

В отличие от классической электропорации, когда сильнее повреждаются более крупные клетки, эффективность воздействия НЭИ не зависит от размеров клетки. Адгезированные клетки имеют большую устойчивость к наносекундному воздействию, чем клетки, находящиеся в суспензии. Известно также, что НЭИ оказывают влияние на ядерную мембрану. В опытах с опухолевой тканью наблюдался быстрый кариопикноз (сморщивание клеточного ядра).

Группа американских исследователей под руководством Ричарда Нучителли (Richard Nuccitelli) обнаружила, что ультракороткие импульсные электрические поля могут выступать и в роли самостоятельного метода лечения опухолей, при котором уничтожение опухолевых клеток происходит без применения лекарств или гипертермии. Эксперименты проводились на клетках фибросаркомы и меланомы. В частности, после воздействия на клетки меланомы четырьмя тысячами импульсов с суммарным временем воздействия 120 с произошло уменьшение размеров опухоли на 90% за две недели.

Новый метод лечения опухолей имеет большие перспективы. С его помощью можно производить воздействие непосредственно на клетки опухоли, не затрагивая при этом прилежащую дерму и окружающие ткани. Кроме лечения новообразований, дальнейшее развитие этой технологии, скорее всего, будет идти в направлении удаления родинок, папиллом и других косметических дефектов.

1.5.4. Переменный электрический ток высокой частоты

В отличие от постоянных токов и низкочастотных импульсных постоянных токов, высокочастотный электрический ток не вызывает сокращения мышц и не возбуждает периферические нервы. Поэтому основные биологические эффекты связаны исключительно с диатермией.

Электро(радио)хирургия



Ирвинг Эллман

Электрохирургия основана на использовании высокочастотного переменного электрического тока для быстрого и сильного нагрева тканей с целью их удаления. В отличие от методов RF-терапии, здесь используются большие мощности, достаточные для термического разрушения тканей.

Одним из первых воздействием высокочастотного электрического тока на биологические ткани заинтересовался американский хирург-стоматолог и радио-

инженер Ирвинг Эллман (Irving Ellman), который начиная с 1959 г. проводил исследования, а в 1973 г. запатентовал первый в мире радиохирургический генератор Surgitron™, работающий на частоте 3,8 МГц. Именно Эллман ввел в хирургическую практику термин «**электрорадиохирургия**», имея в виду воздействие переменного электрического тока в радиочастотном диапазоне 3,8–4,0 МГц, которое вызывает минимальное повреждение тканей.

Подводимый активным электродом (так называемый радионож) высокочастотный электрический ток вызывает почти мгновенное выпаривание внутриклеточной жидкости и, вследствие этого, рассечение тканей или их коагуляцию (в зависимости от выбранного режима и формы напряжения).

Преимущества электрорадиохирургии (3,8–4,0 МГц) таковы:

- 1) минимальное повреждение тканей: степень термического повреждения в 2–3 раза меньше по сравнению с большинством лазеров. Также важно отметить: отсутствие кровяного сгустка в ране после разреза, минимальный некроз в области операционной раны и прилежащих тканей 15–20 мкм, отсутствие лейкоцитарной инфильтрации в ране и как следствие — снижение риска развития воспаления;
- 2) ускорение процессов регенерации тканей: выраженная ранняя (с 3-го дня) репарация и эпителизация тканей и их восстановление, раннее полное заживление тканей без образования грубого рубца, снижение болезненности тканей при радиочастотной диссекции за счет коагуляции нервных окончаний. Низкая болезненность послеоперационной раны;
- 3) стерилизующий эффект переменного электрического тока с частотой 3,8–4,0 МГц, проявляющийся в снижении риска послеоперационных осложнений;
- 4) работа в «сухом» операционном поле;
- 5) высокий косметический эффект: раннее полное заживление тканей без образования грубого рубца;
- 6) может использоваться при любом фототипе кожи.

При прохождении высокочастотных токов выделение тепла зависит не только от силы тока, но и от величины контактной поверхности электродов (чем меньше поверхность, тем более локально повысится температура). Поэтому, сконцентрировав нагрев на малой площади, можно добиться почти такого же нагрева, как в лазерной хирургии. В американской литературе обычно выделяют 4 вида хирургической диатермии:

- 1) электрокоагуляция (electrocoagulation);
- 2) электротомия (electrosection), или электрическое резание;

3) электродиссекция (electrodesiccation);

4) фульгурация (fulguration).

Самой простой является **электрокоагуляция**, которая служит для остановки кровотечения мелких кровеносных сосудов диаметром 2–3 мм. Термин «электрокоагуляция» также используют для обозначения метода прижигания тканей с помощью постоянного электрического тока, под воздействием которого в участке эпидермиса, находящемся под электродом, происходит денатурация кератина и клеточных белков. Под катодом образуется щелочь, вызывающая отек, сухой струп и неуплотненный рубец. Этот метод применяют для лечения плоских гемангиом, волосяного лишая, телеангиэктазий, угревой сыпи.

Вторым вариантом использования хирургической диатермии является **электротомия**. Она проводится при помощи так называемого диатермического скальпеля. При этом вокруг разреза ткань коагулируется, что предохраняет организм от распространения метастазов (в случае злокачественной опухоли) или присоединения инфекции. Заживление первичным натяжением при этом происходит редко; обычно происходит вторичное натяжение.

Третьим вариантом использования хирургической диатермии является **диссекция** (или электродиссекция), которая обычно используется для удаления телеангиэктазий и звездчатых гемангиом. Активный электрод прикладывают к участку, который хотят удалить, или же вкалывают на желаемую глубину в ткань (для этого используют игольчатый электрод) (**рис. 1-1-8а**). При пропускании тока происходит коагуляция ткани и формируется зона некроза. В течение 2–3 нед некротизировавшийся участок отторгается. Применение электродиссекции с целью эпиляции волос требует навыка и большого опыта, чтобы не вызвать некроз на поверхности кожи у устья волоса и вместе с этим образование рубца.

Четвертым методом является **фульгурация**, при которой электрод не касается кожи, а между ним и поверхностью кожи проскакивает искра, чем достигается полное обугливание подлежа-



Рис. 1-1-8. Два метода электрохирургии: контактная электродиссекция (а) и бесконтактная электрофульгурация (б)

щей уничтожению ткани (**рис. I-1-8б**). Фульгурация успешно применяется для удаления базально-клеточных карцином на торсе и бородавок.

RF-лифтинг и омоложение (RF-терапия)

Воздействие на кожу высокочастотным электрическим током, но только меньшей интенсивности, легло в основу технологии RF-лифтинга и омоложения кожной ткани, которую часто называют корочке — RF-терапия.

Пионером этого направления можно считать монополярный RF-аппарат Thermage (Thermage Inc., США; в настоящее время является подразделением компании Solta Medical), на рынке эстетической медицины он появился в 2002 г. Воздействие на кожу осуществлялось переменным (6 МГц) электрическим током (для охлаждения кожи во время процедуры используется криогенная охлаждающая система). Термаж сразу вызвал большой интерес, однако, несмотря на многообещающие клинические результаты, болезненность и довольно высокий риск термического повреждения кожи стимулировали исследователей продолжить поиски в направлении оптимизации и усовершенствования технологии. Новейший аппарат Thermage CPT™ оснащен системой Comfort Pulse Technology™, особенностью которой является подача импульсов, снижающих болезненную чувствительность путем воздействия на нервные окончания (наподобие ЧЭНС-терапии). Вибрация аппликатора во время воздействия и криогенная система охлаждения в свою очередь уменьшают неприятные ощущения и риск ожога.

Другим примером монополярной RF-технологии является технология Pellevé (Ellman Internation, США), реализованная на базе электрохирургического аппарата «Сургитрон». Подача энергии осуществляется через электрод с гладкой поверхностью, который постоянно перемещается по коже, глубоко прогревая кожную ткань (**рис. I-1-9**). Рабочая частота аппарата составляет 4 МГц, воздействие осуществляется в непрерывном

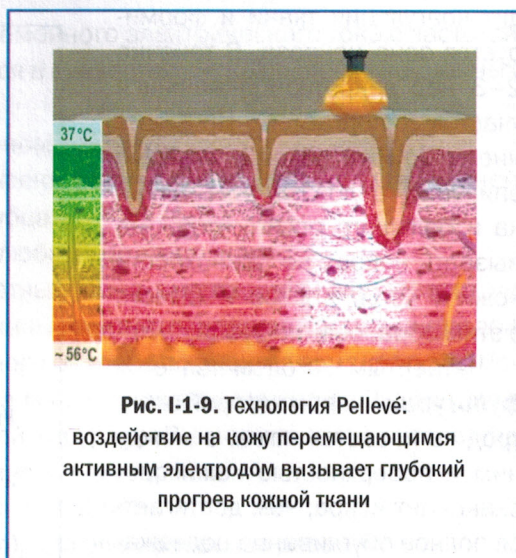


Рис. I-1-9. Технология Pellevé: воздействие на кожу перемещающимся активным электродом вызывает глубокий прогрев кожной ткани

режиме. Для того чтобы избежать поверхностного ожога, кожу покрывают специальным охлаждающим гелем, который одновременно служит токопроводящей средой. Подкожно-жировая клетчатка нагревается больше всего, превращаясь в своего рода эндогенный очаг тепла. Объемное нагревание кожной ткани стимулирует фибробласты к синтезу компонентов межклеточного матрикса дермы, что приводит к ремоделированию и структурному омоложению кожной ткани.

В отличие от монополярных аппаратов, в которых один электрод является рабочим, в би- и мультиполярных системах в рабочую манипулу встроены сразу все электроды, которые являются равнозначными, — при подаче на них напряжения ток начинает протекать между ними более поверхностно, нежели при монополярном воздействии, оказывая эффект преимущественно в дермальном слое. Сегодня подобные аппараты производят множество компаний в разных странах мира.

Фракционный радиочастотный термолиз (RF-термолиз)

Несколько лет назад на рынке появилась технология **фракционного RF-термолиза** (по аналогии с фракционным фототермолизом, см. ч. I, п. 2.6.1). При фракционном воздействии термической абляции/коагуляции подвергаются микроскопические участки эпидермиса и дермы в равномерно расположенных точках, а интактная кожа, окружающая обработанный участок, служит резервуаром клеток, участвующих в процессе репарации. Фракционное воздействие гораздо менее травматично, и кожа после него быстрее и качественнее восстанавливается. Несмотря на то что в основе воздействия лежит термическое разрушение ткани, данная технология занимает пограничное положение между деструктивными и стимулирующими методами. И поскольку основной задачей является все же стимуляция репаративных процессов на участках кожи большой площади, а не ликвидация локального дефекта, мы ее рассматриваем в разделе методов электролечения.

В качестве примера малоинвазивной технологии приведем аппарат eMatrix (Syneron, Израиль) с насадкой Matrix RF (**рис. I-1-10, рис. I-1-11**). Ее наконечник состоит из 64 электродов диаметром 200 мкм каждый, расположенных на равном удалении друг от друга параллельными рядами и формирующих пары «+» и «-» (**рис. I-1-10**). Через эти пары на 5–10% площади обрабатываемого участка кожи подается высокочастотная энергия, общий уровень которой достигает 20 Дж. Между неподвижными электродами остаются участки здоровой кожи, аблятивные повреждения минимальны (**рис. I-1-11**).

«Микротуннели», оставшиеся после воздействия, имеют форму «перевернутой воронки», обращенной широким основанием в сторону дермы

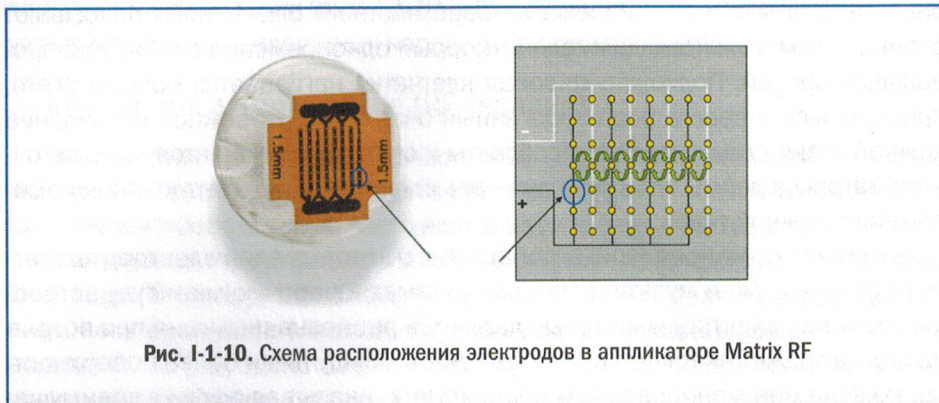


Рис. I-1-10. Схема расположения электродов в аппликаторе Matrix RF

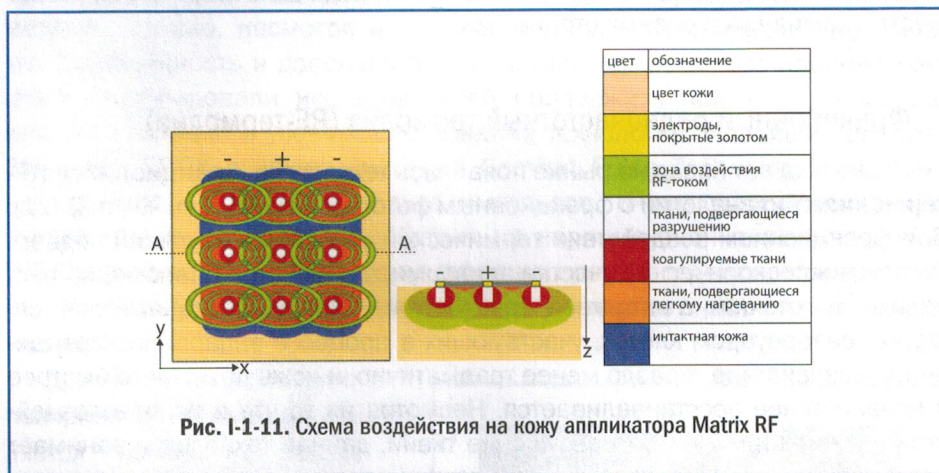


Рис. I-1-11. Схема воздействия на кожу аппликатора Matrix RF

(в отличие от «микротуннелей» в виде столбика после фракционного лазерного воздействия) (рис. I-1-12). Таким образом, импульсы RF-энергии создают пирамидальные термальные зоны, что приводит к минимальному повреждению рогового слоя (т.е. минимальной абляции) и максимальному нагреву в глубоких слоях кожи (коагуляция, прогрев). В ходе репарации происходит «выталкивание» (поднятие) поверхности кожи кверху, и ее поверхность становится более ровной. Эта особенность сублятивного омоложения наряду с одновременным сокращением кожи напоминает процедуру равномерной абляции, но в отличие от нее она менее травматична и с более коротким восстановительным периодом. В устройстве предусмотрена регуляция интенсивности воздействия, поскольку имеется возможность управлять соотношением эф-

фектов абляции/коагуляции/некроза, глубиной зон абляции и пределами коагуляции окружающей ее ткани в соответствии с целями процедуры, медицинскими показаниями и особенностями обрабатываемых участков кожи.

Аппликатор Fractora (Invasix, Канада) — другой пример технологии фракционного RF-термолиза. В нем имеются острые иглы-электроды (рис. I-1-13), легко проходящие через кожу (в связи с чем технология относится к малоинвазивным). Игольчатые электроды имеют одну полярность, а боковые плоские электроды — другую. При подаче RF-апряжения вокруг игольчатых электродов происходит абляция (лат. *ablatio* — отнятие, локальное удаление ткани с формированием кратера), вокруг кратера располагается зона коагуляции, а далее — зона нагрева,

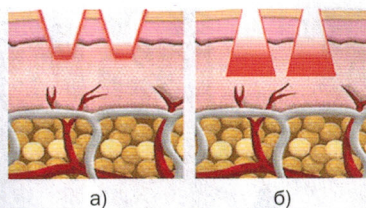


Рис. I-1-12. Форма термальных зон («микротуннелей»), возникающих при использовании традиционного фракционного лазера (а) и RF-воздействия аппликатором Matrix RF (б)

Механизм воздействия Fractora

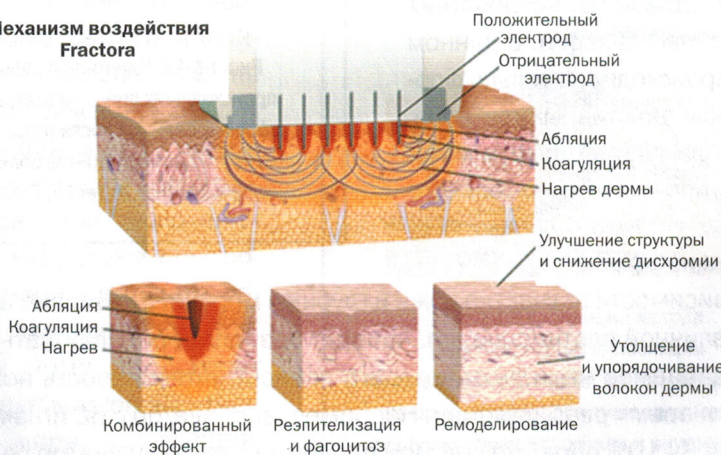


Рис. I-1-13. Предполагаемый механизм воздействия Fractora на кожу