

С.В. МОСКВИН

ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

СЕРИЯ «ЭФФЕКТИВНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ»

Том 1

МОСКВА–ТВЕРЬ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Часть I. БАЗОВЫЕ ВОПРОСЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ	11
Историческая справка.....	11
Физические и биофизические основы лазерной терапии	30
Вводные определения	30
Законы излучения электромагнитных волн.....	31
Физика твёрдого тела.....	34
Свойства лазерного света.....	36
Основы физики лазеров.....	54
Аппаратура для лазерной терапии	71
Блочный принцип построения.....	73
Контроль параметров лазерного излучения	74
Аппараты лазерные терапевтические серии «Матрикс» и ЛАЗМИК®	76
Внешнее управление от компьютера	83
Блок биоуправления «Матрикс-БИО».....	83
Лазерные излучающие головки	84
Оптические и магнитные насадки для лазерной терапии.....	92
Аппарат для вакуумного массажа «Матрикс-ВМ».....	100
Стойка аппаратная универсальная с держателем лазерных головок «Лазмик-СФ»	102
Лазерный физиотерапевтический комплекс «Лазмик-Косметолог».....	104
Лазерный физиотерапевтический комплекс «Матрикс-Уролог»	105
Комплекс для терапии методом локального лазерного отрицательного давления «Матрикс-ЛЛОД»	106
Аппараты для внутривенного лазерного освечивания крови (ВЛОК).....	108
Организационно-правовые вопросы	111
Необходимо ли получение лицензии на трансфузиологию для проведения ВЛОК?.....	113
Классификация лазерной медицинской аппаратуры, её особенности и терминология	122
Нормативные документы и классификация лазеров.....	124
Соответствие лазерной терапевтической аппаратуры стандартам.....	131
Особенности организации работы с лазерными медицинскими аппаратами.....	133
Обработка световодов и оптических насадок.....	138
Персонал.....	140

Основные меры предосторожности при работе с лазерными терапевтическими аппаратами	143
Очки для защиты от лазерного излучения.....	146
Показания к применению лазерной терапии	148
Противопоказания	149
Клинические рекомендации по лазерной терапии	153
Ещё раз о «вреде» и пользе лазерного света (соавт. И.Н. Ушкова, Н.Ю. Малькова)	161
Расчёты «дозы» и энергии вредны для здоровья пациента	163
Лазерное шоу	166
Клин клином	167
Реабилитация пациентов с профессиональной патологией	169
Механизмы биологического (терапевтического) действия низкоинтенсивного лазерного излучения.....	171
Часть II. МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ	198
Основные методы лазерной терапии	199
Наружные методы лазерной терапии.....	199
Контактная методика.....	202
Контактно-зеркальная методика.....	203
Дистантная стабильная методика	205
Лазерная акупунктура	205
Воздействие на зоны Захарьина–Геда	217
Воздействие на паравертебральные зоны.....	218
Воздействие на проекции внутренних органов	221
Неинвазивное (надсосудистое, надвенное, чрескожное, транскутанное) лазерное освечивание крови (НЛОК).....	224
Воздействие на иммунную систему	226
Внутриполостные методы лазерной терапии.....	227
Внутривенное лазерное освечивание крови (ВЛОК).....	228
Сочетание и комбинирование лазерной терапии с другими методами лечения.....	261
Сочетанная и комбинированная физиотерапия	261
Магнитолазерная терапия.....	266
Сочетание с медикаментозной терапией	269
Лазерофорез	271
Модуляция НИЛИ. Лазерная терапия и биологические ритмы.....	276
Модуляция лазерного излучения.....	277
Биологические ритмы и физиология сосудистой системы человека	282
Основные принципы эффективной лазерной терапии	287

Методологические особенности обезболивания лазерным светом (соавт. А.В. Кочетков).....	290
Классификация болевых синдромов [по А.М. Вейн с соавт. (1999)]	290
Методология лазерной терапии с целью обезболивания	300
Механизмы обезболивающего действия лазерного света	301
Экспериментальные и клинические исследования	304
Общие методологические рекомендации	318
Обоснование частных методик лазерного обезболивания	320
Литература по изучению механизмов обезболивания лазерным светом....	338
Часть III. ЧАСТНЫЕ МЕТОДИКИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ	343
Стоматология (соавт. А.Н. Амирханян).....	343
Гингивит и болезни пародонта (K05)	343
Периостит (K10.2), гиперестезия (R20.3), глоссит (K14.0), послеоперационное и травматическое повреждение тканей полости рта.....	349
Периодонтиты (K04.4, K04.5).....	349
Афтозный стоматит (K12.0)	351
Гингивостоматит, вызванный вирусом герпеса (<i>herpes simplex</i>) (B00.2) ...	352
Десквамативный глоссит (K14.1 «Географический» язык).....	352
Синдром Россолимо–Мелькерссона–Розенталя (G51.2).....	353
Сиаладенит (K11.2)	355
Синдром болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (K07.6).....	355
Перелом нижней челюсти (S02.6).....	357
Профилактика послеоперационных осложнений	357
Заболевания пищеварительной системы (соавт. Н.М. Бурдули, Л.Г. Ранок, Д.Я. Тадтаева).....	358
Язва желудка (K25), язва двенадцатиперстной кишки (K26)	358
Гастрит и дуоденит (K29), дискинезия пищевода (K22.4).....	369
Хронический холецистит (K81.1), хронический панкреатит (K86.1).....	370
Хронический гепатит (K73)	373
Вирусные гепатиты (B15–B19).....	375
Цирроз печени (K74).....	377
Неинфекционный гастроэнтерит и колит неуточнённый (K52.9).....	379
Гастроэзофагеальный рефлюкс с эзофагитом (K21.0).....	379
Дерматология и косметология (соавт. С.Р. Утц).....	381
Заболевания кожи, сопровождающиеся выраженным зудом: атопический дерматит (L20), контактный и контактно-аллергический дерматит (L23–L25), красный плоский лишай (L43) и другие	382
Гранулёма кольцевидная (L92.0)	384

Инфекции, вызванные вирусом простого герпеса (B00).....	385
Опоясывающий герпес (B02).....	387
Псориаз (L40).....	388
Локализованная склеродермия (L94.0).....	397
Витилиго (L80).....	399
Акне (L70).....	403
Вирусные бородавки (B07).....	408
Дерматофития (B35).....	410
Гнёздная алопеция (L63–L66).....	411
Васкулит, ограниченный кожей (L95).....	420
Фурункулёз (L02).....	428
Профилактика образования келоидного рубца.....	429
Реабилитация после химических пилингов, лазерных шлифовок.....	431
Келоидный рубец (L91.0).....	432
Декубитальная язва (L89).....	433
Заболевания мочеполовой сферы (соавт. Л.П. Иванченко).....	434
Гломерулярные болезни (N00–N08).....	436
Амилоидоз (E85).....	439
Хроническая почечная недостаточность (N18).....	440
Хронический пиелонефрит (N11.1).....	441
Диабетическая нефропатия (N08.3).....	446
Лазерная профилактика осложнений при гемодиализе (Z49.1) и после трансплантации почек (Z94.0).....	449
Мочекаменная болезнь (N20–N23).....	450
«Каменная дорожка» после дистанционной литотрипсии.....	453
Острый цистит (N30.0), интерстициальный цистит (хронический) (N30.1).....	456
Орхит и эпидидимит (N45).....	457
Уретрит и уретральный синдром (N34).....	463
Острый простатит (N41.0), хронический простатит (N41.1).....	465
Пластическая индурация полового члена (N48.6).....	479
Женское бесплодие (N97), мужское бесплодие (N46).....	482
Сексуальная дисфункция (F52).....	483
Послеоперационные швы.....	494
Травматические фистулы мочеточников.....	494
Неврология (соавт. А.В. Кочетков, А.Н. Карнеев).....	495
Головная боль.....	498
Невралгия тройничного нерва (G50.0).....	503
Поражения лицевого нерва (G51).....	503
Невралгия (F48.0).....	505
Цереброваскулярные болезни (I60–I69).....	505

Дисциркуляторная энцефалопатия (хроническая ишемия мозга, I67.8).....	511
Сосудистые миелопатии (G95.1)	512
Поражение седалищного нерва (G57.0).....	513
Миофасциальный болевой синдром.....	514
Дорсопатии (M40–M54).....	514
Анкилозирующий спондилоартрит (M45).....	518
Полинейропатии (G60–G63).....	520
Травматическая нейропатия (G58.8)	523
Последствия внутричерепной травмы (T90.5).....	524
Эпилепсия (G40).....	526
Менингит (G00–G03), энцефалит, миелит и энцефаломиелит (G04–G05).....	527
Рассеянный склероз (G35).....	529
Синдром хронической усталости (G93.3)	529
Офтальмология (соавт. И.А. Попова)	531
Экспериментальные исследования влияния низкоинтенсивного лазерного света на глаза	531
Клинические исследования возможного применения НИЛИ в терапии глазных болезней.....	542
Методология лазерной терапии в офтальмологии	579
Внутривенное лазерное осветивание крови в офтальмологии.....	589
Кардиология (соавт. Н.М. Бурдули, Е.Ю. Гиреева)	593
Аритмия (сердечная) (I49.9).....	593
Ишемическая болезнь сердца (I20–I25), стенокардия (I20).....	595
Эссенциальная (первичная) артериальная гипертензия (I10)	596
Заболевания периферических сосудов (соавт. А.В. Гейниц)	604
Облитерирующий тромбангиит (болезнь Бергера) (I73.1).....	604
Флебит и тромбофлебит (I80), варикозное расширение вен нижних конечностей (I83), диабетическая периферическая ангиопатия (I79.2), варикозная язва (I83.0, I83.2), постфлебитический синдром (I87.0), декубитальная язва (L89)	605
Синдром Рейно (I73.0).....	606
Пульмонология (соавт. А.Г. Малявин).....	607
Острый бронхит (J20), хронический бронхит неуточнённый (J42), простой и слизисто-гнойный хронический бронхит (J41).....	607
Хронический бронхит обструктивный (J44.8), бронхоэктатическая болезнь (J47)	608
Пневмония (J12–J18), хроническая обструктивная лёгочная болезнь с обострением (J44.1).....	609
Астма (J45), астма с преобладанием аллергического компонента (J45.0).....	609

Пневмония у детей.....	609
Плеврит (R09.1).....	610
Заболевания костно-мышечной системы (соавт. Е.А. Мазуркевич, Т.В. Кончугова).....	611
Ревматоидные артриты (M05–M06).....	612
Артрозы (M15–M19).....	612
Медиальный (M77.0) и латеральный (M77.1) эпикондилиты, периартериит запястья (M77.2), бурситы (M70.1–M70.7, M71.1, M71.5, M75.5).....	612
Тендиниты (M76), миозит (M60).....	613
Пяточная шпора (M77.3), синдром сдавления ротаторов плеча (M75.1).....	614
Фибромиалгия (M79.0).....	615
Лазерная терапия в хирургической практике (соавт. А.В. Гейниц).....	617
Открытая рана (T14.1).....	617
Перитонит (K65).....	618
Множественные поверхностные травмы неуточнённые (T00.9), укус или удар, нанесённый собакой (W54), другими млекопитающими (W55).....	619
Травматический периостит.....	619
Переломы костей (T02).....	620
Лимфадениты: острый (L04), неспецифический (I88).....	620
Послеоперационные осложнения (язвы, нагноения, пролежни) (Z98.8, T81.9).....	620
Послеоперационная кишечная непроходимость (K91.3).....	621
Термические и химические ожоги (T20–T25), солнечный ожог (L55).....	623
Трещина заднего прохода (K60.0–K60.2).....	624
Геморрой (I84).....	624
Рожа (A46).....	624
Эритема (L51–L54).....	626
Оториноларингология (соавт. А.Н. Наседкин).....	627
Лазерная акупунктура в оториноларингологии.....	627
Реабилитация после ринохирургических вмешательств, помощь, включающая использование реабилитационных процедур (Z50).....	632
Евстахиит (H68.0), наружный (H60) и средний отит (негнойный H65, гнойный H66). Кохлеоневрит (H94.0). Болезнь Меньера (H81.0).....	634
Хронический тонзиллит (J35.0).....	634
Аденоидные вегетации II–III степени (J35.2).....	634
Хронический фарингит (J31.2). Назофарингиты (острый J00, хронический J31.1).....	635
Хронический гайморит (J32.0), фронтит (J01.1).....	635

Вазомоторный ринит (J30.0).....	635
Хронический вазомоторный ринит (J31.0).....	636
Акушерство и гинекология (соавт. Т.А. Фёдорова, И.А. Аполихина).....	637
Нормализация нарушений менструального цикла (N91–N92), дисфункция яичников (E28) и альгодисменорея (N94)	640
Женское бесплодие (N97), обусловленное дисфункцией яичников (E28) и гипоталамо-гипофизарными нарушениями (E23, E23.3)	643
Эрозия шейки матки (N86)	645
Послеродовой эндометрит (O85).....	646
Сальпингит и оофорит (N70): острые (N70.0), хронические (N70.1), неуточнённые (N70.9)	648
Бартолинит острый (в стадии инфильтрации), подострый и хронический (N75.8).....	649
Кольпит (вагинит, N76.0), цервицит/эндоцервицит (N72).....	649
Крауроз вульвы (N90.4), идиопатический нейрогенный зуд вульвы (L29.2).....	651
Трещина соска, связанная с деторождением (O92.1), неуточнённые нарушения лактации (O92.7), гипогалактия (O92.4) у родильниц.....	652
Невынашивание беременности (O26.2)	654
Плацентарная недостаточность (O43).....	656
Иммунология (соавт. О.А. Гизингер).....	663
Влияние НИЛИ на изменения функциональной активности и скорости НАДФ-оксидазной реакции нейтрофилов периферической крови человека (экспериментальное исследование)	665
Методология лазерной терапии при иммунодефицитных состояниях	671
«Часто болеющие дети»	679
Абсцессы челюстно-лицевой области у детей.....	680
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ И ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ РОСЗДРАВНАДЗОРОМ РФ.....	681
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ.....	720
Извлечения из нормативных документов.....	722
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПЕРЕЧЕНЬ НЕКОТОРЫХ УТВЕРЖДЁННЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ.....	755
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ЛАЗЕРНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ РОСЗДРАВНАДЗОРОМ РФ.....	762
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	769

ЕЩЁ РАЗ О «ВРЕДЕ» И ПОЛЬЗЕ ЛАЗЕРНОГО СВЕТА (соавт. И.Н. Ушкова, Н.Ю. Малькова)

Уж сколько раз твердили миру,
Что лезть гнусна, вредна; но только всё не впрок,
И в сердце льстец всегда отыщет уголок.

И.А. Крылов

Известно, что развитию лазерной терапии мешают достаточно активные «доброжелатели», которые, подтасовывая и даже намеренно фальсифицируя факты, всячески пытаются её дискредитировать. Но значительно хуже эйфория от достигнутых результатов лечения, которые выглядят порой совершенно фантастическими. Как следствие – исчезает элементарная осторожность, и лазерное воздействие начинают применять по поводу и без него. Мы говорили, говорим и будем говорить, что лазерный свет безвреден по своей физической сути (см., например, введение к этой книге), но призываем относиться к нему с уважением. Совершенно недопустимо, например, всем и вся продавать лазерные аппараты, не задумываясь, кто, куда и зачем себе потом посветит. Нельзя всем, без учёта особенностей течения заболевания и возраста пациента, назначать одну и ту же методику лазерного воздействия и/или не контролировать качество её проведения. Этому и посвящён представленный ниже раздел книги.

Совершенно очевиден тот факт, что применение неадекватных параметров лазерного воздействия может вызвать негативные ответные реакции организма, как в эксперименте, так и в клинике. И в этом смысле надо быть предельно собранными и осторожными в назначении и реализации лечебных процедур. Поэтому современная методология ЛТ предусматривает оптимизацию энергетических характеристик НИЛИ: минимальные мощности, экспозиция на одну зону воздействия *строго не более 5 мин*, частота для импульсных лазеров 80 Гц для первых процедур и т. д. Ошибки именно методологического плана в настоящее время встречаются редко, что очень радует. Во многом заслуга этого в постоянно совершенствующейся системе профессиональной подготовки (хотя и не во всех регионах), непрерывной модернизации аппаратов (как тенденции) и появления большого числа *качественных* клинических рекомендаций, соответствующих современным требованиям к высокой эффективности, воспроизводимости и безопасности методик лазерной терапии.

Ещё совсем недавно некоторые авторы удивлялись тому, как часто в клинике возникают обострения, «хотя экспозиция составляла 15 мин, а частота 1500 Гц» (для импульсного ИК НИЛИ с длиной волны 890 нм), призывая всех к осторожности [Полосин А.Ю., 1997], а другие подхватывали – «лазер вреден». К счастью, достаточно быстро разобрались в причинах имевшихся проблем в этой конкретной ситуации, обусловленных явной передозировкой,

и впоследствии уже были рекомендованы низкие частоты (80 Гц) и экспозиция до 0,5 мин (для детей) как безопасные и эффективные [Полосин А.Ю., 2003].

Также не прекращаются ангажированные попытки некоторых проверяющих органов запретить лазерную терапию, распространяя заведомо ложную информацию о якобы вредности этого лечебного фактора, что также вызывает определённую нервозность у медперсонала. Нельзя запрещать пить воду на том основании, что кто-то может захлебнуться, но понимание потенциальной опасности при этом должно быть. Навредить лазерным светом даже очень малой мощности и энергии можно, если применять метод неправильно, однако границы предельных значений параметров столь далеки от рекомендуемых, что надо быть ну очень некомпетентным и безответственным человеком, чтобы перейти их. В связи с этим складывается устойчивое мнение, что непрофессионализм использующих лазерные аппараты есть самое серьёзное противопоказание для лазерной терапии.

Важным вопросом является обеспечение безопасности при работе с мощными лазерами или на фоне *постоянно* действующей лазерной засветки низкой интенсивности. Недаром существуют стандарты «Лазерная безопасность» (ГОСТ Р МЭК 60825-1-2009, ГОСТ 31581-2012) и другие соответствующие регламенты, в которых отдельные вопросы, рассматриваемые ниже, выходят за рамки материала из главы «Организационно-правовые вопросы». Да и сами нормативные документы далеки от совершенства, о чём хорошо знают специалисты. В частности, СанПиН № 5804-91 давно требуют корректировки. Исследование органов зрения в профессиональных группах выявило понижение остроты зрения под влиянием лазерного света видимого и ИК-спектров в динамике 5 лет, отмечено понижение световой и цветовой чувствительности [Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю., 1998, 2001], следовательно, необходимо либо снижать ПДУ, либо менять условия работы и проводить специальные профилактические мероприятия.

И.Н. Ушкова и Н.Ю. Малькова (2014), подводя итоги работы за последние десятилетия по гигиеническим и лечебным аспектам влияния лазерного излучения, пришли к выводу, что изучение условий труда, состояния здоровья работающих и знание механизмов биологического действия лазерного света различных длин волн и интенсивностей позволило обосновать нормативы и скорректировать существующие санитарные нормы и правила устройства эксплуатации лазеров. Изучение патогенеза биологического действия НИЛИ позволило обосновать способы профилактики функциональных расстройств и лечения различных профессиональных заболеваний, создать школу профилактического и лечебного направления на основе его использования.

Лазерный свет может быть и высокоэффективным методом профилактики различных профессиональных заболеваний. Этой теме мы также уделим некоторое внимание, хотя и не в должной степени в силу ограничений по объёму книги и заданного формата.

К великому сожалению, приходится регулярно повторять избитую фразу о лекарстве и яде – «инь и янь» всего сущего, проявляющиеся в зависимос-

ти от количества употреблённого. Однако не нужно никаких философских размышлений, чтобы понять простую вещь – нет абсолютно полезного и абсолютно вредного. Казалось бы, в отношении лазерного света низкой интенсивности никак нельзя даже произносить слов о вреде, поскольку этот замечательный и высокоэффективный лечебный фактор практически не имеет противопоказаний, но необходимо отчётливо понимать, что неправильное его использование может привести к негативным последствиям. Н.Ю. Мальковой и И.Н. Ушаковой предложен даже специальный термин для обозначения комплекса неспецифической ответной реакции организма – «синдром лазерного заболевания», при котором у пострадавших выявляется вегетативная дисфункция, нейроциркуляторная дистония, увеличение активности щелочной фосфатазы крови, снижение остроты зрения не менее чем на 10% и световой чувствительности на 40% [А. с. 1804780 SU]. Как возможные тесты для гигиенического нормирования лазерного излучения рассматриваются тканевые тиолы [Родионова Л.П. и др., 1985].

Достаточно часто негативное влияние лазерного света на организм человека обусловлено именно неосторожным обращением с аппаратурой.

Расчёты «дозы» и энергии вредны для здоровья пациента

Как оказалось, вопрос не праздный, приходится постоянно возвращаться к нему. В наибольшей степени это связано с достаточно активной рекламой некоторыми недобросовестными производителями такой функции, имеющейся у их аппаратов, как «контроль дозы» или «расчёт энергии». Но надо понять раз и навсегда, что абстрактная величина, указанная в методиках, наносит лишь безусловный вред развитию лазерной терапии как контролируемого, воспроизводимого, безопасного и эффективного метода лечения. Более того, подобный «сервис» может стать медвежьей услугой для пациента, поскольку резко увеличивает вероятность методической ошибки со стороны персонала и приводит к негативным последствиям.

В медицинской карте при назначении процедуры должны быть указаны ВСЕ параметры методики, это необходимо для контролируемого и воспроизводимого процесса лечения. Но там нет и не должно быть ни слова про «дозу» (откройте любую приличную книгу по лазерной терапии). Иначе всё сводится к одной простой рекомендации – «воздействовать на место, которое болит, дозой 1 Дж», как это сделано в некоторых руководствах [Пономаренко Г.Н., Воробьев М.Г., 2005] (кстати, эти авторы признали свою ошибку и больше не публикуют подобные «методики»).

Избыточная информация в виде дополнительных показаний фотометра или расчётов с последующей индикацией вредны для эффективности лазерной терапии, поскольку лишь отвлекают от работы и вносят путаницу в процесс оптимизации параметров эффективной методики!

Боле того, в системе единиц измерения [ГОСТ 8.417-2002] для оптического излучения (света) *нет ни слова про «дозу», а использующие этот термин в лазерной терапии просто нарушают закон!* Есть энергетическая плотность (ЭП), которая измеряется в этих единицах (1 Дж/см²). Мы постоянно говорим на лекциях, что необходимо в публикациях по лазерной терапии и в практическом ежедневном общении исключить термины «облучать» и «доза» как не соответствующие принятым ГОСТ 8.417-2002 единицам измерения и необоснованно пугающие пациентов и медперсонал.

В медицинской карте при назначении процедуры для контроля должны быть указаны ВСЕ параметры методики лазерной терапии *отдельно: длина волны, режим работы, мощность, время экспозиции, площадь воздействия (метод воздействия) и частота для импульсных лазеров.*

Почему же ВРЕДНО для ЭФФЕКТИВНОЙ лазерной терапии, а иногда и для пациентов, когда аппарат подсчитывает энергетическую плотность или энергию? Продемонстрируем на различных вариантах задания параметров методики.

Вариант 1. ЭП может быть одинаковой (часто оптимальное значение именно 1 Дж/см²) в трёх разных ситуациях (подразумевается контактно-зеркальная методика и эффективная площадь освечивания 1 см²):

1. Мощность 1 мВт умножить на время экспозиции 1000 с (около 15 мин) = 1 Дж/см².
2. Мощность 1000 мВт умножить на время экспозиции 1 с = 1 Дж/см².
3. Мощность 10 мВт умножить на время экспозиции 100 с (около 1,5 мин) = 1 Дж/см².

Но эффект, положительный результат лечения будет ТОЛЬКО в 3-м случае, когда заданы все оптимальные параметры, да и то только для лазеров непрерывного режима работы с длиной волны 635 нм (красный спектр). В вариантах 1 и 2 эффект будет отсутствовать практически для любого лазерного света в непрерывном режиме! Это следствие нелинейности соотношения указанных параметров, поскольку оптимальными являются именно экспозиции 100 и 300 с, что связано с периодом 100 с распространения волн повышенной концентрации Са²⁺ в клетках и тканях [Москвин С.В., 2008].

Вариант 2. Если использовать лазеры с разной длиной волны, то эффект при формально одинаковой энергетической плотности будет совершенно разный! Например, известно, что при проведении ВЛОК с длиной волны 635 нм (красный спектр), мощностью 2 мВт, оптимальное время воздействия составляет 15 мин. Если такое же время экспозиции выбрать для воздействия НИЛИ с такой же мощностью, но с длиной волны 365 нм (УФ-спектр, лазерное УФОК), то будет явная «передозировка», и негативные последствия почти гарантированы. (При этом аппарат показывает, что всё хорошо, ЭП именно та, которая дана в некоторых «рекомендациях».)

Вариант 3. Представим себе, что процесс подсчёта ЭП запущен, но при этом просто забыли включить нужный канал или с излучающей головки не

сняли защитную крышку, а может, просто забыли лазерную головку разместить в нужном месте. Что тогда? Формально калькулятор подсчитал верно, «доза» якобы оптимальная, на индикаторе всё хорошо, а результат будет какой? Ответ очевиден, дискредитация метода.

Вариант 4. Как подробно показано во втором томе серии, важна энергетическая плотность, но аппарат рассчитывает только энергию, т. е. перемножает измеренную мощность на время, и всё. При различной методике (локализации) и расстоянии от лазерной излучающей головки до области воздействия результаты могут существенно различаться.

Вариант 5. Для импульсных лазеров ЭП прямо пропорциональна частоте следования импульсов, поскольку от неё зависит средняя мощность. То есть появляется ещё один фактор влияния на результат лечения. Кроме того, для импульсных лазеров ЭП по средней мощности в 100–1000 раз меньше. В этом случае возникает дополнительная проблема, одинаковую ЭП можно получить при импульсной мощности 10 Вт, частоте 80 Гц или мощности 100 Вт, частоте 8 Гц. Понятно, что эффекты будут совершенно разными.

На конечный результат влияют все параметры методики по отдельности:

- длина волны,
- режим работы лазера,
- мощность излучения,
- время экспозиции,
- частота,
- методика (площадь освечивания),
- локализация воздействия,

и только при условии, что все они задаются последовательно, контролируемо и правильно в своей совокупности, мы можем говорить о прогнозируемости и воспроизводимости получаемого результата. При этом достигается максимальный эффект от лазерного воздействия и лечения в целом, перемножать что-то на что-то нет никакой необходимости, это только отвлекает от нормальной работы!

Подсчёт «дозы» на аппарате – исключительно маркетинговый ход, лишь позволяющий недобросовестным производителям получить дополнительную прибыль, создавая при этом проблемы медперсоналу и пациентам. Ненужная индикация снижает эффективность лечения, повышая одновременно вероятность ошибки при проведении процедур. К компаниям, выпускающим подобные аппараты, надо относиться настороженно (как минимум), там работают дилетанты, не понимающие, что творят, не задумывающиеся о последствиях, не знающие базовые нормативные документы и стандарты.

В назначении всегда надо указывать все параметры методики (см. выше), но есть и исключения, в методике внутривенного лазерного освечивания крови задают всего три: длина волны, мощность и экспозиция, поскольку практически всегда используют только непрерывные лазеры без модуляции и способ доступа исходно определён.

Необходимо постоянно контролировать строгое выполнение последовательности задания параметров методики при проведении процедур ЛТ. Чтобы не перепутать лазерные излучающие головки в аппаратах серий «Матрикс» и «Лазмик», используется цветовая дифференциация разъёмов и ремешков для крепления лазерных головок для ВЛОК на руке.

Также необходимо полностью исключить из обихода слова «облучать» и «облучение», заменить их на нейтральные «светить», «освечивать», «воздействовать». Это создаст атмосферу большего доверия у пациентов к процедуре и не будет вызывать ненужных сомнений в её безопасности.

Лазерное шоу

Почти обязательной составляющей любого крупного события или представления является лазерное шоу, которое сопровождается применением лазерных проекционных систем для создания статических или динамических музыкально-синхронизированных лучевых композиций графических изображений на экране или в пространстве зрительской аудитории. В качестве объекта локализации изображения используются различные светорассеивающие среды: стена здания, рельеф местности, отражающий или полупрозрачный экран. В концертных, цирковых и театральных программах нередко используют лазерные эффекты в качестве элемента светового оформления. Как правило, это лучевые композиции, дифракционные картины, развёртки луча в пространстве, позволяющие в слегка задымленном пространстве сцены и зала создавать волны, туннели и множество других объёмных композиций в соответствии с возможностями сканирующих устройств проекционной системы.

При проведении лазерного шоу должны выполняться определённые правила и требования, обеспечивающие безопасность зрителей, артистов, персонала и окружающих объектов. В первую очередь эти требования касаются мощности лазерных лучей, их направления и продолжительности воздействия [Дуванов Б.Н., 2007].

Нарушение правил безопасности во время проведения лазерного шоу может привести к тяжёлым последствиям для здоровья окружающих. Подтверждением этому являются события, произошедшие на музыкальном фестивале «Акварин» на границе Петушинского и Кержачского районов Владимирской области в ночь на 6 июля 2008 г., в котором участвовали сотни человек. После проведения фестиваля в больницы попали более 30 зрителей с ожогами сетчатки глаз, нарушением кровообращения глазных артерий. Потеря зрения в отдельных случаях составила до 80%, при этом у пациентов отмечались кровоизлияния на глазном дне и на сетчатке глаза различной величины. Получить такие повреждения возможно только при ЭП, превышающей величины ПДУ. Причиной этого явилось рассеяние лазерного света из-за дождя или направление его непосредственно на аудиторию из-за сбоя программы [Андрюхин А., 2008]. Данный случай является примером грубого нарушения норм и правил

безопасности при работе с лазерным оборудованием, но значительно важнее то обстоятельство, что лазерные проекторы могут представлять опасность даже при допустимых уровнях энергии (плотности мощности).

Исследования показали, что многие проекторы, широко используемые в настоящее время в театральнo-зрелищных мероприятиях, вне зависимости от их выходной мощности и длины волны имеют превышение ПДУ лазерного излучения для глаз, являются опасными для артистов и/или зрителей. Действие лазерного света на глаза красной (640–680 нм), зелёной (532 нм) и синей (440–445 нм) областей спектра энергетическими освещённостями, применяемыми при проведении лазерных шоу, даже с энергиями, не превышающими предельно допустимых уровней, могут привести, тем не менее, к достоверным изменениям функции зрения по состоянию световой и цветовой чувствительности. Наиболее значимые изменения отмечены при действии излучения с длиной волны 532 нм, менее значимые – при действии излучения в синей области спектра (440 нм) [Малькова Н.Ю. и др., 2014; Малькова Н.Ю., Спиридонов П.Ю., 2010].

Клин клином

Одной из активно развивающихся технологий, способной в значительной мере заменить использование ручной электрической и газовой резки и сварки металлов, является применение когерентного излучения большой мощности, создаваемого лазерами. В настоящее время разработаны и внедряются различные типы лазерных технологических установок, излучающих в диапазоне от ультрафиолетовой до дальней ИК-области спектра.

Углекислотные (CO₂) лазеры достаточно мощные, при этом долговечны, имеют длину волны в дальней ИК-области (10 600 нм), на которой эффективно поглощают многие материалы, соответственно, перспективны для производственного использования, в связи с чем и заняли ведущее место в промышленности. Углекислотные лазеры всё шире используются в различных областях науки, техники, медицины для резки различных материалов – металла, дерева, ткани, биообъектов, резины и т. д. Соответственно, значительно расширился контингент лиц, контактирующих с отражённым лазерным излучением большой мощности, поэтому потребовалось привлечение гигиенистов труда на самых ранних стадиях проектирования оборудования для обеспечения разработки безопасных лазерных установок [Малькова Н.Ю., 2002]. Не в полной мере обеспечена и защита персонала, занимающегося сборкой мощных лазерных технологических установок, работающих в дальней ИК-спектральной области [Малькова Н.Ю., 2003].

Также имеющиеся нормативные документы не в полной мере отражают способы и методы защиты от лазерного света и вообще не рассматривают вопросы профилактики развития профессиональных заболеваний. Оказалось, что НИЛИ в комплексе с другими мерами наилучшим образом позволяет обеспе-

чить профилактику развития патологических процессов и профессиональных заболеваний в случае превышения ПДУ при работе с мощными лазерными установками. И это крайне интересный факт.

Н.Ю. Мальковой (2006) впервые была дана комплексная гигиеническая оценка условиям труда сборщиков лазерных установок с длиной волны 10 600 нм. Выявлена совокупность неблагоприятных факторов, действующих в этих условиях, к числу которых относятся: диффузно отражённое лазерное излучение, напряжение зрения, нервно-эмоциональное напряжение, низкие уровни естественного и искусственного освещения.

На основании клинико-физиологических и клинических исследований показано, что у сборщиков и настройщиков углекислотных лазеров могут развиваться изменения со стороны центральной нервной системы в виде невротического и астеновегетативного синдромов; зрительного анализатора – понижения световой чувствительности, снижения лабильности; сердечно-сосудистой системы – повышения артериального давления, увеличения влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы, что обусловлено особенностями трудового процесса. На основании комплексных экспериментальных исследований уточнены некоторые механизмы действия и обоснован предельно допустимый уровень диффузно отражённого лазерного излучения с длиной волны 10 600 нм для глаз и кожи.

Установлены некоторые закономерности, формирующие профессиональный риск нарушения здоровья работающих в процессах промышленного применения и производства лазеров, излучающих в дальней инфракрасной области спектра:

- обосновано использование принципа пороговости при нормировании отражённого лазерного излучения;
- установлены трёхмерная зависимость время–энергия–эффект и кумулятивный эффект действия лазерного излучения;
- выполнен расчёт теплофизических процессов в роговице глаза;
- исследованы функциональные изменения в микроциркуляторном русле кожи животных;
- решены некоторые вопросы патогенеза действия лазерного излучения с длиной волны 10 600 нм на глаза и кожу [Малькова Н.Ю., 1990, 2006; Ушкова И.Н. и др., 1996].

Разработаны научные основы профилактических мероприятий по сохранению здоровья работающих в условиях воздействия лазерного излучения ИК-части спектра, внедрение которых позволило улучшить условия труда, снизить профессиональную заболеваемость и повысить производительность труда у работающих с мощными лазерами [Малькова Н.Ю., 2006].

На основании гигиенических, физиологических и экспериментальных исследований предложен и утверждён ПДУ для отражённого лазерного излучения с длиной волны 10 600 нм – $1,3 \cdot 10^{-2}$ Вт/см².

Воздействие НИЛИ на орган зрения (650 нм, ПМ $2 \cdot 10^{-4}$ мВт/см², 2 мин) в течение 5 дней вызывает выраженный профилактический эффект. При невы-

полнении данного мероприятия наступает зрительное утомление, приводящее к общему переутомлению, развитию близорукости в дальнейшем.

Дополнительно для восстановления кровоснабжения верхних конечностей, нарушенного в результате статических и динамических нагрузок на руки в процессе работы, снятия ангиоспазма, необходимо освечивать тыльную поверхность кисти (650 нм, непрерывный режим, ПМ 0,8 мВт/см², 5 мин) в течение 5–7 дней. В основе восстановительного действия НИЛИ лежит улучшение кровоснабжения, связанное с изменением соотношения диаметра крупных артерий и вен за счёт расширения артериального русла.

Рекомендуется введение регламентированных 10-минутных перерывов для проведения производственной гимнастики, направленной на расслабление мышц спины и рук, через два часа после начала работы и за два часа до её окончания с целью снятия производственного утомления и уменьшения неблагоприятного действия малой двигательной активности в течение рабочего дня [Малькова Н.Ю., 2006].

Реабилитация пациентов с профессиональной патологией

К профессиональным заболеваниям периферической нервной системы относятся, в том числе, вегетативно-сенсорная полинейропатия конечностей, компрессионные мононейропатии и дорсопатии [Профессиональная патология. Национальное руководство, 2011]. Эти заболевания возникают при выполнении работ, связанных со статико-динамическими нагрузками на плечевой пояс, при многократно повторяющихся движениях рук, давлении на нервные стволы в сочетании с охлаждением и микротравматизацией. Примером такого труда могут быть шлифовальные, формовочные, строительные, сельскохозяйственные работы [Косарев В.В. и др., 2009].

Анализ литературы позволяет утверждать, что лазерная терапия, обладая широким спектром действия на различные пути патогенеза, не только является распространённым методом лечения многих заболеваний, но может быть с успехом использована в реабилитации пациентов с профессиональными заболеваниями с длительно сохраняющимся неврологическим дефицитом [Кочетова О.А., Малькова Н.Ю., 2013], для снятия зрительного утомления, профилактики развития вибрационной болезни [Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю., 2001, 2004; Ушкова И.Н. и др., 1999, 2010, 2013, 2015], функциональных нарушений зрения у работающих на персональных компьютерах [Ушкова М.К., 2009], заболеваний верхних конечностей у работающих во вредных условиях труда [Малькова Н.Ю. и др., 2009; Ушкова И.Н. и др., 2003], заболеваний нижних конечностей профессиональной этиологии [Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю., 2009]. Данные последних исследований демонстрируют расширение возможного применения ЛТ в практике профпатологии, в частности, при облитерирующих поражениях сосудов нижних конечностей, миофиброзах, аллергическом дерматите. Обращает на себя внимание факт наличия кумулятивного эффекта

лазерного воздействия, что объясняет необходимость курсового лечения [Ушкова И.Н. и др., 2015].

Специфика работы на компьютере требует значительного напряжения зрения и приводит к устойчивому развитию утомления зрительного анализатора. Статическое и динамическое напряжение мышц рук и шейного отдела позвоночника при работе на клавиатуре может сопровождаться развитием ангиоспазма верхних конечностей и приводит к развитию клинических синдромов остеохондроза шейного отдела позвоночника [Малькова Н.Ю. и др., 2002].

Установлено, что после 4 ч 35 мин работы на компьютере снижается интенсивность и точность работы, число пикселей в теппинг-пробах, что указывает на ухудшение корковой нейродинамики, снижение функционального состояния ЦНС. Выявлено уменьшение количества сотрудников с высоким и средним уровнем работоспособности и увеличение с низким, преобладание процента пользователей с утомлением и выраженным утомлением, особенно в конце рабочего дня. Это свидетельствует о снижении адаптивных возможностей организма, развитии значительного утомления в условиях работы на компьютере [Хасанова Н.Н. и др., 2013].

Для сохранения здоровья работающих на компьютере в целом, и поддержания уровня их работоспособности в частности, необходимо проводить профилактические мероприятия, среди которых воздействие НИЛИ может оказаться одним из самых простых и эффективных. Н.Ю. Малькова с соавт. (2002) провели обследование 134 пользователей персональных компьютеров в возрасте от 25 до 57 лет, стаж работы 4–21 год. Сбалансированное и обоснованное физиологически действие лазерным светом проводили в трёх вариантах:

- для снятия зрительного утомления по известной утверждённой методике [Снятие зрительного утомления, 1989] непрерывным НИЛИ (длина волны 635–670 нм) бинокулярно на глаза с ЭП $2,4 \cdot 10^{-5}$ Дж/см² в течение 5 дней;
- для снятия ангиоспазма в верхних конечностях на тыльную сторону кисти рассеянным непрерывным НИЛИ с длиной волны 650 нм и ЭП 0,021 Дж/см² в течение 5–6 дней;
- для профилактики остеохондроза непрерывным НИЛИ с длиной волны 650 нм и ЭП 0,024 Дж/см² в течение 7–10 дней.

Исследование показало, что воздействие непрерывным НИЛИ красной области спектра на глаза снимает зрительное утомление. Статическое и динамическое напряжение на руки при работе с компьютерами приводит к развитию ангиоспазма, периодическое освечивание тыльной поверхности кисти улучшает кровоснабжение, снимает ангиоспазм. Неудобная рабочая поза при работе с компьютерами способствует развитию клинических проявлений остеохондроза шейного отдела позвоночника, воздействие на паравертебральную область предотвращает развитие этих проявлений [Малькова Н.Ю. и др., 2002]. В основе эффекта действия НИЛИ на зрительный анализатор лежит улучшение его кровоснабжения, связанное с изменением соотношения диаметра сосудов за счёт расширения артериального русла [Ушкова М.К., 2009].

МЕХАНИЗМЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО (ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО) ДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Подробнее о первичном механизме биологического действия НИЛИ можно почитать в следующем томе серии книг «Эффективная лазерная терапия» [Москвин С.В., 2014], на сайтах <http://www.lllflaser.ru> и <http://lazmik.ru> в свободном доступе можно скачать первую часть книги «Эффективность лазерной терапии» (Т. 2 серии), посвящённую детальному рассмотрению темы. Ниже в этой главе, а также в других разделах книги представлен материал о некоторых вторичных процессах, происходящих после поглощения лазерного света живыми клетками и биотканями, знание которых крайне важно в прикладном, клиническом применении, для обоснования самой возможности использования ЛТ.

Несколько десятилетий развитие лазерной терапии шло в значительной степени по эмпирическому пути. Необходимо признать, что теоретические работы продвигались наиболее активно только в области изучения конечных физиологических реакций, т. е. вторичных лазериндуцированных процессов, а вопрос о первичных механизмах оставался открытым. Причиной тому во многом послужил принципиально ошибочный подход большинства исследователей к решению данного вопроса, а именно непрямой поиск первичного акцептора исходя из предположения о фотобиологической природе лазериндуцированных эффектов.

Действительно, в классической фотобиологии, рассматривающей специфическое действие света – фотохимические реакции, фотосинтез и др., изучаются процессы взаимодействия пары «акцептор–фотон», обеспечивающей фотобиологический эффект. В рамках такой модели принципиально важно для каждого фотоиндуцированного ответа биологической системы найти свой акцептор (поглотитель) фотонов света с заданной длиной волны, так называемый спектр действия [Смит К., Хэнеуолт Ф., 1972]. Обнаружив и изучив фотобиологический отклик первичного элемента, практически всегда можно прогнозировать процессы, развивающиеся в дальнейшем.

Поиском первичных акцепторов фотобиологи по инерции мышления стали заниматься также при изучении эффектов, вызываемых НИЛИ, и которых, как тогда казалось, обнаружилось достаточно много. Например, Н.Д. Девятков с соавт. (1987), С.М. Зубкова (1976, 1978), Т.И. Кагу (1989) предполагали, что пусковым моментом в сложном механизме действия лазерного излучения на биологические объекты является изменение под действием световых лучей физико-химического состояния некоторых ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы, различных цитохромов). Эти предположения были исходно обоснованы вероятным наличием «спектра действия» для данных компонентов, близкого к длине волны излучения гелий-неонового лазера (633 нм) – *единственного в то время инструмента исследователя.*

Однако со временем стало ясно, что автоматический перенос «акцепторной» модели на исследование биологического действия (БД) НИЛИ не может удовлетворительно объяснить имеющиеся экспериментальные и клинические данные. В первую очередь это касается ответа на вопрос, почему индуцированные лазерным излучением эффекты наблюдаются в чрезвычайно широком спектральном диапазоне, от 325 до 10 600 нм [Москвин С.В., 2008, 2014]. Из множества обнаруженных внутриклеточных компонентов исследователи никак не могли выбрать один-единственный и вынуждены были заниматься бесконечным поиском акцептора для каждой длины волны, предлагая различные варианты «механизмов» фотобиологического действия НИЛИ. Другими словами, сколько длин волн, столько акцепторов и фотобиологических механизмов? Но это абсурд! Становилось всё более очевидным, что необходимо подойти к рассмотрению данного вопроса с принципиально других позиций, в том числе и в методологическом плане. Пусковой механизм индуцированных НИЛИ биологических реакций очевидно един, неспецифичен и обусловлен самой универсальностью механизмов поддержания и регулирования гомеостаза, как на клеточном уровне, так организма в целом.

Косвенно неправомерность объяснения имеющихся эффектов прямым фотоактивирующим действием НИЛИ каталазы была продемонстрирована на модели эритроцитов. Как известно, для нормального функционирования эритроцит должен сохранять свою целостность и быть достаточно пластичным, в свою очередь, деформируемость определяется формой клетки и эластичностью клеточной мембраны [Sheetz M.P., Singer S.J., 1974]. И.М. Байбеков с соавт. (1991), обнаружив зависимость между активностью каталазы и формой эритроцитов, предположили, что именно увеличение активности фермента под воздействием НИЛИ является ключевым фактором, способствующим сохранению формы эритроцитов и их функциональной полноценности. Однако исследователи не смогли объяснить тот факт, что выявленные закономерности действуют не только для длины волны гелий-неонового (633 нм), но и азотного лазера (337 нм), а позднее обнаружили полностью идентичные эффекты и для лазерного излучения ИК-спектра (890 нм) [Байбеков И.М. и др., 1996, 2008]. На основании этих данных вполне логично предположить, что изменения каталазной активности – лишь вторичное проявление каких-то иных процессов. Рассмотрим немного подробнее этот вопрос.

Каталаза и супероксиддисмутаза (СОД) – основные элементы антиоксидантной защиты – ферменты, ингибирующие токсическое действие активных форм кислорода, перекиси водорода и супероксида соответственно. Активные формы кислорода появляются в процессе различных биохимических реакций дыхательных цепей НАДФ–НАДФН – чем активнее энергетические процессы, тем больше продуктов этих реакций, и как следствие, выше активность каталазы и СОД. Другими словами, выявленные зависимости не носят прямой характер, а связаны с активацией (кальций-зависимой, как будет показано ниже) работы энергетических центров живой клетки.

Более того, если даже гипотетически предположить возможность фотохимического взаимодействия НИЛИ с ферментами, то достаточно очевидно, что такое взаимодействие может приводить принципиально *только к ингибированию* ферментативной активности последних. Дело в том, что для достижения достаточно прочного связывания белков при их взаимодействии необходимы комплементарность контактирующих поверхностей, правильная подгонка ван-дер-ваальсовых поверхностей, точное спаривание заряженных групп и донорно-акцепторных пар, участвующих в водородных связях, а также соответствующий вклад гидрофобных взаимодействий [Фридрих П., 1986]. Именно такое сложное взаимодействие различных сил и приводит к исключительной специфичности (направленности действия) ферментов. Любое вмешательство в эту сложную структуру, нарушение энергетических связей, которое неизбежно должно происходить при поглощении фотона, приведёт *только к потере* уникальной избирательности, следовательно, и активности фермента.

Не будем подробно останавливаться на рассмотрении других подобных моделей – «синглетно-кислородной», «НО-синтетазной», «цитокинной» и т. п. Все они не выдерживают никакой объективной критики с позиций поиска первичного, запускающего механизма БД НИЛИ. Статическая модель «фотон–акцептор» вообще не способна объяснить множество имеющихся научных фактов, от исследований на клеточном уровне до результатов клинического применения лазерного света [Москвин С.В., 2008, 2014].

Дальнейшее развитие лазерной терапии как науки и практики настоятельно требует рассматривать НИЛИ как внешний фактор, обеспечивающий всего лишь *запуск физиологических реакций*, поэтому необходимо исследовать биологические эффекты с позиций *динамического* взаимодействия лазерного света с биологическими объектами разного уровня организации. Изучая данное явление не как фотобиологическую реакцию, но как *термодинамическое взаимодействие* НИЛИ и биологической структуры, мы удивительным образом смогли не только легко объяснить известные эффекты, но и научились правильно прогнозировать результат силы и направленности действующего физического фактора, т. е. в клиническом плане научились прогнозировать результат лечения при изменении параметров методики. Но это и есть самое главное в аспекте эффективности лазерной терапии в целом!

Рассмотрим подробнее исходные предпосылки, которые легли в основу сделанных нами выводов. Известно, что живой организм представляет собой сложную управляемую систему, в которой постоянно происходит взаимодействие множества переменных внешней и внутренней среды. Ф. Гродинз (1966) задаёт такую систему как «совокупность элементов, определённым образом связанных и взаимодействующих между собой». Общим для всех живых систем является наличие определённых *входных* переменных, которые преобразуются в них в соответствии с их функциями в *выходные* переменные [Милсум Дж., 1968]. Зависимость выходных переменных от входных определяется *законом поведения* системы. Другими словами, возмущающее

действие внешнего фактора приводит к исходно детерминированной ответной реакции биологического объекта, зависящей только от его внутренних свойств [Гродинз Ф., 1966].

Нами для исследования механизмов БД НИЛИ был выбран системный подход к анализу данных, для чего из целого организма условно выделяется какая-то часть, объединённая типом анатомического строения или типом функционирования, но каждая часть рассматривается исключительно в плане взаимодействия как единая система. Ключевым моментом такого подхода является определение *системообразующего фактора* [Анохин П.К., 1973] (рис. 1.88). Была проанализирована научная литература, в первую очередь касающаяся изучения механизмов БД и использования НИЛИ в клинической медицине, а также современных представлений о биохимии и физиологии как живой клетки, так и на уровне организации регулирования гомеостаза человека в целом. На основе полученных данных сделаны некоторые принципиально важные выводы, которые были подтверждены в ходе многочисленных экспериментальных и клинических исследований [Москвин С.В., 2008, 2014].

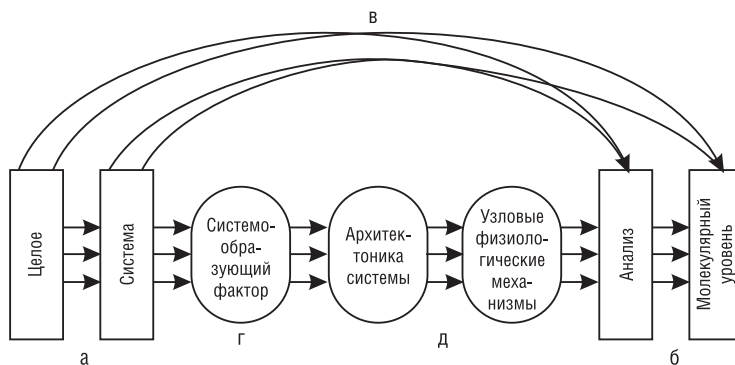


Рис. 1.88. Схематическое изображение «концептуального моста» между системным уровнем и аналитическими процессами: а – уровень целостной системной деятельности; б – уровень тонких аналитических процессов; в – путь обычных корреляционных отношений; г – включение системообразующего фактора, который объясняет процесс упорядочивания между множеством компонентов системы; д – операциональная архитектоника системы и её узловые механизмы (Анохин П.К., 1973)

Основная сложность, стоящая перед исследователями механизмов БД НИЛИ, заключается в многообразии процессов, происходящих в живых тканях и организме. Так, в любой живой клетке практически одновременно реализуются более 3000 биохимических реакций, разделить которые на последовательные циклы не всегда представляется возможным. При изучении межклеточных взаимодействий и физиологических процессов на органном уровне приходится сталкиваться с дополнительными трудностями. В настоя-

щее время исследованы только некоторые локальные участки регуляции биологических процессов и совсем мало обнаружено общих закономерностей, вследствие чего принципиально отсутствует сама возможность отслеживания строгой последовательной цепочки от поглощения НИЛИ до конечного эффекта. Да этого и не требуется, достаточно разделить процесс на первичный (один) и множество вторичных.

Известно, что в организации живой природы определяющую роль играют электромагнитные силы – все процессы, происходящие в живой клетке: химические реакции, ионный обмен, протонный перенос в митохондриях и др., – и есть на самом деле проявление работы электромагнитных сил. Не являются исключением и физиологические процессы на уровне органов и организма в целом – сокращение сердечной мышцы, кровоток, пищеварение, передача нервных импульсов и др. – всё это электромагнитные взаимодействия.

С другой стороны, ответные реакции, развивающиеся при поглощении энергии НИЛИ, имеют также электромагнитную природу – происходит трансформация энергии электромагнитного поля в биологические реакции на всех уровнях организации живого организма, регулирование которых, в свою очередь, осуществляется очень многими путями, – в этом кроется причина необычайной многогранности эффектов, проявляющихся в результате такого воздействия. В данном случае мы имеем дело лишь с внешним запуском процессов *саморегуляции*, самовосстановления нарушенного гомеостаза. Поэтому нет ничего удивительного в универсальности лечебного действия НИЛИ: *это лишь результат устранения патологической фиксации организма за пределами границ нормальной физиологической регуляции.*

В настоящее время накоплен колоссальный объём научных данных о характере именно таких ответных реакций различных биологических структур на возмущение, вызванное лазерным светом. Необходимо лишь проанализировать результаты научных исследований с указанных выше позиций, под иным углом зрения взглянуть на проблему механизмов БД НИЛИ, и это позволяет достаточно легко обосновать максимально эффективные параметры терапевтического воздействия лазерным светом. Вот что является самым важным в научных, как экспериментальных, так и теоретических исследованиях, – очевидная польза от практического применения результатов этой работы.

НИЛИ представляет собой поток таких же фотонов, как и у других источников света, только имеющий одну энергию (или длину волны). Поэтому, действие лазерного света на живые структуры, казалось бы, должно подчиняться законам классической фотобиологии, однако лазериндуцированные биоэффекты принципиально отличаются от известных закономерностей.

Схематично фотобиологические процессы можно представить в виде последовательности: после поглощения фотонов акцепторами, спектр поглощения которых совпадает с длиной волны падающего света, они активируются и запускают биохимические или физиологические реакции, характерные (специфичные) именно для этих поглощающих элементов. Для лазериндуциро-

ванных биоэффектов всё выглядит так, будто не существует специфических акцепторов и ответных реакций биологических систем (клетки, органа, организма), взаимодействие носит абсолютно неспецифичный характер. Постараемся понять природу этой особенности.

Для наглядной демонстрации существующих различий в процессах (закономерностях), происходящих в результате поглощения лазерного (монокроматического) и обычного света, рассмотрим в качестве примера частный случай фотобиологии – фотосинтез, в котором активация светом фотосинтетических пигментов запускает процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды. Все поглощающие акцепторы, обеспечивающие фотосинтез, «работают» только в видимой части спектра – 400–700 нм. Это так называемый спектр действия, т. е. диапазон длин волн, в котором наблюдается эффект. Для других спектральных диапазонов поглощение световой энергии акцепторами исключено. Будет фотосинтез протекать при освещивании растений инфракрасной (ИК) лампой? Нет! Вторая закономерность – непрерывно растущий (с насыщением) результат пропорционально величине поглощённой энергии – чем больше солнечного света, тем активнее фотосинтез и больше биомассы (при наличии питательных веществ и воды). Световые кривые фотосинтеза впервые были получены в 1884 году К.А. Тимирязевым (рис. 1.89). Если уменьшить интенсивность света в 10^4 – 10^6 раз, т. е. почти в темноте, будет происходить фотосинтез? Конечно, нет! Однако всё совершенно иначе происходит при взаимодействии с биологическими системами НИЛИ.

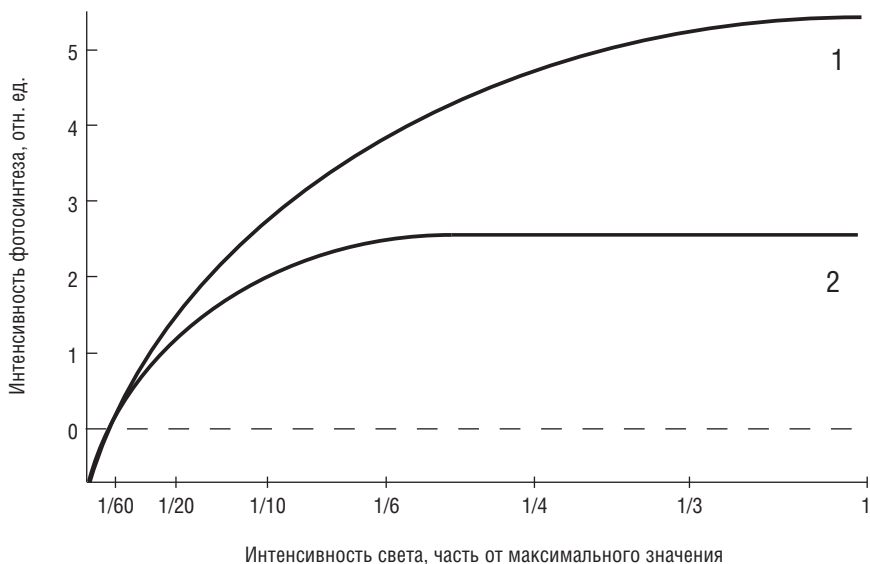


Рис. 1.89. Изменение интенсивности светового (1) и теневого (2) фотосинтеза растений в зависимости от освещённости

Для биологически значимых эффектов, индуцируемых НИЛИ, характерно отсутствие так называемого спектра действия, т. е. специфической зависимости БД НИЛИ от длины волны падающего света, – эффекты проявляются во всём исследованном спектральном диапазоне от ультрафиолетовой (325 нм) до дальней ИК-области (10 600 нм) [Москвин С.В., 2014]. С позиций фотобиологии вроде бы опять возникает противоречие. Каждый акцептор в биологической структуре имеет достаточно узкую полосу поглощения, и свет с другой длиной волны не может вызвать фотобиологической реакции. Например, конформационные превращения родопсина, обеспечивающие нам зрение, могут происходить при воздействии света только в видимом спектральном диапазоне, приблизительно от 400 до 700 нм. Некоторые исследователи вообще ограничивают лазерную терапию только одним источником – гелий-неоновым лазером и одной длиной волны – 633 нм. Логика такая – нашли (якобы) первичные акцепторы на этой длине волны, значит, в другом спектральном диапазоне, например, в инфракрасной области, где нет поглощения этими акцепторами, БД НИЛИ быть не должно. Но эффекты есть, и ниже мы проясним причину этого мнимого противоречия.

Утверждение об отсутствии спектра действия в случае лазериндуцированного варианта фотобиомодуляции требует пояснения. Разумеется, в зависимости от выбранной модели исследования, например, типа клеток или ткани, исследуемого эффекта, локализации воздействия (*in vitro* или *in vivo*), «спектр действия» наблюдается, это достаточно хорошо известный факт [Al-Watban F.A.H., Zhang X.Y., 1996; 1997; Karu T., 1987; Karu T.I. et al., 1982]. Аналогичных исследований много, но они не проясняют ситуацию, а только запутывают её, поскольку спектры действия существенно различаются в зависимости от условия эксперимента, что не позволяет выделить единственный специфический действующий фактор (акцептор). Если подробнее рассмотреть проблему, то выясняются следующие факты.

Во-первых, закономерности «длина волны – эффект» обнаруживаются только в отношении отдельных параметров одной модели эксперимента. Если же рассматривать интегральный отклик биологической системы на лазерное воздействие, то становится понятно, что важно не *избирательное поглощение* каким-либо одним компонентом живой клетки, который все многие годы безуспешно ищут, но *всей клеткой*, т. е. не столь важно, какая именно внутриклеточная структура поглощает, но обязательно необходим сам факт поглощения.

В известных работах показаны существенно различающиеся спектры действия для некоторых *промежуточных этапов* клеточного цикла культуры HeLa: синтез ДНК и РНК, адгезия, но *объединённый* их спектр, характеризующий весь процесс деления, соответствует поглощению клетки в целом (рис. 1.90) [Karu T.I. et al., 1982; 1984; 1984⁽¹⁾; Karu T., 1996]. Однако на основе полученных спектров (614–624, 668–684, 751–772 и 813–846 нм) нельзя делать выводы о наличии *универсального* клеточного механизма биомодулирующего действия НИЛИ [Karu T., 1996; 2007, Karu T.I., 2008], можно говорить лишь о зако-

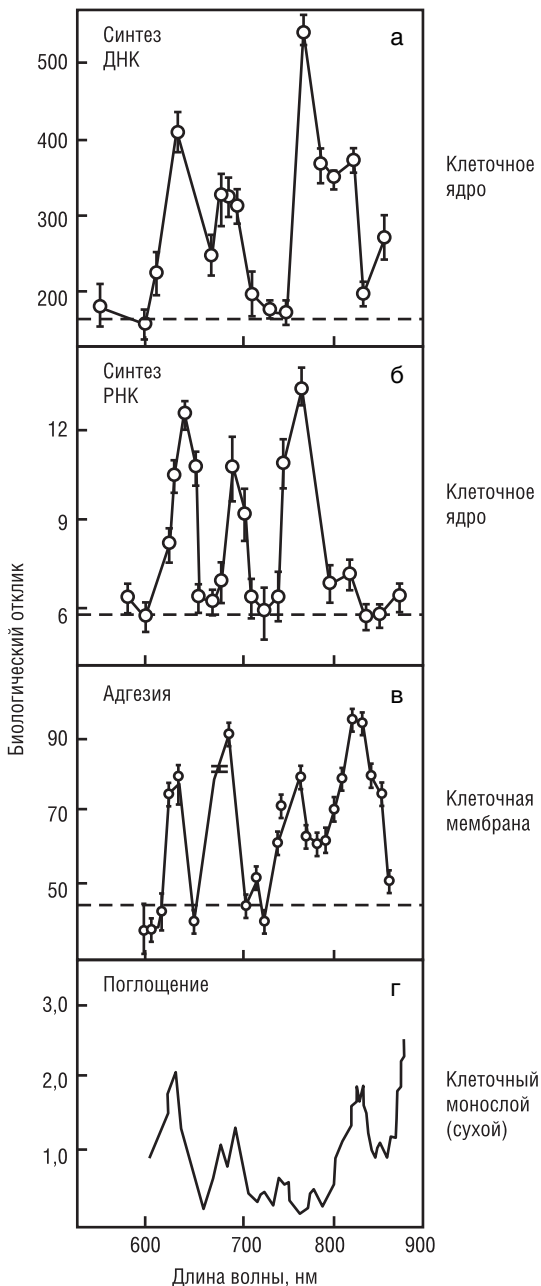


Рис. 1.90. Спектр действия для различных биологических эффектов, клетки HeLa, оптимальная ЭП – 0,01 Дж/см² (Karu T.I. et al., 1982; 1984; 1984⁽¹⁾; Karu T., 1996)

номерностях взаимодействия лазерного света и клеток HeLa. Тем более нельзя рекомендовать эти спектры для клинической практики [Karu T., 1987; Karu T.I., Kolyakov S.F., 2005], поскольку клиническая эффективность НИЛИ с такими параметрами не подтверждается [Hamblin M.R., Demidova T.N., 2006; Smith K.C., 2010].

Во-вторых, при анализе литературы нами показано, что в экспериментальных и клинических исследованиях успешные (в разной степени) результаты биомодулирующего эффекта НИЛИ получены на более чем 100 (!) длинах волн в диапазоне от 248 до 10 600 нм [Москвин С.В., 2014]. Объем книги не позволяет представить все ссылки на литературные источники и сводные таблицы для исследований *in vitro* и *in vivo*, а только схематично общую картину на логарифмической шкале (рис. 1.91). Анализ имеющихся материалов, а также собственный исследовательский опыт однозначно свидетельствуют в пользу справедливости простого правила: чем меньше поглощение, тем выше должна быть плотность мощности (ПМ). В той или иной степени эффект достигим в любом эксперименте с лазерным источником во всех спектральных диапазонах, если обеспечить оптимальные пространственно-энергетические параметры воздействия НИЛИ.



Рис. 1.91. Спектр длин волн (логарифмическая шкала, ширина линии условно соответствует 1 нм), на которых получены биологические эффекты

Кроме того, чем сложнее биологическая система, тем проще получить положительный отклик на лазерное воздействие.

В фотобиологии отсутствие спектра действия совершенно не допускается, например, фотосинтез возможен только в видимом спектре (400–700 нм). Зато лазерный свет успешно вызывает близкие эффекты, например, увеличение биомассы или усиление пролиферации, для различных клеток и в очень широком диапазоне длин волн, совпадающем со спектром поглощения клеток или биотканей. Поскольку молекулы и молекулярные комплексы имеют достаточно узкую полосу поглощения, то каждая из них не может выступать в качестве единственного поглощающего элемента (акцептора), только все в совокупности, а также вода, которая, как известно, не имеет окон прозрачности [Hale G.M., Querry M.R., 1973]. Это и есть отсутствие спектра *специфического* действия, а объяснить данный факт можно только термодинамическим характером взаимодействия НИЛИ с живой клеткой, когда возникающий на поглощающих центрах температурный градиент вызывает триггерный запуск системы физиологического регулирования, в качестве которой, как мы предполагаем, выступают внутриклеточные депо кальция, способные высвобождать Ca^{2+} под влиянием множества внешних факторов [Berridge M.J. et al., 2000]. Есть достаточно аргументов в подтверждение нашей теории, однако из-за ограничения размеров книги приведём только один – все известные эффекты лазериндуцированной биомодуляции являются вторичными и Ca^{2+} -зависимыми [Москвин С.В., 2003; 2008]!

Обращает на себя внимание энергозависимый, или бифазный, характер БД НИЛИ, заключающийся в том, что результат вызывает только *оптимальная энергетическая плотность* воздействия (рис. 1.26). При уменьшении или увеличении её в весьма узком диапазоне эффект снижается, отсутствует полностью, или даже может наблюдаться инверсная ответная реакция. В этом принципиальное отличие БД НИЛИ от фотобиологических явлений, где зависимость от ЭП носит линейно нарастающий в широких пределах характер. Например, чем больше солнечного света, тем интенсивнее фотосинтез и увеличение растительной массы (рис. 1.89). Противоречит бифазный характер биологического действия НИЛИ законам фотобиологии? Вовсе нет! Это лишь частный случай проявления физиологического закона зависимости ответной реакции от силы действующего стимула. В фазе «оптимума» после достижения порогового уровня по мере нарастания силы стимула наблюдаются

усиление ответной реакции клеток и тканей и постепенное достижение максимума реакции. Дальнейшее увеличение силы стимула ведёт уже к угнетению реакций клеток и организма, в тканях развивается торможение реакций или состояние парабיוза [Насонов Д.Н., 1962].

Переходя к энергетическим закономерностям, ещё более удивительным, чем спектральные, повторим некоторые базовые понятия и основы, «аксиомы» лазерной терапии.

Для эффективного воздействия НИЛИ необходимо обеспечить оптимальные мощность и плотность мощности, т. е. важно распределение световой энергии по площади клеток *in vitro* и площади и/или объёму биотканей в экспериментах на животных и клинике.

Важна экспозиция, время воздействия на одну область, которая должна находиться строго в пределах 100–300 с (1,5–5 мин), кроме воздействия на акупунктурные точки (20–40 с) и методики внутривенного лазерного освещения крови (до 20 мин). В итоге получается плотность мощности за единицу времени или энергетическую плотность (ЭП).

Для импульсных лазеров (длительность импульса 100–150 нс) при увеличении частоты пропорционально увеличивается средняя мощность, т. е. ЭП воздействия (см. также ниже).

Самая известная энергетическая закономерность биомодулирующего действия НИЛИ – наличие оптимума зависимости «ЭП – эффект», которую иногда называют «бифазной» [Huang Y.-Y. et al., 2009]. Приведём в качестве примера

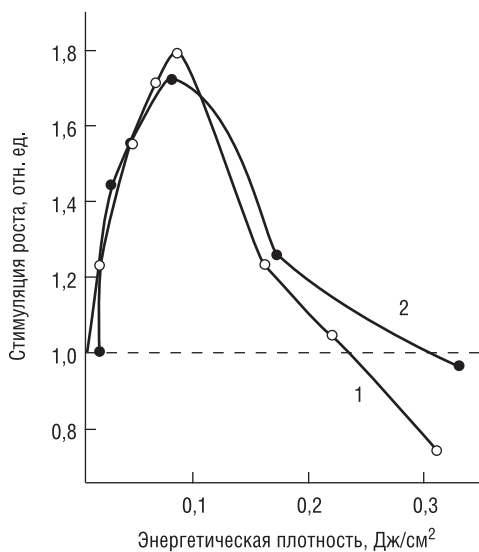


Рис. 1.92. Зависимость стимуляции роста *E. coli* от энергетической плотности ИК НИЛИ, импульсный полупроводниковый лазер, длина волны 890 нм, частота повторения импульсов 3480 Гц (1) и 666 Гц (2), пунктирной линией указан контрольный уровень (Жаров В.П. и др., 1987)

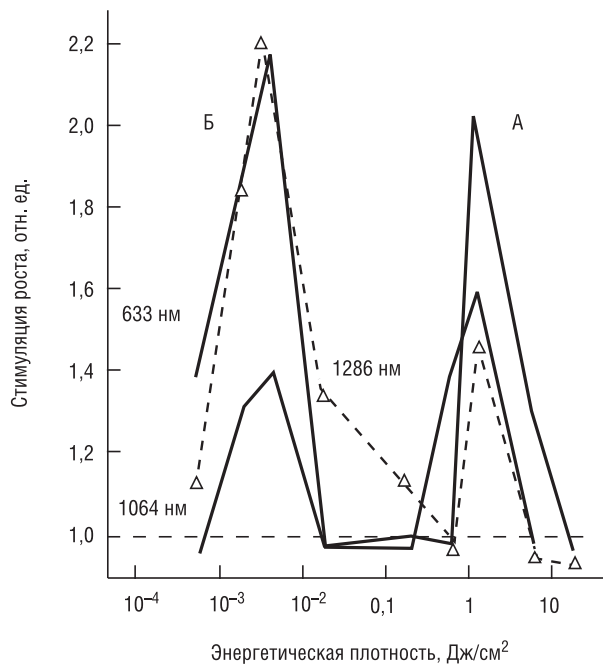


Рис. 1.93. Зависимость стимуляции роста *E. coli* от энергетической плотности при одинаковой плотности мощности (15,7 мВт/см²) для различных длин волн НИЛИ (633, 1064 и 1286 нм) (Karu T. et al., 1994)

два экспериментальных графика, имеющих и другие интересные особенности (рис. 1.92 и 1.93) [Жаров В.П. и др., 1987; Karu T. et al., 1994]. Излишне говорить о том, что ничего подобного не наблюдается в классической фотобиологии (см. рис. 1.89).

Первый график (рис. 1.92) интересен тем, что ЭП по средней мощности (0,1 Дж/см²) для импульсных лазеров оказывается в десятки раз меньше, чем для непрерывных лазеров также ИК-спектра (20 Дж/см²) для аналогичной экспериментальной модели (пролиферация *E. coli*) [Nussbaum E.L. et al., 2002], что говорит о большей эффективности импульсного режима. Аналога подобного явления в фотобиологии нет.

Второй график (рис. 1.93) также получен для *E. coli*, но непрерывных лазеров (633, 1064 и 1286 нм), а исследование уникально демонстрацией второго пика эффективности при уменьшении ЭП в 10⁴ раз. С учётом предыдущего исследования можно предположить, что при уменьшении мощности в 10⁶ раз также будет наблюдаться лазериндуцированный эффект. А какой ответ на риторический вопрос о возможности фотосинтеза в темноте (см. рис. 1.89)?

Хотелось бы отметить ещё одну важнейшую закономерность лазерной биомодуляции — нелинейная зависимость от времени экспозиции, которая легко объясняется периодичностью волн повышенной концентрации Ca²⁺,

распространяющихся в цитозоле после активации внутриклеточного депо кальция. Причём для совершенно разных типов клеток эти периоды полностью идентичны и составляют строго 100 и 300 с (табл. 1.17). Клинических исследований, подтверждающих оптимальность такой экспозиции, в сотни раз больше. Обращаем особое внимание на то, что данная закономерность наблюдается в очень широком диапазоне длин волн.

Таблица 1.17

Оптимальная экспозиция 100 или 300 с для достижения максимального эффекта *in vitro*

Тип клетки	Результат	Длина волны НИЛИ, нм	Ссылка
<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>	Пролиферация	467	Подшибякин Д.В., 2010
Гипокамп	Эпилептиформная активность	488	Walker J.B. et al., 2005
Фибробласты	Пролиферация	633	Rigau J. et al., 1996
Фибробласты	Повышение концентрации Ca ²⁺	633	Lubart R. et al., 1997 ⁽¹⁾ ; 2005
Кератиноциты	Увеличение IL-1α и IL-8 производства и экспрессии мРНК	633	Yu H.S. et al., 1996
Макрофаги	Пролиферация	633	Hemvani N. et al., 1998
Фибробласты, <i>E. coli</i>	Пролиферация	660	Ribeiro M.S. et al., 2010
Нейтрофилы человека	Повышение концентрации Ca ²⁺ в цитозоле	812	Løvschall H. et al., 1994
Клетки буккального эпителия человека	Пролиферация	812	Løvschall H., Arenholt-Bindslev D., 1994
<i>E. coli</i>	Пролиферация	890	Жаров В.П. и др., 1987
Миобласты C2C12	Пролиферация, жизнеспособность	660, 780	Ferreira M.P.P. et al., 2009
HeLa	Митотическая активность	633, 658, 785	Yang H.Q. et al., 2012
<i>E. coli</i>	Пролиферация	633, 1064, 1286	Karu T. et al., 1994

Приведём для наглядности и демонстрации того, что активация работы митохондрии является вторичным процессом, следствием повышения концентрации в цитозоле Ca²⁺, соответствующие графики только из одного исследования (рис. 1.94) [Alexandratou E. et al., 2002].

Важнейшим является то обстоятельство, что повышение концентрации Ca²⁺ происходит исключительно из внутриклеточных депо (куда кальций вновь депонируется после окончания физиологического цикла через 5–6 мин), а не за счёт поступления ионов извне, как полагают многие [Breitbart H. et al., 1996; Colver G.B., Priestley G.C., 1989; Friedmann H., Lubart R., 1996; Lubart R. et al., 1997; Smith K.C., 1990; Webb C. et al., 1998]. Во-первых, не существует корреляции между уровнем АТФ в клетках и транспортом извне Ca²⁺ в клетку,

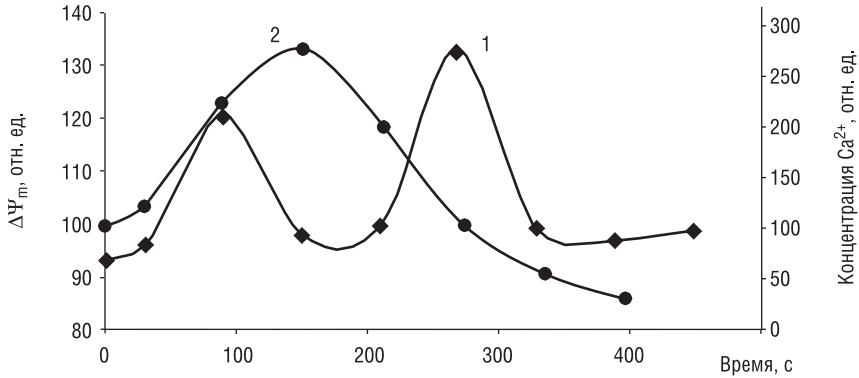


Рис. 1.94. Изменение концентрации Ca²⁺ (1) в цитозоле и редокс-потенциала митохондрий ΔΨ_м (2) под действием лазерного излучения (длина волны 647 нм, 0,1 мВт/см², экспозиция 15 с) на фибробласты крайней плоти человека (Alexandratou E. et al., 2002)

активация работы митохондрий осуществляется только за счёт повышения концентрации Ca²⁺ из внутриклеточных депо [Breitbart H. et al., 1990; Singh J.P. et al., 1983]. Во-вторых, удаление ионов кальция из сыворотки не задерживает увеличение концентрации Ca²⁺ в анафазу клеточного цикла [Tombes R.M., Borisy G.G., 1989], т. е. активация клеточной пролиферации под действием НИЛИ вообще никак не связана с внеклеточным кальцием, мембранами, специфически зависимыми насосами и пр.

Все эти закономерности легко объясняются представлением первичного биомодулирующего механизма лазерного света в виде такой последовательности: в результате освечивания НИЛИ внутри клетки возникает температурный градиент и кратковременное повышение концентрации ионов кальция (Ca²⁺), высвобождаемых из внутриклеточного депо, с развитием каскада ответных реакций организма на внешнее воздействие – нормализуется работа иммунной и сосудистой систем, активизируются метаболические и пролиферативные процессы, оказывается обезболивающее действие и др. (рис. 1.95) [Москвин С.В., 2003; 2008; 2014]. Все эти биоэффекты Ca²⁺-зависимые, при этом нелинейный характер зависимостей «ЭП – эффект» и «экспозиция – эффект» объясняется особенностями работы внутриклеточных депо кальция, а отсутствие спектра действия – неспецифичностью их включения.

Повторимся, что сказанное выше относится к «лазер-», а не «фото-» (биомодуляции), т. е. для монохроматического света и при отсутствии специфического взаимодействия.

Самое главное в знании и правильном понимании механизмов биомодулирующего действия НИЛИ – это появившаяся возможность разрабатывать и оптимизировать методики лазерной терапии, вырабатывать рекомендации для эффективного применения метода.



Рис. 1.95. Последовательность развития биологических эффектов после воздействия НИЛИ (механизмы биологического и терапевтического действия НИЛИ)

Эти и другие данные, например, зависимость конечного результата от частоты модуляции, монохроматичности, поляризации и т. д., вынуждают рассматривать данное явление не совсем как фотобиологическую реакцию. Здесь, на наш взгляд, для характеристики сторонников «акцепторного», статического подхода к изучению механизмов БД НИЛИ уместно привести слова американского писателя Г. Гаррисона: «Факты они раскладывали по полочкам. Тогда как анализировали сложнейшую замкнутую систему с такими элементами, как положительная и отрицательная обратная связь, или переменная коммутация. Да и находится вся система в динамическом состоянии в силу непрерывной гомеостатической коррекции. Неудивительно, что у них ничего не выходило».

Но разобраться именно с *первичным* механизмом БД НИЛИ (он один и общий для всех разнообразных вторичных проявлений) принципиально важно, т. к. заблуждение на начальном этапе, к сожалению, приводит к неправильным выводам уже в клинической практике. И мы опять остаёмся без теоретической базы с голым эмпиризмом. А ведь нужно ещё и развивать лазерную терапию, научиться прогнозировать результат воздействия, разрабатывать наиболее эффективные методики лечения. Всё это можно сделать, лишь имея твёрдую теоретическую основу, которую и обеспечивает предложенная нами концепция первичного механизма БД НИЛИ.