



Graham J. Mount AM, BDS, DSc, FRACDS, FICD, FADI

БИОАКТИВНОСТЬ СТЕКЛОИОНОМЕРНЫХ ЦЕМЕНТОВ

4-я из серии 7 статей, созданных на основе материалов книги
«Атлас стеклоиономерных цемента»

После официального представления стеклоиономерных цемента в 1976 г. Dr. Mount принимал непосредственное участие в их развитии, проводя научно-исследовательскую работу в Университете г. Аделаиды, в том числе и клинические испытания в своей частной практике. Его книга «An Atlas of Glass-Ionomer Cements» была впервые опубликована в Великобритании в 1990 г. издательством Martin Dunitz Ltd. (3-е издание 2002 г.). Кроме того, им издана книга «Preservation and Restoration of Tooth Structure» (1998 г.) и более 100 научных статей и пособий. В течение последних 10 лет Dr. Mount с огромным энтузиазмом читает лекции по всему миру, посетил Амстердам, Чикаго, Дублин, Гетеборг, Куала-Лумпур, Лондон, Филадельфию, Париж, Сингапур, Южную Америку, Прагу, Варшаву, Загреб, Люблян, Москву и Бухарест.

С момента появления стеклоиономерных цемента было очевидно, что эти материалы обладают определенной долей биоактивности, что проявлялось в виде продолжительного фторовыделения и химической адгезии на основе ионного обмена к структурам зуба. Дополнительным преимуществом, выявленным недавно и научно доказанным, стало выделение и других ионов, способствующих реминерализации структур зуба при кариозном поражении. Это очень важное открытие, поскольку теперь, наконец-то, у нас есть материал не просто заполняющий полость. Никакой из других реставрационных материалов не обладает биоактивностью в полном понимании этого слова, и все они служат только для восстановления формы зуба.

Когда стеклоиомеры впервые появились на рынке в 1976 г., уже было известно, что они выделяют ионы фтора, аналогично силикатным цементам, и по этой и некоторым другим причинам они очень быстро вытеснили силикаты. Однако в то время специалисты концентрировали свои усилия в борьбе с кариесом на «хирургическом» иссечении пораженных тканей и особого интереса к выделению материалами ионов не проявляли. И все же были такие исследователи, как Massler [1], Fusayama [2] и Brannstrom [3], которые публиковали подробнейшие исследования в области процессов деминерализации и реминерализации структур зуба и теоретически доказывали значимость ионного обмена еще в начале 1960-х годов.

Современные исследователи детально изучают ионный обмен между структурами зуба и источниками ионов в обоих направлениях. Слюна является наиболее важным элементом в этом процессе, поскольку у здоровых пациентов она представляет собой раствор, чрезвычайно насыщенный ионами кальция и фосфата. Однако стеклоиомеры тоже являются богатым источником этих и других ионов и теперь возможно проследить за их поглощением и выделением из структур зуба. Сегодня в том, что касается реминерализации и восстановления пораженных эмали и дентина, однозначно считается, что стеклоиомеры являются частью этого равновесия. Имеются убедительные множественные доказательства ценности их применения, и это открывает путь более консервативным методам восстановления поврежденных кариесом тканей.

Далее рассматривается биоактивность стеклоиономеров и их воздействие на процесс восстановления пораженных тканей. Нужно иметь в виду и четко осознавать, что ни одна реставрация и ни один реставрационный материал не является защитой от дальнейших кариозных поражений. Поскольку кариес — это бактериальное заболевание, уровень заболеваемости можно контролировать только за счет изменения состава бактериальной флоры полости рта и любому терапевтическому лечению должно предшествовать активное воздействие на состав флоры с последующим контролем над ним.

ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ В СОСТАВЕ СТЕКЛОИОНОМЕРОВ

Вероятно, одним из наиболее важных факторов в понимании стеклоиономеров является то, что они — водноосновные материалы и вода играет ведущую роль как в реакции отверждения, так и в формировании их окончательной структуры [4].

Кроме того, в соответствии с химическими законами перемещение ионов возможно только в присутствии воды. Способность ионов к перемещению отражается на обоих процессах — на деминерализации и реминерализации структур зуба, поэтому безводные материалы не могут играть никакой роли в этих процессах. Стеклоиомеры содержат ионы фтора, кальция, стронция и алюминия. В присутствии воды все эти ионы способны к миграции и, в определенной степени, участвуют в процессе заживления.

ИОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ СТЕКЛОИОНОМЕРОВ

Стекло, применяющееся для производства стеклоиономеров, состоит из серии элементов. Следует отметить, что в прошлом кальций всегда считался важным компонентом. Однако сейчас создан ряд материалов, содержащих стронций вместо кальция, что значительно повышает рентгеноконтрастность реставраций. Благодаря аналогичной полярности и атомному размеру эти два элемента взаимозаменяемы как в составе стеклоиономерного цемента, так в кристаллической решетке гидроксиапатита. Проще говоря, можно создать стронций гидроксиапатит вместо кальция гидроксиапатита. Этот факт способствовал дальнейшим исследованиям в области реминерализации, поскольку потеря кальция при кариесе может быть возмещена стронцием, выделяемым из стеклоиономера, и соответственно достаточно легко отслежена и измерена количественно.

Имеются убедительные доказательства того, что стронций обладает кариес-

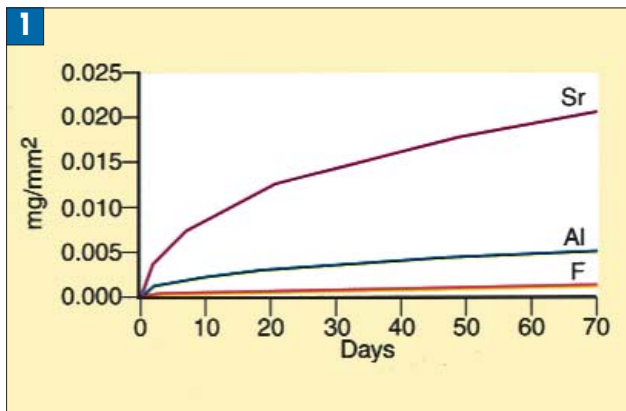


Рис.1. График, показывающий выделение ионов стронция, фтора и алюминия из Fuji IX в деионизированную воду при pH 6,5. Обратите внимание на высокий уровень выделения ионов стронция и относительно низкий уровень выделения фтора.

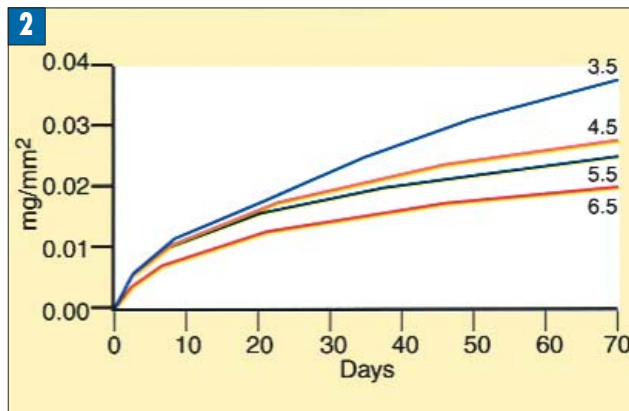


Рис.2. Этот график отражает только уровень выделения фтора и показывает его зависимость от значения pH среды. В кислой среде при pH 3,5 выделение усиливается в 2 раза. Оно будет значительным при наличии активного кариеса.

статическими свойствами. Статистические данные в своем подавляющем большинстве отражают воздействие фтора в питьевой воде, что затрудняет оценить по достоинству влияние других минеральных компонентов. Однако, Sizop и соавт. [5] сообщают о снижении поражаемости кариесом при высоком содержании стронция в питьевой воде. Они обнаружили прямую линейную зависимость между снижением заболеваемости кариесом и повышением содержания стронция до 0,001% в питьевой воде.

Таким образом, дальнейшие исследования в области биоактивности стеклоиономеров должны учитывать, что кальций и стронций в данном контексте по существу являются взаимозаменяемыми элементами и поэтому многие современные стеклоиономерные материалы содержат в своей основе стронциевое стекло.

Основными элементами стеклоиономеров являются кальций (стронций), алюминий, кремний и фтор, которые после

смешивания стеклянного порошка с кополимерной кислотой выделяются в виде ионов [6]. Кальций (стронций) соединяется с цепями полиакриловой кислоты, формируя первичный матрикс и обеспечивая стадию загустевания материала. Далее процесс формирования матрикса обеспечивается ионами алюминия. Ионы кремния образуют силикагель вокруг поверхностей непрореагировавших частичек стекла. Во время реакции отверждения выделяется вода, и все эти ионы могут перемещаться из матрикса в окружающую среду. В дальнейшем возможен постоянный обмен между затвердевшим стеклоиономером, слюной и структурами зуба.

Выделение ионов фтора является результатом процесса обмена. Когда окружающая среда насыщена ионами фтора, стеклоиономер будет поглощать их и хранить в себе до тех пор, пока не нарушится баланс и не возникнет необходимость их выделять [7]. Для поддержания электролитического баланса на поверхности

реставрации после выделения фтора происходит поглощение ионов кальция и фосфата из слюны. Продолжающееся созревание реставрации сопровождается повышением прочности и износостойчивости [8]. Уровень выделения ионов зависит от кислотности. Рис. 1 иллюстрирует уровни выделения ионов стронция, алюминия и фтора при нейтральном значении pH 6,5. Заметьте, что уровень выделения ионов стронция (кальция) гораздо выше, чем фтора и алюминия. Рис. 2 иллюстрирует увеличение выделения стронция при снижении величины pH.

Следует отметить, что высокий уровень содержания фтора в структурах зуба имеет меньшую значимость, чем средний уровень содержания фтора в слюне. Современные концепции, разъясняющие механизм воздействия фтора уделяют основное внимание поддержанию низкого, но постоянного уровня фтора, в слюне для контроля над процессами де- и реминерализации эмали. Это намного эф-

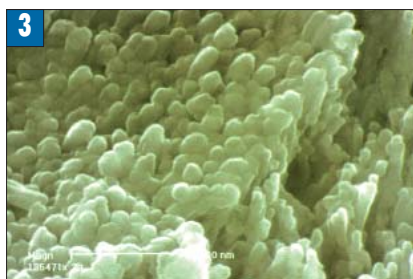


Рис.3. Фотография скола эмали при высоком разрешении, полученная методом сканирующей электронной микроскопии. Четко видны кристаллы, которые образуют эмалевые призмы, плотно прилегающие друг к другу. Каждый кристалл окружен оболочкой из плотносвязанной воды.

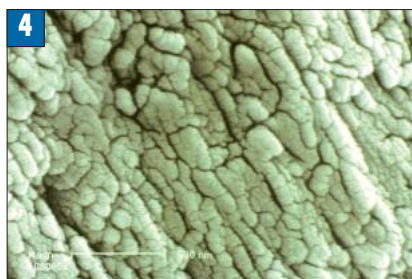


Рис.4. Фотография, демонстрирующая кристаллы эмали, обработанные кислотой, полученная методом сканирующей электронной микроскопии при аналогичном разрешении. Поверхность каждого кристалла подверглась деминерализации и между ними появились зазоры, приводящие к пористости.

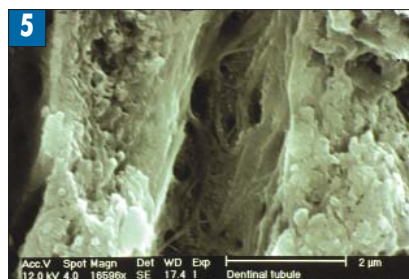


Рис.5. Фотография, полученная методом сканирующей электронной микроскопии при высоком разрешении, демонстрирующая продольный срез дентинного канала и сложную систему латеральных канальцев, идущих от него.



фективнее, чем периодические аппликации препаратов с высоким уровнем содержания фтора на поверхности зубов.

Чтобы понять, как фтор и другие ионы взаимодействуют с кариозными поражениями, необходимо знать неорганическую химию кариозного процесса. Далее описываются состав и свойства эмали и дентина и принципиальные химические предпосылки, приводящие к деминерализации.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЭМАЛИ И ДЕНТИНА

Эмаль почти полностью состоит из кристаллов гидроксиапатита, и каждый кристалл $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ окружен слоем крепко связанной воды. Наличие гидроксильной оболочки обеспечивает электрический потенциал кристалла и может притягивать ионы, способствующие реминерализации. Оставшаяся вода заполняет пространства между призмами, и эти поры образуют основные пути в и через эмаль (рис. 3, 4).

Дентин по объёму на 23% состоит из воды, и заполненные водой поры образуют путь для диффузии, который относительно мал по сравнению с интертубулярными латеральными микроканальцами (рис. 5) и самими дентинными канальцами.

Таким образом, несмотря на влияние извне, дентин и эмаль являются пористыми и миграция ионов постоянна. Кислота может пенетрировать эмаль, и ионы могут смещаться и перемещаться через водные пространства, инициируя кариозный процесс. Эмалевые призмы на внешней поверхности кристаллов апатита растворяются и нарастает пористость, способствующая проникновению кислоты и дальнейшей деминерализации. Однако, обратная реакция также возможна за счет возврата ионов через те же водные пути, а значит и последующая реминерализация и заживление эмали. Этот цикл деминерализации и последующей реминерализации является постоянным в нормальной среде полости рта и только тогда, когда скорость и степень деминерализации становятся преобладающими, возможно появление поверхностных кариозных поражений. Обычно эмалевые призмы очень плотно прилегают друг к другу, и, в определенной степени, поддерживают друг друга, и межпризматические пространства слишком малы, чтобы сквозь них могли проникнуть бактерии. Это означает, что поражение должно быть достаточно обширным, чтобы нарушилась целостность поверхности и произошло накопле-

ние бактериального налета на шероховатой или углубленной поверхности, и с этого момента поражение становится необратимым.

На всех стадиях развития кариозного поражения можно воздействовать на кислотную атаку и способствовать доминированию процесса реминерализации. Если влияние патогенных бактерий преобладает над реминерализацией, то поражение распространяется дальше.

Когда появляется нарушение целостности поверхности эмали, процесс деминерализации переходит во вторую фазу. Обычная механическая нагрузка или чрезмерная во время зондирования ускоряет разрушение. Проникновение бактерий в дентинные канальцы невозможно до тех пор, пока дентин непосредственно не обнажен.

Теперь стоит задача по обеспечению достаточного уровня ионов фтора, кальция и фосфата для восстановления и заживления. В основном они содержатся в слюне, но также могут мигрировать из стеклоиономера. Их происхождение и локализация имеют исключительное значение в этой дискуссии.

ПРОГРЕССИРОВАНИЕ КАРИОЗНОГО ПОРАЖЕНИЯ

Эмаль не содержит клеток и не может отвечать на повреждение, в то время как дентин является неотъемлемой частью живого и сложного органа. Дентин и его одонтобласты – это важная часть пульпарно-дентинной структуры и они обладают специфической защитной реакцией на внешние воздействия. Эмаль содержит микропоры, и внешние раздражители как химические, так и физические могут проникать сквозь, достигая пульпарно-дентинную структуру, задолго до того, как на поверхности эмали возникнет полость.

Ранней защитной реакцией дентина является склероз канальцев в виде накопления минералов внутри них (рис. 6). За первичной кальцификацией одонтобласта следует минерализация малых латеральных канальцев. Дентин при этом становится прозрачным, потому что минерализация делает ткань более гомогенной, уменьшая отражение проходящего света. Склеротизированный дентин часто обозначают как «прозрачную зону». Это попытка организма изолировать поражение.

Как только дентин вовлекается в процесс, он разрушается комбинацией кислот и протеолитических ферментов. Бактери-



Рис. 6. Шлиф моляра с кариозным поражением на начальной стадии в области фиссуры, исследованный в отраженном свете. Обратите внимание на полупрозрачную зону под фиссурой, означающую раннее вовлечение дентина под кариозным поражением. Полупрозрачность дентина обусловлена минерализацией латеральных дентинных канальцев. Так проявляется защитная реакция зуба для ограничения распространения деминерализации. Светопроницаемость склеротического дентина усиливается, и он выглядит полупрозрачным.

альная инвазия канальцев видна при световой микроскопии в виде изолированных колоний, распространяющихся впереди основной бактериальной биомассы, но их активность незначительна. Если они теряют контакт с наружным источником питания, то становятся неактивными.

Fusayama [2] выделяет в кариозном дентине первый и второй декальцинированный слой и считает, что только первый слой должен быть удален во время лечения. Massler [1] называет их инфицированным и поврежденным слоем. Позднее Pitts [9] и Mertz Fairhurst [10] обнаружили, что кариозное поражение оставленное и находящееся под надежно прилежащей реставрацией не прогрессирует. Все это доказывает, что внутренний деминерализованный слой является «предкариозным», а не пораженным и может убедить нас в отсутствии необходимости удалять весь размягченный дентин (рис. 7–11).

Эта концепция подтверждена клиническими исследованиями, в которых обширно пораженные первые моляры были восстановлены при минимальном удалении кариозных поражений и герметично запломбированы с применением стронцийсодержащего высокопрочного стеклоиономерного материала. В дальнейшем зубы, которые были запломбированы и подлежали удалению по другим различным причинам, подвергались исследованию. Было выявлено, что фтор и стронций глубоко пенетрировали сквозь размягченный и обесцвеченный дентин и стали частью нормальной структуры апатита.

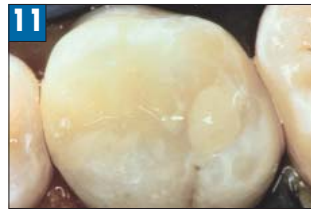
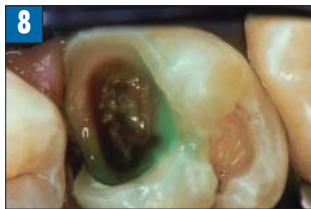


Рис. 7. Клинические примеры, демонстрирующие применение стеклоиономера для герметизации полости как с целью ее заполнения, так и для усиления способности дентина к реминерализации и заживления поражения.

Рис. 8. Полость достаточно раскрыта, чтобы оценить объем поражения и удалить размягченный дентин по всей периферии, чтобы обеспечить хорошую адгезию и надежное краевое прилегание. На внутренней стенке полости размягченный дентин оставлен, но он подвергнется реминерализации. Вся полость обрабатывается кондиционером для удаления смазанного слоя и обеспечения адгезии на основе ионного обмена.

Рис. 9. После очистки полости на внутреннюю стенку наносится тонкий слой Fuji VII, который имеет розовый цвет и его отверждение ускоряется при световой инициации. Он выделяет в 6 раз больше фтора, чем традиционные материалы и является идеальным прокладочным материалом в таких ситуациях.

Рис. 10. Порция высокопрочного стеклоиономера внесена в полость и плотно упакована, чтобы обеспечить надежную адгезию и плотное краевое прилегание по всей периферии полости.

Рис. 11. Теперь имеется 2 альтернативы. Если ситуация стабилизируется, то реставрация может быть усилена с помощью амальгамы или композита (по сэндвич — методике). Если возникает необходимость проконтролировать состояние тканей и процесс заживления, то снова запломбируйте полость с помощью высокопрочного стеклоиономера и оцените состояние через 6–12 месяцев. При удалении старой реставрации розовый цвет стеклоиономера, использованного ранее в качестве прокладочного материала, позволит аккуратно и без риска повреждения пульпы расширять полость.

Эти зоны были идентифицированы как поверхностная, не подвергшаяся реминерализации с минимальным содержанием фтора и стронция, и глубокая, хорошо реминерализованная этими ионами (Ngo).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышесказанное означает, что герметизация полости и ее изоляция от дальнейшего бактериального воздействия может преобразовать процесс деминерализации до такой степени, что возможно заживление поражения. Если внешняя поверхность коронки зуба снова становится гладкой, то накопление зубного налета и последующая бактериальная активность могут быть предотвращены. Если внутренняя поверхность полностью изолирована и надежно герметизирована от среды полости рта, то возникает возможность для реминерализации пораженного слоя, находящегося под реставрацией. Пульпа тоже вносит свой вклад в процесс реминерализации, а стеклоиономер, естественно, и дальше будет выделять ио-

ны минералов, предотвращая микро подтекания и тем полностью изолируя поражение.

Dr. H. Ngo BDS, MDS

Директор Клинического Стоматологического Исследовательского Центра Colgate в г. Аделаиде при Стоматологическом факультете Университета г. Аделаиды. Большая часть данных, представленных в этой статье, является результатом исследований, проведенных в Центре в течение последних 5 лет. Эти данные составили основу его докторской диссертации. Большинство теоретических заключений сегодня уже подтверждены другими исследователями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Massler M. Changing concepts in the treatment of carious lesions. *Br. Dent. J.* 1967; 123: 547–548.
2. Fusayama T, Okuse K. et al. Relationship between hardness, discolouration and microbial invasion in carious dentine. *J. Dent. Res.* 1966; 45: 1033–1046.
3. Brannstrom M. Dentine and pulp in

restorative dentistry. London, Wolfe Medical Publications 1982.

4. Wilson AD, McLean JW, Glass-ionomer cement. *Quintessence: London, 1988.*

5. Curzon MEJ, Adkins BL et al. Combined effect of trace elements and fluoride on caries. *J. Dent. Res.* 1970; 49: 526–529.

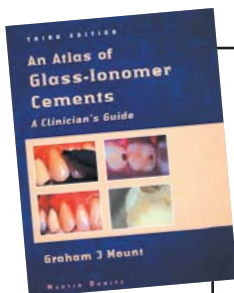
6. Ngo H, Marino V, Mount GJ. Calcium, Strontium, aluminium, sodium and fluoride release from four glass-ionomers. *J. Dent. Res.* 77, Abstr. 75, page 641. 1998

7. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials* 1998; 19: 503–508

8. Nicholson JW, Czarnecka B, Limanowska-Shaw H. Effect of glass-ionomer and related dental cements on the pH of lactic acid storage solutions. *Biomaterials* 1999; 20: 155–158.

9. Pitts NB. Monitoring of caries progression in permanent and primary posterior approximal enamel by bitewing radiography. *Community Dent. Oral Epidemiol.* 1983; 11: 228–235.

10. Mertz-Fairhurst EJ, Smith CD et al. Cariostatic and ultraconservative sealed restorations: six year results. *Quint. Inter.* 1992; 23: 827–838.



For deeper understanding and a full discussion of modern operative dentistry refer to:

An Atlas of Glass-Ionomer Cements

A Clinician's Guide - Third Edition 2002

Graham J. Mount A.M.

BDS, DDSc, FRACDS, FICD, FADI

MARTIN DUNITZ Ltd., The Livery House, 7-9 Pratt Street, London NW1 0AE, United Kingdom
Tel. +44 (0) 20 748 222 02, Fax. +44 (0) 20 72 670 159, Website: <http://www.dunitz.co.uk>