

**ЛАЗЕРНЫЙ ЛИПОЛИЗ: МЕХАНИЗМЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ХИРУРГИИ**

Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск,
Республика Беларусь

Цель. Оценить перспективы использования технологий лазерного разрушения жировой ткани путем анализа литературных данных о механизмах действия, технических возможностях и направлениях практического применения.

Материал и методы. По данным литературы выполнена сравнительная оценка основных сфер применения, механизмов действия и эффективности современных лечебных технологий лазерного липолиза. Использована база данных медицинских и биологических публикаций PubMed (раздел «биотехнология» Национальной медицинской библиотеки США) через доступ NCBI-Entrez. Проведен анализ более 300 источников медицинской литературы.

Результаты. Лазерный липолиз – совокупность хирургических технологий, направленных на термическое разрушение жировой ткани путем использования энергии лазерного излучения. Наряду с термической деструкцией адипоцитов, применение лазерного излучения определенных параметров оказывает влияние на состояние коллагена в зоне воздействия, способствуя разрушению жировых клеток и лифтингу кожи.

Лазерный липолиз путем применения диодного лазера с длиной волны 980 нм характеризуется меньшим повреждающим действием на ткани, более коротким периодом реабилитации, чем традиционные методы липосакции. В настоящее время проводятся исследования по использованию для лазерного липолиза нескольких одновременно действующих источников разной мощности с различными комбинациями длины волны.

Согласно литературным данным, наиболее часто лазерные технологии разрушения жира используются для ликвидации его избыточных отложений в пластической и эстетической хирургии, для малоинвазивного удаления доброкачественных новообразований жировой ткани (липом), а также для лечения гинекомастии, гипергидроза, осмидроза, целлюлита и ряда других заболеваний.

Заключение. Анализ литературы показывает, что многочисленные описания методов лазерного липолиза содержат различные, порой противоречивые, сведения о технике его выполнения, а также об эффективности и безопасности этого вмешательства для пациента. Интерес к данному лечебному направлению связан с актуальностью использования малоинвазивных технологий коррекции наиболее распространенных хирургических заболеваний в амбулаторных условиях или условиях стационара с краткосрочным пребыванием пациентов.

Ключевые слова: лазерный липолиз, липосакция, липома, жировая ткань, малоинвазивные технологии

Objective. To estimate the prospects of surgical technologies of adipose tissue laser destruction by the analysis of literary data about the mechanisms, technical potential and areas of practical application.

Methods. Using the literature data, the comparative analysis of the main fields of application, mechanisms and efficiency of the modern laser lipolysis technologies was performed. The database of medical and biological publications PubMed (section "biotechnology" of National medical library of the USA) through NCBI-Entrez access was used. The analysis of more than 300 sources of medical literature was carried out.

Results. Laser lipolysis is the complex of surgical technologies aimed at thermal destruction of adipose tissue by laser radiation. Along the thermal destruction of adipocytes, use of the laser radiation of certain parameters effects collagen, promoting adipose cells destruction and skin lifting.

Diode laser lipolysis by the wavelength of 980 nanometers is characterized by less destructive action on the tissues and shorter rehabilitation period than traditional methods of liposuction. At present there are researches based on using the laser radiation of several sources of different power with various combinations of wavelength.

According to literature, the most widespread laser technologies of adipose tissue destruction are used for adipose tissue elimination by plastic and esthetic surgery, minimally-invasive excision of adipose tissue tumors (lipomas), and also for treatment of gynecomastia, hyperhidrosis, osmidrosis, cellulitis and some other conditions.

Conclusions. The literature analysis shows that numerous descriptions of laser lipolysis methods contain various, sometimes contradictory data on technology, efficiency, safety for a patient. Interest in this field is due to relevance of minimally-invasive technologies for correction of the most widespread surgical diseases in out-patient and short-term stays conditions.

Keywords: laser lipolysis, liposuction, lipoma, adipose tissue, minimally-invasive surgery

Novosti Khirurgii. 2018 Jan-Feb; Vol 26 (1): 72-80

Laser Lipolysis: Mechanisms, Modern Possibilities and Use Prospects in Surgery

M.Y. Gain, S.V. Shakhrai, Y.M. Gain, D.V. Kudrytski

Введение

Растущая в последние годы популярность реконструктивной эстетической липосакции связана с развитием практических методик и совершенствованием технического оснащения для удаления жира и моделирования контуров тела [1, 2]. Помимо традиционной тумесцентной техники с механической аспирацией жировой ткани, часто применяется липосакция, ассоциированная с ультразвуком, криовоздействием или радиочастотной абляцией. Техника лазерного липолиза, согласно данным многочисленных публикаций, относится к технологиям, которые позволяют сохранить (закрепить) эффект уменьшения жировой ткани [2, 3, 4].

Преимуществами лазерной липосакции являются значимое уменьшение физической нагрузки оператора; сокращение времени вмешательства; минимальное количество или даже отсутствие лизата из-за абляции и быстрой коагуляции жировой ткани и капиллярных сосудов; возможность проводить одномоментно липолиз, гемостаз и подтяжку кожи в зоне воздействия; отсутствие значимых гемодинамических изменений [5, 6]. Небольшой диаметр канюли (около 1 мм), а также прецизионное воздействие лазерного луча значительно снижают травматизацию прилежащих мягких тканей и анатомических структур в сравнении с традиционной липосакцией [7].

Широко применяемым механизмом взаимодействия лазерного излучения с тканями является фототермический эффект, при котором излучение лазера поглощается хромофорами и трансформируется в теплоту, вызывающую различные тепловые эффекты (от коагуляции до vaporизации ткани). Именно эти эффекты являются основными при лазерном липолизе, а все механизмы, приводящие к разрушению жировой ткани, являются температурозависимыми [7].

Безусловно, все механизмы лазерного липолиза до настоящего времени до конца не изучены. Обзор литературных данных по данной теме представляет особый интерес не только для специалистов, занимающихся эстетической пластической хирургией, но и для практикующих врачей-хирургов, прежде всего амбулаторного звена. Это связано с потенциальными перспективами применения лазерного липолиза при лечении мягкотканых доброкачественных образований из жировой ткани (липом), а также некоторых других заболеваний (псевдогинекомастии, подмышечного гипергидроза, осмидроа и др.)

Цель. Оценить востребованность и перспективы использования технологий лазер-

ного разрушения жировой ткани в хирургии путем расширенного анализа современных литературных данных о механизмах действия, технических возможностях и направлениях практического применения фотолиполиза.

Материал и методы

По данным литературы в сравнительном аспекте оценена эффективность клинического применения лазерного липолиза в хирургическом лечении различных заболеваний и анатомических дефектов. Использована текстовая база данных медицинских и биологических публикаций PubMed (на основе раздела «биотехнология» Национальной медицинской библиотеки США) через доступ NCBI-Entrez. Проведен анализ более 300 медицинских источников специальной литературы.

Результаты и обсуждение

Лазерный липолиз — это совокупность хирургических технологий, направленных на разрушение жировой ткани путем использования энергии высоко- и низкоинтенсивного лазерного излучения [1, 2, 3, 4]. Хотя значение этого термина чаще трактуют в более узком смысле, обозначая его в качестве альтернативного метода контурной хирургической пластики при локальных избыточных отложениях жировой ткани на небольших участках тела. Применение этого метода дает возможность обрабатывать области, недоступные для традиционной липосакции: предплечья, области коленных суставов, верхнюю часть живота, скулы, подбородок. Данный малоинвазивный метод удаления жира может стать дополнительным вмешательством с целью коррекции рельефа поверхностных тканей после традиционной липосакции.

В качестве метода обезболивания, как правило, используется местная анестезия. Техника местной тумесцентной анестезии была разработана в 80-х годах прошедшего столетия американским дерматологом J. Klein [8]. Канюля со световодом вводится через прокол диаметром менее 1 мм, поэтому данный вид вмешательства сопровождается также значительным косметическим эффектом [7]. Способы доставки лазерного излучения: чрескожный (неинвазивный, накожный) и подкожный (инвазивный, интерстициальный), когда лазерная липосакция проводится путем введения тонкого волоконного световода. Для выполнения липолиза применяется как низкоинтенсивное, так и высокоинтенсивное лазерное излучение [4, 5, 7, 9].

В основу метода неинвазивного (так называемого «холодного») лазерного липолиза положен принцип использования низкоинтенсивного (терапевтического) лазерного воздействия для уменьшения объема подкожных жировых отложений. Для процедуры применяются низкоинтенсивные диодные лазеры, использующие излучение преимущественно красного спектра (650–660 нм), поглощаемого липазами адипоцитов [5]. Контролируемая глубина проникновения лазерного излучения — до 1 см. Целевой эффект — бесконтактное термическое разрушение содержимого жировых клеток и вывод в межклеточное пространство. Диодные аппликаторы для лимфатического дренажа способствуют выводу жировых метаболитов из межклеточного пространства. Неинвазивный лазерный липолиз применяется только для удаления жира с определенных небольших участков тела (до 500 мл) [5, 9]. Таким образом, существует два принципиально различных метода выведения лизированной жировой ткани при лазерном липолизе: естественный (всасывание продуктов липолиза в кровотоки с дальнейшей нейтрализацией и выведением печенью) и вакуумный аспирационный (механическое удаление продуктов разрушения жировой ткани). Результаты лазерной липосакции (уменьшение объема жировой ткани) без вакуумной аспирации продуктов липолиза определяются, как правило, через 2–4 недели после вмешательства, в то время как вакуумный аспирационный метод позволяет получить эффект уменьшения объема непосредственно сразу после вмешательства [5, 9].

После интерстициального воздействия высокоинтенсивным лазерным излучением (инвазивный лазерный липолиз) отек и гиперемия мягких тканей в зоне вмешательства исчезают обычно через несколько дней или недель после вмешательства, однако длительность и интенсивность послеоперационного целлюлита может варьировать в зависимости от режимов и характера лазерного воздействия. Отмечено, что лазерный липолиз оказывает стимулирующее воздействие на коллагеновые структуры ткани, способствуя одновременному разрушению жировых клеток и подтяжке кожи [6, 10].

Взаимодействие лазерного излучения с тканями происходит через поглощение лазерной энергии рецептивными хромофорами, с выработкой тепла, достаточного для разрушения жировых клеток [11]. При этом тепло воздействует на жировые клетки и на внеклеточную матрицу с нанесением как обратимых, так и необратимых клеточных повреждений.

В 1992 году D. Arpfelberg подробно описал прямое воздействие лазера на жировую ткань,

обозначив процесс разрушения жировой ткани лазерной энергией термином «лазерный липолиз» [1]. При этом им использовано лазерное излучение импульсного (0,2-секундного) неодимового (Nd:YAG) лазера с мощностью 40 Вт, световод с толщиной волокна 600 мкм был помещен внутрь канюли для липосакции диаметром от 4 до 6 мм. Оптическое волокно при этом не имело прямого контакта с жировой тканью. Результаты исследования показали меньшую частоту возникновения кровоподтеков, отека прилежащих тканей и болей в послеоперационном периоде по сравнению с другими методами липосакции [1]. Однако данная авторская методика не получила широкого практического распространения. В 90-е годы прошлого столетия в США для лазерного липолиза наиболее часто использовали неодимовый (Nd:YAG) лазер с длиной волны 1064 нм [12, 13].

С 2000 по 2003 годы группа исследователей (A. Goldman, D. Schavelzon, G. Blugerman) в работе, посвященной исследованию влияния Nd:YAG лазера на ткани, описала основные эффекты воздействия излучения не только на жировую ткань, но и на прилежащую дерму и сосуды [7].

В 2003 году A.Z. Vadin описал гистологические изменения тканей после лазерного воздействия [14]. Им установлено, что под воздействием лазерного излучения происходит нагрев тканей, приводящий к разрушению мембран адипоцитов, коагуляции сосудов, а коллагеновые волокна межклеточного матрикса при этом подвергаются реорганизации. Эти морфологические изменения коррелируют с клиническими данными, которые характеризуются локальным уменьшением объема жировых отложений, снижением локального кровотока в зоне воздействия с повышением упругости кожи [6]. Автором сделан вывод о том, что лазер-ассистированный липолиз менее травматичен в связи с маленьким диаметром используемой для введения световода канюли и специфическим воздействием излучения Nd:YAG лазера на жировую ткань и кожу [14].

Последующие исследования A. Goldman с соавт. [7] и M.M. Abdelaal с соавт. [2] продемонстрировали при использовании лазерного липолиза значимое снижение кровопотери с существенно меньшей частотой возникновения кровоподтеков и гематом, уменьшение интенсивности болевого синдрома в послеоперационном периоде и более высокую эффективность липосакции в областях с большей плотностью мягких тканей (например, при гинекомастии).

В 2006 году K.H. Kim и R.G. Geronemus

с помощью магнитно-резонансного томографического исследования определили объемы удаляемой с помощью лазерного липолиза жировой ткани [15]. Результаты исследования показали, что редукция жировой ткани происходит не только во время операции, но и в течение последующих трех месяцев после нее [15]. Применяя магнитно-резонансную томографию до вмешательства и через 3 месяца после него, авторы установили значимое объемное сокращение жировой ткани после лазерного липолиза в подбородочной области. Установлено, что для получения среднего объемного сокращения $5,2 \pm 2,8 \text{ см}^3$ суммарная поглощенная энергия должна составлять около 3000 Дж. S.R.Mordon с соавт. [9] определили аналогичное значение лизируемой жировой ткани в объеме $10 \pm 1 \text{ см}^3$ при суммарной энергии воздействия в 6600 Дж. Значения общей энергии зависят от места расположения обрабатываемой области: от 8100 Дж (для области коленного сустава) до максимума в 24600 Дж (для области живота). Максимально возможным значением используемой энергии является 51000 Дж для живота. Таким образом, наивысшее значение суммарной энергии при использовании диодного лазера, составляющее 51000 Дж, соответствует объемному сокращению жировой ткани в 72 см^3 , что указывает на то, что лазерный липолиз должен применяться только для объемов сокращения жировой ткани менее 100 см^3 [9].

Все механизмы лазерного липолиза являются температурно зависимыми [11]. При низкой энергии и незначительном нагревании ткани может наблюдаться эффект увеличения размеров жировых клеток. При использовании энергии высокого уровня гистологическая оценка выявляет разрыв мембран жировых клеток, также в жировой ткани отмечается коагуляция сосудов малого диаметра [11]. Более того, соотношение увеличения объема жировых клеток и их лизиса изменяется пропорционально энергии, накопленной в объекте [3, 11]. При суммарной энергии от 1000 до 12000 Дж наблюдается прямая взаимосвязь между уровнями энергии и объемным сокращением ткани. Суммарная поглощенная энергия 3000 Дж приводят к сокращению жирового объема на 5 см^3 , а энергия 12000 Дж — на 20 см^3 [3].

При воздействии высокоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 980 нм на подкожно-жировой слой наблюдаются: разрывы жировых клеток, коагуляция коллагеновых волокон (скручивание, уплотнение) и сосудов малого диаметра, реорганизация сетчатого слоя дермы, появление микроканалов, вызванных испарением ткани [16]. Липазы, высвобож-

даемые жировыми клетками при разрыве, способствуют уменьшению плотности тканей, что значительно снижает физические усилия хирурга, применяемые при традиционной липосакции [16].

В 2008 году J.C. McBean и В.Е. Katz изучили воздействие на ткани лазерной системы для липолиза с длинами волн 1064 и 1320 нм [17]. Целями исследования стали изучение безопасности и эффективности метода, объективная оценка степени изменения упругости кожи и гистологическое изучение реорганизации коллагена. Пациентам наносили временные татуировки с изучением их площади до операции, а также через один и три месяца после манипуляции. По результатам исследования площадь поверхности кожи над участками жировой ткани, подвергшейся лазерному липолизу, уменьшилась на 18%. Гистологическое исследование и электронная микроскопия показали формирование в коже новых коллагеновых волокон и пролиферацию миофибробластов [17]. С учетом накопленных экспериментальных данных становится понятно, что лазерный липолиз достоверно вызывает изменения в тканях как на макро-, так и на микроскопическом уровне [12].

В другом клиническом исследовании, в котором лазерный липолиз (излучение с длиной волны 1470 нм и мощностью 15 Вт, проводимое по оптическому волокну диаметром 600 нм) был применен с целью контурной пластики плеча, было установлено, что для разрушения 1 мл жира требуется 0,1 кДж энергии [18].

Исследования ряда авторов указывают на то, что при выполнении лазерного липолиза во внимание в первую очередь должны быть приняты два ключевых параметра излучения: его длина волны и мощность [7, 13, 19]. Различные длины волн должны подбираться в зависимости от точки приложения — жир, коллаген, вода, кровеносные сосуды. Следуя теории селективного фототермолиза, хромофторы этих тканей будут избирательно поглощать энергию лазерного излучения в зависимости от длины волны. Было изучено влияние излучения с длиной волны 924, 968, 980, 1064, 1319, 1320, 1344 и 1440 нм на кожу и мягкие ткани [10, 12, 13, 20]. Причем в каждом исследовании авторами во главу угла ставились преимущества исследуемой длины волны. Так, G. Licata с соавт. [21] сообщили о применении длины волны 1540 нм для липолиза в области живота (у 56 пациентов), бедер (у 54), ягодиц (у 27), шеи (у 14), рук (у 12), груди (у 11), коленных суставов (у 3 пациентов). Авторами отмечено, что, помимо хорошего косметического эффекта, после вмешательств отсутствуют рубцевание, ожоги,

пигментация и инфекционные осложнения. Схожие результаты получены В.Е. DiBernardo с соавт. [13].

По мнению Е.С. Parlette и М.Е. Kaminer, излучение с длиной волны 924 нм имеет самую высокую селективность и более всего предназначено для плавления жировой ткани, но менее эффективно для улучшения упругих свойств кожи [22]. Излучение с длиной волны 1064 нм лучше проникает в ткани, но меньше поглощается жиром, оказывая выраженный эффект на коллагеновые волокна дермы. В свою очередь, излучение с длиной волны 1320 нм лучше поглощается жировой тканью, но проникает на меньшую глубину и в меньшей степени рассеивается в тканях, что может быть использовано для безопасной работы в таких областях, как шея и предплечье [22]. Данная модель, безусловно, требует достоверного клинического подтверждения.

Фотоакустический и фотомеханический эффекты воздействия излучения на ткани также играют определенную роль при лазерном липолизе, хотя и значительно менее выраженную, чем термическое воздействие. В то же время некоторые авторы считают крайне затруднительным выделить специфические гистологические изменения в тканях, вызванные фотоакустическим или фотомеханическим эффектами лазерного излучения [13, 17, 19, 22]. В работе J.G. Khoury с соавт. [23] в сравнительном аспекте оценены механизмы и основные эффекты воздействия лазерного излучения на ткани трех различных длин волн (1064, 1320 и 2100 нм), используемых при аналогичных режимах генерации энергии (100-300 мс, 100-666 мДж/импульс, 12-40 Гц). Предполагается о том, что механизм лазерного липолиза является фотомеханическим, не было подтверждено результатами гистологического исследования тканей. Напротив, авторами было доказано, что механизм влияния лазерного излучения на жировые клетки носит чисто термический характер. Данное исследование, подкрепленное клиническими результатами, подтвердило выводы ранее опубликованных работ, в том числе касающихся описания математической модели лазерного липолиза [9, 12, 13, 16, 23].

Согласно исследованиям J.C. McBean и В.Е. Katz [17], на основе теоретической модели распространения тепловой энергии в биологических тканях Mordon была рассчитана температура жировой ткани, необходимая для достаточной эффективности лазерной липодеструкции. При этом в области контакта сосветоводом она должна находиться в диапазоне 48-50°C. При такой температуре происходят не только разрывы мем-

бран адипоцитов, но и отмечается денатурация белка (в том числе коллагена), что приводит к повышению упругости кожи [6, 24]. А температура поверхности тела в области вмешательства, будучи безопасной и эффективной, должна находиться в диапазоне 38-41°C [12, 17, 24].

Гистологический анализ денатурированного коллагена в сетчатом слое дермы и соединительнотканых мембранах выявил сопутствующий воспалительному процессу ресинтез этого белка в зонах воздействия с регенерацией микрососудистого русла [5, 15]. Анализ гистологических данных при липолизе, реализуемом с помощью излучения диодного лазера с длиной волны 980 нм и мощностью 30 Вт на выходе световода, показал полное отсутствие коагуляционного некроза с практически полной деструкцией мембран адипоцитов, коагуляцию сосудов и уплотнение коллагеновых волокон в зоне воздействия [5, 15, 19, 25]. В реабилитационном периоде после лазерной обработки происходит образование новых волокон коллагена и эластина, усиливающих процесс дальнейшего уплотнения ткани [19].

Лазерный липолиз может использоваться в качестве дополнения к традиционной липосакции. Принцип действия, приводящий к редукции жировой ткани и сглаживанию неровного рельефа тела, в этом случае основан на создании «лазерных туннелей», а также на механизмах нагревания жировой и соединительной ткани [26].

В настоящее время все большей популярностью у хирургов, проводящих липолиз, пользуются диодные лазеры с длиной волны в инфракрасном диапазоне (980 нм). Лазерный липолиз с применением диодного лазера с этой длиной волны показал себя как технология, сопровождающаяся меньшей травматизацией тканей и более коротким периодом реабилитации, чем традиционные методы липосакции [13, 25, 27]. Основной причиной этого, согласно исследованиям А. Prados et al., является тот факт, что лазерное излучение в данном диапазоне приводит к коагуляции в зоне воздействия лимфатических, артериальных и венозных сосудов, предотвращая развитие в послеоперационном периоде гематом и лимфореи [3].

В настоящее время проводятся исследования по использованию систем для лазерного липолиза с несколькими одновременно действующими источниками разной мощности и различными длинами волн [10]. Промежуточные результаты показывают высокую эффективность и безопасность такого подхода. Так, в исследовании F.M. Leclere et al. [4] сообщается об увеличении эффективности локального липолиза при применении аппаратов с двухволновой эмиссией излучения (924/975 нм).

Абсолютное большинство доброкачественных новообразований из жировой ткани (таких как липома) подвергаются открытому хирургическому удалению [28, 29]. Однако эксцизия больших (диаметром более 10 см) или множественных (при липоматозе) образований может привести к формированию избыточных (келоидных, гипертрофированных) рубцов на коже, вызывая недовольство пациента результатами операции [28, 29]. Метод тумесценции и липосакции при больших жировых новообразованиях не является новым в хирургии, однако применение лазерного излучения при этом (ввиду уникальных свойств лазерного излучения, преимуществ малоинвазивного вмешательства) позволяет говорить о новых возможностях такого лечебного подхода [28, 29].

В статье М.А. Trelles et al. сообщается о 5-летнем опыте использования лазерного липолиза в лечении гинекомастии и подробно описывается хирургическая техника этой операции [30]. Авторы используют лазерное излучение диодного аппарата с длиной волны 980 нм, с непрерывным режимом эмиссии, мощностью 15 Вт (поглощенная энергия составляет 8-12 кДж на одну грудную железу). Другие авторы демонстрируют преимущества метода лазерного лечения гинекомастии при использовании длины волны 1064 нм [31].

Описана высокая эффективность применения лазерного липолиза в лечении подмышечного осмидроза и гипергидроза [32]. При этом применяется как интерстициальный, так и чрескожный лазерный липолиз, суть которого сводится к деструкции желез посредством локального воздействия лазерного излучения с использованием специального геля на красителях (фотодинамическая терапия) [33]. Лазерная коагуляция апокриновых потовых желез, по мнению авторов, является менее травматичным и безрецидивным вмешательством [32]. К настоящему времени разработана эффективная технология лазерного липолиза для лечения различных форм целлюлита (в том числе сочетающаяся с аллогенной пересадкой жировой ткани) [34].

Заключение

Анализ литературы убедительно показывает, что многочисленные описания методов лазерного липолиза содержат различные, порой противоречивые, сведения о технике его выполнения, а также об эффективности и безопасности этой манипуляции для пациента. Интерес к данному лечебному направлению определяется актуальностью и перспективой

использования малоинвазивных технологий коррекции наиболее распространенных хирургических заболеваний в амбулаторных условиях, а также в условиях стационара с краткосрочным пребыванием пациентов. Дальнейшее изучение особенностей жировой ткани человека, разработку новых направлений лазерного липолиза, оценку эффективности его влияния на организм человека и качество его жизни можно отнести к актуальным разделам медицинской науки и практики, нуждающимся в непрерывном развитии и совершенствовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Apfelberg DB, Rosenthal S, Hunstad JP, Achauer B, Fodor PB. Progress report on multicenter study of laser-assisted liposuction. *Aesthetic Plast Surg.* 1994 Summer;18(3):259-64.
2. Abdelaal MM, Aboelatta YA. Comparison of Blood Loss in Laser Lipolysis vs Traditional Liposuction. *Aesthet Surg J.* 2014 Aug;34(6):907-12. doi: 10.1177/1090820X14536904.
3. Prado A, Andrades P, Danilla S, Leniz P, Castillo P, Gaete F. A prospective, randomized, double-blind, controlled clinical trial comparing laser-assisted lipoplasty with suction-assisted lipoplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2006 Sep 15;118(4):1032-45. doi: 10.1097/01.prs.0000232428.37926.48.
4. Leclère FM, Moreno-Moraga J, Mordon S, Servell P, Unglaub F, Kolb F, Rimareix F, Trelles MA. Laser-assisted lipolysis for cankle remodelling: a prospective study in 30 patients. *Lasers Med Sci.* 2014 Jan;29(1):131-36. doi: 10.1007/s10103-013-1279-4.
5. Badin AZ, Gondek LB, Garcia MJ, Do Valle LCh, Flizikowski FB, De Noronha L. Analysis of laser lipolysis effects on human tissue samples obtained from liposuction. *Aesthetic Plast Surg.* 2005 Aug;29(4):281-86. doi: 10.1007/s00266-004-0102-9.
6. Goldman A, Wollina U, de Mundstock EC. Evaluation of Tissue Tightening by the Subdermal Nd:YAG Laser-Assisted Liposuction Versus Liposuction Alone. *J Cutan Aesthet Surg.* 2011 May;4(2):122-28. doi: 10.4103/0974-2077.85035.
7. Goldman A, Schavelzon D, Blugerman G. Laser lipolysis: liposuction using Nd:YAG laser. *Revista da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica.* 2002;17:17-26.
8. Klein JA. Tumescent technique for regional anesthesia permits lidocaine doses of 35 mg/kg for liposuction. *J Dermatol Surg Oncol.* 1990 Mar;16(3):248-63.
9. Mordon SR, Wassmer B, Reynaud JP, Zemmouri J. Mathematical modeling of laser lipolysis. *Biomed Eng Online.* 2008 Feb 29;7:10. doi: 10.1186/1475-925X-7-10.
10. Woodhall KE, Saluja R, Khoury J, Goldman MP. A comparison of three separate clinical studies evaluating the safety and efficacy of laser-assisted lipolysis using 1,064, 1,320 nm, and a combined 1,064/1,320 nm multiplex device. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):774-78. doi: 10.1002/lsm.20859.
11. Lim SD, Youn JI, Kim WS, Kim IH, Hwang TS, Han HS, Yeo UC. Comprehensive histologic analysis of interstitial lipolysis with the 1444 nm wavelength during a 3-month follow-up. *Histol Histopathol.* 2011 Nov;26(11):1375-82. doi: 10.14670/HH-26.1375.
12. Sadick NS, Diktaban T, Smoller BR. New

- clinical outcomes utilizing a 1064-nm Nd:YAG laser for lipolysis of the torso oblique region. *J Cosmet Laser Ther.* 2010 Aug;12(4):170-75. doi: 10.3109/14764172.2010.502457.
13. Di Bernardo BE, Reyes J, Chen B. Evaluation of tissue thermal effects from 1064/1320-nm laser-assisted lipolysis and its clinical implications. *J Cosmet Laser Ther.* 2009 Jun;11(2):62-69. doi: 10.1016/j.asj.2009.08.06.
14. Badin AZ, Moraes LM, Gondek L, Chiaratti MG, Canta L. Laser lipolysis: flaccidity under control. *Aesthetic Plast Surg.* 2002 Sep-Oct;26(5):335-39. doi: 10.1007/s00266-002-1510-3.
15. Kim KH, Geronemus RG. Laser lipolysis using a novel 1,064 nm Nd:YAG Laser. *Dermatol Surg.* 2006 Feb;32(2):241-48; discussion 247.
16. Mordon S, Eymard-Maurin AF, Wassmer B, Ringot J. Histologic evaluation of laser lipolysis: pulsed 1064-nm Nd:YAG laser versus cw 980-nm diode laser. *Aesthet Surg J.* 2007 May-Jun;27(3):263-68. doi: 10.1016/j.asj.2007.03.005.
17. McBean JC, Katz BE. A pilot study of the efficacy of a 1,064 and 1,320 nm sequentially firing Nd:YAG laser device for lipolysis and skin tightening. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):779-84. doi: 10.1002/lsm.20858.
18. Leclere FM, Alcolea JM, Vogt P, Moreno-Moraga J, Mordon S, Casoli V, Trelles MA. Laser-assisted lipolysis for arm contouring in Teimourian grades III and IV: A prospective study involving 22 patients. *Plast Surg (Oakv).* 2016; 24(1): 35-40. doi 10.1007/s10103-014-1705-2.
19. Goldman A. Submental Nd:Yag laser-assisted liposuction. *Lasers Surg Med.* 2006 Mar;38(3):181-84. doi: 10.1002/lsm.20270.
20. Youn JI, Holcomb JD. Ablation efficiency and relative thermal confinement measurements using wavelengths 1,064, 1,320, and 1,444 nm for laser-assisted lipolysis. *Lasers Med Sci.* 2013 Feb;28(2):519-27. doi: 10.1007/s10103-012-1100-9.
21. Licata G, Agostini T, Fanelli G, Grassetti L, Marciàno A, Rovatti PP, Pantaloni M, Zhang YX, Lazzari D. Lipolysis using a new 1540-nm diode laser: a retrospective analysis of 230 consecutive procedures. *J Cosmet Laser Ther.* 2013 Aug;15(4):184-92. doi: 10.3109/14764172.2012.758382.
22. Parlette EC, Kaminer ME. Laser-assisted liposuction: here's the skinny. *Semin Cutan Med Surg.* 2008 Dec;27(4):259-63. doi: 10.1016/j.sder.2008.09.002. Review.
23. Khoury JG, Saluja R, Keel D, Detwiler S, Goldman MP. Histologic evaluation of interstitial lipolysis comparing a 1064, 1320 and 2100 nm laser in an ex vivo model. *Lasers Surg Med.* 2008 Aug;40(6):402-6. doi: 10.1002/lsm.20649.
24. Levi JR, Veerappan A, Chen B, Mirkov M, Sierra R, Spiegel JH. Histologic evaluation of laser lipolysis comparing continuous wave vs pulsed lasers in an in vivo pig model. *Arch Facial Plast Surg.* 2011 Jan-Feb;13(1):41-50. doi: 10.1001/archfacial.2010.103.
25. Leclère FM, Trelles M, Moreno-Moraga J, Servell P, Unglaub F, Mordon SR. 980-nm laser lipolysis (LAL): about 674 procedures in 359 patients. *J Cosmet Laser Ther.* 2012 Apr;14(2):67-73. doi: 10.3109/14764172.2012.670704.
26. Seckel BR, Doherty ST, Childs JJ, Smirnov MZ, Cohen RH, Altshuler GB. The role of laser tunnels in laser-assisted lipolysis. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):728-37. doi: 10.1002/lsm.20867.
27. Valizadeh N, Jalaly NY, Zarghampour M, Barikbin B, Haghghatkhah HR. Evaluation of safety and efficacy of 980-nm diode laser-assisted lipolysis versus traditional liposuction for submental rejuvenation: a randomized clinical trial. *J Cosmet Laser Ther.* 2016;18(1):41-45. doi: org/10.3109/14764172.2015.1039041.
28. Saluja R. Dual-wavelength laser lipolysis treatment of lipomas: a case report. *J Drugs Dermatol.* 2010 Apr;9(4):387-88.
29. Stebbins WG, Hanke CW, Petersen J. Novel method of minimally invasive removal of large lipoma after laser lipolysis with 980 nm diode laser. *Dermatol Ther.* 2011 Jan-Feb;24(1):125-30. doi: 10.1111/j.1529-8019.2010.01385.x.
30. Trelles MA, Mordon SR, Bonanad E, Moreno Moraga J, Heckmann A, Unglaub F, Betrouni N, Leclère FM. Laser-assisted lipolysis in the treatment of gynecomastia: a prospective study in 28 patients. *Lasers Med Sci.* 2013 Feb;28(2):375-82. doi: 10.1007/s10103-011-1043-6.
31. Rho YK, Kim BJ, Kim MN, Kang KS, Han HJ. Laser lipolysis with pulsed 1064 nm Nd:YAG laser for the treatment of gynecomastia. *Int J Dermatol.* 2009 Dec;48(12):1353-59. doi: 10.1111/j.1365-4632.2009.04231.x.
32. Lee SG, Ryu HJ, Kim IH. Minimally invasive surgery for axillary osmidrosis using a combination of subcutaneous tissue removal and a 1,444-nm Nd:YAG Laser. *Ann Dermatol.* 2014 Dec; 26(6): 755-57. Published online 2014 Nov 26. doi: 10.5021/ad.2014.26.6.755.
33. Mordon SR, Trelles MA, Leclere FM, Betrouni N. New treatment techniques for axillary hyperhidrosis. *J Cosmet Laser Ther.* 2014 Oct;16(5):230-35. doi: 10.3109/14764172.2014.948883.
34. Goldman A, Gotkin RH, Sarnoff DS, Prati C, Rossato F. Cellulite: a new treatment approach combining subdermal Nd:YAG laser lipolysis and autologous fat transplantation. *Aesthet Surg J.* 2008 Nov-Dec;28(6):656-62. doi: 10.1016/j.asj.2008.09.002.

REFERENCES

1. Apfelberg DB, Rosenthal S, Hunstad JP, Achauer B, Fodor PB. Progress report on multicenter study of laser-assisted liposuction. *Aesthetic Plast Surg.* 1994 Summer;18(3):259-64.
2. Abdelaal MM, Aboelatta YA. Comparison of Blood Loss in Laser Lipolysis vs Traditional Liposuction. *Aesthet Surg J.* 2014 Aug;34(6):907-12. doi: 10.1177/1090820X14536904.
3. Prado A, Andrades P, Danilla S, Leniz P, Castillo P, Gaete F. A prospective, randomized, double-blind, controlled clinical trial comparing laser-assisted lipoplasty with suction-assisted lipoplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2006 Sep 15;118(4):1032-45. doi: 10.1097/01.prs.0000232428.37926.48.
4. Leclère FM, Moreno-Moraga J, Mordon S, Servell P, Unglaub F, Kolb F, Rimareix F, Trelles MA. Laser-assisted lipolysis for cankle remodelling: a prospective study in 30 patients. *Lasers Med Sci.* 2014 Jan;29(1):131-36. doi: 10.1007/s10103-013-1279-4.
5. Badin AZ, Gondek LB, Garcia MJ, Do Valle LCh, Flizikowski FB, De Noronha L. Analysis of laser lipolysis effects on human tissue samples obtained from liposuction. *Aesthetic Plast Surg.* 2005 Aug;29(4):281-86. doi: 10.1007/s00266-004-0102-9.

6. Goldman A, Wollina U, de Mundstock EC. Evaluation of Tissue Tightening by the Subdermal Nd: YAG Laser-Assisted Liposuction Versus Liposuction Alone. *J Cutan Aesthet Surg.* 2011 May;4(2):122-28. doi: 10.4103/0974-2077.85035.
7. Goldman A, Schavelzon D, Blugerman G. Laser lipolysis: liposuction using Nd:YAG laser. *Revista da Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica.* 2002;17:17-26.
8. Klein JA. Tumescence technique for regional anesthesia permits lidocaine doses of 35 mg/kg for liposuction. *J Dermatol Surg Oncol.* 1990 Mar;16(3):248-63.
9. Mordon SR, Wassmer B, Reynaud JP, Zemmouri J. Mathematical modeling of laser lipolysis. *Biomed Eng Online.* 2008 Feb 29;7:10. doi: 10.1186/1475-925X-7-10.
10. Woodhall KE, Saluja R, Khoury J, Goldman MP. A comparison of three separate clinical studies evaluating the safety and efficacy of laser-assisted lipolysis using 1,064, 1,320 nm, and a combined 1,064/1,320 nm multiplex device. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):774-78. doi: 10.1002/lsm.20859.
11. Lim SD, Youn JI, Kim WS, Kim IH, Hwang TS, Han HS, Yeo UC. Comprehensive histologic analysis of interstitial lipolysis with the 1444 nm wavelength during a 3-month follow-up. *Histol Histopathol.* 2011 Nov;26(11):1375-82. doi: 10.14670/HH-26.1375.
12. Sadick NS, Diktaban T, Smoller BR. New clinical outcomes utilizing a 1064-nm Nd:YAG laser for lipolysis of the torso oblique region. *J Cosmet Laser Ther.* 2010 Aug;12(4):170-75. doi: 10.3109/14764172.2010.502457.
13. DiBernardo BE, Reyes J, Chen B. Evaluation of tissue thermal effects from 1064/1320-nm laser-assisted lipolysis and its clinical implications. *J Cosmet Laser Ther.* 2009 Jun;11(2):62-69. doi: 10.1016/j.asj.2009.08.06.
14. Badin AZ, Moraes LM, Gondek L, Chiaratti MG, Canta L. Laser lipolysis: flaccidity under control. *Aesthetic Plast Surg.* 2002 Sep-Oct;26(5):335-39. doi: 10.1007/s00266-002-1510-3.
15. Kim KH, Geronemus RG. Laser lipolysis using a novel 1,064 nm Nd:YAG Laser. *Dermatol Surg.* 2006 Feb;32(2):241-48; discussion 247.
16. Mordon S, Eymard-Maurin AF, Wassmer B, Ringot J. Histologic evaluation of laser lipolysis: pulsed 1064-nm Nd:YAG laser versus cw 980-nm diode laser. *Aesthet Surg J.* 2007 May-Jun;27(3):263-68. doi: 10.1016/j.asj.2007.03.005.
17. McBean JC, Katz BE. A pilot study of the efficacy of a 1,064 and 1,320 nm sequentially firing Nd:YAG laser device for lipolysis and skin tightening. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):779-84. doi: 10.1002/lsm.20858.
18. Leclere FM, Alcolea JM, Vogt P, Moreno-Moraga J, Mordon S, Casoli V, Trelles MA. Laser-assisted lipolysis for arm contouring in Teimourian grades III and IV: A prospective study involving 22 patients. *Plast Surg (Oakv).* 2016; 24(1): 35-40. doi: 10.1007/s10103-014-1705-2.
19. Goldman A. Submental Nd:Yag laser-assisted liposuction. *Lasers Surg Med.* 2006 Mar;38(3):181-84. doi: 10.1002/lsm.20270.
20. Youn JI, Holcomb JD. Ablation efficiency and relative thermal confinement measurements using wavelengths 1,064, 1,320, and 1,444 nm for laser-assisted lipolysis. *Lasers Med Sci.* 2013 Feb;28(2):519-27. doi: 10.1007/s10103-012-1100-9.
21. Licata G, Agostini T, Fanelli G, Grassetti L, Marcianò A, Rovatti PP, Pantaloni M, Zhang YX, Lazzari D. Lipolysis using a new 1540-nm diode laser: a retrospective analysis of 230 consecutive procedures. *J Cosmet Laser Ther.* 2013 Aug;15(4):184-92. doi: 10.3109/14764172.2012.758382.
22. Parlette EC, Kaminer ME. Laser-assisted liposuction: here's the skinny. *Semin Cutan Med Surg.* 2008 Dec;27(4):259-63. doi: 10.1016/j.sder.2008.09.002. Review.
23. Khoury JG, Saluja R, Keel D, Detwiler S, Goldman MP. Histologic evaluation of interstitial lipolysis comparing a 1064, 1320 and 2100 nm laser in an ex vivo model. *Lasers Surg Med.* 2008 Aug;40(6):402-6. doi: 10.1002/lsm.20649.
24. Levi JR, Veerappan A, Chen B, Mirkov M, Siererra R, Spiegel JH. Histologic evaluation of laser lipolysis comparing continuous wave vs pulsed lasers in an in vivo pig model. *Arch Facial Plast Surg.* 2011 Jan-Feb;13(1):41-50. doi: 10.1001/archfacial.2010.103.
25. Leclère FM, Trelles M, Moreno-Moraga J, Servell P, Unglaub F, Mordon SR. 980-nm laser lipolysis (LAL): about 674 procedures in 359 patients. *J Cosmet Laser Ther.* 2012 Apr;14(2):67-73. doi: 10.3109/14764172.2012.670704.
26. Seckel BR, Doherty ST, Childs JJ, Smirnov MZ, Cohen RH, Altshuler GB. The role of laser tunnels in laser-assisted lipolysis. *Lasers Surg Med.* 2009 Dec;41(10):728-37. doi: 10.1002/lsm.20867.
27. Valizadeh N, Jalaly NY, Zarghampour M, Barikbin B, Haghightakha HR. Evaluation of safety and efficacy of 980-nm diode laser-assisted lipolysis versus traditional liposuction for submental rejuvenation: a randomized clinical trial. *J Cosmet Laser Ther.* 2016;18(1):41-45. doi: 10.3109/14764172.2015.1039041.
28. Saluja R. Dual-wavelength laser lipolysis treatment of lipomas: a case report. *J Drugs Dermatol.* 2010 Apr;9(4):387-88.
29. Stebbins WG, Hanke CW, Petersen J. Novel method of minimally invasive removal of large lipoma after laser lipolysis with 980 nm diode laser. *Dermatol Ther.* 2011 Jan-Feb;24(1):125-30. doi: 10.1111/j.1529-8019.2010.01385.x.
30. Trelles MA, Mordon SR, Bonanad E, Moreno-Moraga J, Heckmann A, Unglaub F, Betrouni N, Leclère FM. Laser-assisted lipolysis in the treatment of gynecomastia: a prospective study in 28 patients. *Lasers Med Sci.* 2013 Feb;28(2):375-82. doi: 10.1007/s10103-011-1043-6.
31. Rho YK, Kim BJ, Kim MN, Kang KS, Han HJ. Laser lipolysis with pulsed 1064 nm Nd:YAG laser for the treatment of gynecomastia. *Int J Dermatol.* 2009 Dec;48(12):1353-59. doi: 10.1111/j.1365-4632.2009.04231.x.
32. Lee SG, Ryu HJ, Kim IH. Minimally invasive surgery for axillary osmidrosis using a combination of subcutaneous tissue removal and a 1,444-nm Nd:YAG Laser. *Ann Dermatol.* 2014 Dec; 26(6): 755-57. Published online 2014 Nov 26. doi: 10.5021/ad.2014.26.6.755.
33. Mordon SR, Trelles MA, Leclere FM, Betrouni N. New treatment techniques for axillary hyperhidrosis. *J Cosmet Laser Ther.* 2014 Oct;16(5):230-35. doi: 10.3109/14764172.2014.948883.
34. Goldman A, Gotkin RH, Sarnoff DS, Prati C, Rossato F. Cellulite: a new treatment approach combining subdermal Nd:YAG laser lipolysis and autologous fat transplantation. *Aesthet Surg J.* 2008 Nov-Dec;28(6):656-62. doi: 10.1016/j.asj.2008.09.002.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, дом. 3, корпус 3,
Белорусская медицинская академия
последипломного образования,
кафедра неотложной хирургии;
тел. раб.: +375 17-225-88-10,
e-mail: mishahain@tut.by,
Гаин Михаил Юрьевич

Сведения об авторах

Гаин Михаил Юрьевич, к.м.н., старший преподаватель кафедры неотложной хирургии, Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь.

<http://orcid.org/0000-0001-9012-5277>

Шахрай Сергей Владимирович, д.м.н., доцент, профессор кафедры неотложной хирургии, Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь.

<http://orcid.org/0000-0002-9423-9535>

Гаин Юрий Михайлович, д.м.н., профессор, проректор по научной работе, Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь.

<http://orcid.org/0000-0001-7622-5642>

Кудрицкий Дмитрий Валерьевич, аспирант кафедры неотложной хирургии, Белорусская медицинская академия последипломного образования, г. Минск, Республика Беларусь.

<https://orcid.org/0000-0001-8581-2494>

Информация о статье

Поступила 11 апреля 2017 г.

Принята в печать 28 июня 2017 г.

Доступна на сайте 5 февраля 2018 г.

Address for correspondence

220013, The Republic of Belarus,
Minsk, P.Brovka Str., 3,
Belarusian Medical Academy
of Post-Graduate Education,
Emergent Surgery Department,
Tel. office: +375 17-225-88-10,
e-mail: mishahain@tut.by,
Gain Mikhail Y.

Information about the authors

Gain Mikhail Y., PhD, Senior Lecturer of the Emergent Surgery Department, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus.

<http://orcid.org/0000-0001-9012-5277>

Shakhrai Siarhei V., MD, Associate Professor, Professor of the Emergent Surgery Department, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus.

<http://orcid.org/0000-0002-9423-9535>

Gain Yuri M., MD, Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus.

<http://orcid.org/0000-0001-7622-5642>

Kudrytski Dzmitry V., Post-Graduate Student of the Emergent Surgery Department, Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education, Minsk, Republic of Belarus.

<https://orcid.org/0000-0001-8581-2494>

Article history

Arrived 11 April 2017

Accepted for publication 28 June 2017

Available online 5 February 2018