

© Коллектив авторов, 2017  
УДК 611.438:615.849.19:611.018.5:599.323.4

*В.В. Асташов<sup>1</sup>, В.И. Козлов<sup>1</sup>, Ю.И. Бородин<sup>2</sup>, Ю.А. Анцырева<sup>2</sup>, О.А. Зайко<sup>1</sup>*

## СТРУКТУРА ТИМУСА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЧРЕСКОЖНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ С РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ

<sup>1</sup> Кафедра анатомии человека (зав. — проф. В.И. Козлов), ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва;  
<sup>2</sup> лаборатория физиологии протективной системы (зав. — д-р мед. наук А.Ф. Повещенко),  
ФГБНУ «Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии», г. Новосибирск

Целью настоящего исследования являлось выявление морфологических особенностей тимуса крыс при чрескожном лазерном облучении крови с различной длиной волны. С помощью гистологических методов изучали строение и цитоархитектонику тимуса 50 крыс-самцов Вистар после чрескожного воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 337, 488, 632,8 и 950 нм на проекцию бедренной вены. Результаты показали, что лазерное воздействие приводит к преобразованиям строения и клеточного состава тимуса, степень выраженности которых зависит от длины волны лазерного излучения. При увеличении длины волны лазерного излучения нарастало число незрелых форм лимфоидных клеток и уменьшалась численность эпителиоретикулярных клеток в различных структурно-функциональных зонах тимуса. Рассматриваются возможные механизмы действия лазерного излучения на тимус.

**Ключевые слова:** тимус, низкоинтенсивное лазерное излучение, кровь

Результаты многочисленных рандомизированных контролируемых исследований доказывают многообразные лечебные свойства низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ), которые определяются следующими основными эффектами: активация микроциркуляции и обезболивание, рефлекторное, иммуномодулирующее и противовоспалительное действие, активация пролиферации и регенерации тканей [4, 9, 11]. Существуют инвазивные и неинвазивные методы лазерного облучения крови. К инвазивным методам можно отнести внутривенное облучение крови (ВЛОК) и экстракорпоральное облучение крови, к неинвазивным — чрескожное (надвечное, транскутанное, наружное) лазерное облучение крови (ЧЛОК) [2]. Главным преимуществом ЧЛОК является отсутствие болевых ощущений во время процедуры облучения; при этом методе можно также избежать внутривенных инъекций. Из данных литературы известно, что воздействие НИЛИ на организм обладает иммуностимулирующим действием и может быть использовано для коррекции иммунного ответа при различных патологических процессах, сопровождающихся развитием иммунодефицитного состояния [4]. Наиболее распространёнными в лазерной терапии спектральными диапазонами являются ультра-

фиолетовый, синий, красный и инфракрасный спектр, по мере увеличения длины волны глубина проникновения низкоинтенсивного лазерного излучения в ткани возрастает, но при этом отмечено, что эффект воздействия НИЛИ существует независимо от длины волны НИЛИ [7].

Целью настоящего исследования являлось выявление морфологических особенностей тимуса крыс в нормальных условиях жизнедеятельности при чрескожном лазерном облучении крови с различной длиной волны в наиболее распространённых в лазерной терапии спектральных диапазонах, что может дать возможность подбирать необходимые параметры НИЛИ в программах лечения и реабилитации заболеваний, сопровождающихся угнетением Т-клеточного звена иммунного ответа.

Материал и методы. Для исследования в качестве экспериментального животного были выбраны 50 крыс-самцов линии Вистар исходной массой тела 180–200 г в возрасте 3–4 мес (ФГБНУ «Институт цитологии и генетики РАН», г. Новосибирск). Все эксперименты выполнены в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденными приказом Минздрава СССР № 577 от 12.08.77 г. с соблюдением принципов гуманности, изложенных в директиве Европейского сообщества (86/609/ЕС). Животных разделили на 5 групп, по 10 животных в каждой: 1) контроль (интактные живот-

### Сведения об авторах:

*Асташов Вадим Васильевич* (e-mail: vastashov3@gmail.com), *Козлов Валентин Иванович* (e-mail: akvi13@yandex.ru),  
*Зайко Олег Александрович* (e-mail: oleg.zayko@bk.ru), кафедра анатомии человека, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8

*Бородин Юрий Иванович, Анцырева Юлия Александровна* (e-mail: juliaaaster@gmail.com), лаборатория физиологии протективной системы, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии», 630060, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2

ные), группы 2–5 составили животные, подвергнутые ЧЛОК. В работе использовали низкоинтенсивное лазерное излучение различных частей оптического спектра: ультрафиолетовый (длинноволновый лазер на молекулярном азоте, длина волны 337 нм), видимый голубой (аргоновый лазер — 488 нм), видимый красный (гелий-неоновый лазер — 632,8 нм), инфракрасный (коротковолновый арсенид-галлиевый лазер — 950 нм). Проводили лазерное облучение проекции бедренной вены крыс в течении 7 сут по 10 мин ежедневно (плотность потока мощности составляла 25 мВт/см<sup>2</sup> для каждой длины волны НИЛИ). После эвтаназии под эфирным наркозом для гистологического исследования забирали тимус и фиксировали в растворе Теллесницкого [8]. Материал заливали в парафин; продольные срединные срезы толщиной 5 и 7 мкм далее окрашивали гематоксилином — эозином по Майеру и азуром II — эозином по Нохт-Максимуму. С помощью окулярной тестовой системы при увеличении 16,32,200 и 1000 раз в тимусе производили определение содержания основных компонентов коркового и мозгового вещества с учетом соединительнотканых компонентов (капсула, трабекулы — междольковые перегородки) [8]. Железистые эпителиальные образования тимуса (эпителиальные тяжи, эпителиальные канальцы) оценивали морфометрически на тех же срезах при увеличении в 200 раз, подсчитывали все тимусные тельца (Гассалья) на срезах целого органа, а затем рассчитывали их количество на стандартной площади 10 мм<sup>2</sup>. В тимусе на площади среза, равной 2025 мкм<sup>2</sup>, подсчитывали абсолютное количество иммунобластов, средних и малых лимфоцитов, незрелых и зрелых плазматических клеток, митотически делящихся и гибнущих клеток, макрофагов, моноцитов, эпителиоретикулярных клеток. Клетки тимуса подсчитывали в центральной части коркового вещества, кортикомедуллярной зоне и центральной части мозгового вещества. Полученные результаты обрабатывали с использованием методов вариационной статистики, определяли значимость различий с помощью критерия Стьюдента, значимыми считали различия при  $P < 0,05$  [6].

**Результаты исследования.** Строма тимуса представлена соединительнотканной капсулой, от которой вглубь отходят перегородки,

делящие его на дольки. От капсулы и междольковых перегородок отходят трабекулы. В капсуле, междольковых перегородках и крупных трабекулах проходят кровеносные и лимфатические сосуды. Паренхима тимуса разделена на корковое и мозговое вещество. Цитологический состав коркового и мозгового вещества включает зрелые и незрелые лимфоидные клетки — иммунобласты, средние и малые лимфоциты, митотически делящиеся клетки, клетки с пикнотическими ядрами, кроме того присутствуют макрофаги с фагоцитированными остатками погибших лимфоцитов, а также эпителиоретикулярные клетки.

У интактных животных эпителиальный компонент тимуса был представлен диффузной сетью эпителиоретикулярных клеток, железистыми эпителиальными структурами и тимусными тельцами, последние состоят из нескольких концентрически расположенных эпителиоретикулярных клеток. Железистые эпителиальные структуры встречались в виде тяжей и трубчатых образований, стенка которых образована одним слоем эпителиоретикулярных клеток.

Результаты морфометрии структурных компонентов тимуса и их клеточный состав у интактных животных и при ЧЛОК представлены в табл. 1 и 2.

Результаты морфометрического исследования тимуса при ЧЛОК гелий-неоновым лазером показали, что относительная площадь мозгового вещества тимуса уменьшилась на 8,9%. Площадь соединительнотканых структур тимуса увеличилась на 33,8%, в основном за счет отека и разрыхления трабекул и капсулы (см. табл. 1). Количество телец Гассалья значимо не увеличивалось ( $2,94 \pm 0,75$ ) по сравнению с контролем

Таблица 1

**Относительное содержание (%) структурных компонентов тимуса в норме (контроль) и при воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения с различной длиной волны ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ )**

Структурные компоненты тимуса	Контроль (интактные животные)	Лазер на мол. азоте ( $\lambda = 337$ нм)	Аргоновый лазер ( $\lambda = 488$ нм)	Гел-неон. лазер ( $\lambda = 632$ нм)	Арсенид-галл. лазер, ( $\lambda = 950$ нм)
Корковое вещество	62,5±2,1	57,0±0,82*	60,0±1,04	62,1±1,1	60,0±1,12
Мозговое вещество	27,2±0,84	29,0±0,47*	27,0±0,33	24,7±0,1*	30,0±1,02*
Железистые эпителиальные образования	0,08±0,02	0,11±0,05	0,13±0,04	0,14±0,05	0,15±0,04
Соединительнотканые компоненты (капсула, трабекулы)	9,8±0,47	14,0±0,42*	13,0±0,82*	13,1±0,63*	10,0±0,11
Соотношение коркового и мозгового вещества	2,29±0,01	1,96±0,31*	2,22±0,03*	2,51±0,04*	2,0±0,21*
Паренхиматозно/стромальное соотношение	9,15±1,24	6,14±0,72*	6,69±0,62*	6,62±0,06*	9,0±0,68*

\* Различия значимы по сравнению с контрольными животными при  $P < 0,05$ .

Таблица 2

**Клеточный состав структурных компонентов тимуса в норме  
и при воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения с различной длиной волны ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ) (%)**

Клеточные элементы	Экспериментальные группы				
	Контроль (интактные животные)	Лазер на мол. азоте ( $\lambda = 337$ нм)	Аргонный лазер ( $\lambda = 488$ нм)	Гел-неон. лазер ( $\lambda = 632,8$ нм)	Арсенид- галл. лазер, ( $\lambda = 950$ нм)
<i>Центральная часть коркового вещества</i>					
Иммунобласты	3,07±0,17	4,79±0,13*	3,78±0,11*	11,11±1,02*	3,45±0,11
Средние лимфоциты	7,38±0,36	17,06±0,35*	18,96±0,29*	29,91±1,24*	10,74±0,24*
Малые лимфоциты	87,69±0,82	66,46±1,04*	69,36±0,84*	58,12±1,41*	77,35±0,94*
Митотически делящиеся клетки	0,44±0,14	0,54±0,19	0,54±0,19	0,54±0,19	0,61±0,22
Клетки с пикнотическими ядрами	0,04±0,01	0,04±0,01	0,04±0,01	0,04±0,01	0,06±0,02
Макрофаги	1,13±0,07	8,68±0,21*	5,88±0,12*	0,12±0,01*	8,45±0,12*
Эпителиоретикулярные клетки	0,15±0,04	2,99±0,09*	2,01±0,06*	0,11±0,01	0,13±0,03*
<i>Кортико-медуллярная зона</i>					
Иммунобласты	1,68±0,11	2,03±0,11	1,70±0,10	2,83±0,04*	5,53±0,16*
Средние лимфоциты	5,88±0,21	20,62±0,21*	9,68±0,25*	13,20±1,12*	15,50±0,22*
Малые лимфоциты	89,07±1,51	62,84±0,51*	81,08±0,92*	83,96±1,41*	64,72±0,85*
Митотически делящиеся клетки	0,1±0,06	5,74±0,14*	0,55±0,27	0,55±0,27	0,2±0,05
Клетки с пикнотическими ядрами	0,59±0,26	0,59±0,26	0,48±0,11	0,48±0,11	0,83±0,28
Макрофаги	0,84±0,01	8,78±0,31*	6,98±0,08*	0,08±0,01*	6,98±0,24*
Эпителиоретикулярные клетки	0,85±0,02	5,74±0,14*	2,32±0,11*	0,11±0,01*	7,27±0,13*
<i>Центральная часть мозгового вещества</i>					
Иммунобласты	0,72±0,05	9,65±0,21*	1,94±0,03*	15,23±1,06*	6,84±0,24*
Средние лимфоциты	4,34±0,13	13,49±0,32*	9,31±0,21*	26,66±1,51*	11,73±0,21*
Малые лимфоциты	83,79±0,86	63,62±0,41*	71,64±0,62*	5,33±1,72*	68,61±0,71*
Митотически делящиеся клетки	0,15±0,04	0,15±0,04	0,25±0,04	0,25±0,04	0,18±0,01
Клетки с пикнотическими ядрами	0,15±0,03	0,15±0,03	0,3±0,02	0,3±0,02	0,14±0,06
Макрофаги	5,02±0,09	9,16±0,24*	8,88±0,21*	0,95±0,02*	7,17±0,31
Эпителиоретикулярные клетки	4,72±0,1	4,08±0,12	8,22±0,14*	0,21±0,01*	5,65±0,12*

\* Различия значимы по сравнению с контрольными животными при  $P < 0,05$ .

ными значениями ( $3,67 \pm 0,59$ ), однако отмечена тенденция к увеличению размеров железистых эпителиальных образований. Центральная часть коркового вещества тимуса в данной экспериментальной группе характеризовалась увеличением количества иммунобластов в 3,6 раза и средних лимфоцитов в 4 раза на фоне уменьшения числа малых лимфоцитов на 34%, эпителиоретикулярных клеток — на 27%, макрофагов — на 90%. Среди клеток кортико-медуллярной зоны возрастало число иммунобластов на 68%, средних лимфоцитов — в 2,2 раза. Количество макрофагов уменьшалось на 90%, эпителиоретикулярных клеток — на 87%, малых лимфоцитов — на 6%. В центральной части мозгового вещества количество иммунобластов увеличивалось в 21 раз, средних лимфоцитов — в 6 раз. Это сопровождалось уменьшением числа эпителиоретикулярных

клеток на 96%, малых лимфоцитов — на 37%, макрофагов — на 82%. В центральной части мозгового вещества тимуса экспериментальных животных, по сравнению с таковым у интактных животных, возрастало число нейтрофилов в 7,87 раза и повышалось количество моноцитов (см. табл. 2).

Относительная площадь коркового вещества тимуса при ЧЛОК арсенид-галлиевым лазером уменьшалась на 4% по сравнению с таковой у интактных животных, а мозгового — увеличивалась на 10%. Площадь соединительнотканых структур тимуса (капсула, трабекулы) увеличивалась на 2%. Кортико-мозговое соотношение тимуса уменьшалось на 13%, паренхиматозно-стромальное — на 2% (см. табл. 1). Количество телец Гассалья значимо не изменялось по сравнению с контрольными значениями, отмечена тенденция

к увеличению относительных размеров железистых эпителиальных образований. В центральной части коркового вещества тимуса отмечено увеличение количества иммунобластов на 12 %, средних лимфоцитов — на 45 %, макрофагов — в 7,4 раза на фоне уменьшения числа малых лимфоцитов на 12 % и эпителиоретикулярных клеток — на 14 %. Среди клеток кортико-медуллярной зоны тимуса возрастало число иммунобластов (в 3,2 раза), средних лимфоцитов — в 2,6 раза, макрофагов — в 7,7 раза, эпителиоретикулярных клеток — в 8,6 раз, количество малых лимфоцитов уменьшалось на 28 %. В центральной части мозгового вещества динамика клеточного состава выражалась в увеличении численности иммунобластов в 9,5 раз, средних лимфоцитов — в 2,7 раза, макрофагов — на 43 %, эпителиоретикулярных клеток — на 20 %, что сопровождалось уменьшением количества малых лимфоцитов на 37 % (см. табл. 2).

При ЧЛОК аргоновым лазером площадь коркового вещества тимуса уменьшалась на 4 %. Увеличивались на 32,6 % размеры соединительнотканых компонентов тимуса (капсула, трабекулы). Кортиково-мозговое и паренхиматозно-стромальное соотношения уменьшались в сравнении с контролем на 3 % и 27 % соответственно. Количество телец Гассалья значительно не изменялось ( $3,84 \pm 0,75$ ) по сравнению с контрольными значениями, отмечена тенденция к увеличению размеров железистых эпителиальных образований. В центральной части коркового вещества тимуса выявлено увеличение числа иммунобластов на 23 %, средних лимфоцитов — в 2,5 раза, эпителиоретикулярных клеток — в 13 раз, макрофагов — в 5,2 раза. В кортико-медуллярной зоне тимуса встречались единичные иммунобласты, численность средних лимфоцитов увеличивалась на 64 %, эпителиоретикулярных клеток — в 2,7 раза, макрофагов в 7,7 раза. В центральной части мозгового вещества также возрастало число иммунобластов в 2,7 раза, средних лимфоцитов — в 2 раза, макрофагов — на 77 %, эпителиоретикулярных клеток — на 74 %. Увеличение числа макрофагов и эпителиоретикулярных клеток в зонах тимуса может свидетельствовать об активации ретикулоэндотелиальной системы в органе.

При ЧЛОК лазером на молекулярном азоте отмечено резкое увеличение, по сравнению с показателями в контрольной группе, численности эпителиоретикулярных клеток и макрофагов в центральной части коркового вещества и кортико-медуллярной зоне органа. В центральной части коркового вещества тимуса число иммунобластов увеличивалось на 56 %, средних лимфоцитов — в 2,3 раза, макрофагов — в 7,7 раза, эпителио-

ретикулярных клеток — в 19 раз, а в кортико-медуллярной, или пограничной, зоне тимуса, численность иммунобластов увеличивалась на 21 %, средних лимфоцитов — в 3,5 раза, эпителиоретикулярных клеток — в 6,8 раза, макрофагов — в 10,4 раза. В центральной части мозгового вещества увеличивалось количество иммунобластов в 13,4 раза, средних лимфоцитов — в 3,1 раза, макрофагов — на 82 %. По сравнению с интактными животными и животными экспериментальных групп, у которых периферическую кровь облучали лазерами с другими длинами волн, при облучении крови лазером на молекулярном азоте в структуре тимуса наблюдалось максимальное увеличение доли соединительнотканного компонента и уменьшение площади коркового вещества. Так, площадь коркового вещества тимуса уменьшилась на 9 %, а мозгового — увеличилась на 6,6 %. Площадь соединительнотканых компонентов тимуса (капсула, трабекулы) увеличилась на 43 %. Кортиково-мозговое и паренхиматозно-стромальное соотношения уменьшились в сравнении с контролем на 15 % и 33 % соответственно. Количество телец Гассалья значительно возрастало ( $4,84 \pm 0,35$ ) по сравнению с контрольными значениями, отмечена тенденция к увеличению размеров железистых эпителиальных образований.

Обсуждение полученных данных. Результаты исследования макро- и микроанатомического строения и клеточного состава тимуса у контрольных животных, полученные в нашей работе, в целом согласуются с классическими представлениями о структуре тимуса [13, 14]. В нашем исследовании при выполнении чрескожного лазерного облучения крови происходило облучение близлежащих тканей, включая все слои кожи, возможные акупунктурные точки, нервные волокна, лимфатические узлы и сосуды, а также ткани мышц и костей. Экспериментальными исследованиями установлено, что проникающая способность излучения от ультрафиолетового до оранжевого диапазона увеличивается от нескольких микрометров (1–20 мкм) до 20–30 мм, с пиком проникающей способности в ближнем инфракрасном (при  $\lambda = 950$  нм — 70 мм) [7]. Из четырех длин волн лазерного излучения, используемого в нашей работе, в полной мере воздействие на кровь оказывал инфракрасный (длина волны — 950 нм) и гелий-неоновый (632,8 нм) лазеры, а излучение лазера на молекулярном азоте (ультрафиолетовый диапазон) и аргонового лазера (видимый синий диапазон) лишь частично достигало крови, за счет воздействия на кровеносное и лимфатическое микроциркуляторное русло кожи и подлежащих мягких тканей.

Лазерное излучение в ультрафиолетовой области (180–400 нм) преимущественно поглощается молекулами белков, липидов, наиболее сильно воздействуя на азотистые основания нуклеиновых кислот, поэтому они в большей мере подвергаются фотохимическим превращениям, что может привести к мутациям и гибели клеток [3]. Возможно, это и является причиной, почему при облучении тканей лазером на молекулярном азоте (длина волны — 337 нм) выявлены выраженные структурные преобразования в тимусе. В частности, мы обнаружили максимальное уменьшение размеров коркового вещества и увеличение доли соединительнотканых компонентов в тимусе. Это согласуется с данными литературы, свидетельствующими, что уменьшение размера или массы тимуса часто является одним из первых проявлений воздействий различной природы на тимус, характеризующих его как орган-мишень [10].

При воздействии НИЛИ с данной длиной волны обращало на себя внимание увеличение численности эпителиоретикулярных клеток и макрофагов в корковой и кортико-медуллярной зоне органа, что, по данным литературы, может свидетельствовать о функциональном напряжении тимуса и активации его гормональной функции [13].

Известно, что основная функция эпителиоретикулярных клеток состоит в создании специфической внутренней среды тимуса, в которой пролиферируют и созревают лимфоциты, а также выделение гормонов, синтезируемых в мозговом веществе и оказывающих системное действие [12].

Энергия фотонов аргонового лазера достаточна для нарушения сильных внутримолекулярных связей при терапевтической плотности потока [3]. Результаты исследования тимуса при воздействии излучения аргонового лазера (длина волны 488 нм) выявили в центральной части коркового и мозгового вещества выраженное увеличение числа митотически делящихся клеток в сравнении с аналогичным показателем в экспериментальных группах, где производили облучение иными лазерами. Это, вероятно, является специфическим морфологическим проявлением действия именно данной волны НИЛИ, поскольку, как свидетельствуют данные литературы, корковые лимфоциты (timoциты) особенно восприимчивы к воздействию эндогенных кортикостероидов [10], стимуляция выработки которых наблюдается при низкоинтенсивном лазерном облучении крови [4].

Увеличение числа эпителиоретикулярных и делящихся клеток в тимусе при воздействии

аргонового лазера может свидетельствовать об активации его гормональной функции, поскольку хемокины, которые вырабатываются стромальными клетками тимуса, имеют ключевую роль в локализации развивающихся Т-клеток [15].

Глубина проникновения излучения гелий-неонового НИЛИ (длина волны — 632,8 нм) составляет от 3 до 10 мм, поэтому при его воздействии происходит облучение не только кожи и прилегающих к ней тканей, но и крови внутри сосуда (бедренная вена). Полученные нами данные указывают, что ЧЛОК гелий-неоновым лазером вызывало значимое увеличение площади соединительнотканного компонента тимуса, преимущественно за счет разрыхления и отека капсулы и трабекул, способствовало активации процессов лимфопоэза в тимусе — значимо увеличивалось количество незрелых лимфоидных клеток во всех структурно-функциональных зонах, приводило к увеличению числа макрофагов и эпителиоретикулярных клеток. Сходные данные были выявлены при воздействии на область тимуса экспериментальных животных НИЛИ инфракрасного диапазона в импульсном режиме, которые свидетельствуют о развитии в тимусе активных компенсаторных процессов, состоящих в активации генома его клеток [5].

Можно предположить, что выявленные изменения обусловлены воздействием гелий-неонового лазерного излучения на неспецифические фотоакцепторы — биополимеры (белки, ферменты, биологические мембраны, фосфолипиды, пигменты и др.) и биологические жидкости (лимфа, кровь, внутриклеточная жидкость), которые достаточно хорошо изучены [7]. Возможно, что при воздействии данной длины волны лазерного излучения играет роль и известный эффект усиления проницаемости стенок сосудов [4], что в определенной степени подтверждалось увеличением количества клеток крови (нейтрофилов и моноцитов) в мозговом веществе тимуса.

Излучение арсенид-галлиевого лазера (длина волны — 985 нм) наиболее глубоко проникает в ткани организма, воздействуя на глубоко расположенные кровеносные сосуды, что, по-видимому, и обуславливает выраженное фотобиостимулирующее действие. При воздействии этого лазера в тимусе выявлено выраженное увеличение размеров мозгового вещества по сравнению с таковыми у интактных животных и с полученными в других экспериментальных группах. Клеточный состав тимуса характеризовался значительным увеличением численности незрелых форм лимфоидного ряда в кортико-медуллярной области и в центральной части мозгового вещества, что может

свидетельствовать об активации процессов пролиферации и миграции лимфоидных клеток [13]. Наши данные подтверждают результаты исследований других авторов, которые свидетельствуют, что под влиянием инфракрасного лазерного излучения происходит миграция клеток из коркового вещества тимуса в мозговое [1].

Показано также, что в качестве первичного действующего фактора при воздействии НИЛИ в инфракрасном диапазоне выступает термодинамический сдвиг, приводящий к высвобождению ионов кальция из депо с последующей активацией кальцийзависимых биохимических и физиологических процессов [3, 4, 7].

В целом можно заключить, что НИЛИ при кратковременном облучении проекции бедренной вены приводит к преобразованиям клеточного состава тимуса, степень выраженности которых зависит от длины волны лазерного излучения. Поскольку лазерное излучение в ультрафиолетовом (337 нм) и в видимом синем (488 нм) диапазонах поглощается в коже и подкожно-жировой ткани, не достигая крови в магистральных сосудах, можно предположить, что морфологические преобразования в тимусе происходят за счет реализации эффекта фотобиостимуляции, воздействия на специфические и неспецифические фотоакцепторы, попадающие в область облучения. При воздействии лазерным излучением в видимом красном (632,8 нм) и инфракрасном (985 нм) диапазонах спектра за счет увеличения глубины проникновения излучения происходит комплексное облучение тканей и крови в бедренной вене животных, что, по-видимому, путем подключения неспецифических механизмов фотоактивации крови приводит к характерным преобразованиям строения тимуса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бугаева И.О., Егорова А.В., Злобина О.В. Кинетика клеточных популяций тимуса под влиянием инфракрасного лазерного излучения // Саратовск. научно-мед. журн. 2010. Т. 6, № 1. С. 23–26.
- Герасименко М.Ю., Гейниц А.В. Лазерная терапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах. М.: Триада, 2015.
- Зубкова С.М. Биофизические основы лазерной терапии // Физиотер. бальнеол. реабил. 2009. № 1. С. 3–9.
- Козлов В.И., Буйлин В.А., Самойлов Н.Г., Марков И.И. Основы лазерной физио- и рефлексотерапии / Под ред. О.К. Скобелкина. Самара; Киев: Здоровье, 1993.
- Кончугова Т.В. Оптимизированные лазерные воздействия в повышении функциональных резервов организма при стрессогенной дизадаптации (экспериментально-клиническое исследование): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2007.
- Лапач С.Н., Чубенко Л.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. Киев: МОРИОН, 2001.
- Москвин С.В. О первичных механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения // Физиотер., бальнеол. и реабил. 2012. № 3. С. 42–45.
- Саркисов Д.С., Перов Ю.Л. Микроскопическая техника: Руководство. М.: Медицина, 1996.
- Bal A., Eksioğlu E., Gurcay E. et al. Low-level laser therapy in subacromial impingement syndrome // Photomed. Laser Surg. 2009. Vol. 27, № 1. P. 31–36.
- Elmore S.A. Enhanced histopathology of the thymus // Toxicol. Pathol. 2006. Vol. 34. P. 656–665.
- Lopes A.L., Rigau J., Zangaro R.A. et al. Comparison of the low level laser therapy effects on cultured human gingival fibroblasts proliferation using different irradiance and same fluence // Lasers Surg. Med. 2001. Vol. 29, № 2. P. 179–184.
- Kendall M.D., Loxley H.D., Dashwood M.R. et al. Could ACTH be of prime importance in rapidly altering the thymocyte composition in the thymus? // In Vivo Immunology: Ser. Advances in Experimental Medicine and Biology. N. Y.: Plenum Press, 1994. Vol. 355. P. 107–111.
- Pearse G. Normal structure, function and histology of the thymus // Toxicol. Pathol. 2006. Vol. 34. P. 504–514.
- Sainte-Marie G., Peng F.S., Marcoux D. The stroma of the thymus of the rat: morphology and antigen diffusion, a reconsideration // Am. J. Anat. 1986. Vol. 177, № 3. P. 333–352.
- Takahama Y. Journey through the thymus: stromal guides for T-cell development and selection // Nat. Rev.: Immunology. 2006. Vol. 6. P. 127–135.

Поступила в редакцию 19.12.2016  
Получена после доработки 12.02.2017

### THYMUS STRUCTURE AFTER PERCUTANEOUS EXPOSURE OF BLOOD TO LASER IRRADIATION OF DIFFERENT WAVELENGTH

V.V.Astashov<sup>1</sup>, V.I.Kozlov<sup>1</sup>, Yu.I.Borodin<sup>2</sup>,  
Yu.A.Antsyreva<sup>2</sup>, O.A.Zayko<sup>1</sup>

The purpose of this study was to detect morphological characteristics of the rat thymus after percutaneous blood irradiation with laser different wavelengths and otherwise normal conditions.

Thymus structure and cytoarchitectonics were studied in 50 male Wistar rats by histological methods after percutaneous exposure of blood to low power laser irradiation of the femoral vein projection with wavelengths of 337, 488, 632.8 and 950 nm. The results have shown that low power laser percutaneous irradiation of the blood caused the changes of thymus structure and cytoarchitectonics, however their degree depended on laser wavelength. An increment in laser wavelength resulted in the increased number of immature lymphoid cells and the reduced number of epithelio-reticular cells in different structural-functional zones of the thymus. Possible mechanisms of laser irradiation effect on the thymus are discussed.

**Key words:** thymus, low power laser radiation, blood

<sup>1</sup> Department of Human Anatomy, Russian University of Peoples' Friendship, Moscow; <sup>2</sup> Laboratory of Physiology of Protection System, Institute of Clinical and Experimental Lymphology, Novosibirsk