



ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Зонд-активатор регенерации: устройство  
для биоэлектрической профилактики  
рубцовых стриктур пищевода при  
химических ожогах у детей.*

Автор: Иванов Никита Витальевич

Руководитель: КМН, доцент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии

Литвина Екатерина Владимировна



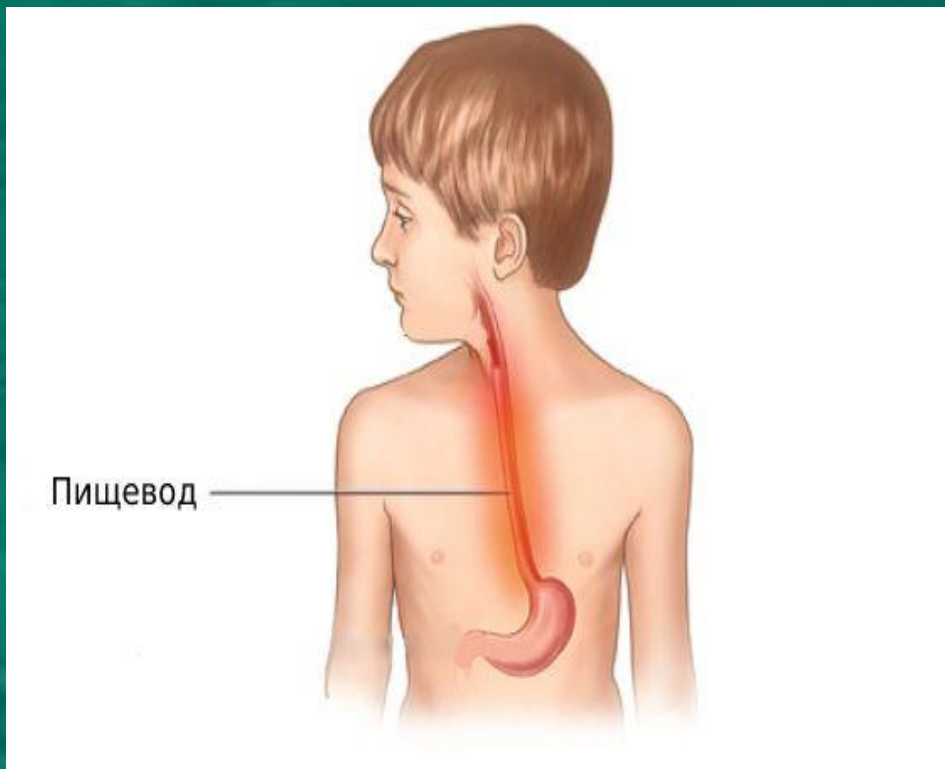
# Оглавление:

- Слайд 1. Титульный лист
- Слайд 2. Оглавление
- Слайд 3. Клиническая статистика: возрастная структура, причины, степени тяжести, частота стриктур
- Слайд 4. Существующий стандарт лечения: острый и рубцовый периоды, эффективность, осложнения, недостатки
- Слайд 5. Последствия рубцовой стриктуры: алиментарные, респираторные, хирургические, психосоциальные, онкологические
- Слайд 6. Научное обоснование: механизм рубцевания, электротаксис, терапевтическая гипотеза
- Слайд 7. Эволюция конструкции: от версии 1.0 до 2.0
- Слайд 8. Эволюция конструкции: от версии 2.0 до 3.0
- Слайд 9. Эволюция конструкции: от версии 3.0 до 4.0 (конечный продукт)
- Слайд 10. Принцип действия устройства и сравнение с существующими методами
- Слайд 11. Ожидаемые результаты и сферы клинического применения
- Слайд 12. Экономическая эффективность
- Слайд 13. Заключение
- Слайд 14. Литература
- Слайд 15. Благодарность



# Клиническая статистика: возрастная структура, причины, степени тяжести, частота стриктур

Химический ожог пищевода — тяжелая травма, возникающая при случайном или умышленном проглатывании агрессивных жидкостей. Основная группа риска — дети от 1 года до 3 лет.



По данным ретроспективного исследования 2-клиники Самаркандского Государственного медицинского института (232 ребенка, период 1990–2020 годы):

- Возрастная структура: 59% случаев приходится на возраст 1–3 года.
- Основная причина: уксусная эссенция — 34,9 процента.
- Распределение по степеням тяжести: I степень — 38,5 процента, II степень — 46,1 процента, III степень — 15,4 процента.
- Общая частота рубцовых стриктур: 47,8 процента.
- Частота стриктур в зависимости от степени ожога: после I степени — 0 процентов, после II степени — 39,7 процента, после III степени — 100 процентов.

Таким образом, при ожогах II и III степени риск формирования стеноза составляет от 40 до 100 процентов, что требует разработки методов профилактики в остром периоде.

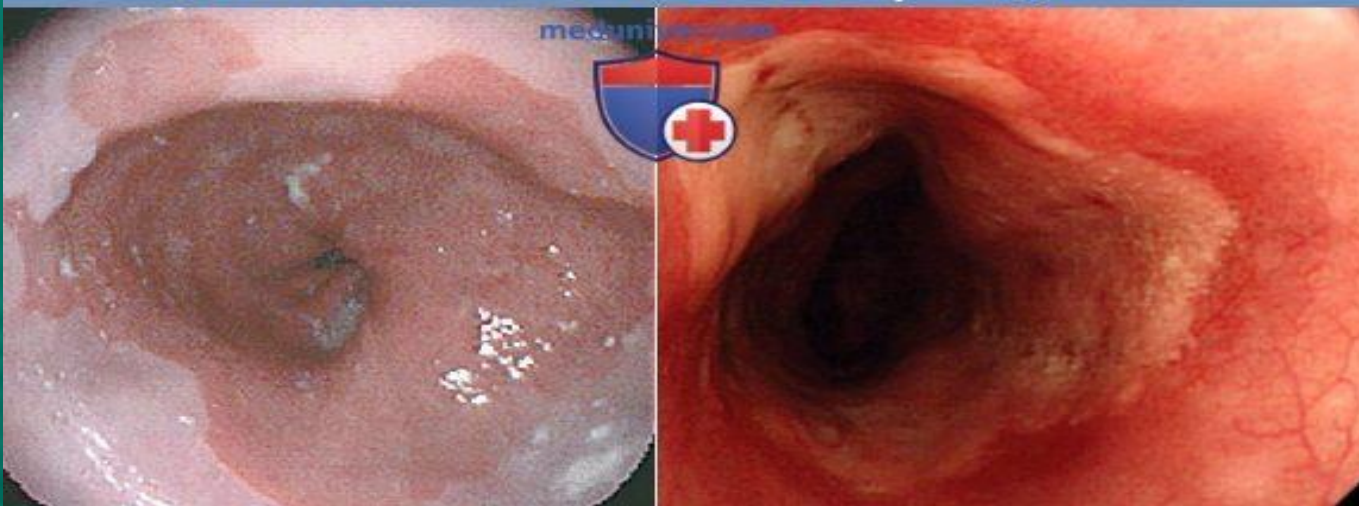
Актуальность проблемы определяется тремя факторами. Во-первых, устойчивым ростом числа бытовых отравлений вследствие увеличения доступности химических веществ в ярких упаковках. Во-вторых, высокой частотой инвалидизирующих осложнений. В-третьих, отсутствием методов активной профилактики рубцевания в остром периоде.



ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Существующий стандарт лечения: острый и рубцовый периоды, эффективность, осложнения, недостатки

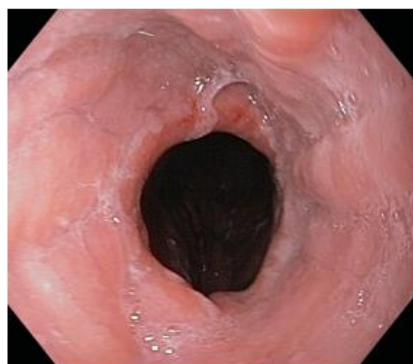
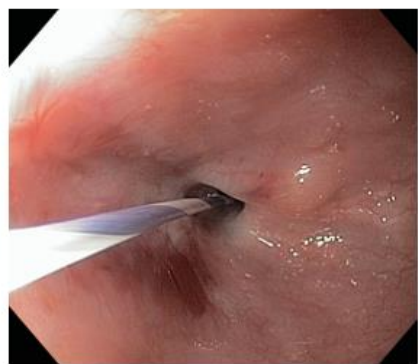
## Химический ожог пищевода



Пептическая стриктура  
пищевода до процедуры  
бужирования

Бужирование  
стриктуры по  
струне-направителю

После нескольких  
сеансов бужирования



Существующий стандарт лечения химических ожогов пищевода включает два этапа.

### Острый период.

Пациенту устанавливается назогастральный зонд. Его функции: энтеральное питание и пассивное каркасное дренирование. Зонд не влияет на процессы фиброобразования, запускаемые в первые 2–3 недели. Длительное стояние зонда поддерживает локальное воспаление и может вызывать пролежни слизистой.

**Рубцовый период.** При формировании стриктуры применяется бужирование — инструментальное расширение суженного участка. По данным исследования 2-клиники Самаркандского Государственного медицинского института:

- Эффективность слепого бужирования — 47,8 процента.
- Потребность в гастростоме с последующим бужированием по проводнику — 29,7 процента.
- Частота осложнений бужирования — 1,72 процента (перфорация, кровотечение).

### Недостатки существующего подхода.

Бужирование не предотвращает рубцевание, а механически разрывает уже сформировавшуюся ткань. Каждый разрыв провоцирует новый цикл воспаления и фиброобразования, ускоряя рецидив стриктуры. Требуются многократные вмешательства и повторные наркозы. Методы активной профилактики рубцевания в остром периоде отсутствуют.



# Последствия рубцовой стриктуры: алиментарные, респираторные, хирургические, психосоциальные, онкологические

Формирование рубцового стеноза пищевода вызывает системные нарушения, выходящие за пределы локальной проблемы дисфагии.

**Алиментарные последствия.** Прогрессирующее нарушение глотания ведет к утрате способности принимать твердую, затем жидкую пищу.

Развивается белково-энергетическая недостаточность. У детей наблюдается отставание в физическом развитии и дефицит массы тела.

**Респираторные последствия.** Застой содержимого над зоной сужения вызывает хроническую микроаспирацию в дыхательные пути. Следствие — рецидивирующие аспирационные пневмонии и хронические бронхиты.

**Хирургические последствия.** При неэффективности бужирования накладывается гастростома. По данным исследования, потребность в гастростоме составляет 29,7 процента случаев. Это означает длительное существование с инородной трубкой и риск инфекционных осложнений.

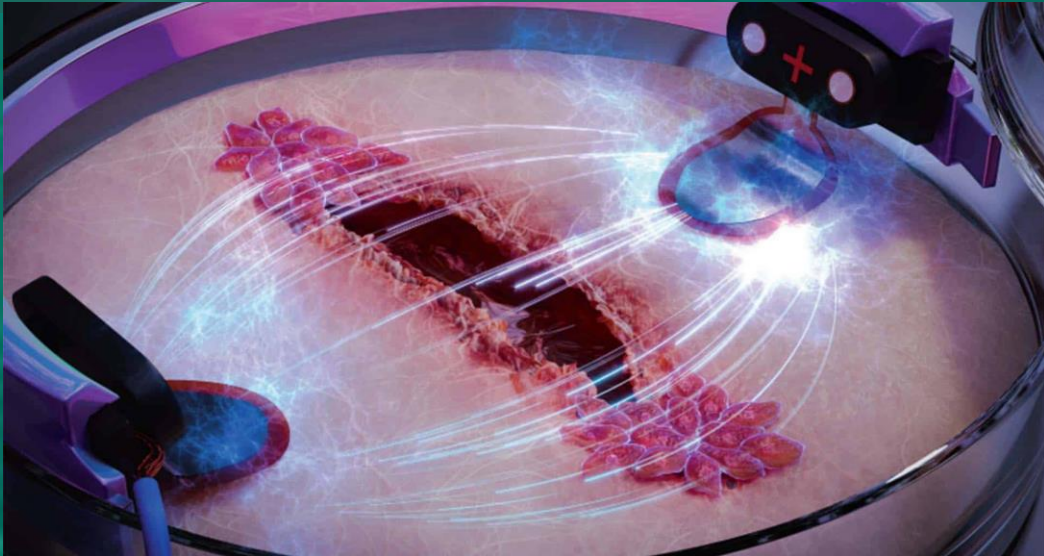
**Психосоциальные последствия.** Невозможность питаться за общим столом приводит к социальной изоляции. У детей отмечается задержка психоречевого развития и формирование стойкой стигматизации.

**Отдаленные онкологические риски.** Хроническое воспаление в зоне рубца повышает риск малигнизации. Через 20–30 лет после травмы возрастает вероятность развития плоскоклеточного рака пищевода.





# Научное обоснование: механизм рубцевания, электротаксис, терапевтическая гипотеза



**Гипотеза:** Восстановление физиологического градиента электрического потенциала в зоне ожога в течение первых 14 суток позволит модулировать активность миофибробластов, предотвратить хаотичное отложение коллагена и сохранить эластичность стенки пищевода без формирования стеноза.

**Механизм рубцевания.** Формирование рубца занимает от 3 до 21 суток после травмы. Ключевую роль играют миофибробласты — клетки, синтезирующие избыточный коллаген и обладающие сократительной активностью. Именно они стягивают просвет пищевода и формируют ригидную рубцовую ткань.

**Электротаксис:** Фундаментальными исследованиями установлено, что поведением миофибробластов и миграцией эпителиальных клеток управляет эндогенное электрическое поле. В норме повреждение эпителия создает градиент потенциала, который направляет регенерацию и подавляет избыточный фиброз. Данный феномен называется электротаксисом.

**Значение электротаксиса для заживления тканей заключается.**

- Во-первых, в том что электрическое поле задает вектор направленной миграции эпителиальных клеток к зоне дефекта, ускоряя эпителизацию раневой поверхности.
- Во-вторых, поле подавляет дифференцировку фибробластов в миофибробласты, снижая выработку коллагена и предотвращая контрактуру ткани.
- В-третьих, под действием поля коллагеновые волокна ориентируются упорядоченно вдоль силовых линий, что сохраняет эластичность органа. В-четвертых, микротоки улучшают локальную микроциркуляцию и трофику тканей. Химический ожог разрушает этот естественный регуляторный механизм, что приводит к хаотичному рубцеванию и стенозу.



# Эволюция конструкции: от версии 1.0 – 2.0

## Версия 1.0.

Гальваническая пара на поверхности зонда. Конструкция представляла бы собой стандартный назогастральный зонд из силикона или термопластичного полиуретана, на внешнюю поверхность которого методом вакуумного напыления наносились бы чередующиеся кольца из цинка и серебра. При контакте с раневым экссудатом между кольцами возникала бы разность потенциалов 0,7–1,0 В и генерировался бы микроток плотностью 20–50 мкА на квадратный сантиметр. Устройство должно было бы находиться в пищеводе постоянно в течение 7–14 дней, обеспечивая питание через внутренний канал и одновременно стимулируя электротаксис.

## Причина доработки.

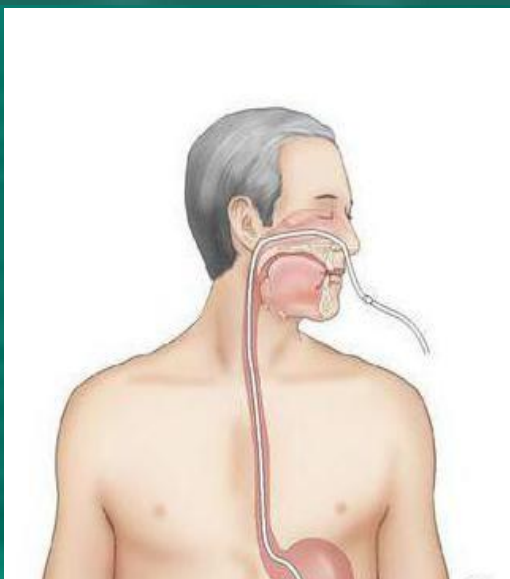
При циклических изгибах зонда во время установки, плотательных движениях и перистальтике пищевода металлическое покрытие, нанесенное методом напыления на эластичную полимерную основу, растрескивалось бы и отслаивалось бы. Микрочастицы серебра и цинка попадали бы в раневую поверхность, создавая риск локальной токсической реакции, аргирии слизистой и вторичного воспаления. Кроме того, отслоение электродов приводило бы к нарушению электрического контакта и прекращению генерации тока. Версия требует доработки по критерию безопасности.

## Версия 2.0.

Механическое вплавление электродов и двухкомпонентная система. Для решения проблемы адгезии металла к полимеру изменяется технология изготовления. Кольца из чистого серебра и цинка надевались бы на оправку, после чего трубка формовалась бы методом экструзии или литья под давлением. Металл частично погружался бы в толщу полимера, создавая механический замок, что полностью исключило бы отслоение при любых деформациях. Также пересматривается концепция питания: устройство разделялось бы на тонкий питающий микро-зонд и внешнюю активирующую муфту с электродами. Это позволило бы уменьшить общий диаметр системы и снизить риск ишемии стенки пищевода. Поверх электродов наносилась бы гидрогелевая мембрана для сглаживания химической агрессии среды.

## Причина доработки.

К третьим-пятым суткам после химического ожога на поверхности слизистой формируется плотный слой фибрина — белковой пленки, являющейся продуктом некроза и воспаления. Фибрин обладает низкой электропроводностью и выступал бы в роли диэлектрика. Ток, генерируемый гальванопарой, шел бы по пути наименьшего сопротивления — по влажной границе между гидрогелем и фибрином, замыкаясь на соседнем кольце в пределах муфты. Глубина проникновения поля снижалась бы с расчетных 2 мм до 0,2–0,5 мм. До подслизистого слоя, где располагаются миофибробласты, электрический сигнал не доходил бы. Терапевтический эффект отсутствовал бы. Версия требует доработки по критерию эффективности в условиях фибриновых наложений



**Желудочный  
назогастральный зонд**

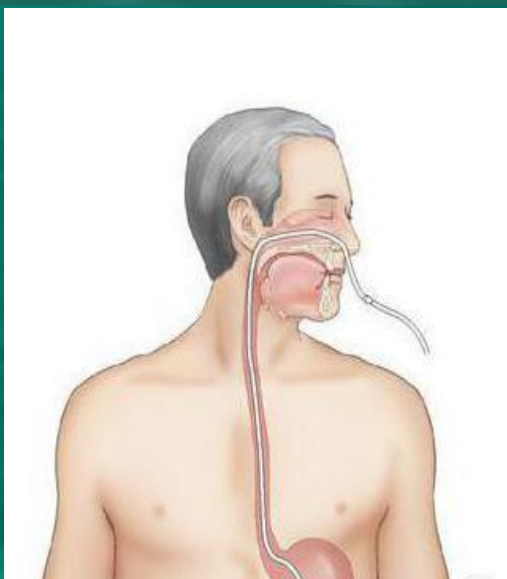


## Эволюция конструкции: от версии 2.0 – 3.0

### Версия 3.0.

Баллонная конструкция и сеансный режим. Для преодоления диэлектрического барьера фибрина предлагается баллонная конструкция. Electroды в виде гибких токопроводящих дорожек наносились бы на поверхность раздувного баллона из эластичного полиуретана. При раздувании баллона электроды с усилием прижимались бы к стенке пищевода. Давление вытесняло бы избыточную влагу и сдавливало бы слой фибрина, сокращая расстояние до живых тканей и восстанавливая электрический контакт с подслизистым слоем. Также изменяется концепция применения: вместо постоянного ношения предлагается сеансный режим — по 20–30 минут два раза в день. Это снизило бы травматичность, уменьшило бы рвотный рефлекс и улучшило бы переносимость процедуры. Для атравматичного извлечения предусматривалась бы ферментативная санация зоны контакта раствором лидазы.

Лидаза (гиалуронидаза) представляет собой ферментный препарат, расщепляющий гиалуроновую кислоту — основной компонент межклеточного матрикса соединительной ткани. В составе фибриновых наложений гиалуроновая кислота выполняет роль связующего вещества. Инстилляцией раствора лидазы по микроиригационному каналу перед сдуванием баллона вызывает локальный ферментативный лизис фибрина в зоне контакта. Это позволяет разрыхлить адгезивный слой и отделить баллон от слизистой без механической травмы. Таким образом, применение лидазы в протоколе извлечения является мерой профилактики язтрогенного кровотечения и дополнительного повреждения обожженной стенки пищевода.



Желудочный  
назогастральный зонд

### Причина доработки.

Конструкция версии 3.0 выявила бы две проблемы безопасности:

- Во-первых, давление баллона в обожженном, истонченном пищеводе могло бы превысить перфузионное давление в капиллярах стенки и вызвать ишемический некроз с последующей перфорацией в средостение. Требуется точный контроль давления.
- Во-вторых, прижатие электрода к влажной ране резко снижало бы сопротивление цепи, и гальванический элемент начинал бы выдавать всю доступную мощность. Ток мог бы скакнуть выше безопасного порога, вызывая локальный электролиз и вторичный ожог тканей. Требуется встроенное ограничение тока



# Эволюция конструкции: от версии 3.0 – 4.0 (конечный продукт)

## Версия 4.0. (Финальная)

Финальная конструкция зонда-активатора. Финальная версия устройства включает три ключевых усовершенствования, устраняющих недостатки предыдущих итераций. Первое. Низкоатмосферный баллон с ограничением давления. Баллон выполняется из ультратонкого эластичного полиуретана. Рабочее давление ограничивается на уровне 12–15 мм рт. ст., что ниже венозного давления и исключает риск ишемии стенки пищевода. Для предотвращения случайного превышения предусматривается механический клапан сброса на 20 мм рт. ст. Целью раздувания является не дилатация, а бережное расправление складок слизистой для обеспечения электрического контакта. Второе. Композитные электроды с пассивным ограничением тока. Электроды печатаются не сплошным металлом, а композитной пастой, содержащей микрочастицы цинка и серебра с добавлением углеродных нанотрубок. Углеродный наполнитель создает фиксированное внутреннее сопротивление цепи. Даже при коротком замыкании в физиологическом растворе ток не превышает 100 мкА, а в рабочем режиме на ткани составляет 20–50 мкА. Это гарантирует отсутствие электролиза и вторичного химического ожога. Третье.

Ионообменная мембрана поверх электродов. Металлокомпозитный слой закрывается ионопроводящей полимерной мембраной на основе Нафiona или модифицированного поливинилового спирта. Мембрана работает как молекулярное сито: свободно пропускает ионы цинка и серебра, необходимые для генерации тока и антисептического эффекта, но удерживает твердые микрочастицы металла внутри. Это исключает попадание металлической стружки в подслизистый слой и предотвращает аргирию.

## Протокол применения.

Перед введением баллон замачивается в стерильном физиологическом растворе на 5 минут для преактивации ионообменной мембраны. Процедура выполняется сеансами по 20–30 минут два раза в день. Перед извлечением по микроирригационному каналу подается раствор лидазы для ферментативного разрыхления фибрина в зоне контакта, что обеспечивает атравматичное удаление устройства.



# Принцип действия устройства и сравнение с существующими методами

Характеристика	Назогастральный зонд	Бужирование	Зонд-активатор
Функция	Питание, пассивное дренирование	Механический разрыв рубца	Питание, активная профилактика рубцевания
Влияние на процесс рубцевания	Отсутствует	Не предотвращает, провоцирует рецидив	Подавление миофибробластов, направленная регенерация
Травматичность	Низкая	Высокая	Низкая (низкое давление, сеансный режим)
Риск стеноза	47,8 процента	Требует повторных вмешательств	Прогнозируемое снижение до 10–15 процентов
Потребность в гастростоме	Не применимо	29,7 процента случаев	Прогнозируемое снижение в 3–4 раза
Осложнения	Пролежни слизистой	1,72 процента (перфорация, кровотечение)	Минимальны при соблюдении протокола
Режим применения	Постоянное ношение 7–14 дней	По мере рецидива стриктуры	Сеансы по 20–30 минут 2 раза в день

Принцип действия.

Устройство работает как распределенная гальваническая пара. На поверхности низкоатмосферного баллона размещены чередующиеся электроды из цинка и серебра, разделенные диэлектрическими промежутками.

При раздувании баллона электроды прижимаются к стенке пищевода. Раневой экссудат, богатый электролитами, замыкает цепь между цинком и серебром.

На цинковом аноде происходит окисление с выходом ионов цинка и высвобождением электронов. На серебряном катоде происходит восстановление кислорода. Возникает разность потенциалов 0,7–1,0 В, генерируется микроток плотностью 20–50 мкА на квадратный сантиметр.

Электрическое поле восстанавливает нарушенный ожогом градиент потенциала в тканях. Под действием поля происходит направленная миграция эпителиальных клеток к зоне дефекта, подавление дифференцировки фибробластов в миофибробласты и упорядоченная ориентация коллагеновых волокон вдоль оси пищевода. Ионы серебра, выходящие с катода, обеспечивают локальный антисептический эффект.

Углеродный резистивный слой в составе электродов ограничивает ток на безопасном уровне. Ионообменная мембрана пропускает ионы, но блокирует частицы металла. Низкое давление баллона исключает ишемию стенки.



**ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

# Ожидаемые результаты и сферы клинического применения

## Ожидаемые результаты:

- Снижение частоты формирования рубцовых стриктур с 47,8 до 10–15 процентов.
- Сокращение количества бужирований с 10–30 процедур в год до 0–2 за весь период наблюдения.
- Уменьшение потребности в наложении гастростомы с 29,7 до 7–10 процентов.
- Восстановление естественного питания и предотвращение инвалидизации пациента.

## Сферы клинического применения.

- Детские токсикологические и реанимационные отделения.
- Ожоговые центры и отделения торакальной хирургии.
- Эндоскопические отделения.

## Потенциальное расширение показаний.

- Профилактика стриктур после эндоскопических резекций слизистой по поводу раннего рака пищевода.
- Лечение рефлюкс-эзофагита и пищевода Барретта.
- Профилактика стенозов анастомозов после резекции пищевода.



ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Экономическая эффективность

Существующая тактика лечения послеожоговых рубцовых стриктур сопряжена с высокой экономической нагрузкой. Даже однократная процедура эндоскопического бужирования пищевода в условиях стационара (без учета стоимости госпитализации и анестезиологического пособия) составляет от 3 000 рублей и выше. Учитывая, что пациенту требуется от 10 до 30 процедур в год на протяжении нескольких лет, а в 29,7% случаев дополнительно накладывается гастростома с последующей пожизненной заменой расходных материалов, совокупные затраты на лечение одного случая достигают значительных величин. По данным зарубежных исследований, экономические последствия химических ожогов пищевода у детей включают не только прямые больничные расходы, но и потерю трудоспособности родителей, а в ряде случаев — необходимость смены места работы. Применение зонда-активатора позволяет сократить количество повторных вмешательств до 0–2 за весь период наблюдения и снизить потребность в гастростомии, что обеспечивает кратное снижение прямых и косвенных затрат на лечение.



## Заключение

Зонд-активатор регенерации представляет собой патогенетически обоснованное решение проблемы профилактики рубцовых стриктур пищевода при химических ожогах у детей.

Устройство сочетает функции энтерального доступа и биофизической стимуляции репаративных процессов за счет восстановления естественного градиента электрического потенциала в зоне повреждения. Финальная конструкция версии 4.0 учитывает и устраняет недостатки предыдущих итераций: низкоатмосферный баллон исключает риск ишемии и перфорации, композитные электроды с углеродным резистивным слоем ограничивают ток на безопасном уровне, ионообменная мембрана предотвращает попадание частиц металла в ткани.

Внедрение устройства в клиническую практику позволит снизить частоту формирования стриктур, сократить потребность в бужировании и гастростомии, улучшить качество жизни пациентов и уменьшить экономическую нагрузку на систему здравоохранения.



ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## Литература:

«ОЖОГИ ПИЩЕВОДА У ДЕТЕЙ» Мардонов Д.Ш. Анварова Р.А,  
Шамсутдинов А.Ш.

<https://cyberleninka.ru/article/n/ozhogi-pischevoda-u-detey/viewer>

Caustic injury of the upper gastrointestinal tract: A comprehensive review  
Sandro Contini, Carmelo Scarpignato

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3703178/>

Morbidity and Mortality of Caustic Ingestion in Rural Children: Experience  
in a New Cardiothoracic Surgery Unit in Nigeria E. E. Ekpe, V. Ette

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.5402/2012/210632>

Reprogramming the Stem Cell Behavior by Shear Stress and Electric Field  
Stimulation: Lab-on-a-Chip Based Biomicrofluidics in Regenerative  
Medicine. Sharmistha Naskar, Viswanathan Kumaran & Bikramjit Basu

<https://link.springer.com/article/10.1007/s40883-018-0071-1>



ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**