

ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ ПРИ МУЖСКОМ БЕСПЛОДИИ. Ч. 1. ЭТИОЛОГИЯ И ПАТОГЕНЕЗ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

¹ НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н. А. Лопаткина — филиал НМИРЦ Минздрава России, Москва, Россия; ² ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины ФМБА России», Москва, Россия

Автор для связи: С. В. Москвин — д.б.н., к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины ФМБА России», Москва, Россия; e-mail: 7652612@mail.ru

Мужское бесплодие характеризуется широким спектром различных патологических состояний, затрагивающих как половую, так и другие системы организма: эндокринную, нервную, кровеносную, иммунную.

Лазерная терапия — метод современной физиотерапии, при котором воздействие осуществляется низкоинтенсивным лазерным излучением (НИЛИ), достаточно активно используется во всех областях современной медицины благодаря высокой эффективности, простоте применения, отсутствию противопоказаний и побочных эффектов.

Проанализированы результаты 171 исследования по теме статьи, из которых 93 экспериментальных (20 на русском языке и 73 иностранные публикации), 4 клиничко-экспериментальных (все на русском языке), 74 клинических (73 на русском и 1 на английском языке). Наряду с российскими были изучены публикации на русском языке коллег из Белоруссии, Грузии, Киргизии, Узбекистана и Украины.

В статье проведен анализ экспериментальных исследований, так или иначе связанных с проблемой бесплодия и решения ее с использованием низкоинтенсивного лазерного света. Сделан вывод, согласно которому есть все предпосылки для разработки эффективных методик комплексного лечения инфертильных мужчин с применением лазерных терапевтических методов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мужское бесплодие, лазерная терапия

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Для цитирования: Аполихин О.И., Москвин С.В. Лазерная терапия при мужском бесплодии. Ч. 1. Этиология и патогенез. Экспериментальные исследования. Урология. 2017;5:115–123
Doi: <https://dx.doi.org/10.18565/urology.2017.5.115-123>*

Мужское бесплодие включает широкий спектр нарушений, симптом множества различных патологических состояний, затрагивающих как половую, так и другие системы организма: эндокринную, нервную, кровеносную, иммунную (табл. 1) [1–3].

Согласно рекомендациям ВОЗ (2000) [4], выделяют 16 основных нозологий, каждая из которых в свою очередь включает до нескольких десятков конкретных патогенетических факторов, 4 из 16 диагнозов описательные без указания на истинную причину: идиопатическая олиго-, астено-, терато- и азооспермия.

Сексуально активная пара, не предохраняющаяся в течение года и не имеющая детей, согласно определению ВОЗ, расценивается как бесплодная. В течение первого года около 25% супружеских пар не достигают беременности. Из них 15% обращаются за медицинской помощью, а менее 5% так и не добиваются успеха. В половине случаев бесплодие пары обусловлено именно нарушением фертильности мужчины. Причинами мужского бесплодия могут быть врожденные и приобретенные аномалии половых органов, инфекции мочеполовой системы, повышение температуры мошонки (варикоцеле), эндокринные нарушения, генетические аномалии и иммунологические факторы [9].

Высказывается предположение, будто большая часть идиопатических форм генетически обусловлена мутациями и полиморфизмом многих генов [1]. Однако на самом деле эта гипотеза не имеет строгих доказательств и требует детального изучения [10]. Безусловно, какие-то патологии связаны именно с мутацией, т.е. с повреждением ДНК, но нет сомнений в том, что в подавляющем большинстве случаев это лишь результат эпигенетических изменений

генома, носящих обратимый характер [11]. В то же время известно, что низкоинтенсивный лазерный свет не только эффективно защищает клетки от повреждения ДНК различными физическими и химическими патогенными факторами, но и способен активировать «нужные» гены, что довольно часто используется в селекции [12].

Данные об основных причинах мужского бесплодия крайне противоречивы. В табл. 2 представлены объединенные выводы 23 публикаций авторов из разных стран за последние 10 лет с выборкой более 1000 человек (ссылки на эти работы доступны в PubMed).

Вероятнее всего, такой значительный разброс данных обусловлен различиями в способах оценки состояния пациентов, используемых методах диагностики, наличия или отсутствия той или иной аппаратуры. Безусловно, немало важно и то, в какой стране проводились исследования.

Однако с большой долей уверенности можно говорить о том, что ведущими факторами, влияющими на мужскую фертильность, являются последствия урогенитальных инфекций, в том числе вирусных [13–15], и связанные с этим нарушения иммунной системы, патологии яичек и предстательной железы (варикоцеле, эпидидимоорхит, простатит) [16–20], а также эндокринные нарушения [21, 22]. Хронический неспецифический простатит (ХНП) вызывает инфертильность в 52–76% случаев [23–26].

При этом, несмотря на активные споры и обсуждения темы наличия/отсутствия «полноценной» диагностики, факт идиопатических нарушений качества спермы более чем в половине случаев мужского бесплодия не вызывает сомнений. Следовательно, именно неспецифические методы лечения, направленные на «общее оздоровление», запуска-

Причины снижения мужской репродуктивной функции [1–3, 5–8]

Нарушения эякуляции	<ul style="list-style-type: none"> • анэякуляция • ретроградная эякуляция • сексуальная дисфункция
Воздействия окружающей среды	<ul style="list-style-type: none"> • перегревание • психологические стрессы • вибрация • неионизирующее электромагнитное излучение (СВЧ, мобильные телефоны) • вредные привычки <ul style="list-style-type: none"> – курение – злоупотребление алкоголем – ожирение – сидячий образ жизни – опиаты (героин, морфин, метадон) • химическое загрязнение <ul style="list-style-type: none"> – тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть) – синтетические эстрогены (диэтилстильбестрол, пероральные контрацептивы) – эфиры гликолевой кислоты, входящие в состав лаков и красок (2-метоксиэтанол, 2-этоксиэтанол) – пестициды (дибромхлорпропан, этилендибромид) – растворители (дисульфид углерода) – хлорорганические соединения (диоксины, полихлорированные бифенилы, бифураны) • ятрогенные (вызванные различными методами лечения) <ul style="list-style-type: none"> – химиотерапия (цитостатики) – ионизирующее облучение – лекарственные средства (циметидин, сульфасалазин, спиронолактон, нитрофурантоин, нирадозол, колхицин) – экзогенные гормоны (кортикостероиды, антиандрогены, агонисты ГтРГ, анаболические стероиды, гестагены) • хирургические вмешательства (простатэктомия, вазорезекция, кисто- и гидроцелэктомия)
Приобретенные	<ul style="list-style-type: none"> • тестикулярные травмы • инфекции • простатит • эпидидимит • орхит • рак яичка • системные заболевания (диабет, хроническая почечная недостаточность) • гипотиреоз • аутоиммунные реакции против сперматозоидов • злокачественные новообразования • возраст (старше 40 лет)
Анатомические	<ul style="list-style-type: none"> • варикоцеле • обструктивная азооспермия • недоразвитие семявыносящего протока • недостаточность придатка яичка
Аномалии развития и строения	<ul style="list-style-type: none"> • специфические генетические синдромы <ul style="list-style-type: none"> – синдром Клайнфельтера – муковисцидоз – микроделеции Y-хромосомы – транслокации хромосом • крипторхизм • недостаточность половых желез (гипергонадотропный гипогонадизм) • синдром клеток Сертоли • нарушение транспорта спермы (парез семявыносящих путей)
Нарушения качества спермы	<ul style="list-style-type: none"> • гипосперматогенез (арест сперматогенеза) • аномалии строения сперматозоидов
Гормональные причины и нечувствительность к андрогенам	<ul style="list-style-type: none"> • гипогонадотропный гипогонадизм • гиперпролактинемия • синдром нечувствительности к андрогенам
Идиопатические причины	<ul style="list-style-type: none"> • полиморфизм генов и точечные мутации?

Основные причины мужского бесплодия по обобщенным данным различных источников

Причина бесплодия	Частота, %
Сексуальные дисфункции	1,7–2,4
Урогенитальные инфекции	6,6–32
Врожденные аномалии развития (гермофродитизм, крипторхизм и др.)	2,1–11,2
Действие неблагоприятных внешних факторов	2,6–7
Варикоцеле, простатит	12,3–27,4
Эндокринные нарушения	0,6–10,1
Иммунологический фактор	3,1–17,5
Другие нарушения	3–8,5
Идиопатические нарушения качества спермы	30–75,1

ющие механизмы саногенеза, восстановление нарушенного гомеостаза и нормального физиологического регулирования, в первую очередь должны рассматриваться клиницистами как базовые.

Диагностика мужского бесплодия основана на комплексной оценке состояния мужской репродуктивной системы, проводится в известной последовательности с применением анамнестического, клинического, лабораторных и специальных методов исследования. Несмотря на разнообразие методик обследования [9], в целом вопросы диагностики нуждаются в более глубокой и всесторонней проработке.

Наиважнейшей составляющей лечения является устранение потенциально вредных факторов окружающей среды, работы и образа жизни. При некоторых аномалиях, например крипторхизме, травмах, инфекциях, действии токсических веществ и лекарственных препаратов, бесплодие можно предотвратить.

Для восстановления фертильности мужчин необходимо:

- наладить нормальный ритм труда и отдыха, обеспечить полноценное питание, лечение сопутствующих заболеваний, ритм половой жизни;
- исключить перегревание, снизить физические нагрузки при занятиях экстремальными видами спорта;
- устранить факторы, вызывающие депрессию, состояние страха, неврозы.

Выполнение этих условий во многих случаях способствует улучшению показателей спермограммы [1–2, 9], следовательно, в большинстве случаев причиной заболевания являются неспецифические нарушения физиологических процессов, влияющих на сперматогенез.

К сожалению, этиотропное и патогенетическое лечение, дающее хорошие результаты, в большинстве случаев неприменимо по причине невозможности однозначного установления специфической причины возникновения заболевания и недостаточности знаний механизмов развития болезни. В. А. Божедомов и соавт. (2013) [1], критикуя «эмпирическую», т.е. неспецифическую, терапию за неэффективность (правда, не упоминая физиотерапию, в том числе лазерную, а также курортологию), указывают на необходимость проведения «третичной профилактики» с целью уменьшения частоты осложнений после применения других методов лечения.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что практически ни в одном обзоре литературы и монографии, посвященных мужскому бесплодию, нет упоминания о физиотерапевтических методах лечения. Тем не менее лазерная терапия, активно развивающаяся в последние годы, не только не имеет противопоказаний и побочных эффектов, но и обладает ярко выраженными протекторными свойствами [12] и самое главное — демонстрирует высочайшую эффективность лечения во многих областях медицины, в том числе в акушерстве и гинекологии [27], андрологии и урологии [28–30], рекомендуется как составная часть комплексного решения проблемы бесплодия [17], т.е. успешно применяется именно «профильными» специалистами.

Во многих случаях бездетный брак — проблема именно семейной пары [17], но вполне очевидно, что для изучения вопросов взаимодействия сторон необходимо максимально подробно разобраться в соответствующих нарушениях, присущих каждому полу, а также обосновать возможность использования лазерной терапии. В данной статье рассматривается только мужское бесплодие, но с перспективой изучения вопроса возможного влияния низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на женскую фертильность, в том числе в

рамках решения некоторых вопросов, возникающих при экстракорпоральном оплодотворении (ЭКО).

Фундаментальное понимание биомодулирующих процессов, происходящих в результате поглощения НИЛИ и лежащих в основе методологии лазерной терапии, позволили обосновать многие методики, а также оптимизировать уже известные в разных областях медицины. Первичный механизм биомодулирующего действия НИЛИ заключается в ответной реакции организма на неспецифическое, т.е. не связанное с конкретными акцепторами, поглощение лазерного света в различных клетках, в результате чего инициируется кратковременное повышение концентрации Ca^{2+} в цитозоле, распространение волн повышенной концентрации Ca^{2+} как в клетках, так и в различных биотканях. Затем развивается ответная реакция организма (вторичные механизмы), которые начинаются с активации Ca^{2+} -зависимых процессов [31, 32].

Экспериментальные исследования

Воздействовать лазерным лучом для изучения различных физиологических процессов, определяющих, в частности, подвижность сперматозоидов, начали чуть ли не с момента появления лазеров [33]. Многочисленные исследования подтверждают положительное влияние НИЛИ на сперматозоиды различных животных, выражающееся, в частности, в увеличении их подвижности и содержании АТФ [34–57], повышении продолжительности жизни клеток [58] и вероятности оплодотворения [59, 60]. Именно повышение концентрации Ca^{2+} , в том числе вызванное лазерным освещением, стимулирует работу митохондрий и синтез АТФ [32, 61], что играет ключевую роль в обеспечении подвижности сперматозоидов [62–64]. Указывается также на связь между Ca^{2+} -зависимым высвобождением NO в освещаемых сперматозоидах (оптимальная экспозиция — 5 мин) с повышением их активности [65], хотя, вероятнее всего, это лишь вторичный эффект.

Большинство экспериментов проводилось *in vitro*, но есть и исключения. В частности, М. D. Porgas и соавт. (1986) [66] показали увеличение числа сперматогониев и активацию сперматогенеза после воздействия непрерывным инфракрасным (ИК) НИЛИ на яички. Также сообщается о значительном увеличении продукции тестостерона интерстициальными клетками яичек мышей (клеток Лейдига) вследствие лазерного освещения красным непрерывным НИЛИ с длиной волны 633 нм [67–69].

В одной из работ лазерное воздействие непрерывным НИЛИ с длиной волны 830 нм в модулированном режиме (мощность — 30 мВт, частота — 300 Гц) осуществляли непосредственно на семенники крыс линии Вистар, продемонстрировав как стимулирующий, так и ингибирующий сперматогенез эффекты в зависимости от плотности мощности и экспозиции лазерного света [70]. Ошибки предшественников через много лет повторили другие авторы, используя совершенно неприемлемые параметры лазерного излучения при освещении яичек баранов, получили вполне ожидаемый отрицательный результат [71]. Основываясь на этих работах, можно сделать два важных вывода: не следует концентрировать лазерный свет в пятно минимального размера (точку), а также недопустимо светить более 1,5 мин на одну зону. Также нетрудно понять, что воздействие УФ-светом высокой интенсивности губительно для клеток [72]. В связи с этим к выбору параметров лазерного освещения с целью активизации жизненных процессов требуется подходить с осторожностью и предварительным их обоснованием.

Многочисленные исследования указывают на прямую связь между повышением внутриклеточной концентрации Ca^{2+} и стимулированием оплодотворяющей способности сперматозоидов как разных животных, так и человека [46–49, 73–81]. Необходимо заметить, что в ряде работ делаются выводы (ошибочные, по нашему мнению) о ведущей роли активных форм кислорода (АФК) в механизмах биомодулирующего действия НИЛИ [76, 78, 81–84]. Однако АФК являются лишь вторичным продуктом активированного лазерным светом клеточного метаболизма [32, 61], т.е. следствием, а не причиной.

Лазерная биомодуляция более эффективная и менее затратная технология, которая может быть использована для совершенствования искусственного осеменения и эффективности эмбриональных систем [36]. В результате лазерного освечения *in vitro* повышается качество спермы быков, кроликов и птицы, используемой после длительного хранения в замороженном состоянии: вырастает проникающая способность сперматозоидов (капацитация), индуцируется их акросомная реакция при снижении процента погибших клеток [44, 45, 85–89].

Необходимо обратить внимание на исследования, в которых показано, что лазерное освечение непрерывным НИЛИ красного спектра (633 нм, 10 мВт, площадь светового пятна – 0,125 см², экспозиция – 1–5 с) незрелых ооцитов коровы *in vitro* негативно сказывается на процессе их созревания [90], хотя такого не наблюдалось в других аналогичных наблюдениях [91–96]. Возможно, все дело в параметрах методик освечения и различиях в экспериментальных моделях; этот вопрос требует дополнительного изучения, не забывая, что воздействие лазерным светом с высокой энергетической плотностью может навредить или даже погубить зародыш [97]. В связи с этим для обеспечения безопасной работы с лазерами необходимо руководствоваться соответствующими нормативными документами, данными многочисленных исследований и здравым смыслом в конце концов.

Вероятно, имеет значение и тот известный факт, что обязательным условием оплодотворения является возникновение и прохождение по всему объему яйцеклетки десятков (до 50) волн повышенной концентрации ионов кальция, высвобождающегося исключительно из депо эндоплазматического ретикулаума [98]. Механизмы и физиологическая необходимость этого не известны до сих пор, хотя явление активно изучается много лет [99, 100], но ясно одно: НИЛИ реализует свои биомодулирующие свойства именно через активацию Ca^{2+} -зависимых внутриклеточных реакций, активируя те же депо кальция. Следовательно, лазерное освечение потенциально может препятствовать оплодотворению, нарушая кальциевые переходы из связанного в свободное состояние и обратно. Возможно, такие специфические, характерные только для ооцитов процессы каким-то образом участвуют в отдельных этапах их созревания. Точных сведений об этом пока нет, поэтому мы придерживаемся той точки зрения, что от использования любых технологий лазерного воздействия на ооциты и яйцеклетку лучше воздерживаться.

Данные исследований, проводимых в основном для целей животноводства, могут быть использованы и в медицине. Более того, есть убедительные доказательства того, что низкоинтенсивный свет, как лазерный, так и некогерентный, позволяет существенно повышать выживаемость, подвижность и скорость перемещения сперматозоидов человека [75, 77, 101–116].

В большинстве исследований освечение проводится практически только непрерывным НИЛИ в красном (633–650 нм), значительно реже – в других спектральных диапазонах: 532 нм [37], 633–637 нм [41], [45], [55], [76], [85], [88], [90], [101], [117], 647 нм [54], 655–660 нм [38], [39], [86], 780 нм [48], 890–904 нм [105], [106], [108].

Однако лазерный свет с такими параметрами невозможно или почти невозможно эффективно использовать в клинике в силу биофизических особенностей (небольшая глубина оказываемого влияния). Частично проблема решается применением различного рода световодов для доставки световой энергии в нужное место через полости (например, ректальное освечение предстательной железы), но полноценная лазерная терапия возможна только при использовании импульсного НИЛИ красного и инфракрасного спектров [32, 118]. Важно, что общие закономерности, полученные из экспериментальных исследований, достаточно качественно воспроизводятся и в клинике.

Лишь в одной работе использовали импульсный ИК-лазер (длина волны – 905 нм) мощностью 50 Вт (длительность импульса – 200 нс), плотность мощности – 50 Вт/см², причем даже при далеко не оптимальной (мягко говоря) частоте 10 тыс. Гц наблюдали повышение подвижности и отсутствие повреждений ДНК сперматозоидов. Вероятно, положительный результат получен вследствие небольшой экспозиции (30 с); он отсутствовал при нормо- и астеноспермии и наблюдался, причем весьма значительный (повышение подвижности в 8,4 раза), только при олигоастенотератозооспермии через 30 мин после лазерного освечения [108]. Это подтверждает известное мнение, будто степень влияния НИЛИ коррелирует с выраженностью имеющихся нарушений [32]. Негативного влияния на ДНК не могло быть в принципе даже при таких явно завышенных энергетических параметрах.

Отсутствие повреждения ДНК сперматозоидов человека установлено также для непрерывного НИЛИ красного спектра (длина волны – 633 нм), даже несмотря на то что при очень высокой плотности мощности (31 мВт/см²) освечение проводили в течение 30 мин (!). Более того, отмечено незначительное увеличение подвижности сперматозоидов [114]. В то же время известно, что НИЛИ позволяет эффективно защищать репродуктивную систему от внешних стрессовых факторов [119, 120], а также от патогенного действия радиации [121–123].

Негативное влияние на репродуктивную систему самцов мышей при сохранении оплодотворяющей способности проявляется только после освечения 5 раз в неделю непрерывно 4 ч в день (!) при абсолютно запредельных параметрах: длина волны – 1064 нм, импульсный режим, мощность – 5 МВт, длительность светового импульса – 12 нс, частота 12,5 Гц, энергия импульса – 0,03 Дж, а средняя мощность – 360 мВт (!) только... через 35 дней (!) [124]. Другими словами, чтобы навредить лазерным светом, нужно очень и очень постараться.

С. В. Горюновым (1995, 1996) [105, 106] однозначно показано, что для длины волны НИЛИ как 633 нм (непрерывный режим), так и 890 нм (импульсный режим) оптимальная экспозиция, при которой в наибольшей степени возрастает подвижность сперматозоидов, их окислительная активность и клеточный метаболизм составляют 5 мин, при этом импульсный режим несколько эффективнее даже с учетом того, что лазерный свет в ИК-спектре хуже поглощается, чем в красном.

Лазерный физиотерапевтический комплекс «Матрикс-Уролог»

Регистрационное удостоверение: ФСР 2010/09814 (срок действия не ограничен)

Высокоэффективное лечение при широком круге заболеваний

- Амилоидоз
- Бесплодие
- Болезнь Пейрони
- Гипогалактия
- Гломерулонефрит
- Диабетическая нефропатия
- Нейрогенная дисфункция мочевого пузыря
- Пиелонефрит
- Послеоперационные осложнения
- Простатиты
- Профилактика послеоперационных осложнений
- Сексуальные расстройства у мужчин
- Фетоплацентарная недостаточность
- Цистит
- Эндометрит
- Энурез
- Эпидидимоорхит
- Эректильная дисфункция



В базовый состав комплекса входят:

- специальный базовый блок «Матрикс-Уролог» (3 канала);
- лазерные излучающие головки красного и ИК-спектров (5 шт.);
- специальная головка ВМЛГ10 для вибромагнитолазерного массажа;
- комплект оптических и магнитных насадок (10 шт.);
- аппарат для вакуумного массажа «Матрикс-ВМ»;
- лазерная излучающая головка ЛО-ЛЛОД;
- колбы для методики ЛЛОД.

Дополнительно: стойка аппаратная ЛАЗМИК-СФ, аппарат для лазерно-вакуумного массажа «Лазмик», аппарат электротерапии и др.

Высокая эффективность обеспечивается следующими факторами:

1. Аппарат позволяет реализовать практически все известные методы лазерной терапии:

- наружное освечивание;
- на зоны Захарьина-Геда (дерматомы);
- паравертебральная методика воздействия;
- лазерная акупунктура;
- полостные методики;
- на проекции внутренних органов;
- на проекции иммунокомпетентных органов;
- на проекции сосудистых пучков;
- внутривенное и чрескожное лазерное освечивание крови;
- сочетать и комбинировать лазерное воздействие с другими методами лечения, как терапевтическими, так и хирургическими.

2. Наличие не имеющей аналогов методики локального лазерного отрицательного давления (ЛЛОД) для комбинированного (совместно с вибромагнитолазерной методикой) лечения больных простатитами и эректильной дисфункцией. В головке ЛО-ЛЛОД применяются именно лазеры красного и ИК-спектров, тогда как у всех «аналогов» малоэффективные дешевые светодиоды. Кроме того, лазерное излучение красного и инфракрасного спектра чередуется в соответствии с биологическими ритмами и вакуумным разрежением, обеспечивая наиболее адекватный отклик регулирующих систем, в первую очередь сосудистой и иммунной.

3. Наличие уникальной методики вибромагнитолазерного массажа предстательной железы. В состав комплекса входит вибромагнитолазерная головка ВМЛГ10, не имеющая аналогов (Пат. 53575 RU), обеспечивающая одновременное воздействие лазерным излучением, магнитным полем и вибрацией.

4. Полноценное методическое обеспечение, система повышения квалификации (лицензия) и консультации круглосуточно.



Разработчик и производитель: **ООО Научно-исследовательский центр «Матрикс»**

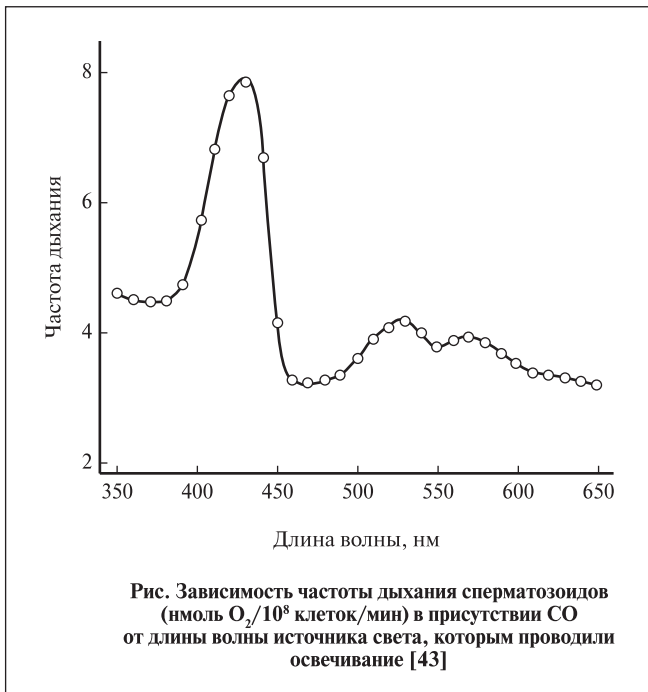
Адрес головного офиса: 123056, Москва, ул. Грузинский Вал, д. 26, стр. 3

Тел./факс: (499) 250-5150, 250-5269, 401-9128; +7 (985) 765-2612

Заказ оборудования: 2505150@mail.ru, 2505269@mail.ru, 4994019128@mail.ru, 7652612@mail.ru

Более подробная информация на сайтах www.matrixmed.ru и www.matrix-uro.ru

Методики, статьи и книги в свободном доступе на сайте www.lazmik.ru



В отношении выбора оптимальной длины волны мнения расходятся. Например, показано, что при освещении *in vitro* подвижность сперматозоидов у мужчин с астенозооспермией повышается в среднем в 4–5 раз почти независимо от длины волны (470, 625, 660 и 850 нм) [107], а при изучении интенсивности дыхания сперматозоидов морских червей выявлена выраженная спектральная зависимость в диапазоне длин волн 350–650 нм (максимум эффективности в диапазоне — 400–430 нм; см. рисунок) [43]. Р. Gabel и соавт. [125] убеждены, что на результат влияют все параметры воздействия: длина волны, мощность, экспозиция и когерентность.

В работе [126] показано, что искусственное осеменение семенным материалом после предварительного освещивания НИЛИ разных длин волн (565, 595 и 660 нм) позволяет получить прирост количества поросят в гнезде: наибольший (+45%) — при длине волны 595 нм и экспозиции 0,5 мин и наименьший (+25%) — при длине волны 660 нм и экспозиции 1 мин.

Хотелось бы также обратить внимание на то, что все закономерности наблюдали при непосредственном освещивании сперматозоидов *in vitro*, а при воздействии на организм пациента необходимо учитывать также и анатомические особенности человека. Так, принимая во внимание биофизику процессов поглощения и рассеяния лазерного света, для клинической практики чаще всего выбирают длину волны 635 нм (красный спектр) при воздействии на ткани и органы, расположенные на глубине до 5 см и 890–904 нм (ИК-спектр) — при более глубоком их залегании (до 15 см) [32, 118].

Выбор спектральных диапазонов определяется также и тем, что именно в областях 600–650 и 850–900 нм поглощение света сперматозоидами наиболее выражено [105, 106].

Экспериментальные исследования позволяют предположить перспективность применения лазерной терапии для лечения мужчин с различными формами бесплодия. Теоретических данных вполне достаточно, чтобы разработать соответствующие высокоэффективные методы лазерной терапии.

1. *Bozhedomov V.A., Rokhlikov I.M., Tretyakov A.A. et al.* Andrologic aspects of infertile marriage. *Meditsinskiy sovet.* 2013;8:13-17. Russian (Божедомов В.А., Рохликов И.М., Третьяков А.А. и др. Андрологические аспекты бездетного брака. Медицинский совет. 2013;8:13-17). Doi: 10.21518/2079-701X-2013-8-13-17.
2. *Ol' D., Shuster T., Kvolich S.* Male infertility. *Reproductive medicine and surgery.* Ed by T. Fal'kone, V. Kherd. 2013:616–631. Russian (Оль Д., Шустер Т., Кволич С. Мужское бесплодие. Репродуктивная медицина и хирургия. Под ред. Т. Фальконе, В. Херд. 2013:616–631).
3. *Dohle G.R., Diemer T., Giwercman A. et al.* Male infertility. *European Association of Urology;* 2010. (Dohle G.R., Diemer T., Giwercman A. и др. Мужское бесплодие. Европейская ассоциация урологов, 2010).
4. *WHO Manual for the Standardized Investigation, Diagnosis and Management of the Infertile Male.* Cambridge: Cambridge University Press. 2000;91.
5. *Alyayev Yu.G., Grigoryan V.A., Chalyu M.E.* Impairment of sexual and reproductive function in men. Moscow: Litterra; 2006. Russian (Аляев Ю.Г., Григорян В.А., Чалый М.Е. Нарушения половой и репродуктивной функции у мужчин. М.: Литтерра, 2006).
6. *Bozhedomov V.A.* The male factor in childless marriage — problemsolving strategies. *Urologiya.* 2016;S1:29–35. Russian (Божедомов В.А. Мужской фактор бездетного брака — пути решения проблемы. Урология. 2016;S1:29–35).
7. *Chalyu M.E., Akhvediani N.D., Kharchilava R.R.* Male infertility. *Urologiya.* 2017;S2:4–19. Russian (Чалый М.Е., Ахведиани Н.Д., Харчилава Р.Р. Мужское бесплодие. Урология. 2017;S2:4–19).
8. *Nieschlag E., Behre H.M., Nieschlag S.* *Andrology: Male Reproductive Health and Dysfunction.* Springer-Verlag Berlin, Heidelberg; 2010. 629 p.
9. *Shcheplev P.A., Apolikhin O.I.* Male infertility. Consensus discussion. *Vestnik reprodukativnogo zdorov'ya.* 2010;3-4:37–44. Russian (Щеплев П.А., Аполихин О.И. Мужское бесплодие. Обсуждение консенсуса. Вестник репродуктивного здоровья. 2010;3–4:37–44).
10. *Nuti F., Krausz C.* Gene polymorphisms/mutations relevant to abnormal spermatogenesis. *Reprod. Biomed. Online.* 2008;16(4):504–513.
11. *Mikladova A.V., Mashkina E.V., Volosovtsova G.I. et al.* Polymorphism of folate cycle genes and male infertility. *Valeologiya.* 2014;1:38–44. Russian (Миктадова А.В., Машкина Е.В., Волосовцова Г.И. и др. Полиморфизм генов фолатного цикла и мужское бесплодие. Валеология. 2014;1:38–44).
12. *Moskvin S.V., Khadartsev A.A.* Laser light — it can harm them? (literature review). *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy.* 2016;23(3):265–283. Russian (Москвин С.В., Хадартцев А.А. Лазерный свет — можно ли им навредить? (Обзор литературы). Вестник новых медицинских технологий. 2016;23(3):265–283.). Doi:10.12737/21772.
13. *Naumenko V.A., Kushch A.A.* Herpes viruses and male infertility — is there any relationship? *Voprosy virusologii.* 2013;58(3):4–9. Russian (Науменко В.А., Куш А.А. Герпесвирусы и мужское бесплодие: есть ли связь? Вопросы вирусологии. 2013;58(3):4–9).
14. *Naumenko V.A., Tyulenev Yu.A., Pushkar D.Yu. et al.* Effect of Herpes Simplex virus on spermatogenesis. *Urologiya.* 2011;6:32–36. Russian (Науменко В.А., Тюленев Ю.А., Пушкарь Д.Ю. и др. Влияние вируса простого герпеса на сперматогенез. Урология. 2011;6:32–36).
15. *Schuppe H.C., Pilatz A., Hossain H. et al.* Urogenital infection as a risk factor for male infertility. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(19):339–346. Doi: 10.3238/arztebl.2017.0339.
16. *Al-Shukri S.H., Kuzmin I.V., Slesarevskaya M.N., Sokolov A.V.* The effect of low-intensity laser radiation on semen parameters in patients with chronic prostatitis. *Urologicheskiye vedomosti.* 2015;5(4):8–12. Russian (Аль-Шукри С.Х., Кузьмин И.В., Слесаревская М.Н., Соколов А.В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на показатели эякулята у больных хроническим простатитом. Урологические ведомости. 2015;5(4):8–12). Doi: 10.17816/uroved 54–12.
17. *Balter R.B., Mikhaylov D.V., Ivanova T.V.* *Infertile marriage.* Samara; 2015. (Russian Балтер Р.Б., Михайлов Д.В., Иванова Т.В. Бесплодный брак. Самара; 2015).
18. *Zhiborev B.N.* Varicocele and male sterility in view of polygenic hypogonadism nature and the manifestation of dysplasia syndrome of the connective tissue. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik im. akademika I.P. Pavlova.* 2007;4:72–79. Russian (Жиборев Б.Н. Варикоцеле и мужское бесплодие в аспекте полигенной природы гипогонадизма и проявлений синдрома дисплазии соединительной ткани. Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2007;4:72–79).
19. *Condorelli R.A., Russo G.I., Calogero A.E. et al.* Chronic prostatitis and its detrimental impact on sperm parameters: a systematic review and meta-analysis. *J Endocrinol Invest.* 2017. Doi: 10.1007/s40618-017-0684-0 [Epub ahead of print].
20. *Giamarellou H., Fympanidis R., Bitos N. et al.* Infertility and chronic prostatitis. *Andrologia.* 1984;16(5):417–422. Doi: 10.1111/j.1439-0272.1984.tb00388.x.
21. *Pavlova Z.Sh., Kalinchenko S.Yu., Tishova Yu.A. et al.* Vitamin D deficiency and male infertility actual problems of the 21st century: male infertility, obesity

- and vitamin D – is there a relationship? Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki. 2013;3(45):2–32. Russian (Павлова З.Ш., Калинин С.Ю., Тишова Ю.А. и др. Актуальные проблемы XXI века: мужское бесплодие, ожирение, дефицит витамина D – есть ли взаимосвязь? Вестник Уральской медицинской академической науки. 2013;3(45):26–32).
22. *Tyuzikov I.A.* Metabolic syndrome and male infertility (review). *Andrologiya i genital'naya khirurgiya*. 2013;2:5–10. Russian (Тюзииков И.А. Метаболический синдром и мужское бесплодие (обзор литературы). Андрология и генитальная хирургия. 2013;2:5–10).
 23. *Arnol'di E.K.* Chronic prostatitis: problems, experience, prospects. Rostov-na-Donu; 1999. Russian (Арнольди Э.К. Хронический простатит: проблемы, опыт, перспективы. Ростов-на-Дону, 1999).
 24. *Imshinetskaya L.P.* The role of hormonal changes in the pathogenesis of sexual disorders and infertility in chronic nonspecific prostatitis. Abstract of the thesis. Doctor of medical sciences. Kiev; 1983. Russian (Имшинецкая Л.П. Роль гормональных изменений в патогенезе половых расстройств и бесплодия при хроническом неспецифическом простатите: Автореф. дисс. докт. мед. наук. Киев, 1983).
 25. *Mikhaylichenko V.V.* Pathogenesis, clinic, diagnosis and treatment of copulative and reproductive disorders in men with congestion in the genitourinary venous plexus. Abstract of the thesis. Doctor of medical sciences. Saint Petersburg; 1996. Russian (Михайличенко В.В. Патогенез, клиника, диагностика и лечение копулятивных и репродуктивных расстройств у мужчин при конгестиях в мочеполовом венозном сплетении: Автореф. дисс. докт. мед. наук. СПб., 1996).
 26. *Satybaldyyev Sh.R.* Medical rehabilitation of patients with chronic prostatitis with reproductive dysfunction. Abstract of the thesis. Candidate of medical sciences. Bishkek; 2000. Russian (Сатыбалдыев Ш.Р. Медицинская реабилитация больных хроническим простатитом с репродуктивной дисфункцией: Автореф. дисс. канд. мед. наук. Бишкек, 2000).
 27. *Fedorova T.A., Moskvina S.V., Apolikhina I.A.* Laser therapy in obstetrics and gynecology. Moscow–Tver': OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2009. Russian (Фёдорова Т.А., Москвина С.В., Аполихина И.А. Лазерная терапия в акушерстве и гинекологии. М.–Тверь: ООО «Издательство "Триада"», 2009).
 28. *Ivanchenko L.P., Kozdoba A.S., Moskvina S.V.* Laser therapy in urology. Moscow–Tver': OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2009. Russian (Иванченко Л.П., Коздоба А.С., Москвина С.В. Лазерная терапия в урологии. М.–Тверь: ООО «Издательство "Триада"», 2009).
 29. *Moskvina S.V., Gorbani N.A.* Laser-vacuum massage. Moscow–Tver': OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2010. Russian (Москвина С.В., Горбани Н.А. Лазерно-вакуумный массаж. М.–Тверь: ООО «Издательство "Триада"», 2010).
 30. *Moskvina S.V., Geynits A.V., Kochetkov A.V. et al.* Laser-vacuum massage LAZMIK in medicine and cosmetology. Moscow–Tver': OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2014. Russian (Москвина С.В., Гейниц А.В., Кочетков А.В. и др. Лазерно-вакуумный массаж ЛАЗМИК в медицине и косметологии. М.–Тверь: ООО «Издательство "Триада"», 2014).
 31. *Moskvina S.V.* About mechanism of therapeutic influence of low-frequency laser radiation. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2008;15(1):167–172. Russian (Москвина С.В. К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ). Вестник новых медицинских технологий. 2008;15(1):167–172).
 32. *Moskvina S.V.* The effectiveness of laser therapy. Series «Effective laser therapy». Vol. 2. Moscow–Tver': OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2014. Russian (Москвина С.В. Эффективность лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 2. М.–Тверь: Издательство «Триада», 2014).
 33. *Goldstein S.F.* Irradiation of sperm tails by laser microbeam. Journal of Experimental Biology. 1969;51(2):431–441.
 34. *Adamkovskaya M.V.* Influence of temperament, behavioral characteristics and other factors on the reproductive qualities of stallions: Abstract of the thesis. Candidate of biological sciences. Divovo; 2004. (Адамковская М.В. Влияние темперамента, особенностей поведения и других факторов на воспроизводительные качества жеребцов: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Дивово; 2004. 20 с.).
 35. *Pataraya L.M., Chelidze P.V., Chichinadze N.K. et al.* Influence of laser radiation on the ultrastructure of the testis of rats. Endocrinology of male infertility. Tbilisi; 1983: 83–86. (Патарая Л.М., Челидзе П.В., Чичинадзе Н.К. и др. Влияние лазерного излучения на ультраструктуру семенника крыс. Эндокринология мужского бесплодия. Тбилиси; 1983: 83–86).
 36. *Abdel-Salam Z., Harith M.A.* Laser researches on livestock semen and oocytes: a brief review. J Adv Res. 2015;6(3):311–317. Doi: 10.1016/j.jare.2014.11.006.
 37. *Abdel-Salam Z., Dessouki S.H., Abdel-Salam S.A. et al.* Green laser irradiation effects on buffalo semen. Theriogenology. 2011;75(6):988–994. Doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.11.005.
 38. *Corral-Baqués M.I., Rigau T., Rivera M. et al.* Effect of 655-nm diode laser on dog sperm motility. Lasers in Medical Science. 2005;20(1):28–34. Doi: 10.1007/s10103-005-0332-3.
 39. *Corral-Baqués M.I., Rivera M.M., Rigau T. et al.* The effect of low-level laser irradiation on dog spermatozoa motility is dependent on laser output power. Lasers in Medical Science. 2009;24(5):703–713. Doi:10.1007/s10103-008-0606-7.
 40. *Corral-Baqués M.I., Rivera M.M., Rigau T. et al.* The effect of low level laser irradiation on dog sperm motility is dependent on power laser application. Abstracts from 7th International Congress of the World Association for Laser Therapy, 2008. Photomedicine and Laser Surgery. 2009;27(1):186. Doi:10.1089/pho.2009.995.
 41. *Dreyer T.R., Siquera T.D., Magrini P.A. et al.* Biochemical and topological analysis of bovine sperm cells induced by low power laser irradiation. Medical Laser Applications and Laser-Tissue Interactions: Proceedings of SPIE-OSA Biomedical Optics, SPIE; 2011. Vol. 8092, 80920V. Doi: 10.1117/12.890017.
 42. *Drozdov A.L., Karu T.I., Chudnovskii V.M. et al.* Influence of low-intensity red diode and laser radiation on the locomotor activity of sea urchin sperm. Dokl Biochem Biophys. 2014;457(1):146–148. Doi: 10.1134/S1607672914040085.
 43. *Fujiwara A., Tazawa E., Yasumasu I.* Activating effect of light irradiation at various wavelength on the respiration in sperm of the echinoid, *Urechis unicinctus*, in the presence of carbon monoxide. J Biochem. 1991;109(3):486–491.
 44. *Jaffaldano N., Rosato M.P., Paventi G. et al.* The irradiation of rabbit sperm cells with He–Ne laser prevents their in vitro liquid storage dependent damage. Animal Reproduction Science. 2010;119:123–129. Doi: 10.1016/j.anireprosci.2009.10.005.
 45. *Jaffaldano N., Paventi G., Pizzuto R. et al.* The post-thaw irradiation of avian spermatozoa with He–Ne laser differently affects chicken, pheasant and turkey sperm quality. Anim Reprod Sci. 2013;142(3–4):168–172. Doi: 10.1016/j.anireprosci.2013.09.010.
 46. *Lubart R., Friedmann H., Levinshal T. et al.* Effect of light on calcium transport in bull sperm cells. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 1992;15(4):337–341.
 47. *Lubart R., Levinshal T., Cohen N. et al.* Changes in calcium transport in mammalian sperm mitochondria and plasma membrane due to 633 nm and 780 nm irradiation. Laser in der Medizin (Laser in Medicine). A. Hofstetter, W. Waidelich, G. Staehler, R. Waidelich, editors. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1996:449–453. Doi: 10.1007/978-3-642-80264-5_107.
 48. *Lubart R., Friedmann H., Sinyakov M. et al.* Changes in calcium transport in mammalian sperm mitochondria and plasma membranes caused by 780 nm irradiation. Lasers in Surgery and Medicine. 1997;21(5):493–499.
 49. *Lubart R., Shainberg A., Eichler M.* Increased ATP levels in cardiac and sperm cells immediately after broadband visible light illumination. 27th International Congress Laser Medicine & IALMS Courses jointed with W.H.A. World Health Academy «Laser Florence 2013». Lasers in Medical Science. 2013;28(6):1415–1416.
 50. *Marin M.L., Velez J.R.* Efectos de la irradiation laser heli+neon en semen bovino. Tesis Doctoral. Universidad de Antioquia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de Mecclellin; 1980:19–90.
 51. *Salman Yazdi R., Bakhshi S., Jannat Alipoor F. et al.* Effect of 830-nm diode laser irradiation on human sperm motility. Int. J. Fertility Sterility. 2010;4(Suppl 1):31–32.
 52. *Salman Yazdi R., Bakhshi S., Jannat Alipoor F. et al.* Effect of 830-nm diode laser irradiation on human sperm motility. Lasers in Medical Science. 2014;29(1):97–104. doi: 10.1007/s10103-013-1276-7.
 53. *Sato H.* Efectos de la luz laser sobre la movilidad y la velocidad de esperma in vitro. Invest. Clin. Laser. 1986;3:80.
 54. *Sato H., Landthaler M., Haina D., Schill W.B.* The effects of laser light on sperm motility and velocity in vitro. Andrologia. 1984;16(1):23–25.
 55. *Siqueira A.F.P., Maria F.S., Mendes C.M. et al.* Effects of photobiomodulation therapy (PBMT) on bovine sperm function. Lasers in Medical Science. 2016;31(6):1245–1250. Doi: 10.1007/s10103-016-1966-z.
 56. *Wenbin Y., Wenzhong L., Mengzhao L. et al.* Effects of laser radiation on Saanen buck's sperm energy metabolism. Proceedings of the Sixth International Conference on Goats. Beijing, China; 1996.
 57. *Zan-Bar T., Bartoov B., Segal R. et al.* Influence of visible light and ultraviolet irradiation on motility and fertility of mammalian and fish sperm. Photomedicine and Laser Surgery. 2005;23(6):549–555. Doi: 10.1089/pho.2005.23.549.
 58. *Shkuratov D.Yu., Chudnovskiy V.M., Drozdov A.L.* The influence of low intensity laser radiation and superhigh-frequency electromagnetic fields on gametes of marine invertebrates. Tsitologiya. 1997;39(1):25–28. Russian (Шкуратов Д.Ю., Чудновский В.М., Дроздов А.Л. Влияние электромагнитных волн сверхвысокой частоты и лазерного излучения низкой интенсивности на гаметы морских беспозвоночных. Цитология. 1997;39(1):25–28).
 59. *Lisichenko N.L., Romodanova E.A., Nardid O.A. et al.* Structural changes in the components of boar semen under the influence of small doses of laser irradiation. 2000; 3(3–4):86. (Лисиченко Н.Л., Ромоданова Э.А., Нардид О.А. и др. Структурные изменения в компонентах спермы хряка при воздействии малых доз лазерного излучения. Фотобиология и фотомедицина. 2000; 3(3–4):86).
 60. *Amaroli A., Gambardella C., Ferrando S. et al.* The effect of photobiomodulation on the sea urchin *paracentrotus lividus* (echinodermata) using higher-fluence on fertilization, embryogenesis, and larval development: an in vitro study.

61. Alexandratou E., Yova D., Handris P. et al. Human fibroblast alterations induced by low power laser irradiation at the single cell level using confocal microscopy. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2002;1(8):547–552.
62. Aloyan K.A., Matveyev A.V., Morev V.V., Korneyev I.A. Physiology of sperm motility. *Urologicheskiye vedomosti*. 2013;3(4):14–19. Russian (Алоян К.А., Матвеев А.В., Морев В.В., Корнеев И.А. Физиологические механизмы обеспечения подвижности сперматозоидов. Урологические ведомости. 2013;3(4):14–19).
63. Ruiz-Pesini E., Diez C., Lapeña A.C. et al. Correlation of sperm motility with mitochondrial enzymatic activities. *Clin. Chem*. 1998;44(8Pt1):1616–1620.
64. Rossato M., Di Virgilio F., Rizzuto R. et al. Intracellular calcium store depletion and acrosome reaction in human spermatozoa: role of calcium and plasma membrane potential. *Mol Hum Reprod*. 2001;7(2):119–128.
65. Ankri R., Friedman H., Savion N. et al. Visible light induces nitric oxide (NO) formation in sperm and endothelial cells. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2010;42(4):348–352. doi: 10.1002/lsm.20849.
66. Porras M.D., Bermudez D., Parrado C. Effects biológicos de la radiación laser IR sobre el epitelio seminífero. *Invest Clin Laser*. 1986;3(1):57–60.
67. Celani M.F., Gilioli G., Fano A.R. et al. The effect of laser radiation on Leydig cells: Functional and morphological studies. *IRCS Med Sci*. 1984;12(9):883–884.
68. Celani M.F., Gilioli G., Montanini V., Morrara P. Further evidence that mid laser radiations may stimulate Leydig cell steroidogenesis. *IRCS Med Sci*. 1985;13(4):336–337.
69. Celani M.F., Grandi M., Gilioli G. Changes in mouse Leydig cell steroidogenesis following infrared and helium–neon laser irradiation. *Exp Clin Endocrinol*. 1987;80(1):16–22.
70. Taha M.F., Valojerdi M.R. Quantitative and qualitative changes of the seminiferous epithelium induced by Ga. Al. As. (830 nm) laser radiation. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2004;34(4):352–359. Doi: 10.1002/lsm.20027.
71. Alves M.B.R., de Arruda R.P., Batissaco L. et al. Low-level laser therapy to recovery testicular degeneration in rams: effects on seminal characteristics, scrotal temperature, plasma testosterone concentration, and testes histopathology. *Lasers in Medical Science*. 2016;31(3):695–704. Doi: 10.1007/s10103-016-1911-1.
72. Au D.W., Chiang M.W., Tang J.Y. et al. Impairment of sea urchin sperm quality by UV-B radiation: predicting fertilization success from sperm motility. *Mar. Pollut. Bull.* 2002;44(7):583–589.
73. Breitbart H., Wehbie R., Lardy H. Regulation of calcium transport in bovine spermatozoa. *Biochim Biophys Acta*. 1990;1027(1):72–78.
74. Breitbart H., Wehbie R.S., Lardy H.A. Calcium transport in bovine sperm mitochondria: Effect of substrates and phosphate. *Biochim Biophys Acta*. 1990;1026(1):57–63.
75. Breitbart H., Levinshal T., Cohen N. et al. Changes in calcium transport in mammalian sperm mitochondria and plasma membrane irradiated at 633 nm (HeNe laser). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1996;34(2-3):117–121.
76. Cohen N., Lubart R., Rubinstein S., Breitbart H. Light irradiation of mouse spermatozoa: stimulation of in vitro fertilization and calcium signals. *Photochemistry and Photobiology*. 1998;68(3):407–413.
77. Lubart R., Breitbart H., Sofer Y., Lavie R. He-Ne irradiation of human spermatozoa: enhancement in hamster egg penetration. *Laser Therapy*. 1999;11(4):171–176.
78. Lubart R., Breitbart H., Sofer Y. et al. Light irradiation of sperm cells stimulates in-vitro fertilization. 20th International Congress Laser Medicine with Pre-Conference Courses “Laser Florence 2005”. Florence; 2005:S18–S19.
79. Lubart R., Eichler M., Lavie R., Shainberg A. Flavins are source of low energy visible light-induced oxy radicals formation in cells. 20th International Congress Laser Medicine with Pre-Conference Courses «Laser Florence 2005». Florence; 2005:S21.
80. Lubart R., Friedmann H., Lavie R. Photobiostimulation as a function of different wavelengths. *Laser Therapy*. 2000;12(1):38–41.
81. Lubart R., Shainberg A., Lavie R. EPR spectroscopy of IO2 reveals enhanced redox activity in low power laser illuminated cell cultures. 15th World Congress of the International Society for Laser Surgery and Medicine. Munich; 2003:155.
82. Lavi R., Sinyakov M., Eichler M. et al. Generation of reactive oxygen species and free electrons in visible light illuminated plasma membranes. 20th International Congress Laser Medicine with Pre-Conference Courses «Laser Florence 2005». Florence; 2005:S18.
83. Lavi R., Shainberg A., Shneyvays V. et al. Detailed analysis of reactive oxygen species induced by visible light in various cell types. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2010;42(6):473–480. Doi: 10.1002/lsm.20919.
84. Shahar S., Wisner A., Ickowicz D. et al. Light-mediated activation reveals a key role for protein kinase A and sarcoma protein kinase in the development of sperm hyper-activated motility. *Hum Reprod*. 2011;26 (9):2274–2282. Doi: 10.1093/humrep/der232.
85. Dobrin N., Zamfirescu S., Anghel A.H. et al. Study on the effects of exposure to different doses of energy generated by a He-Ne laser on the quality of frozen-thawed semen of ram. *Romanian Biotechnological Letters*. 2015;20(3):10381–10387.
86. Fernandes G.H.C., de Carvalho Pde T., Serra A.J. et al. The effect of low-level laser irradiation on sperm motility, and integrity of the plasma membrane and acrosome in cryopreserved bovine sperm. *PLoS One*. 2015;10 (3):e0121487. Doi: 10.1371/journal.pone.0121487.
87. Iaffaldano N., Meluzzi A., Manchisi A., Passarella, S. Improvement of stored turkey semen quality as a result of He–Ne laser irradiation. *Anim. Reprod. Sci*. 2005;85(3–4):317–325. Doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.04.043.
88. Ocaña-Quero J.M., Gomez-Villamandos R., Moreno-Millan M., Santisteban-Valenzuela J.M. Biological effects of helium-neon (He-Ne) laser irradiation on acrosome reaction in bull sperm cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1997;40(3):294–298.
89. Yeste M., Codony F., Estrada E. et al. Specific LED-based red light photo-stimulation procedures improve overall sperm function and reproductive performance of boar ejaculates. *Scientific Reports*. 2016;6:22569. Doi: 10.1038/srep22569.
90. Ocaña Quero J.M., Gomez Villamandos R.J., Moreno-Millan M. et al. The effect of helium-neon laser irradiation on in vitro maturation and fertilization of immature bovine oocytes. *Lasers in Medical Science*. 1995;10(2):113–119.
91. Bielanski A., Hare W.C.D. Development in vitro of bovine embryos after exposure to continuous helium-neon laser light. *Theriogenology*. 1992;37:192.
92. Hiraó Y., Yanagimachi R. Detrimental effect of visible light on meiosis of mammalian eggs in vitro. *J Exp Zool*. 1978;206(3):365–370.
93. Levi A.C., Petrino R., Siccardi E. Laser irradiation on chicken embryos. *Boll Soc Ital Biol Sper*. 1987;3(4):233–236.
94. Moreno-Millan M., Ocaña-Quero J.M. Preliminary results of the evaluation of the use of clinical laser He–Ne radiation in the process of bovine «in vitro fertilization». *Bulletin UASVM Vet Med*. 2009;66:495.
95. Ocaña-Quero J.M., Gomez Villamandos R., Moreno Millan M., Santisteban Valenzuela J.M. The effect of the Helium-Neon laser radiation on the in vitro fertilization of bovine oocytes. *Proceedings of the 11th European Coil. Cytogenet. Domest. Anim*. 1994:174–178.
96. Soares C.A., Annes K., Dreyer T.R. et al. Photobiological effect of low-level laser irradiation in bovine embryo production system. *J Biomed Opt*. 2014;19(3):035006–9. Doi:10.1117/1.JBO.19.3.035006.
97. Mims M.F., McKinnell R.G. Laser irradiation of the chick embryo germinal crescent. *J. Embryol. Exp. Morph*. 1971;26(1):31–36.
98. Whitaker M., Smith J. Introduction. Calcium signals and developmental patterning. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2008;363(1495):1307–1310. doi: 10.1098/rstb.2007.2248.
99. Jaffe L.F. Sources of calcium in egg activation: a review and hypothesis. *Dev Biol*. 1983;99(2):265–276.
100. Jaffe L.F. Calcium waves. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2008;363:1311–1316. Doi:10.1098/rstb.2007.2249.
101. Gizinger O.A., Frantseva O.V. Normalizing the effects of low-intensity laser radiation in relation to the functional and metabolic status of neutrophils in semen and kinetic features of sperm in patients with chlamydial infection. *Rossiyskiy immunologicheskiy zhurnal*. 2016;2(1)(19):9–11. Russian (Гизингер О.А., Францева О.В. Нормализующие эффекты низкоинтенсивного лазерного излучения в отношении функционально-метаболического статуса нейтрофилов эякулята и кинетических возможностей сперматозоидов у пациентов с хламидийной инфекцией. Российский иммунологический журнал. 2016;2(1)(19):9–11).
102. Gizinger O.A., Letyayeva O.I., Frantseva O.V. Low-intensity laser therapy in correction of motor dysfunction of spermatozoa in patients with urogenital infections. *Yuzhno-Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. 2014;3:35–41. Russian (Гизингер О.А., Лetyayeva О.И., Францева О.В. Низкоинтенсивная лазеротерапия в коррекции двигательных дисфункций сперматозоидов у пациентов с урогенитальными инфекциями. Южно-Уральский медицинский журнал. 2014;3:35–41).
103. Gizinger O.A., Letyayeva O.I., Frantseva O.V., Zabirowa M.R. Application of low-intensity laser in reproductology. *Vestnik Chelyabinskoy oblastnoy klinicheskoy bol'nitsy*. 2014;4(27):29–33. Russian (Гизингер О.А., Лetyayeva О.И., Францева О.В., Забиrowa М.Р. Применение лазера низкой интенсивности в репродуктологии. Вестник Челябинской областной клинической больницы. 2014;4(27):29–33).
104. Gizinger O.A., Frantseva O.V., Zabirowa M.R. A method for increasing the functional-metabolic status of spermatozoa obtained from healthy human semen in vitro and in vivo. *Vestnik Chelyabinskoy oblastnoy klinicheskoy bol'nitsy*. 2015;1:35–37. Russian (Гизингер О.А., Францева О.В., Забиrowa М.Р. Способ повышения функционально-метаболического статуса сперматозоидов, полученных из семенной жидкости здорового человека, в условиях in vitro и in vivo. Вестник Челябинской областной клинической больницы. 2015;1:35–37).
105. Goryunov S.V. Principles of choosing laser radiation to affect target and studying the effects of this effect on human spermatozoa (experimental study). *Proceedings of the conference «Application of lasers in biology and medicine»*. Kiev; 1995:120–121. Russian (Горюнов С.В. Принципы выбора

- лазерного излучения для воздействия на сперму и изучение эффектов этого воздействия на сперматозоиды человека (экспериментальное исследование). Материалы конф. «Применение лазеров в биологии и медицине». Киев, 1995:120–121).
106. *Goryunov S.V.* Influence of low-energy laser radiation on human spermatozoa (experimental study). Abstract of the thesis. Candidate of medical sciences. Moscow; 1996. Russian (Горюнов С.В. Влияние низкоэнергетического лазерного излучения на сперматозоиды человека (экспериментальное исследование): Автореф. дисс. канд. мед. наук. М., 1996).
 107. *Ban Frangez H., Frangez I., Verdenik I. et al.* Photobiomodulation with light-emitting diodes improves sperm motility in men with asthenozoospermia. *Lasers in Medical Science.* 2015;30(1):235–240. Doi: 10.1007/s10103-014-1653-x.
 108. *Firestone R.S., Esfandiari N., Moskovisev S.I. et al.* The effects of low-level laser light exposure on sperm motion characteristics and DNA damage. *Journal of Andrology.* 2012;33(3):469–473. Doi: 10.2164/jandrol.111.013458.
 109. *Karu T.I.* Lasers in infertility treatment: irradiation of oocytes and spermatozoa. *Photomedicine and Laser Surgery.* 2012;30(5):239–241. Doi: 10.1089/pho.2012.9888.
 110. *Lenzi A., Claroni F., Gandini L. et al.* Laser radiation and motility patterns of human sperm. *Arch Androl.* 1989;23(3):229–234.
 111. *Saeed Gh.Th., Al-Kaisy A.Z., Ali M.Kh.* The effect of the low level laser irradiation on the human sperm motility. *Al-Anbar J. Vet. Sci.* 2014;7(2):6–10.
 112. *Salama N., El-Sawy M.* Light-emitting diode exposure enhances sperm motility in men with and without asthenospermia: preliminary results. *Arch Ital Urol Androl.* 2015;87(1):14–19. Doi: 10.4081/aiua.2015.1.14.
 113. *Singer R., Sagiv M., Barnett M. et al.* Low energy narrow band non-coherent infrared illumination of human semen and isolated sperm. *Andrologia.* 1991;23(2):181–184.
 114. *Preece D., Chow K.W., Gomez-Godinez V. et al.* Red light improves spermatozoa motility and does not induce oxidative DNA damage. *Scientific Reports.* 2017;7:46480. Doi: 10.1038/srep46480.
 115. *Vesich T.L.* Some features of rehabilitating action of laser emission on native and cryopreserved human spermatozoa. *Probl. Cryobiol.* 1994;4(1):33–35.
 116. *Vesich T.L., Kramar M.I.* Study of the action of laser irradiation on the native and cryopreserved human spermatozoa. *Probl. Cryobiol.* 1994;2:53–54.
 117. *Grishchenko V.I., Yurchenko G.G., Vesich T.L. et al.* Increase in the functional activity of native and cryopreserved spermatozoa using helium-neon laser red radiation. *Besplodiye. Vspomogatel'nyye reproduktivnyye tekhnologii.* Kyiv; 1995:78–81. (Грищенко В.И., Юрченко Г.Г., Весич Т.Л. и др. Повышение функциональной активности нативных и криоконсервированных спермиев красным излучением гелий-неонового лазера. Бесплодие. Вспомогательные репродуктивные технологии. Киев; 1995:78–81).
 118. *Moskvin S.V.* Basics of laser therapy. Series «Effective laser therapy». Vol. 1. Moscow–Tver: OOO «Izdatel'stvo "Triada"»; 2016. Russian (Москвин С.В. Основы лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 1. М.–Тверь, 2016).
 119. *Geniatulina M.S., Korolev Yu.N., Nikulina L.A.* The ultrastructure of Leydig cells under the influence of drinking mineral water and electromagnetic radiation under the stress conditions in the rats. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i LFK.* 2016;5:34–37. (Гениатулина М.С., Королев Ю.Н., Никулина Л.А. Ультраструктура клеток Лейдига при действии минеральной воды и низкоинтенсивного электромагнитного излучения в условиях стресса у крыс. Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. 2016;5:34–37).
 120. *Korolev Yu.N., Bobrovitsky I.P., Geniatulina M.S. et al.* The combined action of drinking mineral water and low-intensity electromagnetic radiation under the immobilization stress conditions (an experimental study) *Voprosy kurortologii, fizioterapii i LFK.* 2015;6:37–41. (Королев Ю.Н., Бобровицкий И.П., Гениатулина М.С. и др. Сочетанное действие питьевой минеральной воды и низкоинтенсивного электромагнитного излучения в условиях иммобилизационного стресса (экспериментальное исследование). Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. 2015;6:37–41).
 121. *Korolev Yu.N., Mikhailik L.V., Geniatulina M.S., Nikulina L.A.* The use of drinkable sulfate mineral water in combination with laser and magnetolaser irradiation for primary prophylaxis of post-radiation problems (experimental study) *Voprosy kurortologii, fizioterapii i LFK.* 2010;4:3–6. (Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Гениатулина М.С., Никулина Л.А. Применение питьевой сульфатной минеральной воды в сочетании с лазерным и магнитолазерным излучениями при первичной профилактике пострадиационных нарушений (экспериментальное исследование). Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. 2010;4:3–6).
 122. *Korolev Yu. N., Kurilo L.F., Geniatulina M.S. et al.* The radioprotective effect of laser radiation on the spermatogenesis of rats and their progeny. *Problemy reprodukcii.* 2007;1:3–37. (Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Гениатулина М.С. и др. Радиозащитное действие лазерного излучения на сперматогенез крыс и их потомства. Проблемы репродукции. 2007;1:34–37).
 123. *Makarova N.P., Korolev U.N., Kurilo L.F. et al.* Effect of low intensity laser radiation on testicular tissue during common ionizing irradiation. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya.* 2005;1:23–25. (Макарова Н.П., Королев Ю.Н., Курило Л.Ф. и др. Действие низкоинтенсивного лазерного излучения на ткань семенника при общем радиационном облучении. Андрология и генитальная хирургия. 2005;1:23–25).
 124. *Berezniatskaya A.N., Mendel'son G.I., Makarova I.V.* The influence of long-term low-power laser radiation on the generative function of male mice. *Gigiyenicheskiye aspekty ispol'zovaniya lazernogo izlucheniya v narodnom khozyaystve.* Moscow; 1982:143–144. (Березницкая А.Н., Мендельсон Г.И., Макарова И.В. Влияние длительного хронического лазерного излучения малой мощности на генеративную функцию самцов мышей. Гигиенические аспекты использования лазерного излучения в народном хозяйстве. М., 1982:143–144).
 125. *Gabel P., Harrison K., Sherrin D., Carroll J.* Sperm motility enhancement with low level laser and led photobiomodulation. A dose response study. Abstracts from 7th International Congress of the World Association for Laser Therapy; 2008. *Photomedicine and Laser Surgery.* 2009;27(1):160.
 126. *Stolyarov A.V., Lisichenko H.L., Grabina V.A. et al.* The effect of exposure and wavelength on the efficiency of reproduction in the processes of laser sperm treatment. Proceedings of the XVIII International Scientific-Practical Conference «The use of lasers in medicine and biology», Yalta; 2002: 64–65. (Столяров А.В., Лисиченко Н.Л., Грабина В.А. и др. Влияние экспозиции и длины волны излучения на эффективность репродукции в процессах лазерной обработки спермы. Материалы XVIII Международной науч.-практ. конф. «Применение лазеров в медицине и биологии». Ялта, 2002. С. 64–65).

Поступила 03.07.17

Принята в печать 29.08.17

Received 03.07.17

Accepted 29.08.17

LASER THERAPY FOR MALE INFERTILITY. PART 1. ETIOLOGY AND PATHOGENESIS. EXPERIMENTAL STUDIES

O.I. Apolikhin¹, S.V. Moskvin²

¹N.A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the NMRRC of Minzdrav of Russia, Moscow, Russia; ²The Federal State-Financed Institution "State Scientific Center of Laser Medicine under the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

Corresponding author: S. V. Moskvin – Dr.Bio.Sci., Ph.D. (tech.), The Federal State-Financed Institution "State Scientific Center of Laser Medicine under the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia; e-mail: 7652612@mail.ru

Male infertility is associated with a wide range of pathological conditions affecting both the sexual and other body systems: endocrine, nervous, blood, and immune. Laser therapy is a form of modern physiotherapy that applies low-intensity laser radiation in various parts of the body. It is widely used in all areas of modern medicine due to its high efficiency, ease of use, the absence of contraindications and side effects. The authors reviewed the results of 171 studies investigating laser therapy, of which 93 were experimental (20 in Russian and 73 international publications), 4 clinical and experimental (all in Russian), 74 clinical (73 in Russian and 1 in English). Along with domestic literature, publications in Russian from Belarus, Georgia, Kyrgyzstan, Uzbekistan and Ukraine were studied. The article analyzes the experimental studies, somehow related to the problem of infertility and its treatment using low-intensity lasers. The analysis findings suggest that there are all prerequisites to develop a laser therapy as an effective modality for treating infertile men.

Key words: *male infertility, laser therapy*

Authors declare no conflict of interests for this article. For citations: Apolikhin O.I., Moskvin S.V. laser therapy for male infertility. Part 1. Etiology and pathogenesis. Experimental studies. Urologiya. 2017;5:115–123 (in Russian) Doi: <https://dx.doi.org/10.18565/urology.2017.5.115-123>

Информация об авторах

Аполихин О.И. — член-корр. РАН, д.м.н., профессор, директор НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина — филиал НИИРЦ Минздрава России, Москва, Россия
Москвин С.В. — д.б.н., к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины ФМБА России», Москва, Россия; e-mail: 7652612@mail.ru

Authors' information:

Apolikhin O.I. — Corr.-Member of the RAS, Dr.Med.Sci, Prof., Director of N.A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology — branch of NMRRC of Minzdrav of Russia, Moscow, Russia
Moskvin S.V. — Dr.Bio.Sci., Ph.D. (tech.), The Federal State-Financed Institution "State Scientific Center of Laser Medicine under the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia; e-mail: 7652612@mail.ru