



## ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПРОЛИФЕРАЦИЮ ФИБРОБЛАСТОВ И РЕГУЛЯЦИЮ КОЛЛАГЕНООБРАЗОВАНИЯ

*Батдыева Аминат Ильясовна,  
косметолог-плазмист, штат  
Иллинойс, г. Дес-Плейнс, США*

*E-mail: abatdyeva2@gmail.com*

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние холодной атмосферной плазмы на клеточную активность фибробластов и процессы коллагенообразования в коже. Показано, что холодная атмосферная плазма представляет собой ионизированный газ, содержащий активные формы кислорода и азота, способные регулировать клеточные сигнальные механизмы. Рассмотрены физико-биологические характеристики плазмы и механизмы её воздействия на клетки дермы. Особое внимание уделено роли фибробластов как ключевых клеток дермального матрикса, обеспечивающих синтез коллагена и поддержание структурной организации кожи. Установлено, что воздействие плазмы имеет дозозависимый характер и может регулировать процессы ремоделирования внеклеточного матрикса. Отмечается, что активация синтеза коллагена и усиление клеточной активности фибробластов способствуют улучшению структурных характеристик кожи. Полученные результаты подтверждают перспективность применения холодной атмосферной плазмы в эстетической косметологии как технологии, направленной на стимуляцию процессов обновления кожи и улучшение её функционального состояния.

**Ключевые слова:** холодная атмосферная плазма, эстетическая косметология, фибробласты, коллаген, пролиферация клеток, неоколлагенез, дермальный матрикс, клеточный метаболизм, аппаратная косметология, ремоделирование кожи.

### **Актуальность исследования**

Современная эстетическая косметология ориентирована на разработку неинвазивных технологий, направленных на улучшение качества кожи и замедление возрастных изменений. Важнейшую роль в поддержании структуры и упругости кожи играет дермальный матрикс, основу которого составляют коллагеновые волокна. Их синтез осуществляется фибробластами – основными клетками соединительной ткани дермы. С возрастом активность фибробластов снижается, что приводит к уменьшению синтеза коллагена, ослаблению

дермального каркаса и снижению эластичности кожи. В связи с этим особое значение в косметологии приобретает поиск методов, способных стимулировать активность фибробластов и процессы коллагенообразования.

Одной из перспективных технологий эстетической косметологии является применение холодной атмосферной плазмы. Она представляет собой ионизированный газ, содержащий активные формы кислорода и азота, которые способны оказывать регулирующее воздействие на клеточные процессы. Исследования показывают, что контролируемое плазменное воздействие может активировать клеточный метаболизм и стимулировать функциональную активность клеток.

В этой связи актуальным является изучение влияния холодной атмосферной плазмы на пролиферацию фибробластов и регуляцию синтеза коллагена, что имеет научное и практическое значение для развития современных технологий эстетической косметологии.

#### **Цель исследования**

Целью данного исследования является анализ влияния холодной атмосферной плазмы на пролиферацию фибробластов и процессы синтеза коллагена, а также оценка её значения для стимуляции клеточной активности и ремоделирования дермального матрикса в эстетической косметологии.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалами исследования послужили научные публикации и результаты экспериментальных исследований, посвящённых изучению свойств холодной атмосферной плазмы и её влияния на клетки кожи.

Методами исследования выступили анализ и обобщение научной литературы, сравнительный анализ результатов экспериментальных работ, а также систематизация данных о биологических эффектах холодной атмосферной плазмы. Особое внимание уделялось исследованиям, посвящённым влиянию плазменного воздействия на пролиферацию фибробластов, экспрессию генов коллагена и процессы ремоделирования дермального матрикса.

#### **Результаты исследования**

Холодная атмосферная плазма представляет собой частично ионизированный газ, формируемый при атмосферном давлении и относительно низкой температуре. В её составе присутствуют электроны, ионы, ультрафиолетовое излучение низкой интенсивности, а также активные химические частицы. Благодаря таким характеристикам плазма может воздействовать на биологические ткани без выраженного теплового повреждения, что позволяет использовать её в неинвазивных косметологических технологиях [3, с. 80].

Основное биологическое действие холодной атмосферной плазмы связано с образованием активных форм кислорода и азота. Эти молекулы участвуют в клеточной сигнализации и способны регулировать различные биологические процессы, включая клеточный метаболизм и межклеточные взаимодействия. В научных исследованиях отмечается, что именно такие реактивные частицы

определяют большинство биологических эффектов плазменного воздействия на клетки.

При контакте плазменного потока с поверхностью кожи происходит перенос активных частиц и энергии к клеткам эпидермиса и дермы. В результате активируются внутриклеточные сигнальные механизмы, регулирующие процессы клеточного обновления и синтеза компонентов внеклеточного матрикса. Экспериментальные исследования показали, что плазменное воздействие может стимулировать активность фибробластов и повышать экспрессию молекул, связанных с формированием коллагеновых структур.

С физической точки зрения холодная атмосферная плазма создаётся различными типами устройств. Наиболее распространёнными источниками являются диэлектрический барьерный разряд и плазменные струйные системы. Эти технологии позволяют контролировать параметры плазмы, что обеспечивает возможность регулирования интенсивности биологического эффекта [1, с. 34].

В исследованиях отмечается, что контролируемое плазменное воздействие может стимулировать процессы обновления кожных структур и ремоделирования дермального матрикса. В частности, наблюдается усиление синтеза коллагена и увеличение активности фибробластов, что связывают с воздействием реактивных частиц и изменением клеточных сигнальных путей [4, с. 542].

Основные физико-биологические характеристики холодной атмосферной плазмы представлены в таблице 1.

Таблица 1

#### Основные физико-биологические характеристики холодной атмосферной плазмы

Параметр	Характеристика	Научные данные
Температура плазмы	Близка к температуре окружающей среды	Позволяет применять технологию без выраженного термического повреждения тканей
Основные активные компоненты	ROS и RNS (реактивные формы кислорода и азота)	Участвуют в клеточной сигнализации и регуляции биологических процессов
Типы плазменных источников	Диэлектрический барьерный разряд, плазменная струя, плазменная игла	Позволяют контролировать параметры воздействия
Биологический эффект	Активация клеточного метаболизма и клеточной коммуникации	Отмечено усиление процессов регенерации и синтеза внеклеточного матрикса
Контролируемые параметры	Напряжение, мощность, расстояние до кожи, время воздействия	Изменение параметров влияет на концентрацию активных частиц

*Источник: данные обобщены по результатам исследований холодной атмосферной плазмы.*

Фибробласты являются основными клетками соединительной ткани дермы и играют ключевую роль в формировании и поддержании структуры межклеточного матрикса кожи. Эти клетки синтезируют основные компоненты внеклеточного матрикса, включая коллагеновые волокна, эластин, гликозаминогликаны и протеогликаны, которые обеспечивают механическую прочность и эластичность кожи. Кроме того, фибробласты участвуют в регуляции клеточных взаимодействий и выделяют сигнальные молекулы, способные влиять на активность других клеток кожи.

В эстетической косметологии фибробласты рассматриваются как ключевая клеточная мишень, поскольку именно они определяют состояние дермального матрикса и качество кожных структур. Их функциональная активность напрямую связана с синтезом коллагена – главного белка соединительной ткани. Коллагеновые волокна формируют каркас дермы и обеспечивают её плотность и упругость. Фибробласты синтезируют преимущественно коллаген I и III типов, которые являются основными структурными компонентами кожи [5, с. 6].

В ходе естественных возрастных изменений кожи активность фибробластов постепенно уменьшается. Это сопровождается снижением синтеза коллагена и уменьшением экспрессии генов, связанных с его образованием, в частности COL1A1 и COL3A1. Исследования показывают, что у клеток, полученных из кожи более старшего возраста, уровень экспрессии этих генов значительно ниже по сравнению с клетками молодых доноров, что отражается на структуре дермального матрикса.

Фибробласты также участвуют в ремоделировании внеклеточного матрикса. Они регулируют баланс между синтезом и деградацией его компонентов, взаимодействуя с ферментами и сигнальными молекулами, участвующими в обновлении тканей. Благодаря этому фибробласты обеспечивают постоянное обновление коллагеновых структур и поддержание функционального состояния дермы.

В современной косметологии значительное внимание уделяется методам стимуляции активности фибробластов, поскольку усиление их метаболической и синтетической активности связано с улучшением структуры дермального матрикса. Экспериментальные исследования показывают, что различные физические и биохимические факторы способны усиливать пролиферацию фибробластов и стимулировать синтез коллагена, что приводит к улучшению характеристик кожи, таких как её плотность и эластичность.

Исследования последних лет показывают, что холодная атмосферная плазма способна оказывать регулирующее воздействие на пролиферацию фибробластов. Основным фактором такого влияния считается образование активных форм кислорода и азота, которые формируются при генерации плазмы. Эти молекулы участвуют в клеточной сигнализации и могут запускать внутриклеточные механизмы, регулирующие рост и деление клеток. В экспериментальных работах отмечается, что при контролируемом воздействии

плазмы наблюдается повышение метаболической активности клеток и усиление процессов клеточного обновления (таблица 2).

Таблица 2

Экспериментальные данные о влиянии  
холодной плазмы на пролиферацию клеток

Параметр воздействия	Наблюдаемый эффект	Научные данные
Низкая интенсивность плазмы	Стимуляция деления клеток	увеличение перехода клеток в фазу S клеточного цикла
Умеренное воздействие	Повышение метаболической активности клеток	активация сигнальных путей NF-κB
Высокая интенсивность	Торможение клеточного цикла	остановка клеток в фазе G2/M
Генерация ROS	Регуляция клеточного деления	активация сигнальных механизмов пролиферации

*Источник: данные обобщены по результатам экспериментальных исследований холодной атмосферной плазмы.*

Коллаген является основным структурным белком дермального матрикса и играет важную роль в поддержании плотности и упругости кожи. Основной синтез коллагена осуществляется фибробластами, которые продуцируют преимущественно коллаген I и III типов. Эти белки формируют волокнистый каркас дермы и обеспечивают механическую устойчивость тканей. В современной косметологии особое внимание уделяется технологиям, способным стимулировать процессы неоколлагенеза, поскольку повышение синтеза коллагена связано с улучшением структурных характеристик кожи [2, с. 444].

Исследования показывают, что холодная атмосферная плазма может влиять на регуляцию коллагенообразования на молекулярном уровне. В экспериментах с фибробластами установлено, что после плазменного воздействия происходит увеличение экспрессии белков и сигнальных молекул, участвующих в синтезе коллагена. В частности, отмечено усиление экспрессии коллагена I типа и факторов роста, регулирующих активность фибробластов.

Одним из ключевых механизмов регуляции синтеза коллагена считается сигнальный путь TGF-β/Smad, который контролирует процессы образования внеклеточного матрикса. В научных исследованиях показано, что холодная атмосферная плазма способна влиять на активность факторов роста, связанных с этим сигнальным каскадом, включая TGF-β1 и CTGF. Эти молекулы участвуют в активации фибробластов и стимулируют синтез компонентов межклеточного матрикса, включая коллагеновые волокна.

Экспериментальные данные также свидетельствуют о том, что плазменное воздействие может усиливать процессы ремоделирования дермального матрикса. В исследованиях, посвящённых влиянию плазменных устройств на кожу, было

зафиксировано увеличение уровня коллагена и утолщение эпидермального слоя, что связано с улучшением упругости кожи.

При этом эффект холодной атмосферной плазмы носит регулирующий характер. Умеренное воздействие может стимулировать синтез коллагена и активность фибробластов, тогда как изменение параметров воздействия способно влиять на баланс между синтезом и деградацией компонентов матрикса. Такой дозозависимый характер действия объясняется влиянием активных форм кислорода и азота, которые участвуют в клеточной сигнализации и регулируют активность генов, связанных с метаболизмом внеклеточного матрикса.

С точки зрения эстетической косметологии изучение регуляции коллагенообразования под действием холодной атмосферной плазмы имеет важное значение. Активация синтеза коллагена и ремоделирование дермального матрикса рассматриваются как один из механизмов улучшения структурных характеристик кожи, что делает плазменные технологии перспективным направлением аппаратной косметологии.

Полученные данные о влиянии холодной атмосферной плазмы на клеточную активность фибробластов и процессы синтеза коллагена имеют важное значение для развития современной эстетической косметологии (таблица 3).

Таблица 3

#### Косметологические эффекты, связанные со стимуляцией активности фибробластов

Биологический эффект	Изменения в коже	Косметологическое значение
Усиление пролиферации фибробластов	Увеличение количества активных клеток дермы	Повышение способности кожи к обновлению
Стимуляция синтеза коллагена	Формирование новых коллагеновых волокон	Повышение плотности и упругости кожи
Ремоделирование дермального матрикса	Изменение структуры внеклеточного матрикса	Улучшение текстуры кожи
Активация клеточного метаболизма	Усиление клеточной активности	Улучшение общего состояния кожи
Стимуляция неоколлагенеза	Образование новых структурных белков	Повышение тонуса кожи

*Источник: данные обобщены по результатам исследований применения холодной атмосферной плазмы в эстетической косметологии.*

Наиболее часто плазменное воздействие используется в зонах, где возрастные изменения проявляются наиболее выражено (рисунок). К таким областям относятся периорбитальная зона, лобная область, носогубная зона, область щек и нижней трети лица. В косметологической практике также

применяется обработка области шеи и подбородка, что связано с особенностями возрастных изменений кожи в данных анатомических участках.

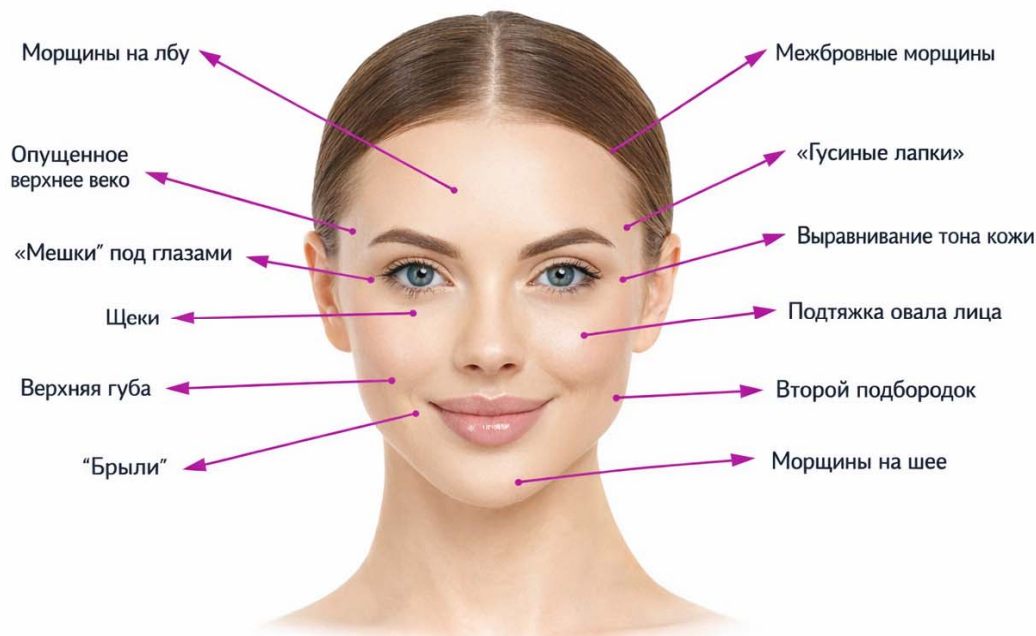


Рис. 1 Основные зоны косметологического воздействия холодной атмосферной плазмы на коже лица и шеи

Изучение влияния холодной атмосферной плазмы на клеточную активность и процессы синтеза коллагена имеет важное значение для развития современных косметологических технологий. Контролируемая стимуляция активности фибробластов и ремоделирование дермального матрикса рассматриваются как один из механизмов улучшения структурных характеристик кожи, что определяет перспективность применения плазменных технологий в эстетической косметологии.

### **Выводы**

Таким образом, холодная атмосферная плазма обладает выраженным биологическим потенциалом воздействия на клетки кожи. Установлено, что плазменное воздействие может стимулировать пролиферацию фибробластов, активировать клеточный метаболизм и усиливать синтез коллагена, что способствует ремоделированию дермального матрикса. Важным механизмом такого воздействия является образование активных форм кислорода и азота, которые участвуют в регуляции клеточных сигнальных путей.

Полученные данные свидетельствуют о том, что контролируемое применение холодной атмосферной плазмы может способствовать улучшению структурных характеристик кожи за счёт стимуляции неколлагенеза и

повышения активности фибробластов. Это подтверждает перспективность использования плазменных технологий в эстетической косметологии как одного из направлений развития современных неинвазивных методов воздействия на кожу.

### Литература:

1. Акишев Ю.С. Низкотемпературная плазма при атмосферном давлении и ее возможности для приложений // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. Вып. 8. – С. 26-60.

2. Борзых О. Б., Шнайдер Н. А., Карпова Е. И., Петрова М. М., Демина О. М., Насырова Р. Ф. Синтез коллагена в коже, его функциональные и структурные особенности // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2021. – 16(4). – С. 443-450. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16108>.

3. Герасименко М.Ю., Зайцева Т.Н., Евстигнеева И.С. Низкотемпературная плазма – перспективный метод реабилитации // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2019. – Т. 1, № 3. – С. 79-89. – DOI 10.36425/2658-6843-2019-3-79-89.

4. Кирсанова Л.В., Аравийская Е.Р., Рыбакова М.Г., Соколовский Е.В., Богатенков А.И. Фибробласты дермы в фокусе современной косметологии: старение и ответ на косметологические процедуры // Consilium Medicum. – 2024. – 26(8). – С. 541-549. DOI: 10.26442/20751753.2024.8.202913.

5. Кошелева И.В., Шадыжева Л.И., Переверзина Н.О., Кливитская Н.А. Плазмотерапия: методики и области применения // Лечащий врач. – 2018. – № 1. – С. 1-10.