

Сравнительная оценка применения стоматологического штопфера с различной формой рабочей поверхности в математической модели и эксперименте

Э.М. ГИЛЬМИЯРОВ, д.м.н., проф., зав. кафедрой
Б.П. АРНАУТОВ, асп.

Кафедра терапевтической стоматологии
ГБОУ ВПО СамГМУ Минздрава России

Comparative evaluation of the use of dental plugger with different forms of the working surface in a mathematical model and experiment

E.M. GIL'MIYAROV, B.P. ARNAUTOV

Резюме: В процессе исследования анализировали возможности существующих стоматологических штопферов в виртуальной модели процесса уплотнения пломбировочного материала и его адаптации к стенкам полости. Запрограммированные в ANSYS SpaceClaim инструменты осуществляли воздействие на пломбировочный материал с усилием, достаточным для продвижения последнего на 1 мм. В ходе исследования таким же образом были обработаны данные разработанного нами воронкообразного штопфера.

По итогам работы математической модели были сделаны выводы о теоретическом превосходстве нашего инструмента над существующими аналогами. Такой вывод был подтвержден в реальном лабораторном эксперименте по воздействию рабочих поверхностей стоматологических штопферов на пломбировочный материал в стандартных условиях.

Ключевые слова: кариес, стоматологические инструменты, форма рабочей поверхности, пломбировочный материал, компьютерное моделирование.

Abstract: The study analyzed the capabilities of existing dental plugger in the virtual model of the process seals the filling material and its adaptation to the cavity walls. Programmed in ANSYS SpaceClaim tools influence on the filling material with sufficient force to promote the latest by 1 mm. In a study in the same way the data has been processed we developed a funnel-shaped plugger.

According to the results of a mathematical model, conclusions were drawn about the theoretical superiority of our tool over existing analogues. This conclusion was confirmed in a laboratory experiment for the real work surfaces exposed dental plugger for filling material under standard conditions.

Key words: dental caries, dental instruments, the shape of the working surface, filling material, computer modeling.

Развитие стоматологических материалов для лечения как кариозного, так и не кариозного поражения зубов соответствует современному техническому прогрессу. С каждым годом производители улучшают их характеристики, добиваются результатов, направленных на повышение мануального комфорта работы врача-стоматолога. Технологи компаний уделяют огромное внимание такому важному направлению развития индустрии, как обеспечение оптических и эстетических свойств материалов, соответствующих естественным тканям зуба [1, 10]. Учитывая такое стремление, композитные материалы получили широкое применение. Они удобны в работе, обладают отличными прочностными и эстетическими свойствами.

Однако в работе с пломбировочным материалом есть еще один важный аспект, влияющий на конечный результат — ассортимент стоматологических мануальных инструментов для восполнения им дефектов

твердых тканей зубов. К сожалению, темп развития форм и характеристик стоматологического инструментария в большинстве случаев не соответствует аналогичному у современных пломбировочных материалов [12]. Материально-техническая база, которая была в арсенале врача стоматолога-терапевта еще 15 лет назад, позволяла комфортно работать в сочетании материал/инструмент [4, 5]. Но актуальным и современным пломбировочным материалам для полного раскрытия их возможностей необходимы такие же высокотехнологичные инструменты [7]. Представленные же на сегодняшний день варианты были разработаны и ориентированы под материалы, упоминание которых уместно только в историческом экскурсе. Таким образом, существует дефицит специально разработанных инструментов, позволяющих доступно и качественно проводить адаптацию пломбировочного материала к стенкам полостей в зубах, снижать риск осложнений лечения кариеса в отдален-

ных периодах, повышать уровень эргономики работы врача-стоматолога [6].

Штопфер, как основной инструмент для дозированного внесения, равномерного распределения, эффективного уплотнения и адаптации пломбировочного материала в отпрепарированной полости, может иметь рабочую поверхность различной геометрической формы. Чаще всего в клинической практике используют подобный инструмент с рабочей поверхностью в виде шара или цилиндра, что исторически сложилось в традицию за последние 30 лет. Однако такие варианты инструмента давно нуждаются в совершенствовании и улучшении характеристик [8].

Заполнение пломбировочным материалом полости в зубах сопряжено с необходимостью преодоления целого ряда технических проблем, связанных как с труднодоступностью, так и со сложностью пространственного строения дефекта твердых тканей [3]. В этих условиях не всегда удается быстро и качественно завершить данный этап реставрации зуба с помощью стандартных стоматологических инструментов [6]. Учитывая явные несоответствия современных пломбировочных материалов и имеющихся мануальных инструментов для пломбирования отпрепарированных полостей, нами был разработан штопфер собственной конструкции, рабочая поверхность которого имеет инновационную воронкообразную форму.

Для сравнительной оценки степени эффективности применения различных вариантов штопфера в процессе пломбирования кариозной полости нами было выполнено экспериментальное исследование.

Его проводили в два этапа. На первом осуществляли компьютерное моделирование процесса погружения штопферов с различной формой рабочей поверхности в отпрепарированную кариозную полость, заполненную пломбировочным материалом. Второй этап эксперимента предусматривал замер степени давления на пломбировочный материал, которое при прочих равных условиях могли оказывать различные инструменты, отличающиеся друг от друга лишь формой рабочей поверхности. С этой целью мы использовали тестовую площадку оригинальной конструкции.

Для участия в экспериментальном исследовании были отобраны инструменты, имеющие три варианта конфигурации рабочей поверхности: шаровидную, цилиндрическую и воронкообразную (рис. 1).

С помощью программного обеспечения ANSYS SpaceClaim были созданы их виртуальные модели (рис. 2).

Об эффективности каждой из трех рабочих поверхностей судили по величине силы, которую необходимо приложить к инструменту в процессе пломбирования, чтобы получить перемещение пломбировочного материала по оси воздействия на 1 мм. При прочих равных условиях тот инструмент, чья рабочая поверх-

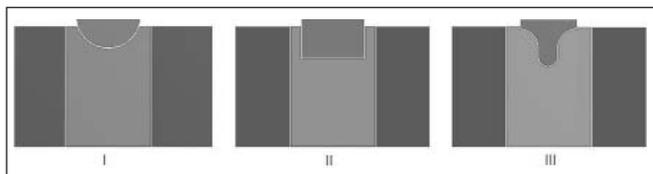


Рис. 1. Формы рабочих поверхностей, исследуемых штопферов, вид сбоку (А) и сверху (Б):
1 — шарообразная; 2 — цилиндрическая;
3 — воронкообразная

ность обеспечивала реализацию этой задачи с меньшим усилием, признавали более эффективным. Это означало, что при использовании данного штопфера в клинических условиях врачу потребуется меньше времени, физического и психологического напряжения, чтобы качественно распределить и уплотнить пломбировочный материал.

Принципиальная схема виртуальной модели представлена на рис. 3. Ее ключевыми элементами стали: 1 — стоматологический инструмент; 2 — пломбировочный материал и 3 — стенки виртуальной кариозной полости.

Все расчеты проводили в конечно-элементарном комплексе ANSYS Mechanical v16.0, что связано с широким распространением данного комплекса, доступностью технической литературы и множеством удачных промышленных и научных примеров его использования.

Перед началом расчетов оговаривали такие принципиальные характеристики всех трех элементов виртуальной модели, как модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Принимали за аксиому, что инструмент (1) и стенки виртуальной кариозной полости (3) изготовлены из аналогичного материала — стали. Их модуль Юнга — $2e11$ Па, коэффициент Пуассона — 0,3. Модуль Юнга пломбировочного материала (2) равнялся $1,1e11$ Па, коэффициент Пуассона — 0,42.

Оговаривая особенности контактного взаимодействия элементов виртуальной модели, устанавливали коэффициент трения между пломбировочным материалом и стенками виртуальной кариозной полости, равным 0,15, что обеспечивало перемещение в продольном и касательном направлении относительно грани. Контакт между инструментом и пломбировочным материалом допускал возможность перемещения только в касательном направлении относительно грани (рис. 4).

При создании расчетной модели, с целью повышения точности, сетку конечных элементов строили из элементов треугольного и четырехугольного типа со средними узлами.

Конечно-элементные модели имели размерность от 1000 до 2000 элементов (рис. 5). Именно такой тип размерности позволял объективно оценивать принци-

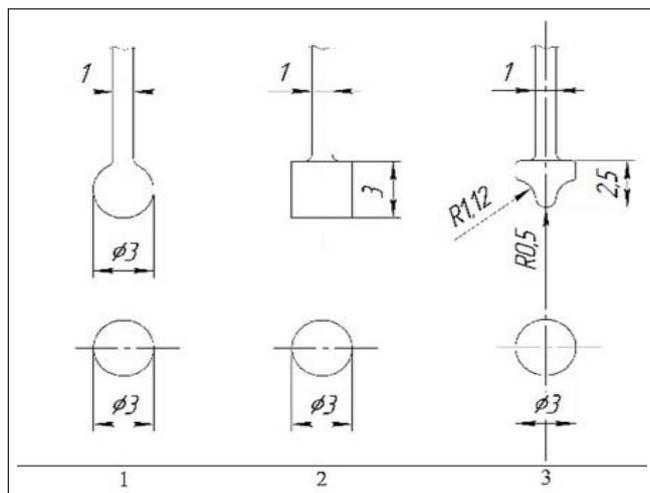


Рис. 2. Виртуальные модели погружения штопфера, имеющего различную форму рабочей поверхности (I — шаровидную, II — цилиндрическую, III — воронкообразную) в полость, заполненную пломбировочным материалом

альные зоны деформации, которые позднее анализировали, изменяя конечно-элементную сетку в большую сторону — до 30 000 элементов (рис. 6).

Подобное измельчение первоначальной конечно-элементной модели обеспечивало возможность получения необходимой точности.

Граничным условием являлось перемещение пломбирочного материала на 1 мм при фиксированной нагрузке на верхнюю грань исследуемого штопфера в 0,02 Н. При этом учитывали, что стенки виртуальной кариозной полости закреплены абсолютно неподвижно, программно запрещены все перемещения ее внешних граней (рис. 7).

Выбор оптимальной конфигурации рабочей поверхности штопфера производили, вычисляя величину реакционной силы, возникающей в месте приложения перемещения (рис. 8). Чем она оказывалась больше, тем большее усилие необходимо было развить для перемещения пломбирочного материала в продольном направлении на 1 мм. Соответственно, тем менее эффективным считали данный стоматологический инструмент.

Компьютерное моделирование процесса воздействия рабочей поверхности штопфера на пломбирочный материал с применением крупной конечно-элементарной сетки (табл. 1) показало, что для реализации поставленной задачи наибольшее усилие (724,12 Н) следует прикладывать к цилиндрическому штопферу.

Наличие шаровидной рабочей поверхности снижало величину необходимого усилия до 604,95 Н. Выполнять заданные условия с наименьшим усилием удавалось с помощью штопфера нашей конструкции, имеющего воронкообразную рабочую поверхность. В этом случае усилие не превышало значения 590,59 Н.

Полученные данные послужили основанием для предварительного вывода о том, что воронкообразная форма рабочей поверхности способна обеспечить необходимую степень уплотнения пломбирочного материала при меньшем усилии, чем в случае использования цилиндрического или шарообразного штопфера.

С целью дополнительной проверки полученных данных был проведен анализ результатов аналогичного компьютерного моделирования, но с применением мелкой конечно-элементарной сетки (табл. 2).

Данные, полученные в ходе этих расчетов, безоговорочно подтвердили первоначально сделанный вывод. В этом случае усилие, прилагаемое к цилиндрическому штопферу, достигало 746,9 Н. В случае, если рабочая поверхность инструмента была шаровидной, этот показатель снижался до 719,68 Н. Лишь воронкообразный штопфер обеспечивал выполнение поставленной задачи с наименьшим усилием, которое не превышало значения 614,64 Н.

Таким образом, выполненное нами компьютерное моделирование, доказав высокую эффективность при-

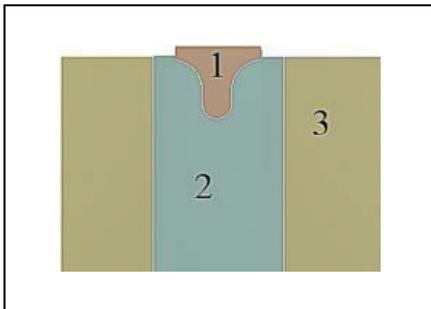


Рис. 3. Ключевые элементы виртуальной модели: 1 — рабочая поверхность штопфера; 2 — виртуальная кариозная полость, заполненная пломбирочным материалом; 3 — стенка виртуальной кариозной полости

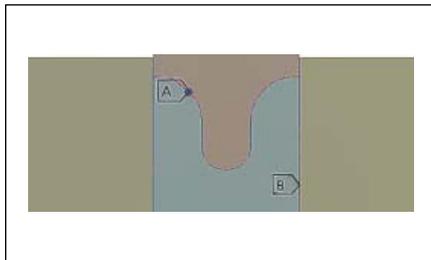


Рис. 4. Контактное взаимодействие трех ключевых элементов виртуальной модели: А — зона контакта рабочей поверхности штопфера с пломбирочным материалом; В — граница контакта пломбирочного материала со стенкой виртуальной кариозной полости

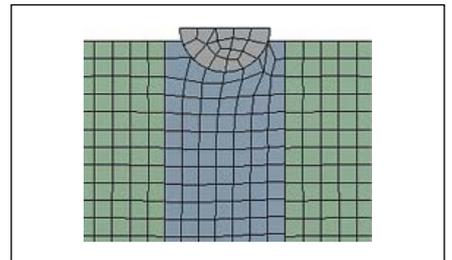


Рис. 5. Конечно-элементная модель взаимодействия круглого штопфера с пломбирочным материалом, расположенным в виртуальной кариозной полости (от 1000 до 2000 элементов). Видна область деформации на границе пломбирочного материала и рабочей поверхности штопфера

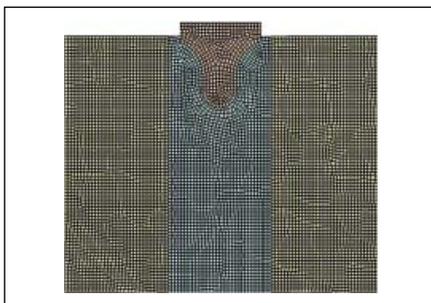


Рис. 6. Конечно-элементная модель (до 30 000 элементов) воздействия воронкообразного штопфера нашей конструкции на пломбирочный материал. Распределение силы воздействия по радиальным направлениям от кончика инструмента и зон скругления

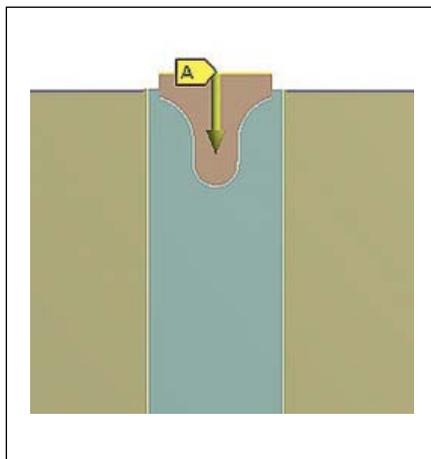


Рис. 7. Граничные условия воздействия (А — точка и направление приложения силы 0,02 Н)

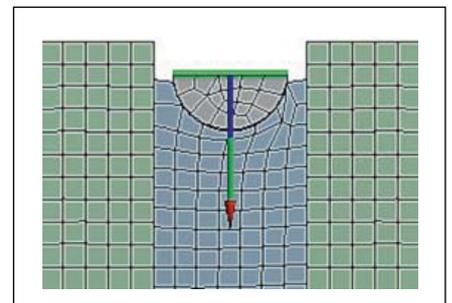


Рис. 8. Область силы реакции на воздействие. Синяя часть — зона самого инструмента; зеленая часть — область изменений в пломбирочном материале; красная часть — зона покоя пломбирочного материала (сила не оказывает воздействия)

менения штопфера нашей конструкции, создало основу для осуществления второго этапа экспериментального исследования.

Здесь мы предполагали опытным путем установить особенности воздействия инструментов с различной конфигурацией рабочей поверхности на различный пломбировочный материал в условиях, максимально приближенных к клиническим.

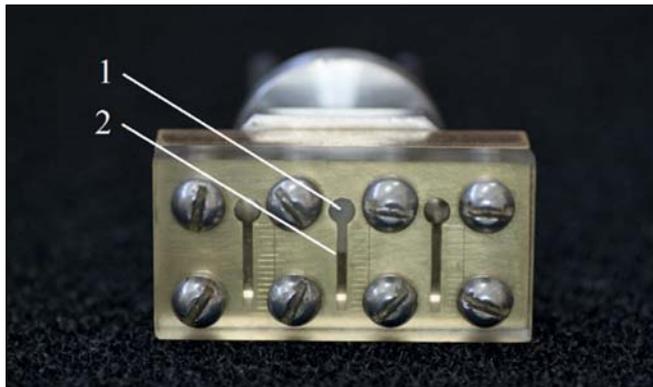


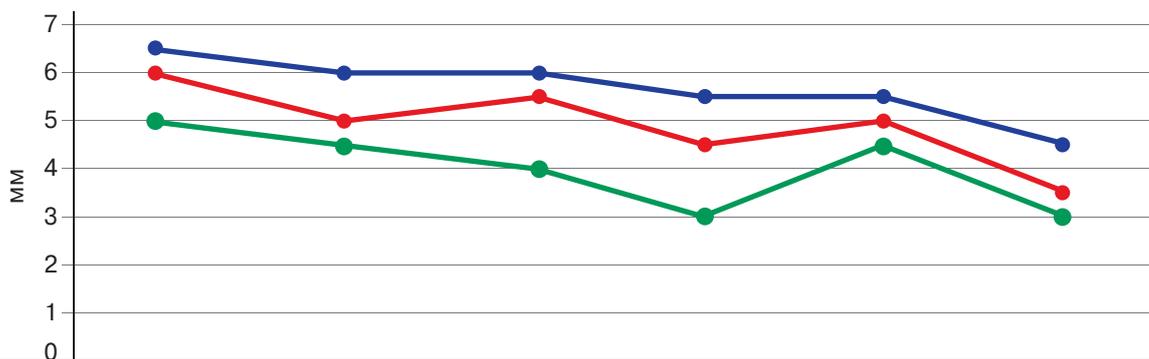
Рис. 9. Нижняя, прозрачная поверхность тестовой площадки: 1 — модель кариозной полости, заполненная пломбировочным материалом; 2 — избыток пломбировочного материала, выдавленный из полости под воздействием исследуемого штопфера и переместившийся по продольному каналу на расстояние 4,5 мм

С этой целью мы использовали тестовую площадку оригинальной конструкции. Ее применение обеспечивало многократно повторяемое воспроизводство стандартного, дозированного по величине и времени, давления различных стоматологических инструментов на полость, заполненную наиболее распространенными видами пломбировочного материала. При этом избыток пломбировочного материала выдавливался из полости и поступал в сообщающейся с ней продольный канал, вдоль которого располагалась градуированная шкала (рис. 9).

Чем глубже при одной и той же нагрузке (20 г) штопфер погружался в пломбировочный материал, тем большее количество последнего поступало в продольный канал, продвигаясь по нему на большее расстояние. При всех прочих равных условиях решающим фактором, влияющим на степень погружения штопфера в пломбировочный материал, становилась форма рабочей поверхности инструмента.

Статистическая обработка массива цифр, полученных по итогам проведенного экспериментального исследования, полностью подтвердила это утверждение [11].

Как видно из диаграммы, представленной на рис. 10, использование шаровидного штопфера для уплотнения пломбировочного материала в процессе реставрации зуба являлось наименее эффективным. Основным недостатком этого инструмента стало отсутствие возможности воздействия на порцию пломбировочного материала, прошедшую экватор сферы. Шаровидная форма



Форма рабочей поверхности инструмента	Высота столбика пломбировочного материала (мм)					
	Filtek Ultimate (A2E)	Filtek Ultimate (A3D)	Charisma Diamond (A2)	Charisma Diamond (OD)	EsthetX (A2)	EsthetX (A4O)
Шаровидная	5	4,5	4	3	4,5	3
Цилиндрическая	6	5	5,5	4,5	5	3,5
Воронкообразная	6,5	6	6	5,5	5,5	4,5

Рис. 10. Высота столбика различного пластикового материала, поступившего из полости в продольный канал тестовой площадки под воздействием стоматологических инструментов, отличающихся формой рабочей поверхности

Таблица 1. Величина силы реакции в точке приложения внешнего воздействия на стоматологический инструмент с различной формой рабочей поверхности по результатам анализа крупной конечно-элементарной сетки

Форма рабочей поверхности штопфера	Сила реакции (Н)
Шарообразная	604,95
Цилиндрическая	724,12
Воронкообразная	590,59

Таблица 2. Величина силы реакции в точке приложения внешнего воздействия на стоматологический инструмент с различной формой рабочей поверхности по результатам анализа мелкой конечно-элементарной сетки

Форма рабочей поверхности штопфера	Сила реакции (Н)
Шарообразная	719,68
Цилиндрическая	746,9
Воронкообразная	614,64

