

Спектральные методы и средства исследований оптических свойств стоматологического материала на основе метилметакрилатных смол

Аннотация

Настоящая статья посвящена спектральным исследованиям светоотверждаемого, рентгеноконтрастного композитного материала OMNICHROMA BLOCKER. На данный момент изучение оптических свойств данного материала является крайне перспективным и актуальным направлением в современной стоматологии. В статье приведены технические характеристики, оптическая схема, а также внешний вид спектрометра, использованного для измерительного анализа материала. Дана краткая характеристика композита. Представлены спектральные зависимости коэффициента поглощения $K(\lambda)$ и коэффициента пропускания $K(\lambda)$ образцов OMNICHROMA BLOCKER разной толщины.

Введение

Получение высокоточной и достоверной информации об оптических свойствах стоматологических реставрационных материалов является важной задачей как для терапевтической стоматологии, так и для оптического приборостроения [1], [2]. В настоящее время для решения данной задачи используется широкий класс оптических методов и технических средств, важнейшее место среди которых занимают спектральные методы и средства [3], [4]. В частности, спектрометрия позволяет проводить качественный и количественный анализ твердофазных и жидкофазных объектов.

Спектральные методы анализа, а также работа соответствующих приборов основаны на определении химического состава и строения веществ по их спектру. Опираясь на анализ литературных данных, можно заключить, что наиболее перспективными в этом классе методов являются абсорбционные. В них используются высокостабильные дейтериевые лампы с повышенным сроком службы, изготовленные по современной керамической технологии, а также галогеновые лампы [5], [6].

Качественное и долгосрочное пломбирование дефектов твердых тканей зуба остается актуальным вопросом терапевтической стоматологии [7], [8]. Кроме улучшения выживаемости и герметизма реставраций в отдаленные сроки их функционирования, актуальным требованием является ее полная оптическая интеграция. Это особенно актуально при восстановлении сквозных дефектов коронковой части передних зубов [9], [10]. Для того чтобы адекватно устранять излишнюю оптическую проницаемость реставраций, производители стоматологических композитов выпускают дентинные и опаловые оттенки, содержащие в составе пигменты и красители, которые, с одной стороны, обеспечивают снижение транслюцентности, но с другой стороны, придают композитам конкретные оттенки. Клиницисту для обеспечения адекватной эстетики восстановлений традиционно требовалось иметь в своем арсенале как минимум несколько таких опаков различных оттенков [11], [12]. Кроме того, толщина внесения этих оттенков могла значительно варьироваться в зависимости от конкретной клинической ситуации. В связи с этим вполне естественно возникает потребность в таком пломбировочном материале, который бы эффективно и надежно блокировал влияние темноты полости рта при реставрации сквозных дефектов коронковой части передних зубов, но не влиял на цвет будущей реставрации и был совместим с различными композитами. В настоящее время именно OMNICHROMA BLOCKER является оптимальным решением этой задачи. Основанием для повышенного внимания к проблеме эффективного пломбирования сквозных кариозных дефектов явились и результаты эпидемиологических исследований, которые свидетельствуют о высокой распространенности кариозных полостей III и IV классов Блэка у населения Санкт-Петербурга и других регионов России.

Научно-техническая информация об оптических свойствах OMNICHROMA BLOCKER на сегодняшний день отсутствует. Поэтому целью данной работы явилось исследование оп-

тических свойств стоматологического материала на основе метилметакрилатных смол OMNICHROMA BLOCKER при помощи современных спектральных приборов.

Постановка задачи

Важным для потенциальных потребителей в лице стоматологических организаций является вопрос о расходе материала OMNICHROMA BLOCKER и стандартных рекомендациях по толщине слоя, достаточного для блокирования излишней оптической проницаемости реставрации в конкретных клинических ситуациях. Компания-производитель данного продукта рекомендует выстраивать из OMNICHROMA BLOCKER оральную стенку толщиной слоя от 0,5 мм, но не указывает, есть ли зависимость толщины слоя от геометрических размеров кариозной полости и оттенка зуба. Данный факт означает, что при подобной толщине слоя какое-либо пропускание в видимом диапазоне длин волн должно отсутствовать. Для полимеризации производитель материала определил диапазон длин волн 400...500 нм (обычно для камфорохинона это 465 нм).

Итак, необходимо выявить толщину слоя OMNICHROMA BLOCKER, которая бы не пропускала свет в видимом диапазоне спектра, а также определить, в каких пределах может потребоваться коррекция толщины при реставрации обширных сквозных дефектов передних зубов различной прозрачности.

Материал и метод исследования

Исследование оптических свойств проводилось на стоматологическом реставрационном материале на основе метилметакрилатных смол OMNICHROMA BLOCKER.

OMNICHROMA BLOCKER – светоотверждаемый рентгеноконтрастный композитный материал. OMNICHROMA BLOCKER содержит 82 % по весу (71 % по объему) кремний-циркониевого наполнителя и композитного наполнителя. Высокая степень наполненности композита обеспечивает низкую полимеризационную усадку. Весь неорганический наполнитель, содержащийся в OMNICHROMA BLOCKER, представляет собой сферический наполнитель (средний размер частиц: 0,2 мкм, фракционный состав частиц – от 0,1 до 0,3 мкм). Мономерная основа содержит бис-глицидиметилметакрилат (Bis-GMA) и триэтиленгликоль диметакрилат.

По биомеханическим свойствам данный материал можно назвать крайне перспективным для изготовления реставраций в области твердых тканей зубов. Он может применяться для восстановления кариозных полостей всех классов в сочетании как с композитом OMNICHROMA, так и с другими композитами в качестве маскировочного агента при умеренных дисколоритах и опаке при пломбировании сквозных дефектов передних зубов вне зависимости от цвета восстанавливаемых зубов. Неорганические наполнители материала на основе соединений циркония обеспечивают превосходную стойкость, надежность, полируемость и ретенцию блеска в отдаленных результатах [13], [14].

Образцы материала разных толщин (0,3; 0,5; 0,9; 1,5; 1,8 мм) были предоставлены компанией ООО «Центр имплантации и комплексного лечения» (г. Санкт-Петербург).

Измерения спектров поглощения и пропускания проводились на автоматизированном спектрометре UV-1900i компании «Shimadzu» (Япония, Осака). Внешний вид прибора представлен на *рис. 1*. Он состоял из двухлучевой оптической схемы, в которую входили галогеновая и дейтериевая лампы, зеркала переключения источника излучения, кремниевое фотодиода, монохроматора Черни-Тернера с высокопроизводительной полированной дифракционной решеткой, кювета с измеряемыми образцами и образцами сравнения и объективов (выпускается компанией «Shimadzu») [15]–[17].

Технические характеристики прибора приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

Технические характеристики спектрометра UV-1900i

Модель	UV-1900i
Спектральный диапазон, нм	190...1100
Ширина щели, нм	1
Скорость сканирования, нм/мин	29 000
Точность установки длины волны, нм	$\pm 0,3$
Воспроизводимость по шкале длин волн, нм	$\pm 0,1$
Уровень рассеянного излучения	$< 0,02 \% T$ (220 нм NaI; 340 нм NaNO ₂) $< 0,5 \% T$ (198 нм KCl)
Фотометрический диапазон	От $-4,0$ до $+4,0$ Abs (от 0 до 400 % T)
Фотометрическая точность, Abs:	
• при 0,5 Abs	$\pm 0,002$
• при 1,0 Abs	$\pm 0,004$
• при 2,0 Abs	$\pm 0,006$
Фотометрическая воспроизводимость, Abs, не более:	
• при 0,5 Abs	$\pm 0,0002$
• при 1,0 Abs	$\pm 0,0002$
• при 2,0 Abs	$\pm 0,001$
Дрейф нулевой линии	$< 0,0003$ Abs/ч (700 нм)
Размеры прибора, мм	450 x 501 x 244
Масса, кг	16,6



Рис. 1. Внешний вид спектрометра UV-1900i

UV-1900i – это компактный прибор для решения различных задач в научно-исследовательских лабораториях, лабораториях пищевой промышленности и экомониторинга, а также в центрах биологического и биотехнологического профиля. Этот прибор имеет встроенный жидкокристаллический монитор и клавиатуру. Последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств (USB) и его функция контроля позволяют легко подключать принтер или персональный компьютер (ПК) с принтером. UV-1900i управляется при помощи встроенного русифицированного программного обеспечения (входит в стандартную комплектацию) и процессора или

при помощи ПК. UV-1900i поддерживает возможность подключения сканера штрих-кода, USB-клавиатуры и печать при помощи сетевого принтера. Кюветное отделение позволяет легко заменять стандартный держатель 10 мм кюветы на дополнительные приставки.

Спектрометр совместим с автосамплерами ASX-280 и ASX-560 («Teledyne CETAC»). Элементы управления автосамплерами полностью интегрированы в программное обеспечение «LabSolutions UV-Vis». Для каждого образца можно задать индивидуальные параметры проведения анализа. ASX-280: 120 виал (объем виал 15 мл), 2 стандартных планшета по 60 позиций в каждом. ASX-560: 240 виал (объем виал 15 мл), 4 стандартных планшета по 60 позиций в каждом.

Программное обеспечение «LabSolutions UV-Vis» позволяет одновременно открыть несколько режимов измерения, чтобы в одном из режимов выполнять измерения, а в другом – осуществлять сбор и обработку данных. Коррекцию формы полос, поиск пиков и печать можно выполнять автоматически. Помимо функций измерения и анализа, доступна возможность оценки результатов измерения (критерий соответствия/несоответствия). Простой экспорт данных в текстовый или табличный формат повышает эффективность работы.

Оптическая система построена по двухлучевой схеме с двумя независимыми фотодетекторами и показана на *рис. 2*.

В этой схеме объектный и опорный каналы доставляют излучение на два кремниевых фотодетектора с одинаковыми техническими характеристиками. Преимуществом данной оптической схемы является отсутствие необходимости направлять оба световых пучка в один фотодетектор. А также в кюветном отделении остается больше пространства при измерении мутных и непрозрачных объектов. В данной схеме появляется возможность размещать эти объекты близко к поверхности взаимодействия с излучением.

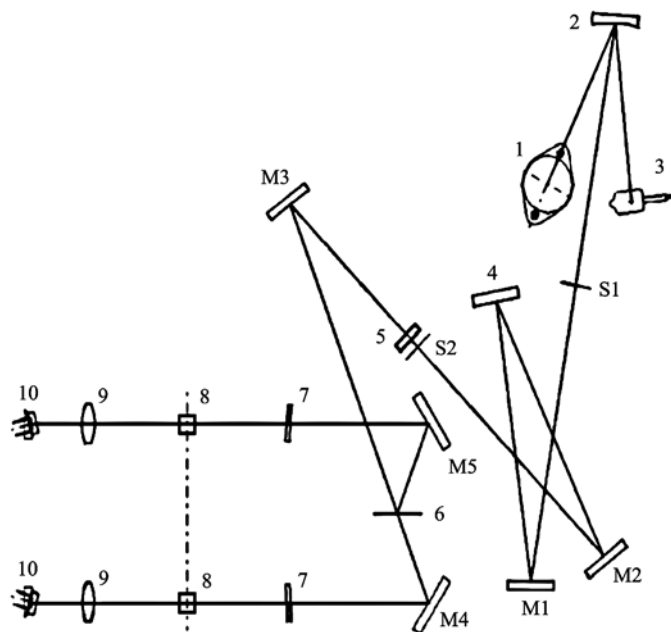


Рис. 2. Оптическая схема спектрометра UV-1900i: 1 – дейтериевая лампа; 2 – зеркало переключения источника излучения; 3 – галогеновая лампа; S1, S2 – щели; 4 – голографическая отражающая решетка; M1...M5 – зеркала; 5 – оптический фильтр; 6 – светоделитель; 7 – специализированные окна; 8 – кюветные отделения; 9 – объективы; 10 – фотодиоды

Экспериментальные результаты

Для получения оптических свойств материалов образцы разных толщин крепились в канале измерений специальным образом, как показано на *рис. 3*. Образец находится слева.

Спектры поглощения и пропускания измерены на десяти образцах OMNICHROMA BLOCKER толщиной 0,3; 0,5; 0,9; 1,5 и 1,8 мм.

Измеренные спектры поглощения OMNICHROMA BLOCKER представлены на рис. 4.

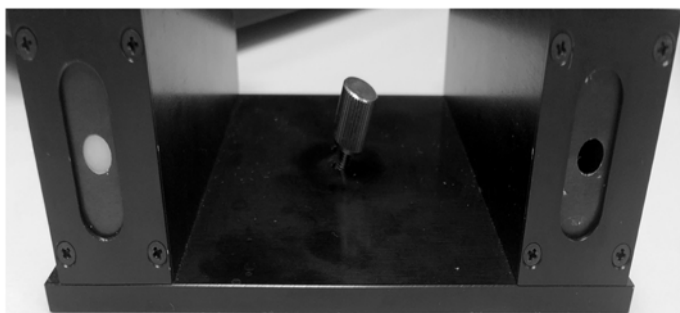


Рис. 3. Образец OMNICHROMA BLOCKER в канале измерения спектрометра UV-1900i

Полученные зависимости $K(\lambda)$ для разных толщин слоев OMNICHROMA BLOCKER показывают, что максимальное поглощение для всех образцов находилось в диапазоне длин волн 250...400 нм. Видимо, сильными поглотителями в этой области спектра явились частицы неорганического наполнителя. Производителям медицинской техники в сфере стоматологии было бы полезно учесть этот факт. На сегодняшний день выпускаемые фотополимеризаторы имеют источники излучения, работающие в диапазоне длин волн 400...500 нм.

Измеренные спектры пропускания OMNICHROMA BLOCKER представлены на рис. 5.

Спектры оптического пропускания в образцах OMNICHROMA BLOCKER имели характерные особенности в ультрафиолетовых спектрах. Во-первых, они практически совпадали: в видимой области спектра образец 1 имел незначительное отличие, пропускание было зафиксировано на уровне 7 %. Во-вторых, в диапазоне длин волн 200...500 нм все образцы имели минимум пропускания $T(\lambda)$. В-третьих, образец 1 имел спектральный максимум прозрачности в длинноволновой области.

Проведя анализ спектров пропускания, можно сделать следующий вывод: практически все образцы в ультрафиолетовом и видимом диапазонах длин волн имеют минимум пропускания. Получается, что материал OMNICHROMA BLOCKER без потери эффективности можно наносить толщиной слоя от 0,3 до 0,5 мм, увеличение толщины более 1 мм не имеет обоснований, так как практически не привносит дополнительной опакости в реставрацию.

Заключение

Проведенные исследования на образцах разной толщины OMNICHROMA BLOCKER показывают, что при выполнении эстетических композитных реставраций придание надлежащей опакости реставрации возможно без применения биомиметических техник, подразумевающих топографическое повторение опаковыми или дентинными оттенками объема дентина в естественных зубах, что влечет значительное изменение толщины слоя этих оттенков в каждом конкретном клиническом случае. Альтернативная методика работы с OMNICHROMA BLOCKER требует лишь внесения слоя стандартной толщины от 0,5 до 1 мм для блокирования просвечивания темноты полости рта или умеренного дисколорита. Далее восстановление может выполняться полностью эмалевыми оттенками композитов. Полученные результаты исследования дают возможность компаниям-производителям фотополимеризаторов внести коррекцию в оптический блок, стоматологическим клиникам, которые активно используют данный композит, получить экономический эффект от использования этого материала. Данные измерений представляют интерес для медицинской техники, терапевтической стоматологии, а также для оптического приборостроения.

Список литературы:

1. Луцкая И.К. Практическая стоматология. – Мн.: Бел. на-ука, 1999. 360 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1970. 855 с.
3. Виноградова Т.В., Уголева С.А., Казанцев Н.Л., Сидоров А.В., Шевченко М.В. Клинические аспекты применения композитов для реставрации зубов // Новое в стоматологии. 1995. № 6. С. 326.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976. 926 с.
5. Колбасицкий В.А. Определение цвета в эстетической стоматологии / Материалы межобластной научно-практической конференции. Сб. статей. – Благовещенск, 1999. С. 46-48.
6. Левин Б. Оптические свойства реставраций, или что беспокоит пациентов? // ДентАрт. 2004. № 4. С. 30-33.
7. Пархамович С.Н., Тюкова Е.А., Минчук С.А. Оптическое восприятие композиционных реставраций в ультрафиолетовом свете // Современная стоматология. 2014. № 2. С. 77-79.

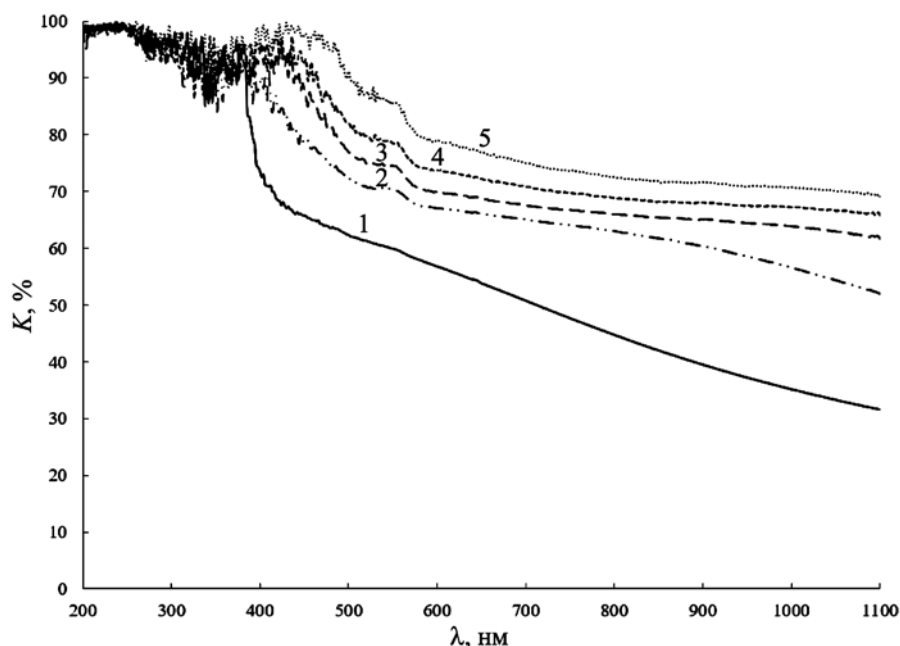


Рис. 4. Спектральные зависимости коэффициента поглощения $K(\lambda)$ образцов OMNICHROMA BLOCKER разной толщины: 1 – 0,3 мм; 2 – 0,5 мм; 3 – 0,9 мм; 4 – 1,5 мм; 5 – 1,8 мм

8. Луцкая И.К., Марченко Е.И., Чухрай И.Г. Эстетическое пломбирование некариозных дефектов твердых тканей зуба // Современная стоматология. 2012. № 1. С. 29-31.
9. Majorov E.E., Prokopenko V.T. A limited-coherence interferometer system for examination of biological objects // Biomedical Engineering. 2012. Vol. 46. № 3. PP. 109-111.
10. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения. – М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
11. Majorov E.E., Prokopenko V.T., Ushveridze L.A. A system for the coherent processing of specklegrams for dental tissue surface examination // Biomedical Engineering. 2014. Vol. 47. № 6. PP. 304-306.
12. Майоров Е.Е., Шаламай Л.И., Попова Н.Э., Коцкович А.В., Дагаев А.В., Хайдаров Г.Г., Хайдаров А.Г., Писарева Е.А. Исследование кариеса на ранней стадии образования когерентной сканирующей интерферометрией в низкокогерентном свете // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2018. № 11. С. 25-30.
13. Майоров Е.Е., Попова Н.Э., Шаламай Л.И., Цыганкова Г.А., Черняк Т.А., Пушкина В.П., Писарева Е.А., Дагаев А.В. Цифровая голографическая интерферометрия как высокоточный инструмент в стоматологии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 10. С. 249-256.
14. Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Шаламай Л.И., Хохлова М.В., Туровская М.С., Ушакова А.С., Дагаев А.В. Применение сканирующей интерферометрии в низкокогерентном свете для измерения *in vivo* деминерализованных областей эмали под десной // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 2. С. 128-135.
15. Прокопенко В.Т., Майоров Е.Е., Шаламай Л.И., Хохлова М.В., Катунин Б.Д., Капралов Д.Д. Исследование *in vivo* минерализованных областей эмали под десной с помощью интерферометрического прибора // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62. № 7. С. 643-649.
16. Шаламай Л.И., Кузьмина Д.А., Майоров Е.Е., Мендоса Е.Ю., Сакерина А.И., Нарушак Н.С. Исследование оптических свойств твердых тканей зуба и композитных материалов по средствам фотометрического анализа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 8. С. 11-17.
17. Майоров Е.Е., Шаламай Л.И., Кузьмина Д.А., Мендоса Е.Ю., Нарушак Н.С., Сакерина А.И. Спектральный анализ стоматологического реставрационного материала и зубной ткани пациентов разных возрастных групп *in vitro* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 8. С. 105-114.

Евгений Евгеньевич Майоров,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра прикладной математики,
Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения,
Людмила Ивановна Шаламай,
канд. мед. наук, доцент,
кафедра стоматологии терапевтической
и пародонтологии,
Первый Санкт-Петербургский
государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова,
г. С.-Петербург,
Елена Юрьевна Мендоса,
ассистент,
кафедра клинической стоматологии,
Московский государственный медико-
стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова,
г. Москва,
Виктория Борисовна Лампусова,
канд. мед. наук, доцент,
Наталья Сергеевна Оксас,
канд. мед. наук, ассистент,
кафедра стоматологии терапевтической
и пародонтологии,
Первый Санкт-Петербургский
государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова,
г. С.-Петербург,
e-mail: majorov_ee@mail.ru

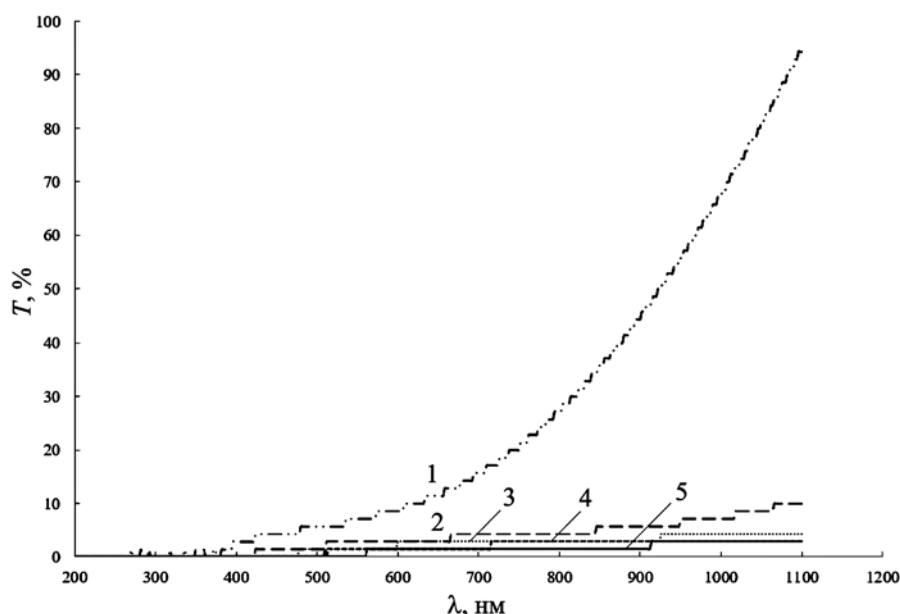


Рис. 5. Спектры пропускания $T(\lambda)$ образцов OMNICHROMA BLOCKER разной толщины:
1 – 0,3 мм; 2 – 0,5 мм; 3 – 0,9 мм; 4 – 1,5 мм; 5 – 1,8 мм