

АППАРАТУРА ДЛЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

© 2007 г. **В. Ю. Плавский***; **В. А. Мостовников***, канд. физ.-мат. наук; **А. Б. Рябцев***;
Г. Р. Мостовникова*, канд. хим. наук; **Л. Г. Плавская***; **Н. К. Никсеенко***, канд. физ.-мат. наук;
И. А. Леусенко*; **А. В. Мостовников***; **В. В. Гиневич***; **В. С. Улащик****, доктор мед. наук;
Н. С. Сердюченко***, доктор мед. наук; **П. С. Русакевич****, доктор мед. наук;
А. В. Волотовская**, канд. мед. наук; **И. А. Рыбин****, канд. мед. наук

* Институт физики НАН Белоруссии, г. Минск, Белоруссия

** Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Белоруссия

*** Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск, Белоруссия

E-mail: plavskii@dragon.bas-net.by

Проведен детальный сравнительный анализ медико-технических и функциональных характеристик более 180 модификаций современных лазерных терапевтических аппаратов, производимых 70 ведущими профильными фирмами США, стран Европейского Союза, Японии, Канады и др., с аналогичной продукцией, серийно выпускаемой в СНГ (прежде всего в Российской Федерации и Белоруссии). Обсуждаются основные тенденции, прослеживаемые при создании новых образцов лазерной медицинской аппаратуры терапевтического назначения. Показано, что ряд широко используемых в странах СНГ фототерапевтических технологий (комбинированная лазерная терапия излучением различной области спектра, сочетанная магнитолазерная терапия, внутривенное облучение крови с использованием одноразовых стерильных световодных систем и др.), обеспечиваемых современными отечественными лазерными терапевтическими аппаратами, практически не реализованы в аппаратах западного производства. Отмечается, что несмотря на отдельные скептические публикации о терапевтической эффективности и возможностях метода низкоинтенсивной лазерной терапии, в целом наблюдается значительная активизация разработок аппаратуры для данной технологии, а соответственно, и ее использования в клинической практике.

Коды OCIS: 170.3890, 140.0140, 140.2020.

Поступила в редакцию 12.07.2006.

1. Место и роль низкоинтенсивной лазерной терапии в арсенале средств современной медицины

Первые данные, свидетельствующие о биологическом действии и терапевтической эффективности низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ), относятся к концу 60-х – началу 70-х годов прошлого столетия [1–10]. Они были получены с использованием в качестве источника излучения гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм) – в то время одного из немногих промышленно выпускаемых лазеров, характеризующихся относительно невысокой стоимостью, надежностью в эксплуатации и простотой управления. За прошедшие тридцать пять лет лазерная терапия получила широкое развитие и заняла особое место в ряду применявшихся до этого в медицинской практике лечебных физических факторов. В настоящее время диапазон использования лазеров низкой интенсивности в медицине настолько велик (лечение, реабилитация, профилактика), а спектр терапевтического действия указанного фактора физической природы настолько широк, что стало принятым говорить о создании нового крупного направления современной физиотерапии – низ-

коинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ – Low Level Laser Therapy) [11–19]. Согласно представлениям, устоявшимся в медицинской и биофизической литературе, низкоинтенсивным принято считать излучение, соответствующее диапазону интенсивностей, оказывающих терапевтическое действие на организм не за счет тепловых (термических) процессов. Как правило, средняя мощность низкоинтенсивного лазерного излучения не превышает 500 мВт. При этом в литературе имеется некоторое разночтение в вопросах, касающихся спектрального диапазона излучения, соответствующего категории НИЛИ. Так, в англоязычных источниках к данной категории относят лишь излучение красной и ближней инфракрасной (ИК) областей спектра (длина волны от $\lambda = 632,8$ нм – гелий-неоновый лазер, до $\lambda = 1064$ нм – Nd:YAG-лазер). В то время как излучение ультрафиолетовое (УФ) диапазона (например, $\lambda = 308$ нм – эксимерный лазер), достаточно широко используемое для лечения кожных заболеваний, не включают в категорию НИЛИ. В отечественной же литературе наряду с красным и ИК излучением к указанному физическому фактору относят и длинноволновое УФ излучение (например, $\lambda = 325$ нм, $\lambda = 337,1$ нм – гелий-кадмиевый и

азотный лазеры соответственно), и излучение синезеленой области спектра (например, $\lambda = 441,6$ нм, $\lambda = 510,6$ и $578,2$ нм – гелий-кадмиевый лазер и лазер на парах меди соответственно).

Следует отметить, что по мере накопления данных о механизмах, определяющих терапевтическое действие лазерного излучения, а также по мере развития и совершенствования лазерной техники и волоконно-оптических средств его доставки к очагам поражения различной локализации перечень заболеваний, где использование НИЛИ имеет благоприятный характер, непрерывно расширяется. Клинические исследования последних лет свидетельствуют об успешном использовании указанного физического фактора при лечении таких патологий (онкологические заболевания [20–22], туберкулез [23–24], последствия сахарного диабета [25], перинатальные болезни новорожденных детей [26] и др.), которые еще 10–15 лет тому назад считались противопоказаниями к его использованию. Факторами, способствующими росту популярности НИЛТ среди пациентов и ее повсеместному использованию, являются: а) высокая терапевтическая эффективность и широкий спектр показаний к применению метода, включая лечение хронических и дегенеративно-дистрофических заболеваний, когда только лекарственная терапия является недостаточно эффективной; б) отсутствие (в подавляющем большинстве случаев) побочных эффектов, свойственных многим фармпрепаратам; в) возможность применения НИЛТ в комплексе с медикаментозной терапией и с другими физиотерапевтическими факторами, г) наличие выраженного анальгезирующего (обезболивающего) действия, д) возможность проведения процедуры лазерной терапии (внутреннее или надвенное чрезкожное воздействие на кровь; воздействие на биологически активные точки и зоны и др.) при недоступности (из-за наличия повязки или гипса) очага поражения к прямому воздействию лазерным излучением; е) неинвазивность и комфортность большинства лазеротерапевтических процедур, ж) доступность аппаратуры.

Тот факт, что НИЛТ – клиническая реальность, а не миф, подтверждается положительными результатами лечения больных различных патологий, описанными многими авторами более чем в 3000 публикаций (см., например [11–26]). Причем, как свидетельствует анализ по базам данных Medline, Embase, Cochrane Library, PubMed, Biological Abstract, BIOSIS, более чем в 140 клинических исследованиях (см., например, [27–37]) выводы об эффективности методов НИЛТ получены с позиций доказательной медицины (рандомизированные клинические испытания), а некоторые из них – при так называемом “двойном слепом контроле”, когда ни

врач, ни пациент не поставлены в известность, в каком из вариантов используется плацебо, а в каком – лазерное воздействие.

Важно подчеркнуть, что включение НИЛИ в арсенал средств современной медицины выгодно не только с социальной точки зрения, но и экономически, так как сокращает сроки лечения и сроки временной нетрудоспособности, не вызывает побочных эффектов, позволяет сократить или отказаться от применения ряда дорогостоящих лекарственных препаратов [38, 39]. Так, например, независимый экономический расчет, проведенный Белорусским государственным экономическим университетом на основании двухлетней выборки больничных листов травматологических отделений 6-й городской клинической больницы г. Минска, показал [39], что если при оперативном лечении больных с закрытыми переломами костей голени сроки временной нетрудоспособности в контрольной группе (где лазерное излучение не использовалось) составляли 173 ± 5 дней, а в группе, где в комплексное лечение включалось воздействие только гелий-неоновым лазером, – 156 ± 3 дней, то при комбинированном (последовательном) воздействии лазерным излучением синей и красной областей спектра, осуществляемом с использованием разработанной нами аппаратуры, сроки временной нетрудоспособности не превышают 141 ± 4 дней. При этом экономический эффект от использования аппаратов на базе гелий-неонового лазера для лечения больных данной категории составил 266 долларов США, а при использовании комбинированной лазерной терапии 413 долларов США в пересчете на одного пациента в ценах 2000–2001 года.

По данным [38], если при медикаментозном лечении фоновых и предраковых заболеваний шейки матки – потенциально опасной и достаточно широко распространенной патологии у женщин репродуктивного возраста – процент полностью излечиваемых пациенток составляет 14% от пролеченного контингента, то включение комбинированного воздействия лазерным излучением синей и красной областей спектра в комплексную терапию поднимает эффективность метода до 67%.

Следует, однако, отметить, что несмотря на многочисленные данные об успешном использовании лазерного излучения для лечения заболеваний различной этиологии в литературе имеются и сообщения, в том числе полученные с позиций доказательной медицины (рандомизированные исследования) [40–43], свидетельствующие, что воздействие лазерным излучением по терапевтической эффективности практически не отличается от эффекта плацебо (т. е. от имитации лазерного воздействия). По нашему мнению, данный факт свидетельствует, во-первых, о том, что лазерное излучение, как и лю-

бой другой физической фактор или фармацевтическое средство, не является панацеей, а во-вторых, что для получения выраженного терапевтического действия НИЛИ необходимо обеспечить соблюдение определенных режимов и методик воздействия [11, 44–46]. На далеко не оптимальные параметры воздействующего излучения как причину отсутствия достоверного терапевтического эффекта указывают и авторы обзора [47], критически проанализировавшие возможные причины отсутствия терапевтического действия НИЛИ, описанного в ряде литературных сообщений.

Продолжительное время главным “аргументом” скептиков метода НИЛТ было утверждение о его низкой “популярности” в ведущих западных странах. Действительно, вплоть до 2002 года НИЛТ широко использовалась лишь в СССР (СНГ), Китае, Италии, Австралии, Венгрии и некоторых других странах, а в США ее применение носило ограниченный (исследовательский) характер из-за отсутствия соответствующего разрешения Федерального агентства США по контролю над лекарствами и пищевыми продуктами (Food and Drug Administration – FDA). По мнению FDA, сдерживающим моментом для принятия положительного решения на использование НИЛИ было недостаточное научное понимание механизма терапевтического действия указанного физического фактора. При этом, согласно неоднократным заявлениям FDA, наличие многочисленных данных о положительных результатах применения НИЛИ в терапевтических целях, полученных в других странах, не может являться основанием для выдачи разрешения на его использование в США. Тем не менее одним из первых лазерных терапевтических аппаратов, получивших в январе 2002 г. предпродажную нотификацию FDA, был аппарат MicroLight 830 Laser System, долгие годы выпускаемый в Европе датской фирмой CB Medico и представленный в FDA к сертификации MicroLight Corporation of America. Как показывает ретроспективный анализ, принятие FDA решения о возможности использования методов НИЛИ в медицинских учреждениях США дало новый импульс в активизации разработок лазерной аппаратуры в разных странах, в том числе и на Европейском континенте. Так, к концу 2005 г. сертификат FDA уже был получен примерно на 15 аппаратов, обеспечивающих проведение НИЛТ. О повышенном внимании к оборудованию и технологиям НИЛТ свидетельствует и тот факт, что на одной из крупнейших в мире ежегодной медицинской выставке в Дюссельдорфе (MEDICA-2005) 70 фирмами было представлено 85 единиц оборудования для НИЛТ.

Значительные успехи, достигнутые в настоящее время в различных областях медицины за счет ис-

пользования данного физиотерапевтического метода в лечебно-профилактических и реабилитационных целях, были бы невозможны без соответствующего аппаратурного обеспечения медицинских учреждений.

В настоящей работе содержится сравнительный анализ медико-технических и функциональных характеристик современных лазерных терапевтических аппаратов (более 150 модификаций), производимых 50 ведущими профильными фирмами США, стран ЕЭС, Японии, Канады и др., с аналогичной аппаратурой, производимой в Российской Федерации и Белоруссии. При этом в данном обзоре не ставилось целью рассматривать существующие точки зрения на механизмы фотофизических процессов, определяющие биологическое и терапевтическое действие НИЛИ.

2. Спектральный диапазон лазерного излучения

Как свидетельствуют литературные данные [11–39, 44–52], а также анализ веб-сайтов фирм-производителей аппаратуры для НИЛТ (см. Приложение), при правильно выбранных параметрах (плотности мощности и режиме воздействующего излучения, времени воздействия) терапевтический эффект оказывает лазерное излучение от ближней УФ ($\lambda = 308$ нм, эксимерный лазер, предназначенный для лечения кожных заболеваний, производства фирм PhotoMedex Inc. и Surgilight Inc., США) до дальней ИК ($\lambda = 10\,600$ нм, сканер на основе CO_2 -лазера производства фирм ASA S.r.l. и TecnoLaser S.r.l., Италия) областей спектра. Перечень других длин волн лазерных источников, используемых в аппаратуре для НИЛТ, включает: $\lambda = 325$ и $441,6$ нм (гелий-кадмиевые лазеры), $\lambda = 337,1$ нм (азотный лазер), $\lambda = 457,9, 476,6, 488,0, 514,5$ нм (аргоновый лазер), $\lambda = 510,6$ и $578,2$ нм (лазер на парах меди); $\lambda = 532$ и 1064 нм (Nd:YAG-лазер, вторая и первая гармоники); $\lambda = 632,8, 1150$ и 3390 нм (гелий-неоновый лазер); $\lambda = 635, 650, 655, 660, 670, 675, 680, 685$ нм (полупроводниковые лазеры – лазерные диоды, LD, на основе AlGaInP/GaA); $\lambda = 780, 785, 790, 808, 810, 820, 830, 850, 860, 870, 875, 880, 900, 980, 1060$ нм (LD на основе GaAlAs) и $\lambda = 890, 904–905, 915, 950$ нм (LD на основе InGaAsP/InP), $\lambda = 1260, 1300, 1320, 1550$ нм (LD на основе InGaAsP). При этом, однако, следует отметить, что несмотря на столь обширный перечень длин волн, способных оказывать терапевтическое действие, в настоящее время наиболее широкое применение в клинической практике нашли лазерные терапевтические аппараты с длиной волны $\lambda = 670, 780, 830, 880$ нм (непрерывный режим), а также с $\lambda = 890$ и 904 нм (импульс-

ный режим). Одной из причин такого приоритета указанных длин волн является их соответствие так называемому “окну прозрачности” биологических тканей, чем обеспечивается наибольшая глубина проникновения излучения в ткань. К тому же лазерные диоды на указанных длинах волн являются наиболее доступными и надежными источниками.

3. Средняя мощность лазерного излучения

Первые лазеры, допущенные Министерством здравоохранения к использованию в клинической практике, работали в непрерывном режиме и характеризовались средней мощностью излучения 2–15 мВт. Однако по мере развития лазерных медицинских технологий, а также появления на лазерном рынке доступных и надежных полупроводниковых лазеров красной и ближней ИК областей спектра все больший интерес со стороны медицинских специалистов начал проявляться к лазерным источникам мощностью 20–50 мВт, а затем и 100–500 мВт.

В настоящее время для реализации терапевтического действия лазерного излучения в различных фототерапевтических технологиях используются аппараты, работающие в непрерывном режиме с мощностью излучения от $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 2\text{--}5$ мВт ($\lambda = 635\text{--}675$ нм, красная область спектра) до $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 7,5$ Вт ($\lambda = 980$ нм, лазер IV класса по степени опасности генерируемого излучения производства Avicenna Laser Technology Inc., США). Причем указанный высокомогущий лазер стоимостью порядка



Рис. 1. Внешний вид аппарата магнитолазерного терапевтического “Снаг”.

40,0 тыс. долларов прошел предпродажную нотификацию FDA. Отметим при этом, что, как свидетельствует анализ рынка, среди новых разработок одной из наиболее продаваемой в Европе моделью являются лазерные терапевтические установки с мощностью излучения на выходе $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 500$ мВт ($\lambda = 808\text{--}810$ нм). Заслуживает быть отмеченным тот факт, что еще 4–5 лет тому назад терапевтическая аппаратура с $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 500$ мВт практически не производилась и магнитолазерный аппарат “Снаг” [45, 47, 48, 52] (совместная разработка Института физики НАН Беларуси, УП “Аксикон” НАН Беларуси и ПК “Люзар”) был одним из первых в данном классе терапевтических аппаратов. Внешний вид аппарата “Снаг” показан на рис. 1, а технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики аппаратов “Снаг”

Техническая характеристика	Значение
Длина волны излучения лазерного диода, нм	
“Снаг 815” и “Снаг 812”	810 ± 20
“Снаг 855” и “Снаг 852”	850 ± 20
“Снаг 985” и “Снаг 982”	980 ± 20
“Снаг 1065” и “Снаг 1062”	1060 ± 20
Спектральный диапазон излучения LED, нм	450 ± 30
Режимы воздействия оптическим излучением	непрерывный и модулированный
Максимальная мощность лазерного излучения в непрерывном режиме, мВт	
“Снаг 815”, “Снаг 855”, “Снаг 955”, “Снаг 1065”	500
“Снаг 812”, “Снаг 852”, “Снаг 952”, “Снаг 1062”	200
Диапазон дискретной регулировки мощности лазерного излучения, % от максимальной	10, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Частота модуляции, Гц	0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 100, 200, 300, 600, 1000, 2000, 3000, 4000
Суммарная мощность излучения LED, мВт	15
Диапазон дискретной регулировки времени воздействия, мин	0,2, 0,5, 1, 2, 3, 5, 10, 20
Магнитная индукция постоянного магнитного поля, не менее, мТ	20
Потребляемая мощность, не более, ВА	15
Масса, не более, кг	1,3

4. Средняя плотность мощности воздействующего излучения

Несмотря на то что многие фирмы-изготовители не указывают в своих рекламных буклетах информацию о плотности мощности лазерного излучения $W_{\text{ф}}^{\text{макс}}$ (одном из наиболее важных параметров, определяющих результат лечения), как свидетельствуют литературные данные [11–39, 44–52], а также информация веб-сайтов, $W_{\text{ф}}^{\text{макс}}$ варьируется в достаточно широком диапазоне: от $W_{\text{ф}}^{\text{макс}} = 1 \text{ мВт/см}^2$ ($\lambda = 635 \text{ нм}$, $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 5 \text{ мВт}$, Erchonia Medical Inc., США) до $W_{\text{ф}}^{\text{макс}} = 2,4 \text{ Вт/см}^2$ ($\lambda = 820 \text{ нм}$, $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 300 \text{ мВт}$, Omega Laser Systems Ltd., Великобритания) и даже до $W_{\text{ф}}^{\text{макс}} = 2,86 \text{ Вт/см}^2$ ($\lambda = 850 \text{ нм}$, $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 200 \text{ мВт}$, Chattanooga Group, США). Отметим, что у аппарата Avicenna Laser Technology Inc., США ($P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 7,5 \text{ Вт}$) при контактном воздействии $W_{\text{ф}}^{\text{макс}} = 375 \text{ мВт/см}^2$ (так как световое пятно имеет диаметр на поверхности тела около 5 см). Важно подчеркнуть, что несмотря на высокие значения $W_{\text{ф}}^{\text{макс}}$ лазерные аппараты такого типа не вызывают термического эффекта, так как в биологической ткани практически отсутствуют хромофоры, имеющие интенсивное поглощение в ближнем ИК диапазоне длин волн (“окно прозрачности” биологических тканей). Одной из причин, побуждающих разработчиков повышать значение $W_{\text{ф}}^{\text{макс}}$, является стремление увеличить глубину, на которой излучение способно оказывать в ткани выраженный фотобиологический эффект. Так, по мнению специалистов Avicenna Laser Technology Inc., глубина “эффективного” проникновения лазерного излучения в ткань составляет до 10 см ($P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 7,5 \text{ Вт}$, $\lambda = 980 \text{ нм}$).

5. Режимы воздействия лазерным излучением

Современные лазерные терапевтические аппараты как западного, так и отечественного производства обеспечивают возможность воздействия лазерным излучением в непрерывном, модулированном и импульсном режимах [47, 48, 51, 52]. Как правило, режим воздействия, обеспечиваемый аппаратом, зависит от типа используемых лазерных источников. Так, непрерывный режим генерации с приемлемой мощностью излучения обеспечивают многие типы LD красной и ближней ИК областей спектра. Их излучение может быть промодулировано, как правило, с некоторым уменьшением средней мощности излучения $P_{\text{ср}}^{\text{макс}}$. Степень снижения $P_{\text{ср}}^{\text{макс}}$ зависит от глубины модуляции и скважности, а для некоторых типов LD величина $P_{\text{ср}}^{\text{макс}}$ может быть скомпенсирована соответствующим увеличением (по сравнению с непрерывным режимом) ампли-

тудного значения мощности. Типичный диапазон частот модуляции излучения составляет $F_{\text{мод}} = 1 \text{ Гц} - 10 \text{ кГц}$.

По сравнению с лазерными источниками, работающими в непрерывном режиме, перечень лазеров, пригодных к использованию в аппаратуре для НИЛТ, более ограничен. Причем, если в странах бывшего СССР нашли применение для этих целей прежде всего LD с $\lambda = 890 \text{ нм}$ (ЛПИ-108, ЛПИ-120), освоенные Калужским предприятием “Восход”–КРЛЗ (Калужский радиоламповый завод), то подавляющее большинство терапевтических аппаратов импульсного режима западного производства созданы на базе лазерных диодов с $\lambda = 904 - 905 \text{ нм}$ или (что значительно реже) $\lambda = 850 \text{ нм}$. Как показывает сравнительный анализ, если средняя мощность одного импульса LD с $\lambda = 890 \text{ нм}$ не превышает $P_{\text{ср}}^{\text{имп}} = 8 - 15 \text{ Вт}$, а средняя мощность излучения $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 5 \text{ мВт}$ (при длительности импульса $\tau_{\text{имп}} = 50 - 150 \text{ нс}$, частоте их следования $F_{\text{имп}} = 3 - 5 \text{ кГц}$), то лазерные терапевтические аппараты западного производства (Electro-Medical Supplies Ltd., Великобритания, Theralase Inc., Канада) обеспечивают в импульсном режиме следующие параметры: $P_{\text{ср}}^{\text{имп}} = 30 - 50 \text{ Вт}$, $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 100 \text{ мВт}$, $\tau_{\text{имп}} = 200 \text{ нс}$, $F_{\text{имп}} = 20 - 30 \text{ кГц}$. Таким образом, средняя мощность излучения лазерных терапевтических аппаратов западного производства, работающих в импульсном режиме, по крайней мере на порядок выше, чем у аналогов, применяемых в медицинских учреждениях стран бывшего СССР. Отметим при этом, что согласно представлениям, развиваемым в [44], терапевтическое действие импульсного лазерного излучения с частотой следования импульсов $F_{\text{имп}} > 1 \text{ кГц}$ практически не отличается от эффекта, вызываемого непрерывным излучением.

6. Типы источников излучения

Как известно [47], первым в мировой практике специализированным лазерным терапевтическим аппаратом, получившим сертификат Министерства здравоохранения, был аппарат на базе гелий-неонового лазера (СССР, 1974 г.). В настоящее время лазеры данного типа в новых разработках аппаратов для НИЛТ практически не используются, так как по совокупности своих медико-технических характеристик значительно уступают лазерным диодам. К тому же промышленностью освоен выпуск LD с длиной волны $\lambda = 635 \text{ нм}$, близкой к соответствующей длине волны ($\lambda = 632,8 \text{ нм}$) гелий-неонового лазера. К достоинствам LD следует отнести: а) возможность выбора длины волны в широком диапазоне, б) компактность, в) отсутствие высокого напряжения в источниках питания, г) легко реализуе-

мая возможность создания аппаратуры, не требующей заземления; д) малая потребляемая мощность (что делает возможным их работу от встроенного автономного источника питания – малогабаритных аккумуляторов); е) отсутствие хрупких стеклянных компонентов, являющихся неизменным атрибутом газовых лазеров; ж) легко реализуемая возможность изменения воздействующих параметров (мощности излучения, частоты следования импульсов или частоты модуляции); з) надежность и долговечность, и) сравнительно низкая цена и коммерческая доступность.

Хотя в литературе и имеются отдельные сообщения об использовании в терапевтических целях твердотельных лазеров (с диодной накачкой), лазеров на парах металлов, а также лазеров на красителях (в твердотельных матрицах) [51, 52], столь очевидные преимущества LD над другими типами лазерных источников практически вытеснили последние из современной серийно выпускаемой (сертифицированной) лазерной терапевтической аппаратуры. Так, освоение промышленностью LD с мощностью излучения 0,1–1,0 Вт на $\lambda = 1064$ нм позволяет заменить ими Nd:YAG-лазеры в аппаратуре для НИЛТ, что реализовано нами в одной из модификаций аппарата “Снаг” (см. таблицу 1).

Вместе с тем нельзя не отметить и широкое использование в современных фототерапевтических установках (наряду с лазерами) нового типа некогерентных источников света – сверхярких светодиодных диодов (LED – Light Emitting Diode). В отличие от лазерных источников (спектральная ширина излучения которых составляет от 10^{-3} – 10^{-2} нм – для гелий-неонового лазера, до 0,5–3,0 нм – для различных типов LD) излучение LED не является монохроматичным. В зависимости от типа светодиода (спектрального диапазона его свечения) типичная полуширина спектра излучения LED составляет 10 нм для светодиодов, излучающих в УФ, 20–30 нм – в видимой и 40–60 нм – в ближней ИК области.

Несмотря на многочисленные дискуссии о биологическом и терапевтическом действии излучения LED по сравнению с лазерным воздействием, в современной фототерапевтической аппаратуре как западного производства, так и в отечественных разработках широко используются указанные некогерентные источники. Причем они применяются как в матричных (кластерных) типах излучателей совместно с лазерными источниками (LD), так и как самостоятельный физический фактор. Для этих целей в аппаратуре западного производства используются LED, излучающие в красном ($\lambda = 640, 660, 670$ нм) и ближнем ИК ($\lambda = 820, 870, 880, 940, 950$ нм) диапазонах. Суммарная средняя мощность

излучения таких LED-кластеров составляет от 50 мВт до 1,5 Вт (Meditech Int. Inc., Канада; Thor Int. Ltd., Великобритания; Chattanooga Group, США), а значение средней плотности мощности варьируется от 10 до 250 мВт/см² (SIM-MED Ltd., Великобритания) и даже 625 мВт/см² (Chattanooga Group). Для сравнения отметим, что в фототерапевтических аппаратах, серийно выпускаемых в Российской Федерации и Белоруссии, также используются светодиодные источники (аппараты производства фирм “Техника”, “Азор”, “Люзар” и др.). Причем в ряде отечественных разработок светодиодные источники используются в тех случаях, когда отсутствуют LD на соответствующую длину волны. К примеру, в четырехканальном аппарате “Родник-1” (совместная разработка Института физики НАН Беларуси, УП “Аксикон” НАН Беларуси и ПК “Люзар”) в качестве источника синей области спектра ($\lambda = 450$ нм) используется LED, а источниками излучения в красной и ближней ИК областях спектра являются LD. Отметим, что включение в состав аппарата “Родник-1” источника синей области продиктовано стремлением реализовать с его помощью возможность усиления терапевтического эффекта за счет синергизма действия излучения синего и красного спектральных диапазонов. Действительно, продуктивность такого подхода была неоднократно подтверждена [11, 38, 39] при лечении широкого круга заболеваний различной этиологии с использованием в качестве источника синей области спектра как гелий-кадмиевого лазера (лазерный терапевтический аппарат “Лазурит-3М”, $\lambda = 441,6$ нм [47]), так и светодиодного источника (аппарат “Родник-1” [53]). При этом необходимо подчеркнуть, что в аппарате “Родник-1” светодиодный излучатель обеспечивает получение линейно поляризованного излучения за счет применения поляроидной пленки. Причи-

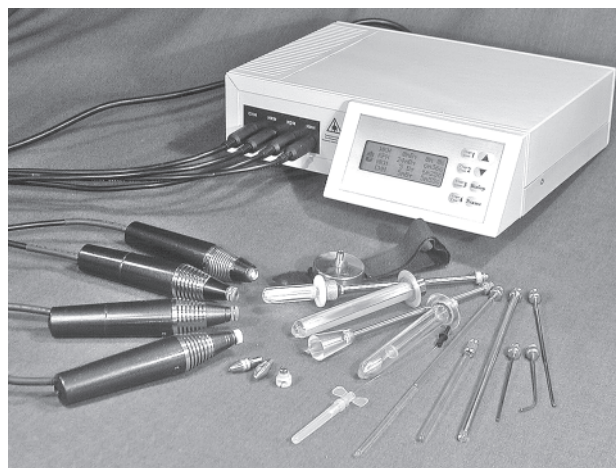


Рис. 2. Внешний вид аппарата магнитолазерного терапевтического “Родник-1”.

Таблица 2. Технические характеристики аппарата “Родник-1”

Техническая характеристика	Значение
Количество независимых каналов	4
Длины волн, нм	450 ± 30
	670 ± 20
	780 ± 20
	890 ± 20
Тип источника излучения на длине волны	450 нм
	670, 780 и 890 нм
Режим воздействия оптическим излучением на длине волны	450, 670 и 780 нм
	890 нм
Диапазон регулировки средней мощности излучения (с шагом не более 1 мВт) в непрерывном режиме, мВт	10 – $\lambda = 450$ нм,
	0–25 – $\lambda = 670$ нм,
	0–30 – $\lambda = 780$ нм
Длительность импульса на уровне 0,5 от максимального значения, нс	100 ± 50 ($\lambda = 890$ нм)
Частота следования импульсов, Гц	75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800
Средняя мощность импульса лазерного излучения, Вт	5
Индукция магнитного поля, мТ	70
Режимы работы	ручной, таймер
Таймер	от 1 с до 60 мин с шагом 1 с
Питание	однофазное, 220 ± 20 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, Вт	не более 30
Масса, кг	не более 5

ной использования поляризационных приспособлений для светодиодного источника в аппарате “Родник-1” послужили данные [45, 54–56], согласно которым некогерентное линейно поляризованное излучение светодиодных источников характеризуется эффективностью регуляторного действия, близкой к эффективности действия когерентного линейно поляризованного НИЛИ с такими же характеристиками. По данным [45, 54–56], неполяризованное НИЛИ не оказывает выраженного влияния на функциональную активность клеток.

Технические характеристики аппарата “Родник-1”, созданного на базе LD и LED, представлены в табл. 2, а его внешний вид показан на рис. 2.

7. Световодные системы для транспортировки излучения

Следует отметить, что первые терапевтические аппараты на основе газовых He–Ne-лазеров были достаточно громоздки (их масса нередко превышала 100 кг), поэтому единственным способом доставки излучения от излучателя к объекту воздействия было применение световодных систем. Как правило, в терапевтических аппаратах тех лет в качестве световодов использовались либо зеркально-при-

менные шарнирные манипуляторы, либо волоконно-оптические кабели на основе многожильных волокон. Позднее в качестве волоконно-оптических систем стали использоваться моноволоконные световоды ступенчатого типа с диаметром светопроводящей жилы порядка 0,4–0,6 мм и длиной 1–2 м.

К достоинствам световодных систем шарнирного типа следует отнести малые потери мощности излучения, возможность фиксации дистального конца световода над любым участком поверхности тела пациента, широкий диапазон изменения размеров светового пятна за счет плавного перемещения одной из линз коллиматора на дистальном конце манипулятора, неизменность плотности мощности воздействующего излучения при изменении расстояния до объекта воздействия в случае использования коллимированного луча, низкую (по сравнению с волоконным световодом) степень деполяризации излучения на зеркально-призмном световоде. Недостатками таких световодов являются невозможность их использования для внутрисполостных воздействий, сложность в настройке и юстировке, более высокая стоимость по сравнению с волоконными системами. В отличие от шарнирных световодов-манипуляторов волоконно-оптические световоды позволяют проводить воздействие излучени-

ем при любой локализации патологического очага как на поверхности тела, так и внутри доступных полостей (с использованием эндоскопической техники), а также осуществлять внутрисосудистое, внутритканевое и внутрисуставное воздействие. К недостаткам волоконных световодов следует отнести склонность к механическим повреждениям, вариабельность плотности мощности воздействующего излучения в зависимости от расстояния между дистальным концом световода и поверхностью тела, увеличение в процессе эксплуатации светопотерь за счет ухудшения качества поверхности торца в результате появления царапин, микросколов и т. д. Кроме того, при прохождении излучения по длинному световоду наблюдается значительная деполяризация излучения (что согласно [45, 54–56] может приводить к снижению биологической активности излучения и его терапевтического действия). Так, на выходе кварц-полимерного световода с диаметром светопроводящего сердечника 0,4 мм и длиной 1,0 м степень поляризации излучения не превышает $p \approx 0,5$, тогда как указанный параметр на выходе излучателя использованного гелий-неонового лазера был близок к $p \approx 1,0$. Причем значение p на выходе моноволоконного световода зависит не только от его длины и диаметра светопроводящего сердечника, но и от радиуса и количества изгибов световода, качества поверхности торцов, наличия микроповреждений вдоль отражающей цилиндрической поверхности.

Для расширения функциональных возможностей терапевтических аппаратов на основе газовых лазеров используются также комбинированные системы транспортировки излучения: воздействия лазерным излучением на очаги поражения наружной локализации проводятся с использованием шарнирных световодов, внутрисосудистые и внутритканевые – с применением волоконных. Переключение светового луча с одной системы транспортировки на другую осуществляется за счет позиционирования в необходимое положение зеркала-дефлектора. В частности, такая система реализована нами в терапевтическом аппарате “Лазурит-3М”, созданном на базе гелий-неонового и гелий-кадмиевого лазеров [47]. Причем наружные воздействия в данном аппарате осуществляются по двум независимым для каждого источника излучения зеркальным шарнирным световодам, а сменный волоконный световод для указанных лазеров является общим.

Малые габариты и масса излучателей современных полупроводниковых лазеров, входящих в состав терапевтических аппаратов, позволяют воздействовать на очаги поражения наружной локализации без использования световодных систем, а за счет манипулирования собственно излучателем. Для

удобства обслуживающего персонала и пациента излучатель может фиксироваться в гибком малоинерционном манипуляторе типа “гусиная шея” [47, 48, 53]. При необходимости внутрисосудистых воздействий терапевтические аппараты на базе LD предусматривают возможность ввода излучения в моноволоконные световодные насадки. Причем в отличие от терапевтических установок на базе газовых лазеров в диодных аппаратах наибольшее распространение получил жесткий световодный инструментарий. Чаще всего ввод излучения LD в световод осуществляется без использования дополнительных оптических элементов. Как правило, такая световодная насадка выполнена из прямой или изогнутой трубки из нержавеющей стали длиной 11–18 см, внутри которой расположен световод диаметром 0,6–1,0 мм. Насадка фиксируется к излучателю с помощью резьбового соединения на минимально возможном расстоянии входного торца световода от поверхности LD. Типичные светопотери при использовании насадок составляют 25–35% и увеличиваются по мере эксплуатации насадок, достигая 50%. Конструкция световодных инструментов обеспечивает либо направленное, либо диффузное распространение излучения. Необходимая диаграмма направленности излучения (“конус”, “конус в сторону”, “цилиндр”, “полуцилиндр”, “сфера” и т. д.) достигается либо за счет обработки дистального конца световода под определенным углом, либо расположением на пути распространения луча металлических поворотных отражателей. Как правило, такие отражатели помещаются внутрь полости, специально созданной между дистальным концом световода и защитной стеклянной оболочкой. Для получения индикатрисы типа “цилиндр” и “полуцилиндр” в указанную полость вводятся светорассеивающие добавки (оксид цинка), расположенные соответствующим образом. С использованием жесткого световодного инструмента (прямого и изогнутого) обеспечивается возможность воздействия на патологические очаги, расположенные в полости рта; облучение стенок прямой кишки и геморроидальных образований, внутривагинальные воздействия.

Кроме световодных насадок жесткого типа, в ряде фототерапевтических технологий используются гибкие волоконно-оптические приспособления. В частности, такие приспособления незаменимы при работе с эндоскопическим оборудованием, а также для трансуретральных, внутрисосудистых, внутрисуставных и внутритканевых (метод фотоблока) воздействий.

Особо следует остановиться на световодной системе, применяемой для внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК), ввиду широкого приме-

нения данного метода лечения. В последнее время для этих целей используются одноразовые стерильные световоды с иглой для пункции вены. Причем все чаще используются чисто полимерные световоды длиной 20–25 см, более дешевые, чем соответствующие кварц-полимерные волокна. Как правило, входной конец полимерного световода фиксируется вдоль оси пластикового конуса, поверхность которого является направляющей, обеспечивающей автоюстировку световода в лазерном излучателе. Такое устройство позволяет максимально быстро проводить подготовительные работы перед началом процедуры ВЛОК. Следует отметить, что степень поляризации излучения при использовании LD и вышеуказанных световодов составляет, как правило, $p \approx 0,7-0,8$ (в то время как на выходе LD величина $p \approx 0,9$).

подавляющее большинство лазерных систем западного производства предполагают воздействие лишь на очаги поражения наружной локализации. Поэтому, как правило, воздействие излучения на различные участки поверхности тела осуществляется контактным (или полуконтактным) путем. Световодные приспособления для транспортировки излучения используются ограниченным числом фирм-разработчиков. В их числе одна из наиболее крупных европейских производителей лазерной терапевтической аппаратуры – швейцарская фирма Lasotronic AG, а также немецкая фирма Reiners&Janssen GmbH.

8. Сочетание оптического воздействия с другими физическими факторами

Как известно [44, 57, 58], одним из способов усиления терапевтической эффективности лазерного излучения является его совместное действие с магнитным полем (постоянным и переменным), ультразвуком, электрическим полем, электромагнитными полями в диапазоне миллиметровых длин волн и т. д. Следует отметить, что возможность таких подходов в аппаратуре западных фирм практически не реализована. Исключением из сказанного является пятиканальный физиотерапевтический аппарат Solaris 709 (Dynatronics Corp., США), обеспечивающий проведение лазеро-, электро- и ультразвуковой терапии. Для сравнения отметим, что методы сочетанной магнитолазерной терапии широко используются в медицинских учреждениях стран СНГ и их реализация предусмотрена в разработках ведущих производителей лазерной аппаратуры Российской Федерации (фирмы “Техника”, “Петролазер”, “Азор”, “Восход”-КРЛЗ, “Милта-ПКП ГИТ”), Украины (ЗАО “Медицинские инновационные технологии”) и Белоруссии (аппараты “Родник-1”, “Люзар-МП”, “Снар”, “Сенс”, “Айболит” – совместные

разработки Института физики НАН Беларуси, УП “Аксикон” НАН Беларуси и ПК “Люзар”). Причем в аппарате “Сенс” предусмотрена возможность одновременного воздействия лазерным излучением и комбинированными магнитными полями (постоянным и переменным) с возможностью изменения частоты переменного магнитного поля в диапазоне 1–50 Гц.

9. Конструктивные решения

При рассмотрении конструктивных решений, используемых при создании лазерных терапевтических аппаратов, прослеживаются несколько подходов: а) создание *узкоспециализированных аппаратов*, обеспечивающих выполнение одного типа физиотерапевтических процедур; б) создание *многопрофильных аппаратов* на базе одного универсального многоканального модуля питания и управления (драйвера), обеспечивающего работу различных типов излучателей; в) создание *сканерных лазерных систем*.

9.1. Узкоспециализированные лазерные аппараты

Среди аппаратуры, обеспечивающей выполнение одного типа физиотерапевтических процедур, наибольшее распространение получили малогабаритные *установки для лазерной акупунктуры*. Как правило, они работают от встроенного источника питания и создаются на базе лазерных диодов красной области спектра ($\lambda = 635-675$ нм) с мощностью излучения $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 5-6$ мВт. Чаще всего в таком аппарате предусмотрен поиск точек акупунктуры, а также обеспечивается контроль длительности воздействия. Наиболее широко указанный тип аппаратуры для НИЛТ представлен фирмами Германии (Beurer GmbH&Co, BOSO GmbH&Co, Petra-electric GmbH&Co), Китая (Seic Shenzhen Shinelong Electronics Industrial). Узкоспециализированные аппараты аналогичного назначения выпускаются также и в странах СНГ. Причем если в 80–90-е гг. прошлого столетия для этих целей использовались гелий-неоновые лазеры (как правило, помещенные в специальный кейс) со световодной транспортировкой излучения, то в последние годы указанные установки создаются на базе LD красной ($\lambda = 635-670$ нм) и ближней ИК областей спектра ($\lambda = 780, 890$ и 1300 нм).

Достаточно разрекламированы у западных пользователей и специализированные *лазерные системы для лечения алопеции* (облысения) – лазерные расчески (производства Lexington Int., США). Указанные аппараты, содержащие в своем составе 10–15 LD, разработанные впервые в Австралии, в

настоящее время прошли предпродажную нотификацию FDA, выпускаются в США, Германии и поставляются более чем в 100 стран мира. Типичная средняя мощность излучения одного диода составляет 2–5 мВт, $\lambda = 650$ или 675 нм. Что касается отечественных разработок, то необходимо отметить, что хотя и имеются сообщения о выпуске аппаратуры данного типа, но широкого использования в косметологии она не нашла [51, 52].

Типичным представителем узкоспециализированных установок являются также аппараты для ВЛОК. Такие лазерные системы, укомплектованные одноразовым стерильным световодом с иглой, хорошо себя зарекомендовали и широко используются в странах СНГ при лечении заболеваний кардиологического профиля, ожогов, гнойно-септических осложнений в хирургической практике и др. Причем в аппаратуре для ВЛОК, разработанной в 80–90-е гг. прошлого столетия, в качестве источника излучения использовался He–Ne-лазер ($\lambda = 632,8$ нм). В последнее время такая аппаратура создается, как правило, на базе LD красной области спектра ($\lambda = 635–675$ нм). Имеются также сообщения об эффективном действии при ВЛОК излучения с $\lambda = 780$ нм. Мощность излучения на дистальном конце световода обычно не превышает 1,5–5 мВт. Наиболее распространены в Российской Федерации аппараты “Мулат”, “Креолка” (фирма “Техника”), “Азор-ВЛОК” (фирма “Азор”) и др. Типичным представителем данного типа лазерных систем в Белоруссии является аппарат “Айболит-КН-5” [48, 53].

Следует отметить, что в США, а также странах Европейского Союза аппаратура для ВЛОК не производится, а соответственно, и указанная медицинская технология в клинической практике не применяется.

9.2. Многопрофильные аппараты

Среди аппаратов данного типа наибольшее распространение получили установки, обеспечивающие с помощью одного универсального модуля питания и управления (драйвера) работу различных типов излучателей. Обычно это двухканальные драйверы с независимым (для каждого канала) управлением параметрами лазерного излучения и длительностью процедуры лазерной терапии. Как правило, многофункциональность и универсальность такой установки достигается за счет возможности: а) изменения мощности воздействующего излучения в широком диапазоне, б) применения сменных волоконно-оптических приспособлений, обеспечивающих различную диаграмму направленности излучения; в) различных режимов воздействующего

излучения (непрерывный, модулированный и импульсный с регулировкой частоты следования импульсов или модуляции излучения); г) использования источников излучения различных длин волн, характеризующихся отличающейся глубиной проникновения в биологическую ткань. Чаще всего один из излучателей представляет собой моноизлучатель (mono probe), а второй – матрицу, состоящую из трех–пяти лазерных диодов, обеспечивающую возможность одновременного воздействия на обширные зоны патологического очага. Как уже отмечалось, некоторые из таких кластерных (матричных) систем содержат в своем составе, кроме LD, светодиодные источники (одного–трех спектральных диапазонов). Количество светодиодов в кластере варьируется от 3 до 32, 69 или даже 104 (Thor Int. Ltd., SIM-MED Ltd., Omega Laser Systems Ltd., Великобритания). Наибольшее распространение такие кластерные системы приобрели среди английских пользователей.

К числу отечественных универсальных многофункциональных аппаратов широкого спектра терапевтического действия следует отнести двух–четырёхканальные аппараты серии “Мустанг” (фирма “Техника”), “Азор-2К-02” (фирма “Азор”), “Спектр-ЛЦ-М” (ООО “Нева-Трейд”), “Родник-1”, “Люзар-МП” (фирма “Люзар”). Например (см. таблицу 2), аппараты “Родник-1” обеспечивают возможность проведения лазерного и магнитолазерного воздействия по всем методикам, принятым в современной фототерапии: на очаги поражения наружной локализации, на проекции внутренних органов (включая иммунокомпетентные) через кожный покров, на очаги поражения внутриполостной локализации, надвенное (чрезкожное) воздействие на кровь, а также внутрисосудистое (внутривенное) облучение крови с использованием одноразовых стерильных световодных систем, лазерную акупунктуру и акупрессуру, воздействие на рефлексогенные зоны.

9.3. Сканирующие лазерные системы

В некоторых западноевропейских странах для воздействия на обширные зоны поверхности тела достаточно широко применяются терапевтические установки, обеспечивающие сканирование лазерного луча по заданной поверхности тела. Такие системы, как правило, обеспечивают сканирование луча в двух взаимно перпендикулярных координатах в форме круга, эллипса, линии и т. д. Наибольшее распространение лазерные терапевтические установки сканирующего типа получили в Италии (фирмы SIMED S.r.l., ASA S.r.l., Vida elettronica S.r.l., TecnoLaser S.r.l., Tema S.r.l.). В более ранних моде-

лях в качестве воздействующего фактора чаще всего используется достаточно мощный CO₂-лазер (в стационарном режиме $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 1\text{--}5$ Вт), а в качестве пилотного – He-Ne-лазер. В новых разработках указанных фирм в качестве действующего фактора чаще всего используется излучение LD с длиной волны $\lambda = 808\text{--}810$ нм и средней мощностью (в стационарном режиме) $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 1\text{--}3$ Вт, а в качестве пилотного луча – маломощное (5 мВт) излучение LD красной области спектра. Термические эффекты достаточно мощных CO₂-лазера и LD исключаются в таких системах за счет высокой (до 35 Гц) частоты сканирования излучения.

Следует отметить появление в последние годы сканерных систем на основе двух мощных разнотипных лазерных диодов с $\lambda = 655\text{--}660$ нм и $\lambda = 808\text{--}810$ нм и $P_{\text{ср}}^{\text{макс}} = 50$ и 450 мВт соответственно (фирмы Reiners&Janssen GmbH, Германия и Lasotronic AG, Швейцария). Кроме того, за рубежом начинают выпускаться универсальные многофункциональные терапевтические установки, содержащие, кроме сканера, внешний (выносной) излучатель на основе LD, позволяющий проводить локальное воздействие на поверхность тела пациента (фирмы Tema S.r.l., Италия; StraTek Co Ltd., Корея).

Отметим, что в отличие от стран дальнего зарубежья в СНГ лазерные терапевтические аппараты на основе сканеров не нашли широкого признания [51, 52]. Одна из возможных причин тому – их относительно высокая стоимость.

10. Использование микропроцессорной техники

Обращает на себя внимание широкое внедрение микропроцессорной техники для управления параметрами воздействующих факторов (прежде всего мощностью излучения) и процедур лазерной терапии, а также для их визуализации на дисплее аппарата. Как правило, микропроцессором осуществляется автоматическое прекращение процедуры лазерной терапии по истечении ранее установленного времени воздействия с подачей аудио- или видеосигнала. В большинстве многофункциональных терапевтических аппаратов предусмотрен также выбор программы воздействия, необходимой для лечения больного с конкретной патологией из нескольких десятков или даже сотен вариантов, хранящихся в памяти микропроцессора. Кроме того, одним из вариантов применения микропроцессорной техники в терапевтической аппаратуре западных производителей является информация на дисплее аппарата о наиболее оптимальном выборе биологически активных точек при лечении того или иного заболевания и их физиологическом расположении.

Типичным также стало использование микропроцессора для определения времени воздействия, соответствующего оптимальной энергетической дозе при заданной мощности излучения.

11. Лазерные медицинские технологии

Как уже отмечалось, среди различных потенциально возможных вариантов процедур лазеротерапии наибольшее распространение у западных пользователей получило воздействие на точки акупунктуры и на очаги поражения наружной локализации. При этом практически не производится аппаратура, обеспечивающая возможность внутрисполостных воздействий НИЛИ. В медицинских учреждениях Западной Европы и США (в отличие от стран СНГ) не применяется также внутривенное лазерное облучение крови с использованием одно-разовых стерильных световодов, а также надвенное (транскутанное) воздействие на кровь. Практически не нашли применения и методы комбинированной лазерной терапии излучением различной области спектра, а также сочетанной лазерной терапии с другими факторами физической природы.

В этой связи следует отметить достаточно жесткую позицию, занимаемую FDA США в отношении сфер возможного использования лазерной аппаратуры для НИЛТ. Так, при сертификации лазерного терапевтического аппарата строго оговаривается патология, для лечения которой он может быть использован. По существу в настоящее время FDA разрешило применение НИЛИ только для лечения хронических болей в суставах (артриты, карпальный туннельный синдром) и болей спазматического характера (мышечно-скелетный спазм), а также для лечения кожных заболеваний (псориаз, витилиго) и алопеции (облысения). Несмотря на многочисленные дискуссии и убедительные данные (в том числе в западной литературе [30, 35]) о выраженном терапевтическом эффекте НИЛИ при заживлении ран, его использование в хирургической практике не получило одобрения FDA.

Заключение

Современная клиническая практика НИЛТ предполагает использование как узкоспециализированных лазерных терапевтических аппаратов (предназначенных для ВЛОК, воздействия на точки акупунктуры и др.), так и многофункциональных универсальных терапевтических комплексов, позволяющих проводить весь спектр фототерапевтических процедур: наружную лазерную терапию, полостную лазерную терапию, лазерное воздействие на кровь, лазерную пункциру, внутритканевые воздей-

ствия, а также сочетанное воздействие НИЛИ с другими физическими факторами.

По нашему мнению, дальнейшее повышение эффективности метода НИЛТ возможно как за счет оптимизации лазеротерапевтических технологий, обеспечиваемых уже существующей аппаратурой, так и разработкой лазерных терапевтических установок, позволяющих осуществлять сочетанное воздействие НИЛИ с ультразвуком, электрическим полем, переменным и импульсным магнитными полями, а также комбинированными воздействиями лазерным излучением различного спектрального диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Инюшин В.М.* К вопросу о биологической активности красной радиации. Алма-Ата: Казахстан, 1965. 22 с
2. *Инюшин В.М.* О некоторых причинах биологической эффективности монохроматического света лазера красной части спектра // О биологическом действии монохроматического красного света. Алма-Ата: Казахстан, 1967. С. 5–15
3. *Корытный Д.Л.* Воздействие монохроматического красного излучения на аутографт кожи в эксперименте // О биологическом действии монохроматического красного света. Алма-Ата: Казахстан, 1967. С. 35–52.
4. *Инюшин В.М.* Лазерный свет и живой организм. Алма-Ата: Казахстан, 1970. 46 с.
5. *Mester E.* The use of the laser beam in therapy // *Orv. Hetil.* 1966. V. 107. P. 1012–1016.
6. *Mester E., Ludany G., Sellyei M., Szende B.* On the biologic effect of laser rays // *Bull. Soc. Int. Chir.* 1968. V. 27. P. 68–73.
7. *Mester E., Ludani G., Sellyei M.* The stimulating effect of low power laser rays on biological systems // *Laser Rev.* 1968. V. 1. P. 3–8.
8. *Mester E., Ludany G., Frenyo V., Ihasz M., Doklen A., Jaszagi-Nagy E., Tota G.J.* Experimental and clinical observations with laser rays // *Langenbecks. Arch. Chir.* 1970. V. 327. P. 310–314.
9. *Mester E., Spiry T., Szende B., Tota J.G.* Effect of laser rays on wound healing // *Am. J. Surg.* 1971. V. 122. P. 532–535.
10. *Mester E., Jaszagi-Nagy E.* The effect of laser radiation on wound healing and collagen synthesis // *Stud. Biophys.* 1973. V. 35. P. 227–230.
11. *Крюк А.С., Мостовников В.А., Хохлов И.В., Сердюченко Н.С.* Терапевтическая эффективность низкоинтенсивного лазерного излучения. Минск: Наука и техника, 1986. 328 с.
12. *Малевиц К.И., Герасимович Г.И., Русакевич П.С.* Методы лазеротерапии в акушерстве и гинекологии. Справочное пособие. Минск: Вышэйшая школа, 1992. 124 с.
13. *Илларионов В.Е.* Основы лазерной терапии. М.: Респект, 1992. 122 с.
14. *Лазеры в клинической медицине. Руководство для врачей / Под ред. Плетнева С.Д.* М.: Медицина, 1996. 432 с.
15. *Низкоинтенсивная лазерная терапия / Под ред. С.В. Москвина, В.А. Буйлина.* М.: НППЦ Техника, 2000. 724 с.
16. *Ohshiro T., Calderhead R.G.* Low Level Laser Therapy: A Practical Introduction. Chichester-New-York-Brisbane-Toronto-Singapore: JohnWiley&Sons, 1988. 141 p.
17. *Baxter G.D.* Therapeutic Lasers: Theory & Practice. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1994. 259 p.
18. *Tunér J., Hode L.* Laser Therapy. Clinical Practice and Scientific Background. Grängesberg: Prima Books, 2002. 570 p.
19. *Tunér J., Hode L.* Laser Therapy Handbook. Grängesberg: Prima Books, 2004. 590 p.
20. *Дурнов Л.А., Гусев Л.И., Балакирев С.А., Грабовицнер А.Я., Иванова Ж.В.* Низкоинтенсивные лазеры в детской онкологии // *Вестник РАМН.* 2000. № 6. С. 24–27.
21. *Genot M.-T., Klustersky J.* Low-level laser for prevention and therapy of oral mucositis induced by chemotherapy or radiotherapy // *Current Opinion Oncology.* 2005. V. 17. P. 236–240.
22. *Bensadoun R.J., Franquin J.C., Ciais G., Darcourt V., Schubert M.M., Viot M., Dejou J., Tardieu C., Benezery K., Nguyen T.D., Laudoyer Y., Dassonville O., Poissonnet G., Vallicioni J., Thyss A., Hamdi M., Chauvel P., Demard F.* Low-energy He/Ne laser in the prevention of radiation-induced mucositis: A multicenter phase III randomized study in patients with head and neck cancer // *Support Care Cancer.* 1999. V. 7. P. 244–252.
23. *Пармон Э.М., Борцевский В.В., Камышников В.С., Борткевич Л.Г.* Комбинированное низкоинтенсивное лазерное излучение при туберкулезе почек // *Проблемы туберкулеза и болезней легких.* 2003. № 6. С. 28–33.
24. *Кульчавеня Е.В.* Низкоэнергетическая лазерная терапия в комплексном лечении больных туберкулезом мочевой системы // *Урология.* 2001. № 3. С. 8–11.
25. *Zinman L.H., Ngo M., Ng E.T., Nwe K.T., Gogov S., Bril V.* Low-intensity laser therapy for painful symptoms of diabetic sensorimotor polyneuropathy: a controlled trial // *Diabetes Care.* 2004. V. 27. P. 921–924.
26. *Партенадзе А.Н.* Возможности применения и терапевтическая активность низкоинтенсивных лазеров при перинатальных болезнях новорожденных детей // *Автореф. докт. дис. М.: НИИ педиатрии РАМН,* 1998. 48 с.
27. *Bjordan J.M., Coupe C., Ljunggren A.E.* Low level laser therapy for tendinopathy. Evidence of a dose-response pattern // *Phys. Ther. Reviews.* 2001. V. 6. P. 91–99.
28. *Bjordan J.M., Coupe C., Chow R.T., Tunér J., Ljunggren E.A.* A systematic review of low level laser therapy

- with location-specific doses for pain from chronic joint disorders // Australian J. Physiotherapy. 2003. V. 49. P. 107–116.
29. Reddy G.K. Photobiological basis and clinical role of low-intensity lasers in biology and medicine // J. Clin. Laser Med. Surg. 2004. V. 22. P. 141–150.
 30. Woodruff L.D., Bounkeo J.M., Brannon W.M., Dawes K.S., Barham C.D., Waddell D.L., Enwemeka C.S. The efficacy of laser therapy in wound repair: a meta-analysis of the literature // Photomed. Laser Surg. 2004. V. 22. P. 241–247.
 31. Enwemeka C.S., Parker J.C., Dowdy D.S., Harkness E.E., Sanford L.E., Woodruff L.D. The efficacy of low-power lasers in tissue repair and pain control: a meta-analysis study // Photomed. Laser Surg. 2004. V. 22. P. 323–329.
 32. Nakaji S., Shioto C., Yodono M., Umeda T., Liu Q. Retrospective study of adjunctive diode laser therapy for pain attenuation in 662 patients: detailed analysis by questionnaire // Photomed. Laser Surg. 2005. V. 23. P. 60–65.
 33. Moshkovska T., Mayberry J. It is time to test low level laser therapy in Great Britain // Postgraduate Med. J. 2005. V. 81. P. 436–441.
 34. Chow R.T., Barnsley L. Systematic review of the literature of low-level laser therapy (LLLT) in the management of neck pain // Lasers Surg Med. 2005. V. 37. P. 46–52.
 35. Posten W., Wrona D.A., Dover J.S., Arndt K.A., Silapunt S., Alam M. Low-level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy // Dermatol Surg. 2005. V. 31. P. 334–340.
 36. Cowen D., Tardieu C., Schubert M., Peterson D., Resbeut M., Faucher C., Franquin J.C. Low energy helium-neon laser in the prevention of oral mucositis in patients undergoing bone marrow transplant: results of a double blind randomised trial // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1997. V. 38. P. 697–703.
 37. Martin R. Laser-accelerated inflammation/pain reduction and healing // Practical Pain Management. 2003. V. 3. P. 20–25.
 38. Русакевич П.С. Системный патогенетический подход к диагностике и лечению фоновых и предраковых заболеваний шейки матки // Автореф. докт. дис. Минск: Минский гос. мед. институт, 2001. 40 с.
 39. Сердюченко Н.С. Клинико-физиологические обоснования применения низкоинтенсивного лазерного излучения при лечении переломов костей и дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов // Автореф. докт. дис. Минск: Институт физиологии национальной академии наук Беларуси, 2003. 46 с.
 40. Brosseau L., Wells G., Marchand S., Gaboury I., Stokes B., Morin M., Casimiro L., Yonge K., Tugwell P. Randomized controlled trial on low level laser therapy (LLLT) in the treatment of osteoarthritis (OA) of the hand // Lasers Surg. Med. 2005 V. 36. P. 210–219.
 41. Irvine J., Chong S.L., Amirjani N., Chan K.M. Double-blind randomized controlled trial of low-level laser therapy in carpal tunnel syndrome // Muscle Nerve. 2004. V. 30. P. 182–187.
 42. Hopkins J.T., McLoda T.A., Seegmiller J.G., Baxter G.D. Low-level laser therapy facilitates superficial wound healing in humans: a triple-blind, sham-controlled study // J. Athl. Train. 2004. V. 39. P. 223–229.
 43. Flemming K.A., Cullum N.A., Nelson E.A. A systematic review of laser therapy for venous leg ulcers // J. Wound Care. 1999. V. 8. P. 111–114.
 44. Улащик В.С. О реальных и вероятных путях повышения эффективности лазерной терапии // Лазеры в биомедицине. Материалы Междунар. конф. Минск, 2003. Т. 1. С. 9–17.
 45. Мостовников В.А., Мостовникова Г.Р., Плавский В.Ю., Сердюченко Н.С., Рябцев А.Б., Плавская Л.Г., Мостовников А.В., Гиневич В.В., Леусенко И.А., Рябцева Е.В., Капская Т.В., Сердюченко С.Н. Регуляторная биологическая активность и эффективность лечебного действия низкоинтенсивного лазерного излучения и излучения сверхъярких светодиодов // Материалы Междунар. конф. “Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине”. Минск, 2004. Т. 1. С. 40–61.
 46. Tunér J., Hode L. It’s all in the parameters: a critical analysis of some well-known negative studies on low-level laser therapy // J. Clin. Laser Med. Surg. 1998. V. 16. P. 245–248.
 47. Плавский В.Ю., Мостовников В.А., Мостовникова Г.Р., Рябцев А.Б., Леусенко И.А., Улащик В.С., Рыбин И.А. Современная аппаратура для низкоинтенсивной лазерной терапии // Лазеры в медицине. Мат. республ. семинара. Минск, 2002. С. 65–75.
 48. Плавский В.Ю., Мостовников В.А., Мостовникова Г.Р., Рябцев А.Б., Никеенко Н.К., Леусенко И.А., Гиневич В.В., Мостовников А.В., Улащик В.С., Сердюченко Н.С., Русакевич П.С., Рыбин И.А., Волотовская А.В. Современные тенденции в разработке аппаратуры для низкоинтенсивной лазерной терапии // Материалы Междун. конф. “Лазерно-оптические технологии в биологии и медицине”. Минск, 2004. Т. 1. С. 62–73.
 49. Asawanonda P., Anderson R.R., Chang Y., Taylor C.R. 308-nm excimer laser for the treatment of psoriasis: a dose–response study // Arch. Dermatol. 2000. V. 136. P. 619–624.
 50. Taneja A., Trehan M., Taylor C.R. 308-nm excimer laser for the treatment of psoriasis: induration-based dosimetry // Arch. Dermatol. 2003. V. 139. P. 759–764.
 51. Лазеры в терапии и диагностике. Каталог-справочник по странам СНГ и Прибалтики. М.: Лазерная ассоциация, 2001. Ч. 2. 148 с.
 52. Лазерная медицинская техника (терапия, биостимуляция, диагностика). Каталог-справочник по странам СНГ и Прибалтики. М.: Лазерная ассоциация, 2004. Ч. 2. 94 с.
 53. Мостовников В.А., Рябцев А.Б., Плавский В.Ю., Мостовникова Г.Р., Леусенко И.А., Гиневич В.В., Мостовников А.В., Улащик В.С., Сердюченко Н.С., Русакевич П.С., Рыбин И.А., Новаковский А.Л. Лазерные физиотерапевтические многофункциональные малогабаритные аппараты // Материалы Междунар. конф.

“Лазерная физика и применения лазеров”. Минск, 2003. С. 306–308.

54. *Mostovnikov V.A., Mostovnikova G.R., Plavskii V.Yu., Plavskaja L.G., Morosova R.P.* Molecular mechanism of biological and therapeutically effect of low-intensity laser irradiation // Proc. SPIE. 1995. V. 2391. P. 561–573.
55. *Мостовников В.А., Мостовникова Г.Р., Плавский В.Ю., Плавская Л.Г., Морозова Р.П., Третьяков С.А.* Зависимость биологической активности низкоинтенсивного лазерного излучения от степени поляризации световой волны // Перспективные направления лазерной медицины. Матер. Междунар. конф. М., 1992. С. 345–347.
56. *Мостовникова Г.Р., Мостовников В.А., Плавский В.Ю., Плавская Л.Г., Мостовников А.В., Кудряшова Е.В., Рябцев А.Б., Гиневич В.В.* Сравнение действия на ми-

отическую активность клеток животного в культуре низкоинтенсивного излучения лазерного и светодиодного источников // Материалы Междунар. конф. “Лазерная физика и применения лазеров”. Минск, 2003. С. 287–288.

57. *Матяшова М.А., Аристова В.А., Голубенко Ю.В., Древаль А.А.* Лазерная и магнитолазерная терапия // Медицина и здравоохранение. Серия: Обзоры по важнейшим проблемам медицины / Под ред. Полонского А.К. М, 1985. № 3. С. 1–65.
58. *Мостовников В.А., Мостовникова Г.Р., Плавский В.Ю., Плавская Л.Г., Морозова Р.П., Третьяков С.А.* О механизме терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения и постоянного магнитного поля // Новое в лазерной медицине и хирургии. Материалы Междунар. конф. М., 1991. Ч. 2. С. 192–194.

Приложение. Перечень фирм-изготовителей аппаратуры для НИЛТ

Фирма-изготовитель, страна, веб-сайт

- ЗАО НПО “Петролазер”, Россия, <http://www.petrolaser.spb.ru>
- ООО “Нева-Трейд”, Россия, <http://neva-trade.ru>
- Научно-производственный лазерный центр “Техника”, Россия, <http://www.mustangmed.ru/>
- ЗАО “НПО космического приборостроения”, Россия, <http://www.milta-f.ru>
- ООО “Полироник”, Россия, <http://www.polironik.com>
- Азор, Россия, <http://azor.centro.ru>
- ОАО “Восход”–Калужский радиоламповый завод, <http://users.kaluga.ru/krlz>
- ПКП гуманитарных информационных технологий “МИЛТА-ПКП ГИТ”, <http://rikta.ru>
- ПК “Люзар”, Республика Беларусь, <http://www.luzar-laser.com>
- ЗАО “Медицинские инновационные технологии”, Украина, <http://www.medintex.com>
- Microlight Corp. of America, США, <http://www.microlightlaser.com>
- Stargate International Inc., США, <http://www.stargateinternational.com>
- Avicenna Laser Technology Inc., США, <http://www.avicennalaser.com>
- Dynatronics Corporation, США, <http://www.dynatronics.com>
- Erchonia Medical Inc., США, <http://www.erschonia.com>
- Medical Quant USA, Inc., США, <http://www.medicalquant.com>
- Chattanooga Group, США, <http://www.chattgroup.com>
- Theralase Inc. Canada, Канада, <http://www.thermalase.com>
- Antiaging Solutions Inc., Канада, <http://www.revitalite.com>
- MedX Health Corp., Канада, <http://www.medxhealth.com>
- Meditech International Inc., Канада, <http://www.meditech-bioflex.com>
- Energy transmitter GmbH, Германия, <http://www.energytransmitter.com>
- MedSolution GbR, Германия, <http://www.medsolution.de>
- Reiners&Janssen GmbH, Германия, <http://www.rj-laser.com>
- Physiomed Elektromedizin AG, Германия, <http://www.physiomed.com>
- MKW Therapie-Systeme GmbH, Германия, <http://www.mkw-laser.de>
- BOSO Bosch + Sohn GmbH U. Co. KG, Германия, <http://www.boso.de>
- Schwa-medico GmbH, Германия, <http://www.schwa-medico.com>
- Beurer GmbH & Co, Германия, <http://www.beurer.com>
- SLT GmbH, Германия, <http://www.licht.com>
- Petra-electric Peter Hohlfeldt GmbH & Co. KG, Германия, <http://www.petra-electric.de>
- Eckart Rase Medizintechnik, Германия, <http://www.rase-medizintechnik.de>
- PhotoMedex Inc., США, <http://www.photomedex.com>
- Nikon Seimiysu Sokki Co Ltd., Япония, <http://www.greenmed.co.jp>
- Osada Electric Co Ltd., Япония, <http://www.greenmed.co.jp>

THOR International Ltd., Великобритания, <http://www.thorlaser.com>
Electro-Medical Supplies (Greenham) Ltd., Великобритания, <http://www.emslimited.co.uk>
Omega Laser Systems Ltd., Великобритания, <http://www.omegalaser.co.uk>
Win Health Ltd., Великобритания, <http://www.winhealth.co.uk>
MI-Medicalinnovation SA, Франция, <http://www.mi-medicalinnovation.com>
SEDATELEC, Франция, <http://www.sedatelec.com>
SIMED S.r.l., Италия, <http://www.leve-laser.com>
ASA S.r.l., Италия, <http://www.asalaser.com>
Vida Elettronica, Италия, <http://www.vidaelettronica.it>
Tecnolaser S.r.l., Италия, <http://www.tecnolaser.net>
ТЕМА S.r.l., Италия, <http://www.tema-srl.com>
Globus, S.r.l., Италия, <http://www.globusitalia.com>
A circle s.p.a, Италия, <http://www.a-circle.it>
Electromedicarin S.A., Испания, <http://www.electromedicarin.com>
Medicom A.S., Чехия, <http://www.medicom.cz>
BTL Medical Technologies CZ A.S, Чехия, <http://www.btlnet.com>
ОПТЕЛА-Optical Tehnologies PLS, Болгария, <http://www.optela.com>
Lasotronic, Швейцария, <http://www.lasotronic.com>
Irradia AB, Швеция, <http://www.irradia.se>
ANDI Electromedical ApS, Дания, <http://www.andi.dk>
Ronvig Dental Mfg. ApS, Дания, <http://www.ronvig.com>
Easy-Laser, Дания, <http://www.easy-laser.dk>
Гимнаuniphy N.V., Бельгия, <http://www.gymna-uniphy.com>
Heltschl GmbH., Австрия, <http://www.heltschl.at>
Seic Shenzhen Shinelong Electronics Industrial Co Ltd., Китай, <http://www.seic.com.cn>
StraTek Co., Ltd., Корея, <http://www.stratek.co.kr>
Meridian, Корея, <http://www.meridian.co.kr>
RianCorp Pty Ltd., Австралия, <http://www.riancorp.com>
Laserex Technologies, Австралия, <http://www.laserex.net>
RianCorp Pty Ltd., Австралия, <http://www.riancorp.com>
Konftec Corp., Тайвань, <http://www.konftec.com>
Laseuropa, Венгрия, <http://www.softlaser.hu>
MARPElectronics Ltd., Польша, <http://www.marpelectronic.com>
Centre of Laser Technology, Польша, <http://www.cfl.com.pl>
MC Laser Ltd., Польша, <http://www.mclaser.com.pl>
