

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Худанов Б.О., Туйгунов Н.Н.

**КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО
БАЛАНСА СТЕКЛОИОНОМЕРНЫХ ЦЕМЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ
ДИСПЕРСНОСТЬЮ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ
ФИССУР ПОСТОЯННЫХ МОЛЯРОВ У ДЕТЕЙ.**

Методические рекомендации

Ташкент - 2025

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Экспертного совета
Ташкентского государственного
медицинского университета д.м.н.,
профессор _____Х.С.Ахмедов
«___» _____ 2025 г.

Худанов Б.О., Туйгунов Н.Н.

**КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО
БАЛАНСА СТЕКЛОИОНОМЕРНЫХ ЦЕМЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ
ДИСПЕРСНОСТЬЮ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ
ФИССУР ПОСТОЯННЫХ МОЛЯРОВ У ДЕТЕЙ.**

Методические рекомендации

Ташкент 2025

УДК: 616.314.17-008.1: 616.36-003.826

Методические рекомендации рассмотрены на заседании Проблемной комиссии («__» _____ 2025 года, протокол № __) и Ученом Совете Ташкентской Государственного Медицинского университета (протокол № ____ от «__» _____ 2025 г.)

Составители:

Худанов Б.О. – профессор кафедры Профилактики стоматологических заболеваний Ташкентского государственного стоматологического института, д.м.н., доцент

Туйгунов Н.Н. – докторант кафедры Профилактики стоматологических заболеваний Ташкентского государственного стоматологического института

Рецензенты:

Гулямов С.С. – заведующий курсом детской стоматологии Ташкентского педиатрического медицинского института, д.м.н., профессор

Ризаева С.М. – профессор кафедры Факультетской ортопедической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института, д.м.н.

Учитывая важную роль кислотно-щелочного баланса в формировании биосовместимости и профилактических свойств стоматологических материалов, исследование рН-профиля стеклоиономерных цементов с различной дисперсностью наполнителя приобретает особую актуальность. Кислотно-щелочной статус цемента напрямую влияет на процессы реминерализации эмали, адгезию к тканям зуба и уровень безопасности материала при клиническом применении у детей. Настоящие методические рекомендации посвящены клинико-лабораторной оценке рН стеклоиономерных цементов, используемых для герметизации фиссур постоянных моляров, и направлены на оптимизацию выбора материалов с наилучшей биосовместимостью и профилактической эффективностью. Разработанная методика позволяет объективно оценить динамику рН во времени, выявить влияние размера частиц наполнителя на химическую стабильность ионов и предложить критерии подбора материалов для детской стоматологической практики. Рекомендуется врачам-стоматологам, педиатрическим специалистам, магистрам и исследователям, занимающимся вопросами профилактики стоматологических заболеваний.

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания твердых тканей зубов, в частности кариес, остаются одной из наиболее распространённых стоматологических проблем среди детского населения, несмотря на значительные достижения в области профилактики и реставрационных технологий [1-5]. Особую клиническую значимость представляет фиссурный кариес постоянных моляров у детей, обусловленный сложным анатомическим строением жевательной поверхности, высокой ретенцией налёта и труднодоступностью для гигиенических процедур [6, 7, 10].

Одним из наиболее эффективных методов профилактики кариеса является герметизация фиссур, направленная на создание барьерного покрытия, препятствующего проникновению микроорганизмов и продуктов их метаболизма в эмаль. В последние годы широкое применение нашли стеклоиономерные цементы (СИЦ), отличающиеся адгезией к тканям зуба, фторвыделяющей активностью и способностью способствовать реминерализации эмали [4-6, 8-11].

Ключевым параметром, определяющим клиническую эффективность СИЦ, является их рН-профиль, который напрямую влияет на уровень биосовместимости, интенсивность ионного обмена и скорость процессов реминерализации в области контакта с эмалью [12, 13]. Оптимальные значения рН материала позволяют минимизировать риск раздражения тканей, улучшить адгезию к дентину и активировать высвобождение биоактивных ионов — фтора, кальция и фосфора, обеспечивающих антикариозное действие герметика [14, 15].

В то же время на показатель рН и, как следствие, на клиническое поведение СИЦ может существенно влиять размер частиц наполнителя. Уменьшение их до нанодиапазона повышает однородность структуры, способствует более равномерному распределению ионов и улучшает физико-химические характеристики цемента [16-18].

В связи с этим особую актуальность приобретает комплексная клинико-лабораторная оценка рН стеклоиономерных цементов с различными размерами наполнителя, направленная на оптимизацию выбора материалов для герметизации фиссур у детей.

Цель методической рекомендации — представить пошаговое руководство по определению рН стеклоиономерных цементов различных типов и интерпретации полученных данных с позиции их клинической значимости при профилактике фиссурного кариеса.

Разработанная методика может быть использована в научных исследованиях, лабораторной практике и клинических испытаниях для стандартизированной оценки кислотно-щелочного профиля СИЦ, а также для выбора оптимальных материалов в детской стоматологической практике.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Теоретические основы кислотно-щелочного баланса в стоматологических материалах

Одним из важнейших показателей, определяющих поведение стоматологических материалов в полости рта, является их кислотно-щелочной баланс, выражаемый через значение рН. Данный параметр играет решающую роль в формировании интерфейса между материалом и тканями зуба, в процессе реминерализации, а также в обеспечении биосовместимости материала с твёрдыми и мягкими тканями полости рта.

Для стеклоиономерных цементов (СИЦ) показатель рН особенно критичен, поскольку именно этот класс материалов вступает в химическую реакцию с тканями зуба, высвобождая биоактивные ионы — фторид, кальций и фосфат. Эти ионы участвуют в формировании апатитоподобного слоя на границе «цемент–эмаль», который определяет долговечность герметизации и профилактическое действие герметика.

В первые минуты после смешивания компонентов СИЦ среда характеризуется кислой реакцией ($\text{pH} \approx 2,5\text{--}3,5$), что связано с высвобождением протонов при взаимодействии поликарбоновых кислот с ионными компонентами порошка. По мере прогрессирования кислотно-основной реакции уровень рН постепенно повышается и через 24–72 ч достигает нейтральных значений ($\text{pH} \approx 6,5\text{--}7,0$). Это изменение указывает на завершение отверждения и формирование устойчивой структуры цемента.

Значение рН не является лишь физико-химическим параметром: оно служит биологическим индикатором взаимодействия материала с живыми тканями. Материалы с пролонгированной кислотностью могут вызывать раздражение дентинных канальцев, что особенно опасно в педиатрической стоматологии. В то же время материалы, быстро переходящие к нейтральным значениям, обеспечивают мягкое воздействие на пульпу и благоприятную микросреду для реминерализации.

Таким образом, измерение и анализ рН-динамики стеклоиономерных цементов позволяет объективно оценить их клиническую безопасность и эффективность в профилактике фиссурного кариеса.

Влияние микроструктуры и размера наполнителя на рН и биоактивность СИЦ

Современные исследования показывают, что структурные особенности наполнителя определяют кинетику кислотно-основной реакции и, как следствие, профиль рН материала. Размер частиц наполнителя влияет на удельную поверхность контакта с жидкой фазой и на скорость диффузии ионов во внутренней структуре цемента.

При переходе от микроразмерных частиц (100–1000 нм) к наночастицам (1–100 нм) площадь поверхности увеличивается многократно. Это приводит к более активному взаимодействию между стеклянной фазой и поликислотой, что ускоряет нейтрализацию среды и формирование стабильной матрицы.

Мелкодисперсные наполнители обеспечивают:

- ускоренное установление равновесного рН;
- повышенную плотность упаковки частиц и, как следствие, более однородную структуру цемента;
- равномерное распределение ионов Ca^{2+} , F^- и PO_4^{3-} , участвующих в реминерализующих процессах;
- улучшенную адгезию к эмали и дентину.

Гибридные СИЦ, содержащие одновременно нано- и микрочастицы, обладают балансом свойств: микрочастицы обеспечивают механическую прочность, а нанодисперсия — биоактивность и оптимальный кислотно-щелочной профиль.

Таким образом, варьирование размеров наполнителя является эффективным инструментом направленного изменения свойств материала. Для клинической практики это открывает возможность подбирать состав цемента в зависимости от задач: профилактических (высокая биоактивность) или реставрационных (повышенная механическая прочность).

Клинико-биологические аспекты pH стеклоиономерных цементов

С биологической точки зрения значение pH в области контакта цемента и эмали имеет прямое влияние на процессы деминерализации и реминерализации.

1. Влияние на эмаль и дентин. При $\text{pH} < 5,5$ начинается растворение кристаллов гидроксиапатита, тогда как при $\text{pH} > 6,0$ процесс переходит в фазу реминерализации. Таким образом, стеклоиономерный цемент должен обеспечивать быстрое восстановление pH до физиологического уровня, чтобы не вызывать субклинического разрушения эмали.

2. Роль фтор-ионов. Выделяющиеся из СИЦ ионы фтора способствуют образованию фторапатита, более устойчивого к кислотным воздействиям. Однако интенсивность выделения фтора напрямую связана с pH среды: при слишком низком pH фтор выделяется быстро, но нестабильно, при нейтральном — равномерно и пролонгированно.

3. Влияние на микрофлору. Локальные колебания pH оказывают антибактериальное действие, ограничивая рост кислотопродуцирующих бактерий, таких как *Streptococcus mutans* и *Lactobacillus spp.*. Тем не менее излишне кислые значения ($\text{pH} < 3$) негативно влияют на ткани зуба и могут вызывать постоперационную чувствительность.

4. Влияние на биосовместимость. Материалы, быстро достигающие нейтральных значений pH, характеризуются меньшим цитотоксическим потенциалом и лучшей интеграцией в тканях зуба. Поэтому pH-профиль СИЦ рассматривается как один из важнейших критериев биосовместимости и клинической безопасности материала.

2.4. Роль pH-профиля в долговечности герметизации фиссур

Одним из направлений повышения эффективности герметизации является использование материалов, способных не только механически изолировать фиссуры, но и активно участвовать в регенерационных процессах эмали.

Исследования показывают, что в течение первых суток после отверждения СИЦ продолжается реакция ионного обмена, сопровождающаяся постепенным повышением рН. Этот процесс способствует формированию апатитоподобного слоя, который укрепляет адгезивную зону и снижает риск микроподтекания.

В клинических условиях у детей, где слюна обладает меньшей буферной ёмкостью, значение рН цемента приобретает особую важность. Материалы, сохраняющие кислую реакцию более 24 ч, могут вызывать обратимые изменения в поверхностных слоях эмали и провоцировать чувствительность зубов.

Следовательно, для герметизации фиссур у детей целесообразно применять стеклоиономерные цементы с модифицированным составом наполнителя, обеспечивающим быстрое восстановление нейтрального рН, пролонгированное выделение фтора и стабильное прикрепление к тканям зуба.

2.5. Научно-практическое значение рН-исследований

Оценка кислотно-щелочного баланса стоматологических материалов выходит за рамки сугубо лабораторного теста. Она представляет собой диагностический инструмент, позволяющий прогнозировать поведение материала в полости рта и адаптировать его к клиническим условиям.

Для исследователя важно рассматривать рН как многофакторный параметр, зависящий от:

- химического состава порошка и жидкости цемента;
- соотношения компонентов при замешивании;
- размера и распределения частиц наполнителя;
- температуры и времени отверждения;
- условий хранения образцов.

Каждый из этих факторов способен смещать рН-профиль, изменяя тем самым и клиническое поведение материала. Поэтому стандартизированные исследования рН служат фундаментом для разработки новых поколений

биоактивных герметиков и цементов, оптимизированных под физиологические условия детской полости рта.

Методы исследования

3.1. Общие принципы и подход к исследованию

Изучение рН стеклоиономерных цементов (СИЦ) представляет собой один из важнейших этапов оценки их биосовместимости и клинической эффективности. Понимание механизма изменения кислотно-щелочного баланса материала позволяет прогнозировать его поведение в полости рта, а также определить потенциальное влияние на ткани зуба, процессы реминерализации и устойчивость к вторичному кариесу.

Для достижения этих целей в исследовании применялся комплексный клинико-лабораторный подход, включающий:

- лабораторное моделирование условий, приближённых к среде полости рта;
- анализ динамики рН в зависимости от размера частиц наполнителя;
- сопоставление лабораторных данных с клиническими наблюдениями при герметизации фиссур постоянных моляров у детей.

Особое внимание уделялось воспроизводимости и стандартизации условий эксперимента, что обеспечивало сопоставимость полученных данных между сериями измерений. Исследование проводилось в соответствии с современными требованиями к испытанию стоматологических материалов, изложенными в стандартах ISO 9917-1:2007 и ISO/TR 11405:2015.

3.2. Теоретическое обоснование выбора метода

Измерение рН позволяет оценить кинетику кислотно-основной реакции между порошковой стеклянной фазой и жидкой кислотной компонентой СИЦ. На начальном этапе отверждения материал характеризуется выраженной

кислотностью, обусловленной взаимодействием полиакриловой кислоты с ионными оксидами стекла. По мере протекания реакции нейтрализации и образования поликарбонатной матрицы происходит постепенное повышение рН.

Измерение рН-профиля во времени отражает:

1. Скорость протекания реакции отверждения,
2. Степень завершённости процесса ионного обмена,
3. Биоактивность и буферные свойства материала,
4. Вероятность раздражающего действия на ткани зуба в клинических условиях.

Таким образом, мониторинг рН во временных интервалах 10 мин – 7 суток после замешивания позволяет получить динамическую картину поведения материала и установить оптимальный диапазон его клинического применения.

3.3. Классификация используемых методов

В исследовании применялись следующие группы методов:

1. Физико-химические методы — направленные на количественную оценку изменений кислотности среды при отверждении СИЦ.
 - Использовались высокоточные лабораторные рН-метры с автоматической термокомпенсацией.
 - Измерения проводились в дистиллированной воде при 37 °С, моделирующей температуру полости рта.
2. Структурно-аналитические методы — предназначенные для корреляции рН-профиля с морфологическими характеристиками материала.

- Сканирующая электронная микроскопия (SEM) применялась для изучения микроструктуры поверхности и распределения частиц наполнителя.
 - Энергетически-дисперсионный анализ (EDX) использовался для подтверждения ионного состава и фторсодержащей активности.
3. Клинические методы наблюдения — направленные на оценку реакции тканей зуба после герметизации.
- Проводилась визуально-тактильная оценка состояния эмали и фиссур через 1 неделю и 1 месяц после герметизации.
 - Использовались индексы ICDAS и USPHS для определения состояния поверхности и адгезии цемента.

Совокупное использование лабораторных и клинических подходов позволило установить взаимосвязь между структурными особенностями СИЦ, динамикой pH и их клиническим поведением.

3.4. Материалы исследования

Для исследования использовались три типа стеклоиономерных цементов:

- 1-я группа (микро) — СИЦ Fuji IX, модифицированного наполнителем размером от 100 до 1000 нм (микropорошок).
- 2-я группа (нано) — СИЦ Fuji IX с наполнителем размером от 1 до 100 нм (наночастицы).
- 3-я группа (гибрид) — СИЦ Fuji IX с комбинированным наполнителем от 1 до 1000 нм, содержащим как нано-, так и микрочастицы.
- 4-я группа (контроль) — Fuji IX без структурных изменений в составе наполнителя.

Каждый тип цемента представлял отдельную экспериментальную группу. Контрольную группу составил коммерческий традиционный СИЦ, широко

применяемый для герметизации фиссур. Все образцы были приготовлены в соответствии с рекомендациями производителя, соблюдая одинаковое соотношение порошка и жидкости (3:1 по массе) и время замешивания (30 сек).

3.5. Принципы стандартизации и контроля условий

Для обеспечения достоверности и сопоставимости результатов были соблюдены следующие принципы:

- Температурная стабильность: все измерения проводились при комнатной температуре 25 ± 1 °С.
- Время экспозиции: значения рН фиксировались на строго определённых интервалах (10 мин, 1 ч, 24 ч, 72 ч, 7 сут).
- Повторяемость: каждая серия измерений выполнялась в трёхкратной повторности ($n = 3$) для каждого типа цемента.
- Контроль рН-метра: прибор калибровался ежедневно с использованием стандартных буферных растворов (рН 4,00 и рН 7,00).
- Герметичность условий: пробы инкубировались в индивидуальных герметичных ёмкостях, исключающих испарение и изменение состава раствора.

Дополнительно фиксировались визуальные изменения внешнего вида образцов — помутнение, трещины, изменение цвета, что позволяло связать химические процессы с физической стабильностью материала.

3.6. Принцип интерпретации данных

Для интерпретации результатов использовался подход, основанный на оценке кинетической кривой нейтрализации среды.

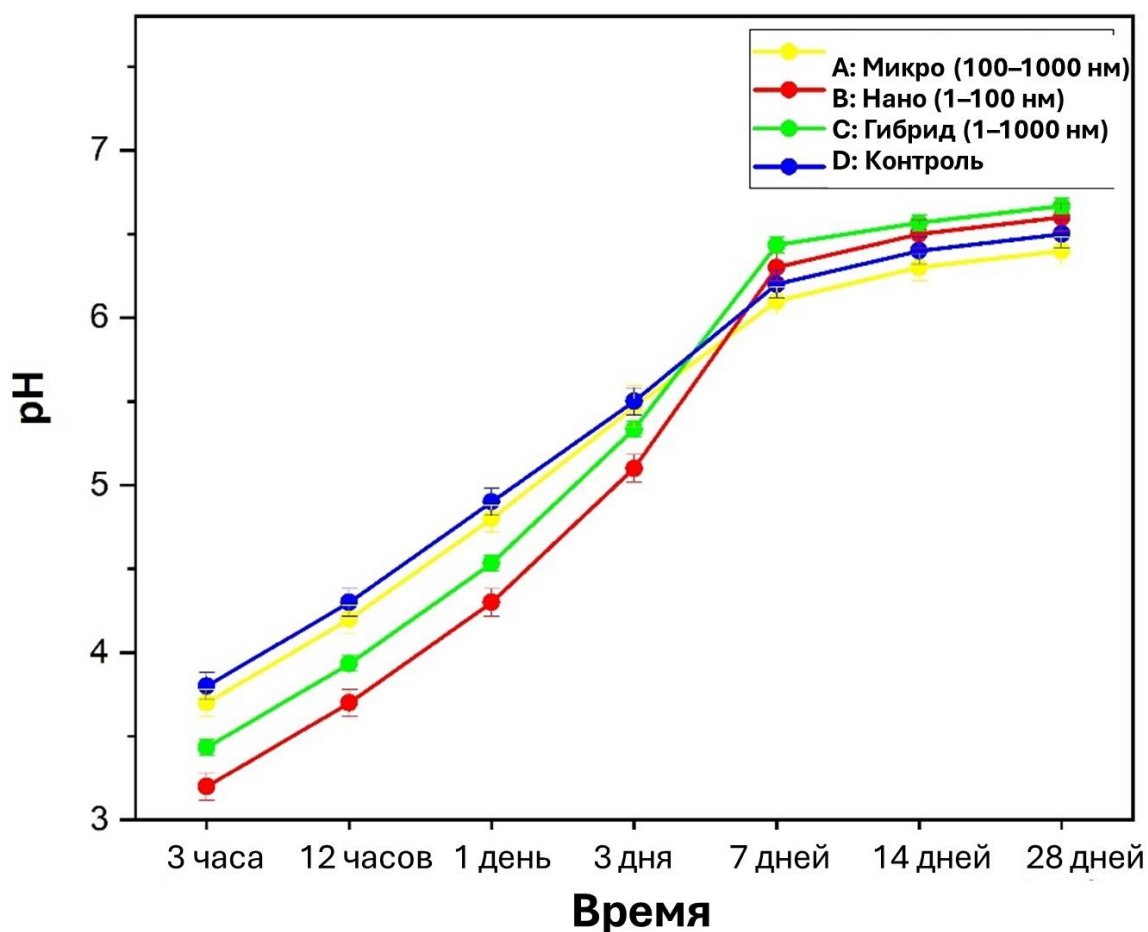
- Быстрое повышение рН в первые часы расценивалось как признак высокой реакционной активности и короткого периода кислотного воздействия.
- Постепенное достижение нейтральных значений свидетельствовало о более медленном и равномерном протекании реакции отверждения, что повышает стабильность матрицы цемента.
- Сравнение групп между собой позволило установить зависимость между размером частиц наполнителя и скоростью нейтрализации среды.

Для статистической обработки применялись методы описательной статистики, а также однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим тестом Тьюки. Уровень значимости принимался при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их анализ

Общая характеристика динамики рН

Изменение показателя рН стеклоиономерных цементов (СИЦ) во времени демонстрирует типичную для кислотно-основных цементов закономерность — постепенный переход от кислой реакции в начальные часы к субнейтральным и нейтральным значениям по мере завершения процесса отверждения (рисунок 1).



Время	A: Микро (100–1000 нм)	B: Нано (1–100 нм)	C: Гибрид (1–1000 нм)	D: Контроль (неизменённый)
3 часа	3.7 ± 0.08 bc,C	3.2 ± 0.08 d,C	3.43 ± 0.05 cd,C	3.8 ± 0.08 ab,C
12 часов	4.2 ± 0.07 b,D	3.7 ± 0.07 d,D	3.93 ± 0.06 c,D	4.3 ± 0.07 a,D
1 день	4.8 ± 0.08 b,E	4.3 ± 0.08 d,E	4.53 ± 0.04 c,E	4.9 ± 0.08 a,E
3 дня	5.46 ± 0.12 b,F	5.1 ± 0.06 c,F	5.33 ± 0.04 bc,F	5.5 ± 0.09 a,F
7 дней	6.1 ± 0.08 c,G	6.3 ± 0.08 b,G	6.43 ± 0.04 a,G	6.2 ± 0.08 bc,G
14 дней	6.3 ± 0.02 c,H	6.5 ± 0.07 b,H	6.57 ± 0.05 a,H	6.4 ± 0.08 bc,H
28 дней	6.4 ± 0.03 c,H	6.6 ± 0.09 b,H	6.67 ± 0.05 a,H	6.5 ± 0.08 bc,H

Рисунок 1. Средние значения и стандартное отклонение рН с течением времени после погружения материала в деионизированную воду для каждой группы образцов. Разные строчные буквы указывают на статистически значимые различия между различными экспериментальными материалами в одном и том же периоде измерений ($P < 0,05$). Разные заглавные буквы указывают на статистически значимые различия для одного и того же экспериментального материала в разные периоды измерений ($P < 0,05$).

У всех исследованных групп наблюдался выраженный рост рН от 3 часов до 28 суток ($P < 0,05$). В начальный период (3–12 ч) среда была наиболее кислой, что связано с активным взаимодействием полиакриловой кислоты с ионами кальция и алюминия стеклянного порошка. В последующем, с формированием полисолевой матрицы и прекращением выделения протонов, происходило устойчивое повышение рН, что отражает постепенную нейтрализацию реакционной среды.

К 7 суткам все исследуемые цементы достигли уровня $\text{pH} \geq 6,0$, что свидетельствует о завершении основных стадий кислотно-основной реакции и формировании стабильной цементной структуры. Дальнейшее незначительное увеличение рН в течение 14–28 суток обусловлено медленным диффузионным обменом ионов и остаточным высвобождением фтора и кальция, участвующих в реминерализующих процессах.

4.2. Межгрупповые различия и сравнительная оценка материалов

В течение первых 24 часов наибольшие значения рН демонстрировал контрольный материал (D), что свидетельствует о его быстрой нейтрализации среды. Этот эффект объясняется тем, что традиционные СИЦ, как правило, содержат более крупные частицы и меньшую площадь реакционной поверхности, что ограничивает высвобождение протонов в начальной фазе и делает стартовый раствор менее кислым.

В то же время наномодифицированный цемент (B) показал самые низкие значения рН на ранних сроках ($3,2 \pm 0,08$ через 3 ч), что указывает на более интенсивное начальное протекание кислотно-основной реакции и высокую активность взаимодействия поликислоты с наночастицами стекла. Этот временно кислый характер среды подтверждает предположение о повышенной реакционной способности наноразмерных структур.

С трёх суток и далее ситуация меняется — к 7 суткам гибридный цемент (C) опережает остальные группы, достигая значений $6,43 \pm 0,04$, а к 28 суткам

фиксирует максимальный уровень pH $6,67 \pm 0,05$. Такой профиль характерен для материалов, обеспечивающих устойчивую и сбалансированную реакцию нейтрализации, при которой кислотность снижается без резких скачков, а структура цемента успевает полноценно стабилизироваться.

Микронаполненный цемент (А) демонстрировал плавную, но более медленную динамику роста pH (до $6,40 \pm 0,03$ через 28 суток). Это отражает меньшую реакционную способность крупных частиц и более медленное завершение химических процессов в матрице.

4.3. Внутригрупповая динамика pH во времени

Внутригрупповое сравнение показало достоверный рост pH для всех исследованных цементов ($P < 0,05$) между каждым последующим временным интервалом. Для всех групп значения pH в первые 3 ч составляли 3,2–3,8, а к суткам — 4,3–4,9. К 7 суткам значения стабилизировались в диапазоне 6,1–6,4, что свидетельствует о завершении активной стадии отверждения.

Гибридная группа (С) характеризовалась наиболее выраженным приростом pH между 1 и 7 сутками (на 1,9 единицы), что указывает на интенсивное протекание ионного обмена и постепенную нейтрализацию кислотных остатков. Контрольный материал (D) показывал менее выраженные изменения после 3 суток, что говорит о раннем насыщении буферной ёмкости и стабилизации химического состава.

4.4. Интерпретация с точки зрения микроструктуры и химического состава

Наблюдаемые различия между группами можно объяснить структурно-химическими особенностями материалов.

Нанонаполненный цемент (В) содержит частицы с высокой удельной поверхностью, что ускоряет реакцию с полиакриловой кислотой и приводит к временно более кислой среде. Однако уже к 7 суткам высокая реакционная

способность обеспечивает быстрое восстановление рН до субнейтральных значений.

Гибридный цемент (С), сочетающий нано- и микрофракции, демонстрирует оптимальный баланс между скоростью реакции и стабильностью структуры. Нанофракция обеспечивает равномерное распределение ионов, а микрочастицы действуют как буфер, стабилизируя кислотно-щелочную среду и способствуя пролонгированному ионному обмену.

Контрольный цемент (D), вероятно, содержит традиционную стеклянную фазу с низкой поверхностной активностью, что ограничивает интенсивность реакции и объясняет его более умеренный, но ранний подъем рН.

Такая зависимость подтверждает, что размер и распределение частиц наполнителя являются ключевыми факторами, определяющими рН-профиль и биоактивность стеклоиономерных цементах.

4.5. Клиническое значение динамики рН

С клинической точки зрения, динамика изменения рН имеет прямое значение для оценки биосовместимости и профилактического потенциала СИЦ.

В первые часы после герметизации фиссур слишком низкие значения рН могут вызывать временное раздражение пульпы и поверхностную деминерализацию эмали.

Материалы, демонстрирующие быстрое восстановление рН до нейтральных значений (как группы С и В), создают благоприятную среду для реминерализации и снижают риск постоперационной чувствительности.

Поддержание слабощелочной среды ($\text{pH} \approx 6,5\text{--}6,7$) на поздних сроках способствует формированию фторапатита и апатитоподобных структур, обеспечивающих долговременную герметичность и устойчивость к вторичному кариесу.

Таким образом, гибридный цемент (С) продемонстрировал наиболее сбалансированные характеристики, сочетая умеренную кислотность в начале реакции и максимально нейтральные значения на финальных сроках. Это делает его перспективным материалом для детской профилактической стоматологии, где критически важна минимальная кислотная агрессия и высокая реминерализующая активность.

4.6. Практическое значение результатов

Полученные данные имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. С точки зрения материаловедения, они подтверждают, что дисперсность наполнителя является управляемым фактором, позволяющим регулировать рН-профиль и, следовательно, биосовместимость СИЦ.

Для клинической практики результаты указывают, что оптимальным для герметизации фиссур у детей является цемент с гибридной или наномодифицированной структурой, способный быстро достичь нейтрального рН и удерживать его длительно.

Для последующих исследований представляется целесообразным дополнить оценку рН другими параметрами — высвобождением фтора, кальция и фосфора, а также микроструктурными анализами (SEM, EDX) — с целью комплексного понимания механизма биоактивности материалов.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Представленные методические рекомендации обладают высокой социальной значимостью и научно-практической ценностью, поскольку направлены на совершенствование профилактических технологий в детской стоматологии.

Ранняя герметизация фиссур постоянных моляров с использованием стеклоиономерных цементов (СИЦ), обладающих оптимальным кислотно-

щелочным балансом, является одним из наиболее эффективных способов профилактики кариеса у детей.

Внедрение данной методики позволяет:

- повысить качество стоматологической помощи за счёт использования научно обоснованных, биосовместимых материалов;
- сократить количество осложнённых форм кариеса и частоту повторных вмешательств;
- снизить нагрузку на амбулаторные стоматологические службы и финансовые затраты государства на лечение осложнений;
- улучшить качество жизни детского населения за счёт сохранения жевательной функции и снижения болевой чувствительности.

Методика обеспечивает стандартизацию лабораторной оценки рН стоматологических материалов, что особенно важно для государственных и университетских лабораторий. В результате создаётся единая система контроля качества, способствующая повышению доверия к отечественным стоматологическим материалам и их конкурентоспособности на рынке.

Экономическая эффективность

Экономическая эффективность определяется за счёт оптимизации расходов на профилактику и лечение кариеса. По данным клинико-лабораторных наблюдений, применение СИЦ с оптимальным рН-профилем позволяет снизить частоту вторичного кариеса и повторных герметизаций на 20–30 % по сравнению с традиционными материалами.

При среднем количестве пациентов – 100 человек, стоимости одной герметизации – 70 000 сум и стоимости повторного вмешательства – 85 000 сум, экономия достигается следующим образом:

$$S_{\text{ст}} = N \times r_{\text{без}} \times C_{\text{повт}} = 100 \times 0,30 \times 85\,000 = 2\,550\,000 \text{ сум}$$

$$S_{\text{нов}} = N \times r_{\text{контр.}} \times C_{\text{повт}} = 100 \times 0,10 \times 85\,000 = 850\,000 \text{ сум}$$

$$\Delta = S_{\text{ст}} - S_{\text{нов}} = 1\,700\,000 \text{ сум на } 100 \text{ пациентов}$$

При расширении применения методики на 10 000 детей экономический эффект составляет ≈ 170 млн сум ежегодно только за счёт сокращения повторных вмешательств. Дополнительно экономится бюджет за счёт уменьшения объёма лечебных материалов, амортизации оборудования и снижения затрат на лечение осложнений (пульпитов, периодонтитов).

Внедрение стандартизированной методики рН-контроля также позволяет избежать брака партий цемента, продлить срок их службы и повысить эффективность государственных закупок. Таким образом, суммарный экономический эффект формируется не только за счёт снижения прямых медицинских затрат, но и за счёт рационализации управления ресурсами системы здравоохранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённая клинико-лабораторная работа доказала, что кислотно-щелочной баланс стеклоиономерных цементов напрямую связан с их биосовместимостью и клиническим поведением.

- На ранних стадиях отверждения материалы демонстрируют кислую реакцию среды ($\text{pH} \approx 3,2\text{--}3,8$), переходящую в нейтральную через 5–7 суток.
- Гибридные и наномодифицированные СИЦ характеризуются более быстрым восстановлением нейтрального рН и стабильным выделением фторид-ионов, что обеспечивает мягкое воздействие на ткани зуба и устойчивую реминерализацию эмали.

- Контроль pH на лабораторном этапе позволяет прогнозировать поведение материала в клинических условиях и выбирать цементы, обеспечивающие долговременную герметизацию фиссур.

Методика имеет двойное значение — научное (развитие материаловедения) и практическое (совершенствование профилактики кариеса). Её внедрение способствует созданию системы доказательного контроля стоматологических материалов и укрепляет связь между лабораторной диагностикой и клинической эффективностью.

ВЫВОДЫ

1. Дисперсность наполнителя является ключевым фактором, определяющим динамику кислотно-щелочного баланса стеклоиономерных цементов.
2. Наномодифицированные и гибридные СИЦ достигают нейтрального pH значительно быстрее, чем традиционные материалы, что уменьшает риск раздражения тканей и повышает биосовместимость.
3. Быстрое восстановление pH до физиологических значений способствует формированию апатитоподобного слоя и длительной реминерализации эмали.
4. Клиническое применение цементов с оптимизированным pH-профилем снижает частоту осложнений и повторных вмешательств, повышая эффективность профилактических программ.
5. Экономическая выгода достигается за счёт снижения прямых затрат на лечение и профилактику, повышения срока службы реставраций и уменьшения объёма потребляемых материалов.
6. Внедрение предложенной методики в практику стоматологических учреждений Республики Узбекистан позволит повысить качество

профилактической помощи детям и сократить расходы здравоохранения, обеспечив значимый социально-экономический эффект.

Список литературы

1. Абдуазимова Л.А., Ризаев Э.А., Джалилова Ф.Р. Инновационный подход к лечению осложнений кариеса у детей на основе алгоритмизации диагностики //Stomatologiya.-2018.-№2.-С.33-38
2. Авраамова О.Г., Кулаженко Т.В., Калашникова Н.П. Сравнительная оценка информативности методов ранней диагностики кариеса у детей//Стоматология.-2018.-№6-2.-С.22
3. Авраамова О.Г., Кулаженко Т.В., Горячева В.В. Новые возможности в диагностике кариеса зубов у детей // Здоровье и образование в XXI веке. 2019. №1. –С.22-26.
4. Гузева Н.А. Методы диагностики кариеса // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2017. №10.-С.1533
5. Даминова Ш.Б., Мирсалихова Ф.Л. Лечение кариеса у детей методом микропрепарирования///Stomatologiya.-2017.-№3.-С.64-66
6. Калайчев Н.В., Булахова И.Н., Петрова А.П. Сравнение эффективности диагностики кариеса лазерно-флуоресцентным методом (kavo diagnodent) и другими стандартными и дополнительными методами диагностики //Международный студенческий научный вестник.- 2018.- № 4.-С.147-151
7. Кисельникова Л. П., Кириллова Е. В., Шевченко М. А. Опыт применения метода лазерной флуоресценции для определения степени реминерализации эмали и дентина при кариесе зубов у детей. //Стоматология детского возраста и профилактика.- 2011;3(38):7-11
8. Кривцова Д., Маслак Е. Мониторинг результатов лечения очаговой деминерализации эмали методом инфильтрации кариеса (по данным лазерной флуоресценции). Стоматология детского возраста и профилактика, 2020, том 20, 1(73), с.37-41
9. Леус П.А., Деньга О.В., Калбаев А.А., Кисельникова Л.П. Европейские индикаторы стоматологического здоровья детей школьного возраста // Стоматология детского возраста и профилактика. 2013. № 4 (47). С. 3-9.
10. Николаев А. И., Кузьминская О. Ю., Степанова Т. С. [и др.] Методика инфильтрации - новая технология лечения начальных кариозных поражений зубов / // Клиническая стоматология. – 2010. – № 2(54). – С. 14-18.
11. Терехова Т.Н. и др. Эффективность диагностики состояния твердых тканей постоянных зубов у детей различными методами// Современная стоматология.-2018.-№3.-С.58-62

12. Худанов Б.О., Каххарова Д.А., Хамидов И.С. и др. Роль технологии QLF в улучшении гигиены полости рта и поведения для сохранения здоровья полости рта у детей //Stomatologiya, 2016, №4, С. 62-68.
13. Khudanov B, Hoi In Jung et al. Effect of an oral health education program based on the use of quantitative light-induced fluorescence technology in Uzbekistan adolescents. *Journal Photodiagnosis and Photodynamic Therapy* 21 (2018) 379–384
14. Castilho LS, Cotta FV, Bueno AC, Moreira AN Validation of DIAGNOdent laser fluorescence and the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) in diagnosis of occlusal caries in permanent teeth: an in vivo study. //Eur J Oral Sci.- 2016 Apr;124(2).- P.188-94
15. Drancourt N, Roger-Leroi V, Carious lesion activity assessment in clinical practice: a systematic review. //Clin Oral Investig.- 2019 Apr;23(4).-P.1513-1524.
16. Erol, S., Kamak, H., Erten, H. Evaluation of caries dentin using light-induced fluorescence: A case report //Journal of Clinical and Diagnostic Research .- 2014.-8(1), с. 297-298
17. G Sivieri-Araujo et al. Monitoring scaling and dental calculus removal with an optical fluorescence system. *Laser Phys.* 2014, 24 085604.
18. Gomez G Felix, Eckert GJ, Ferreira Zandona A. Orange/Red Fluorescence of Active Caries by Retrospective Quantitative Light-Induced Fluorescence Image Analysis //Caries Res. -2016;50(3).-C.295-302.