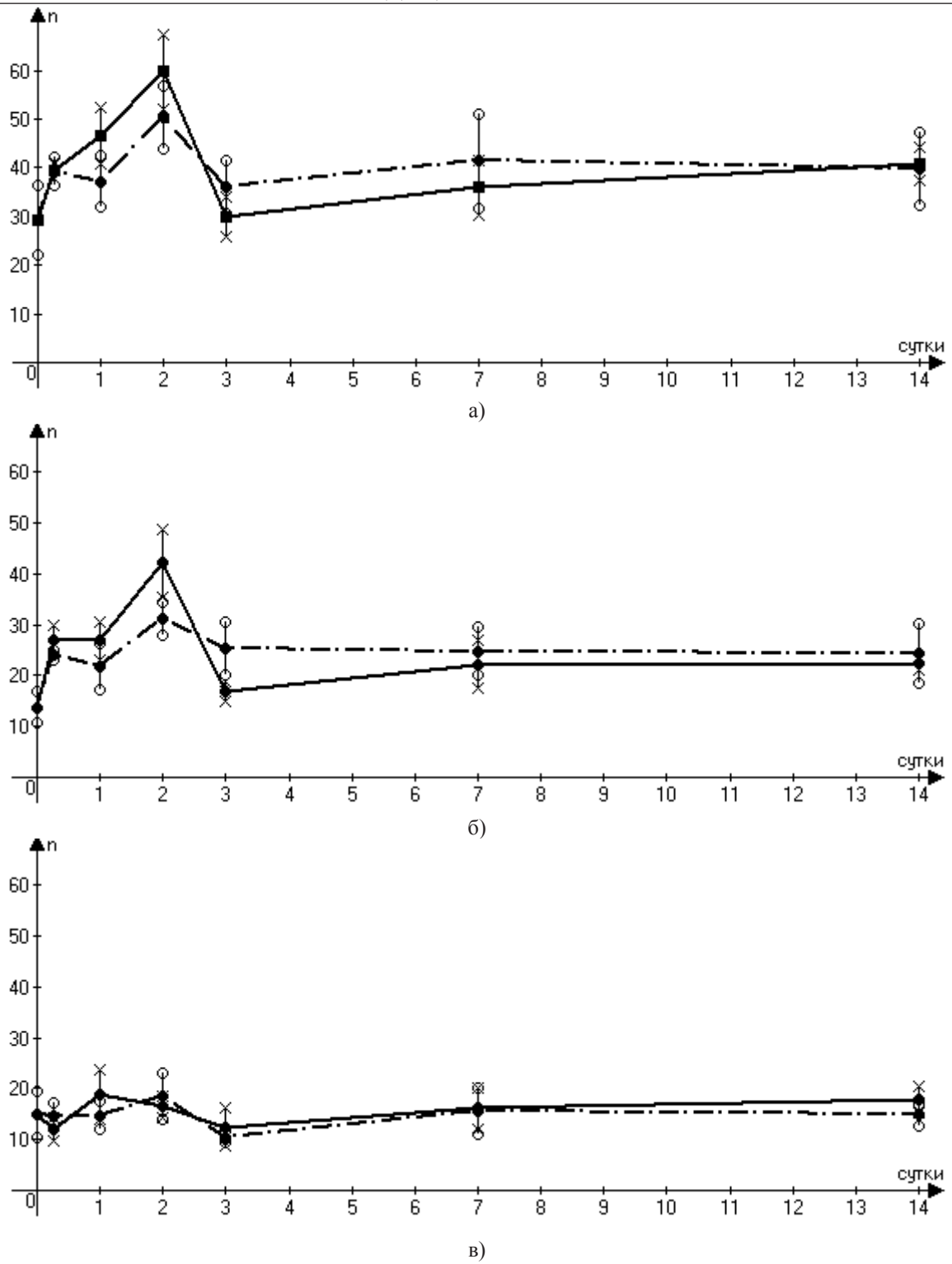


Рис. 2, лист 1. Лейкоцитарная реакция стенок брюшной полости на действие светодиодного (штрихпунктирная) и лазерного (сплошная) излучений:

- а) — общее количество лейкоцитов ($\times 10^6/l$);
- б) — количество лимфоцитов ($\times 10^6/l$);
- в) — количество моноцитов ($\times 10^6/l$).

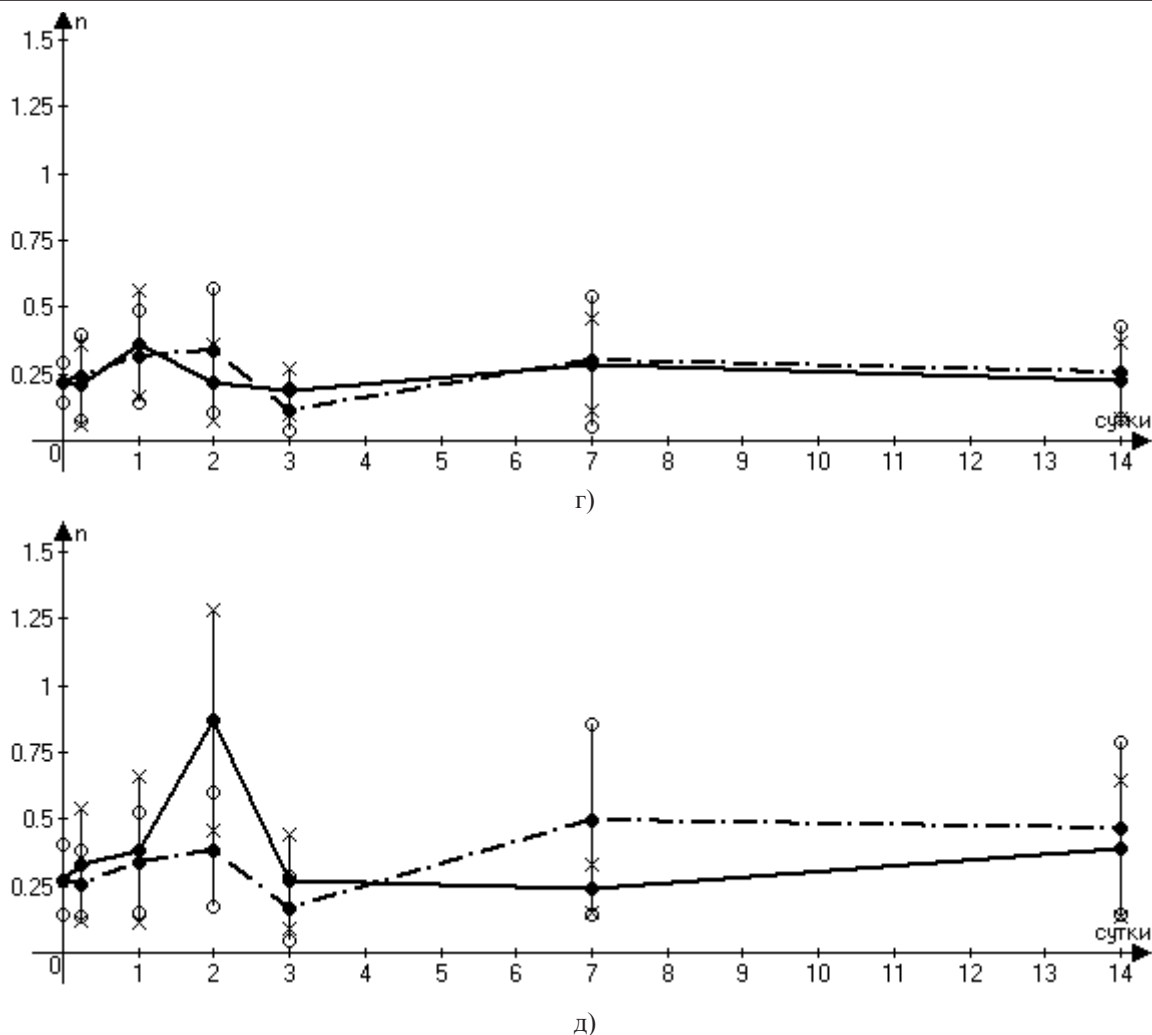


Рис. 2, лист 2.

г) — количество нейтрофилов ($\times 10^6/\text{л}$);
д) — количество эозинофилов ($\times 10^6/\text{л}$).

на которых действовали светодиодным инфракрасным излучением, количество лимфоцитов постепенно снижается, но на 14-е сутки все еще превышает уровень интактных животных в 1,75 раза. В группе животных, на которых действовали лазерным инфракрасным излучением, на 3-и сутки отмечено резкое уменьшение количества лимфоцитов до уровня интактных животных. К 7-м суткам содержание лимфоцитов в перитонеальном смыве вновь увеличивается, превышая уровень интактных животных в 1,6 раза, и остается таким до 14-х суток.

Из рис. 2, в видно, что при действии светодиодного излучения с длиной волны 1,0 мкм содержание моноцитов в перитонеальном смыве брюшной полости практически не изменяется, только на 2-е сутки имеет тенденцию к увеличению в 1,2 раза, а на 3-и сутки — к снижению в 1,4 раза (данные не достоверны из-за больших индивидуальных колебаний). При

действии лазерного излучения с длиной волны 1,0 мкм тенденции к увеличению содержания моноцитов были отмечены на 1-е и 14-е сутки эксперимента.

Содержание нейтрофилов в перитонеальном смыве (рисунок 2, г) здоровых экспериментальных животных невелико и практически не изменяется в течение эксперимента.

Количество эозинофилов в перитонеальном смыве (рисунок 2, д) здоровых экспериментальных животных также незначительно, при действии светодиодного излучения имеет тенденцию к увеличению в 1,8 раза на 7-е — 14-е сутки, а при действии лазерного излучения на 2-е сутки отмечалась тенденция к увеличению в 3,2 раза.

Выводы

Лейкоцитарная реакция периферической крови и стенок брюшной полости здоровых экспериментальных животных на действие

лазерного (монохроматического) и светодиодного (немонохроматического) излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм практически идентична.

Динамика изменения общего количества лейкоцитов, равно как и всех их видов, при действии лазерного (монохроматического) и светодиодного (немонохроматического) излучения инфракрасного диапазона спектра с длиной волны 1,0 мкм носит колебательный характер с малым периодом колебаний в начальной стадии процесса (после начала воздействия) и возрастанием периода колебаний в последующие стадии. При этом амплитуда отклонения значений количества лейкоцитов от контрольных в каждом последующем периоде меньше предыдущего с тенденцией выхода на уровень контрольных значений.

Действие инфракрасного излучения с длиной волны 1,0 мкм также, как и с длиной волны 0,8 мкм, на здоровых экспериментальных животных повышает неспецифическую резистентность организма за счет формирования общего адаптационного синдрома.

Полученные результаты позволяют предположить, что как лазерное (монохроматическое), так и светодиодное (немонохроматическое) излучение одинаково эффективно можно использовать для профилактики наиболее распространенных заболеваний человека.

Работа выполнена в рамках украинско-белорусского проекта Ф29.4/013, финансируемого Государственным Фондом фундаментальных исследований.

Литература

1. Бугаева И.О. Влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения на органы иммуногенеза: Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. — Саратов, 2006. — 37 с.
2. Зинкевич Е.О. Опыт применения монохроматического светодиодного излучения красного диапазона в дерматологической практике. // Материалы международной научно-практической конференции «Низкоинтенсивное лазерное и светодиодное излучение в медицине и биологии», Санкт-Петербург, 27–28 мая 2009 г., в журнале Нелекарственная медицина. — 2009. — №2. — С. 35.
3. Кирьянова В.В. Фотохромотерапия как метод профилактики инфицирования ожоговой раны у детей. / В.В. Кирьянова, Е.Н. Сергеева, Я.Р. Кустова // Материалы международной научно-практической конференции «Низкоинтенсивное лазерное и светодиодное излучение в медицине и биологии», Санкт-Петербург, 27–28 мая 2009 г., в журнале Нелекарственная медицина. — 2009. — №2. — С.40–41.
4. Клебанов Г.И. Первичные и вторичные молекулярно-клеточные механизмы квантовой терапии оптического диапазона спектра. // Сборник трудов Девятой международной научно-практической конференции по квантовой медицине, Москва, 16–20 декабря 2002 г. — М.: Институт квантовой медицины, и Акционерное общество „МИЛТА-ПКП ГИТ», 2002. — С.27–40.
5. Клименко Н.А. Реакция тимуса на монохроматическое излучение с длиной волны 0,8 мкм на фоне острого воспаления. / Н.А. Клименко, А.М. Коробов, Т.А. Лесная, С.В. Татарко, И.А. Савенко // Материалы XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування лазерів у медицині та біології», Ужгород, 15–17 квітня 2010 р. — Ужгород: вид. УжНУ «Говерла», 2010. — С.120–124
6. Колупаева Т.В. Опыт применения фотонных технологий для оздоровления человека. / Т.В. Колупаева, А.М. Коробов, Т.А. Лесная и др. // Материалы XXXII Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии», Гурзуф, 7–10 октября 2009 г. — Харьков: ФОП «Петрова І. В.», 2009. — С. 120.
7. Коляда Т.И. Лейкоцитарная реакция периферической крови и брюшной полости на действие монохроматического излучения инфракрасного диапазона спектра. / Т.И. Коляда, А.М. Коробов, Т.А. Лесная и др. // Фотобіологія та фотомедицина — 2009. — №2,3. — С.98–101.
8. Коляда Т.І. Лейкоцитарна реакція вогнища запалення експериментальних тварин на дію монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі 0,8 мкм / Т.І. Коляда, Г.Е. Брілль, Т.О. Лісна, А.М. Коробов, В.А. Коробов // Фотобіологія та фотомедицина. — 2009. — №4. — с.79–83
9. Коляда Т.І. Лейкоцитарна реакція периферичної крові експериментальних тварин з моделлю гострого запалення на дію монохроматичного випромінювання інфрачервоного діапазону спектра з довжиною хвилі 0,8 мкм / Т.І. Коляда, А.М. Коробов, Т.О. Лісна, В.А. Коробов // Фотобіологія та фотомедицина. — 2010. — № 1,2. — С.98–103.

10. Коробов А.М. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва». Изд. второе., перераб. и доп. / А.М. Коробов, В.А. Коробов, Т.А. Лесная. — Харьков: ИПП «Контраст», 2008. — 176 с.
11. Москвин С.В. Основы лазерной терапии. / С.В. Москвин, В.А. Буйлин — М. — Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2006. — 256 с.
12. Синяков В.С. Голографическая интерферометрия и когерентное световое излучение в физиологических исследованиях: Автореф. дис. докт. биол. наук — М., 1988. — 32с.
13. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. — Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1998. — 382 с.

ЛЕЙКОЦИТАРНА РЕАКЦІЯ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ І СТІНОК ЧЕРЕВНОЇ ПОРОЖНИНИ ЗДОРОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН НА ДІЮ МОНОХРОМАТИЧНОГО ТА НЕМОНОХРОМАТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ДОВЖИНОЮ ХВИЛІ 1,0 МКМ

*Коробов А.М., Лісна Т.О., Коробов В.А., Лобанов О.М
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
НД лабораторія квантової біології та квантової медицини*

У роботі вивчено лейкоцитарну реакцію периферичної крові і стінок черевної порожнини здорових експериментальних тварин на дію монохроматичного (лазерного) і немонохроматичного (світлодіодного) випромінювання інфрачервоного діапазону спектра.

Експеримент поставлено на 78 статевозрілих щурах-самцях лінії Вістар масою 180–200 г. Опромінення експериментальних тварин проводилось світлодіодними і лазерними джерелами інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі максимуму смуги випромінювання 1,0 мкм. Потужність випромінювання лазерного і світлодіодного джерел була однаковою і становила 25 мВт при апертурі 1 см². Опромінення зони пупартової зв'язки проводили щодня протягом 14 днів по 5 хвилин на сеанс.

Лейкоцитарна реакція периферичної крові і стінок черевної порожнини на дію лазерного і світлодіодного випромінювання інфрачервоного діапазону спектра з довжиною хвилі 1,0 мкм практично ідентична.

Динаміка зміни загальної кількості лейкоцитів так саме, як і всіх їх видів, при дії лазерного і світлодіодного випромінювання інфрачервоного діапазону спектра з довжиною хвилі 1,0 мкм носить коливальний характер.

Дія інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі 1,0 мкм так саме, як і з довжиною хвилі 0,8 мкм, на здорових експериментальних тварин підвищує неспецифічну резистентність організму за рахунок формування загального адаптаційного синдрому.

Отримані результати дозволяють припустити, що як лазерне, так і світлодіодне випромінювання однаково ефективно можна використовувати для профілактики найбільш поширених захворювань людини.

Ключові слова: лейкоцитарна реакція, периферична кров, стінки черевної порожнини, монохроматичне випромінювання, немонохроматичне випромінювання, інфрачервоний діапазон спектра.

**LEUKOCYTIC REACTION OF PERIPHERAL BLOOD AND THE WALLS
OF THE ABDOMINAL CAVITY OF HEALTHY EXPERIMENTAL ANIMALS
ON ACTION OF MONOCHROMATIC AND NONMONOCHROMATIC RADIATION
WITH 1.0 MM WAVELENGTH**

*Korobov A.M., Lesnaya T.A., Korobov V.A., Lobanov A.N.
V.N. Karazin Kharkiv National University,
Research Laboratory for Quantum Biology and Quantum Medicine*

In this research work the effect of monochromatic (laser) and nonmonochromatic (LED) infrared radiation upon leukocytic reaction of peripheral blood and the walls of the abdominal cavity of healthy experimental animals was studied.

The experiment was carried out on 78 pubescent male Wistar rats with 180–200 g body weight. The experimental animals were irradiated by LED and laser emitters with a maximum in the range of 1.0 μm . The radiation power was 25 mW by aperture 1 cm^2 . The rats were exposed to the infrared radiation in the pupart ligament area for 5 minutes per session every day within 14 days.

Leukocytic reaction of peripheral blood and abdominal cavity on action of laser and LED radiation of infrared spectrum with a wavelength of 1.0 microns is almost identical.

The dynamics of change in the total count of leukocytes, as well as all of their species, on action of laser and LED infrared radiation spectrum with a wavelength of 1.0 microns is oscillatory.

The action of infrared radiation with a wavelength of 1.0 microns as well as with a wavelength of 0.8 microns, on healthy experimental animals increases the nonspecific resistance of the organism due to the formation of the general adaptation syndrome.

These results suggest that both laser and LED light can be used equally effectively to prevent the most common human diseases.

Keywords: *leukocyte reaction, peripheral blood, the walls of the abdominal cavity, monochromatic radiation, non-monochromatic radiation, the infrared spectral range.*