



Медицински университет
„Проф. д-р Параскев Стоянов“ – гр. Варна
Факултет Дентална медицина
Катедра „Консервативно зъболечение и орална патология“

Д-р Георги Пламенов Георгиев

**Проблеми свързани с фотополимеризацията
в денталната медицина**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ

Терапевтична дентална медицина

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:

1. Проф. инж. Цанка Дикова, д.т.н.
2. Проф. д-р Владимир Панов, д.м.н.

Варна, 2021 г.

Дисертационният труд е одобрен и насочен за защита на заседание на Катедра по Консервативно зъболечение и орална патология при Факултет по Дентална медицина на Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ – Варна.

Дисертационният труд съдържа 197 стандартни страници и е онагледен с 24 таблици и 45 фигури. Библиографията се състои от 178 източника, от които 4 на кирилица и 174 на латиница.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 08.06.2021 г. в Аудитория „Доц. Димитър Клисаров“ на ФДМ, МУ – Варна, пред научно жури в състав:

Председател:

Доц. д-р Цветелина Борисова-Папанчева, д.м. – вътрешен член

Членове:

Проф. д-р Радосвета Василева, д.м. – външен член

Доц. д-р Емилия Карова, д.м. – външен член

Проф. инж. Йордан Максимов, д.т.н. – външен член

Доц. д-р Цветелина Борисова-Папанчева, д.м. – вътрешен член

Доц. д-р Мая Дойчинова, д.м. – вътрешен член

Проф. д-р Елена Дюлгерова, д.м.н. – резервен външен член

Доц. д-р Миглена Балчева, д.м. – резервен вътрешен член

Материалите по защитата са на разположение в Научен отдел на МУ – Варна и са публикувани на интернет страницата на МУ – Варна.

Забележка: В автореферата номерата на формулите съответстват на номерата в дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ.....	4
ВЪВЕДЕНИЕ.....	5
ЦЕЛ И ЗАДАЧИ.....	7
МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ	8
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ.....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
ПРИНОСИ.....	56
ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	59

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

- БФК - бълк фил фотополимеризиращ композит за постериорни възстановявания
- ТФК - универсален течен фотополимеризиращ композит с високо съдържание на пълнител
- УФК - универсален нанохибриден фотополимеризиращ композит
- КМ - композиционни материали
- ФПЛ - фотополимерна лампа
- HV - твърдост по Викерс
- LED - light-emitting diode
- d - дебелина на слой, mm
- E_L - енергията, необходима за пълноценната полимеризация на една порция композит с дебелина 2 mm, J/cm^2
- I - интензитет на светлината, mW/cm^2
- P - мощност, W
- S - площ, cm^2
- τ, t - време на облъчване, s
- x_1 - интензитет на светлината
- x_2 - време на облъчване
- x_3 - дебелина на слой
- Y_1 - твърдост по горната повърхнина на композитния слой
- Y_2 - твърдост по долната повърхнина

ВЪВЕДЕНИЕ

Въвеждането на фотополимеризиращите композиционни материали (КМ) е революционна стъпка във възстановителната дентална медицина, защото позволява на клиницистите сами да определят началото на полимеризационния процес. Причина за тяхното широко приложение в ежедневната практика са от една страна завишените естетични изисквания на пациентите, а от друга недостатъците на амалгамата като неестетичност, протичане на галваничен ток и корозия, оцветяване на твърдите зъбни тъкани, татуировки в меките тъкани, отделяне на живачни пари и други. През последното десетилетие се работи усилено по усъвършенстването на фотополимеризиращите КМ. Доказателства за това са подобрените качества на конвенционалните композити, създаването на универсални течни композити с високо съдържание на пълнител и на bulk fill (бълк фил) композити, които позволяват дебелина на слоя при нанасяне до 5 mm.

За да се осъществи процесът на фотополимеризация на денталните композити е необходим източник на синя видима светлина с дължина на вълната в диапазона 400-520 nm. Съвременните светодиодни фотополи-мерни лампи (ФПЛ-и) имат много добри характеристики и притежават редица преимущества пред останалите видове устройства като: възможност за полимеризиране на композити, използващи всички видове фотоинициаторни системи; висок интензитет на светлината; наличие на компактни безжични модели с изключителна издръжливост на батерията; достъпна цена; отделяне на малко количество топлина. Поради множеството предимства и практически липсата на недостатъци, светодиодните ФПЛ-и са се утвърдили като най-надеждните и предпочитани устройства за полимеризация от денталните лекари по света.

Въпреки ежедневното поставяне на obturации от композит и присъствието на фотополимеризиращите лампи във

всяка една дентална практика, нивото на познание на лекарите по дентална медицина относно основните фактори, от които зависи процеса на фотополимеризация – интензитет на светлината, време на облъчване, дебелина на слоя, разстояние и посока на световода и др., не е високо. Слабата информираност относно работата с ФПЛ-и и факторите на светлинната полимеризация може да доведе до неправилен полимеризационен протокол, а това от своя страна до непълноценна полимеризация на материала с всички неблагоприятни от това последици: увеличен риск от фрактура на обтурацията, понижена твърдост и абразивоустойчивост, отделяне на остатъчни мономери, намалена здравина на адхезивната връзка и по-бърза промяна на цвета на възстановяването.

Това дава основание настоящият дисертационен труд да бъде насочен именно към тази част от проблемите на фотополимеризацията – чрез провеждане на изследвания посредством конвенционални и новоразработени методики да се допринесе за постигане на по-високо ниво на познание относно работата с ФПЛ-и и да се дадат практически насоки за осъществяване на по-добър контрол върху факторите на полимеризацията. Това, в крайна сметка, ще допринесе за изработване на композитни обтуриции с високи качества и дълготрайност, в резултат на което ще се подобри денталното здраве на пациентите.

ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:

Да се изследват проблемите, свързани с фотополимеризацията в денталната медицина, като се проучат и анализират факторите, оказващи влияние на процеса на фотополимеризация на денталните композити.

ЗАДАЧИ:

1. Да се изследва зависимостта между светлинния интензитет на безжични светодиодни ФПЛ-и и заряда на батерията.
2. Да се изследва светлинният интензитет на светодиодни ФПЛ-и след различен период на употреба и да се установи наличието на връзка между времето на употреба на устройствата и техния светлинен интензитет.
3. Да се изследва влиянието на факторите на процеса на фотополимеризация – интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слоя върху твърдостта на дентални композити от три различни групи:
 - a. Универсален нанохибриден фотополимеризиращ композит;
 - b. Bulk Fill фотополимеризиращ композит;
 - c. Универсален течен фотополимеризиращ композит с високо съдържание на пълнител.
4. Да се направи оптимизация на параметрите на процеса на фотополимеризация на изследваните дентални композити.
 - a. Да се разработят препоръчителни режими на фотополимеризация на изследваните дентални композити;
 - b. Да се изготвят препоръки за ефикасна полимеризация за всеки един от изследваните композити.

МАТЕРИАЛИ и МЕТОДИ

МАТЕРИАЛИ и МЕТОДИ по ЗАДАЧА 1

Изследване на зависимостта между светлинния интензитет на безжични светодиодни ФПЛ-и и заряда на батерията

Целта на проучването е да се оцени стабилността на светлинния интензитет на различни марки безжични светодиодни ФПЛ-и чрез измерването му от състояние на напълно заредена до напълно изтощена батерия. Направен е сравнителен анализ на актуалния светлинен интензитет на ФПЛ-и с този, посочен от производителите. Използвани са 10 нови различни безжични светодиодни ФПЛ-и с пълен заряд на батерията (*таблица 1*). Светлинният интензитет е измерен с дигитален радиометър *LM-1* (Woodpecker, China) (*фиг. 1*). Върхът на световода се допира до сензора на радиометъра под ъгъл от 90° . Използват се оранжеви очила (“blue blockers”), които филтрират синята видима светлина, за да се предпазят очите на оператора от увреждане (*фиг. 2*). За да се възпроизведе клиничната ситуация, замервания се правят на всеки 10 полимеризационни цикъла от по 20 s в режим на



Фиг. 1. Дигитален радиометър LM-1, Woodpecker, China



Фиг. 2. Предпазни оранжеви очила “blue blockers”.

постоянен интензитет на ФПЛ до пълното изтощаване на батерията.

Таблица 1.
Технически характеристики на светодиодни ФПЛ-и по спецификация.

№	Модел светодиодна ФПЛ	Производител	Светлинен интензитет, mW/cm^2	Дължина на вълната, nm
1	<i>Xlite 4</i>	ThreeH, China	800	385-515
2	<i>Bluephase N</i>	Ivoclar Vivadent, Lichtenstein	1200	385-515
3	<i>D-Light Duo</i>	GC, Japan	1200	400-480
4	<i>LY-C240</i>	BDMED, China	1200	420-480
5	<i>OSA-F686C</i>	Osaka Dental, China	1200	440-480
6	<i>Demi Plus</i>	Kerr, USA	1200	450-470
7	<i>I-LED 2500</i>	Woodpecker, China	1300	420-480
8	<i>Elipar Deep Cure S</i>	3M ESPE, USA	1470	430-480
9	<i>CV-215</i>	Cicada Dental, China	1500	430-480
10	<i>SK-L029A</i>	Spark Dental, China	2200	385-430

В таблицата стойностите за светлинен интензитет по спецификация се отнасят за режим на постоянна мощност, като не се взимат в предвид турбо режимът (3 s) с по-голям интензитет при някои модели. При *D-Light Duo* има само един полимеризационен режим от 10 s, затова два цикъла от 10 s се зачитат като един цикъл от 20 s.

На всяка ФПЛ е изчислен броят цикли от по 20 s до пълно изтощаване на батерията. С помощта на софтуер *Microsoft Excel* е изразена промяната на светлинния интензитет с увеличаване броя на полимеризационните цикли (N) и с понижаване заряда на батерията (%).

МАТЕРИАЛИ и МЕТОДИ по ЗАДАЧА 2

Изследване на светлинния интензитет на светодиодни ФПЛ-и след различен период на експлоатация, за да се установи връзката между остаряването на устройствата и техния светлинен интензитет

Целта на настоящото проучване е да се установи промяната на светлинния интензитет на светодиодни ФПЛ-и след различни периоди на интензивна експлоатация. Изследвани са 94 редовно употребявани светодиодни ФПЛ-и с период на употреба между 1 и 10 години, от които 68 са монтирани на денталния юнит и 26 са безжични и напълно заредени (таблица 2). Устройствата се намират на територията на Факултет по Дентална медицина към МУ-Варна, както и в различни дентални практики в гр. Варна.

<i>Таблица 2.</i>					
<i>Информация относно светодиодните ФПЛ-и, дадена от производителя.</i>					
Група	Брой ФПЛ-и	Модел	Производител	Светлинен интензитет, mW/cm^2	Дължина на вълната, nm
1	19	<i>DB-686 DELI</i>	Coxo Medical Instruments, China	>1600	420-480
1	1	<i>SK-L029A</i>	Spark Dental, China	2200	435-480
1	3	<i>Smart Xpress</i>	Bluedent, Bulgaria	1700	410-490
2	21	<i>Masterdent</i>	Vigodent, Bulgaria	>700	400-480
2	9	<i>Minident</i>	Vigodent, Bulgaria	>700	420-480
3	40	<i>LD Max</i>	Gnatus, Brazil	700	440-480

Светлинният интензитет е измерен с дигитален радиометър *LM-1* (Woodpecker, China) (*фиг. 1*), който позволява измерване от 0 до 3500 mW/cm². Световодите на ФПЛ-и са предварително почистени от замърсявания и залепнали твърди парчета композит. ФПЛ-и се използват в режим на постоянен, максимален интензитет. Върхът на световода се допира до сензора на радиометъра под ъгъл от 90°, правят се по три замервания на всяка лампа и средните стойности се записват в mW/cm². Използват се оранжеви очила ("blue blockers"), които филтрират синята видима светлина, за да се предпазят очите на оператора от увреждане.

ФПЛ-и са разделени в три групи, в зависимост от времето им на експлоатация. Първата група включва 23 устройства от три модела на различни производители, измервания на които са правени на 1г., 3г. и 5г. от употребата им. Във втората група са поставени 31 устройства от два модела на един и същи производител, измервания на които са правени на 7г. и 9г. от употребата им. Третата група включва 40 устройства от един модел на един и същи производител, измервания на които са правени на 10-та година от тяхната експлоатация.

Резултатите са графично представени и статистически анализирани с помощта на софтуер *Microsoft Excel*.

МАТЕРИАЛИ и МЕТОДИ по ЗАДАЧА 3

Влияние на факторите на процеса на фотополимеризация върху твърдостта на денталните композити

3.1. Материали

За осъществяване на експеримента са използвани 3 дентални композита от различни групи:

1) Универсален нанохибриден фотополоимеризиращ композит (УФК) - *Evetric* (Ivoclar Vivadent, Lichtenstein),

2) Нанохибриден бълк фил фотополоимеризиращ композит (БФК) за постериорни възстановявания, който позволява нанасяне на слой с дебелина до 5 mm - *Filtek One Bulk Fill Restorative* (3M, USA) и

3) Универсален високонапълнен нанофилен течен фотополоимеризиращ композит (ТФК) , подходящ за възстановяване на всички класове - *G-aenial Universal Flo* (GC, Japan).

Всички композити са от една и съща разцветка – А2, но са с различен състав и процентно съотношение между органичния матрикс и пълнителите (*таблица 3*).

<i>Таблица 3.</i>				
<i>Състав на използваните дентални композити.</i>				
Вид КМ	Състав		Сви- ване	Плът- ност
	Компонент	Количес- тво		
УФК <i>Evetric</i> [1*, 2*] Съотношение матрикс/пълни- тел wt %: 19- 20/80-81	Матрикс: BIS-GMA (Bisphenol A glycidil dimethacrylate) UDMA (Urethane dimethacrylate) Bis-EMA (Bisphenol A polyethethylene glycol dimethacrylate) Пълнители: Ва стъклени частици, Итербиев флуорид, Смесени оксиди и преполимери 40nm-3µm	3-10%; 10-25%; 3-10%	1.5%	2.10 g/cm ³
БФК <i>Filtek One Bulk Fill Restorative</i> [3*, 4*]	Матрикс: AUDMA (Aromatic Urethane Dimethacrylate)	10-20% <10%	1.8%	1.9 g/cm ³

<p>Съотношение матрикс/пълнител wt %: 23.5/76.5</p>	<p>DDDMA (1,12-Dodecane Dimethacrylate) UDMA (Urethane dimethacrylate)</p> <p>Пълнители: Обработена със силан керамика, Обработен със силан силицев диоксид, Итербиев флуорид (YbF3), Обработен със силан цирконий</p>	<p>1-10%</p>		
<p>ТФК G-aenial Universal Flo [5*, 6*]</p> <p>Съотношение матикс/пълнител wt %: 31/69</p>	<p>Матрикс: UDMA (Urethane dimethacrylate) Bis-EMA (Bisphenol A polyethethylene glycol dimethacrylate) Dimethacrylate component</p> <p>Пълнители: Силициев диоксид (16 nm), Стронциево стъкло (200 nm), пигменти</p>	<p>10-20% 5-10% 5-10%</p>	<p>3.95 %</p>	<p>-</p>
<p>Забележка: 1*Objelean AC et al, 2015. 2*Safety data sheet. Evetric. 3*Safety data sheet. Filtek One Bulk Fill Restorative. 4* Technical Product Profile. Filtek One Bulk Fill Restorative. 5* Safety data sheet. G-aenial Universal Flo. 6* Technical Manual. G-aenial Universal Flo.</p>				

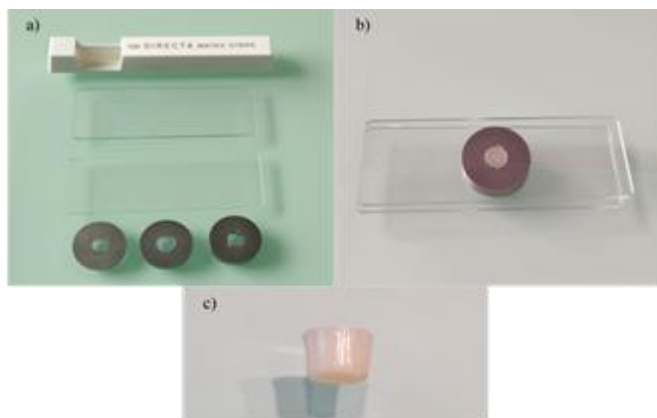
Таблица 4.
Механични свойства на използваните обтуровъчни материали.

Вид материал	Якост на опън, МПа	Якост на натиск, МПа	Якост на огъване, МПа	Модул на еластичност, GPa	Твърдост по горна повърхност, HV
УФК <i>Evetric</i>	40 [1*]	263 [1*]	94.5 [1*]	12.2 [7*]	62 [1*]
БФК <i>Filtek One Bulk Fill Restorative</i>	55.74 [8*]	347 [9*]	183 [9*]	10.6 [9*]	55.2 (1500 mW/cm ² /20 s) 52.0 (1000 mW/cm ² /20 s) 53.2 (600 mW/cm ² /40 s) [9*]
ТФК <i>G-aenial Universal Flo</i>	-	425 [10*]	167 [11*]	7.9 [11*]	49.01 (1200 mW/cm ² /20 s) [12*] 48.54 (700 mW/cm ² /40 s) [13*]
Забележка: 1*Objeean AC et al, 2015. 7*Azmi MM et al, 2017. 8*Abdulmajeed A et al, 2019. 9*Cowen M et al, Dental Advisor. 10*Estelite Universal Flow Brochure. 11*G-aenial Universal Flo. Research and physical properties. 12*Al Sunbul A et al, 2016. 13*Jang JH et al, 2015.					

3.2. Изработване на образците

От всеки композит са изработени образци с цилиндрична форма с диаметър Φ 5 mm и дебелина 2, 3 и 4 mm (фиг. 3). За изработването на образците са използвани полиуретанови матрици, предметно стъкло и прозрачна целулоидна лента. КМ се нанася в една порция. Образецът се полимеризира със светодиодна ФПЛ *Curing Pen* (Eighteenth, China) с дължина на вълната 385-515 nm (фиг. 4) за 20, 40 или 60 s с интензитет на светлината 600, 1000 или 1500 mW/cm² в режим на постоянна мощност. Разстоянието между световода на ФПЛ и горната

повърхност на композита е 1 mm, колкото е дебелината на предметното стъкло.



Фиг. 3. Полиуретанови матрици, предметни стъкла и четълородни ленти – а), изтъляване на матрицата с КМ и притискане с предметно стъкло – б) и полимеризиран и изваден образец, готов за съхранение за 24 часа в сух тъмен контейнер – с).



Фиг. 4. Светодиодна фотополимерна лампа Curing Pen (Eightteeth).

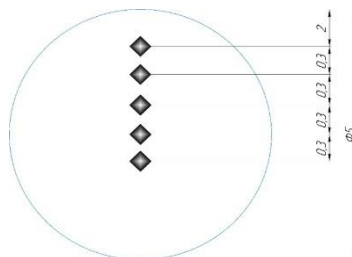
За всяка комбинация от параметри (светлинен интензитет, време на облъчване и дебелина на слоя) се изработват по 3 образца (таблица 5), които се съхраняват в сух тъмен контейнер на стайна температура за 24 часа, след което се извършва измерването на микротвърдостта по Викерс.

Таблица 5. План на експеримента.										
Фотополимерна лампа „Eighteeth CuringPen”										
Интензитет, mW/cm ²	600			1000			1500			Общ брой образци
Време, s.	20	40	60	20	40	60	20	40	60	
Композит	Брой образци									
УФК Evetric										
Дебелина, 2 mm	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27
3 mm	3								3	6
4 mm	3		3			3	3	3	3	18
БФК Filtek One Bulk Fill Restorative										
Дебелина, 2 mm	3	3	3	3			3		3	18
3 mm	3								3	6
4 mm	3		3			3	3	3	3	18
ТФК G-aenial Universal Flo										
Дебелина, 2 mm	3	3	3	3			3		3	18
3 mm	3								3	6
4 mm	3		3			3	3	3	3	18
	Общ брой образци									135

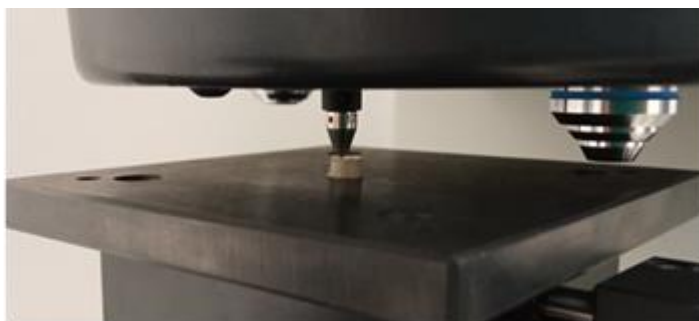
3.3. Измерване на твърдост

Измерена е микротвърдост по Викерс с микротвърдомер ZHVμ-S (Zwick/Roell, Germany). С натоварване 50 gr за 10 s са направени по 5 измервания (фиг. 5 и фиг. 6) на горната и долна повърхност на всеки образец от дадената група, като е взета средно аритметичната стойност.

На 9 образеца ($600 \text{ mW/cm}^2 / 2\text{mm} / 20 \text{ s}$, $1000 \text{ mW/cm}^2 / 2\text{mm} / 40 \text{ s}$ и $1000 \text{ mW/cm}^2 / 2\text{mm} / 60 \text{ s}$) са направени по 4 допълнителни измервания в рамките на 28 дни – на 7-ми, 14-ти, 21-и и 28-и ден. През целия период на изследването образците са съхранявани в сух тъмен контейнер на стайна температура.



Фиг. 5. Схема на изпитване.



Фиг. 6. Прилагане на основно натоварване $F 50 \text{ g}$ с продължителност 10 s върху образец от УФК Evetric.

Резултатите са изразени в табличен и графичен вид с помощта на софтуер *Microsoft Excel*, а влиянието на отделните фактори е изследвано чрез дисперсионен анализ (ANOVA).

Изследването на твърдостта е направено със съдействието на д-р инж. Владимир Тодоров от ТУ-Габрово.

МАТЕРИАЛИ и МЕТОДИ по ЗАДАЧА 4

Оптимизация на параметрите на процеса на фотополимеризация на дентални композити

4.1. Регресионен анализ

Направена е оптимизация на три параметъра на процеса на фотополимеризация: интензитет I [mW/cm^2], време на облъчване t [s] и дебелина на слоя d [mm]. Целта е при зададени стойности на интензитета (характерен за всяка ФПЛ и даден от производителя) и съответната комбинация от време на облъчване (обикновено 20, 40 и 60 s, заложи от производителя на ФПЛ) да се получи слой от композит с определена дебелина, който има максимална твърдост по горната повърхнина (HV_{max}), а твърдостта по долната повърхнина да е 80% от HV_{max} [Price RB et al, 2003; Yap AU et al, 2003; Bouschlicher MR et al, 2004].

<i>Таблица 6</i>					
<i>Управляващи фактори и техните нива</i>					
Управляващи фактори					
Натурални \tilde{x}_i	Кодирани x_i	Нива на факторите			
		Кодирани			
		За първи фактор			
		-1	-0.1111		1
		За останалите фактори			
		-1		0	1
		Натурални			
Интензитет I [mW/cm^2] \tilde{x}_1	x_1	600	1000		1500
Време t [s] \tilde{x}_2	x_2	20		40	60
Дебелина d [mm] \tilde{x}_3	x_3	2		3	4

Управляващите фактори интензитет I , време на облъчване t и дебелина на слоя d , както и техните нива, са дадени в *таблица 6*. Факторите, измерени в натурални физични единици, са маркирани с \tilde{x}_i и имат различни дименсии. За да се елиминира зависимостта на плана на експеримента от дименсиите, факторите \tilde{x}_i са трансформирани в кодирана форма x_i по зависимостта:

$$x_i = (\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i,0}) / |\tilde{x}_{i,max} - \tilde{x}_{i,0}| \quad (3)$$

Целевите функции са Y_1, HV – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2, HV – твърдост по долната повърхнина. Проведен е планиран експеримент за трите изследвани композита. Планът на експеримента е показан в *таблица 7*.

Регресионният анализ на получените експериментални резултати за всеки един композит е извършен с помощта на софтуер *QStatLab*.

За целевите функции $Y_i, i=1,2$, са избрани полиноми от втора степен, тъй като управляващите фактори се променят на три нива:

$$Y_k(\{X\}) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i-1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m a_{ii} x_i^2, k=1,2 \quad (4)$$

където $\{X\} = [x_1 \ x_2]^T \in \Gamma_x$ е вектор на управляващите фактори, Γ_x е пространство на управляващите фактори и m е техния брой.

За всеки един от композитите са направени и визуализирани регресионни модели за целевите функции Y_1 – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2 – твърдост по долната повърхнина.

С помощта на регресионните модели за УФК *Evetric* са направени оптимизации с вариране на управляващите фактори интензитет (x_1) и време на облъчване (x_2) с цел получаване максимална твърдост по горна повърхнина на композита,

твърдост по долна повърхнина, равна на 80% от тази по горната повърхнина, и дебелина на слоя, който ги осигурява:

- Максимална твърдост горе и долу без ограничение на интензитет (x_1) и време (x_2);
- Максимална твърдост горе и долу с ограничение на интензитета (x_1) – равен или по-малък от 1000 (средно ниво);
- Максимална твърдост горе и долу с ограничение на времето (x_2) – равно на 20 (долно ниво);
- Максимална твърдост горе и долу с ограничение на времето (x_2) – равно или по-малко от 40 (средно ниво);

Таблица 7
План на експеримента.

№	Вид композит						УФК		БФК		ТФК	
	Управляващи фактори						Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
	Кодирани			Натурални								
	x_1	x_2	x_3	I, mW/c m ²	t, s	d, mm	HV горе	HV дол у	HV горе	HV дол у	HV горе	HV дол у
1	-1	-1	-1	600	20	2	42.0	33.5	59.1	55.8	42,4	37,9
2	1	-1	-1	1500	20	2	52.4	42.9	61.7	60.2	50,0	46,3
3	-1	1	-1	600	60	2	45.9	41.1	61.8	61.1	47,5	45,5
4	1	1	-1	1500	60	2	57.8	51.3	68.4	67.5	49,9	47,7
5	-1	-1	1	600	20	4	45.0	12.2	57.9	45.4	42,9	13,1
6	1	-1	1	1500	20	4	58.9	26.1	61.7	55.3	45,0	27,0
7	-1	1	1	600	60	4	49.3	32.7	60.3	57.5	45,3	31,7
8	1	1	1	1500	60	4	62.7	45.0	67.2	65.3	48,1	42,6
9	-0.11 11	-1	-1	1000	20	2	54.1	42.2	62.2	60.3	47,7	42,3
10	-0.11 11	1	1	1000	60	4	56.9	35.8	65.1	61.6	45.8	37,6
11	-1	0	-1	600	40	2	42.4	38.2	63.8	60.3	45,3	43,5

12	1	0	1	1500	40	4	61.7	38.4	65.3	62.5	45,5	36,5
13	-1	-1	0	600	20	3	44.3	22.2	59.2	51.8	46,1	29,9
14	1	1	0	1500	60	3	59.3	48.7	69.1	67.3	51,1	47,1

- e. Максимална твърдост горе и долу с ограничение на интензитета (x_1) – равен на 1000 (средно ниво) и време (x_2) 20 s (долно ниво);
- f. Максимална твърдост горе и долу с ограничение на: интензитета (x_1) – равен или по-малък от 1000; времето (x_2) – равно или по-малко от 40 (средно ниво)
- g. Максимална твърдост горе и долу с ограничение на интензитета (x_1) – равен на 600 (долно ниво) и време (x_2) 20 s (долно ниво);
- h. Максимална твърдост горе и долу с ограничение на интензитета (x_1) – равен на 600 (долно ниво) и време (x_2) 40 s (средно ниво);
- i. Максимална твърдост горе и долу с ограничение на интензитета (x_1) – равен на 600 (долно ниво) и време (x_2) 60 s (горно ниво);

Като условие при оптимизацията, за всеки един композит е приета средната стойност на твърдостта по горната повърхност, получена при експеримента, а за твърдост по долната повърхност – 80% от твърдостта по горната повърхност.

4.2. Изчисляване параметрите на фотополимеризация чрез софтуер MatLab.

Поставените ограничителни условия за оптимизацията - средна стойност на твърдостта по горната повърхност, получена при експеримента и за твърдост по долната повърхност – 80% от твърдостта по горната повърхност доведоха до получаване на некоректни решения на уравненията от регресионния анализ за някои режими на УФК *Evetric*. Тези некоректни решения са за параметри на фотополимеризация, при които стойностите на

твърдостта по горната повърхност са по-малки от допустимите или разликата в твърдостта между горна и долна повърхности е по-голяма от 20%.

Това наложи разработването на програма за софтуерния продукт *MatLab* на основата на регресионните модели, с помощта на която по зададени управляващи фактори интензитет (x_1) и време на облъчване (x_2) да бъдат изчислени твърдостите по горна и долна повърхнини и дебелина на слоя, като бъде спазено изискването разликата между твърдостите на повърхнините да бъде 20%.

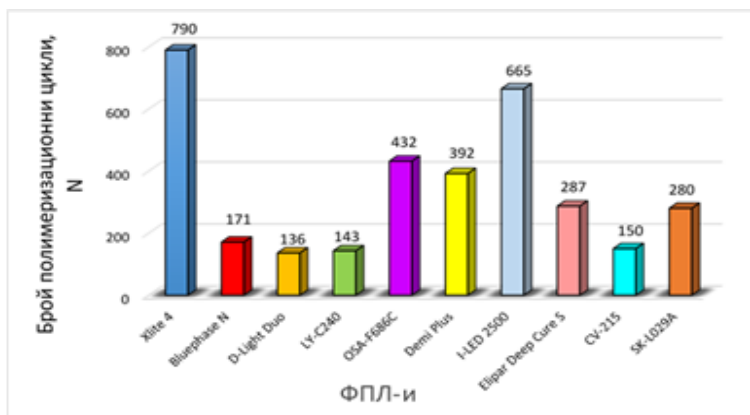
С помощта на разработената програма за всеки от изследваните композити са изчислени максимална твърдост по горната повърхнина, 80% твърдост по долната повърхнина и дебелина на слой, който я гарантира за вариации на времето на облъчване от 20, 40 и 60 s и при интензитет на ФПЛ-и, изследвани в задачи 1 и 2, който е в обхвата 600-1500 mW/cm².

РЕЗУЛТАТИ и АНАЛИЗ по ЗАДАЧА 1

Изследване на зависимостта между светлинния интензитет на безжични светодиодни ФПЛ-и и заряда на батерията.

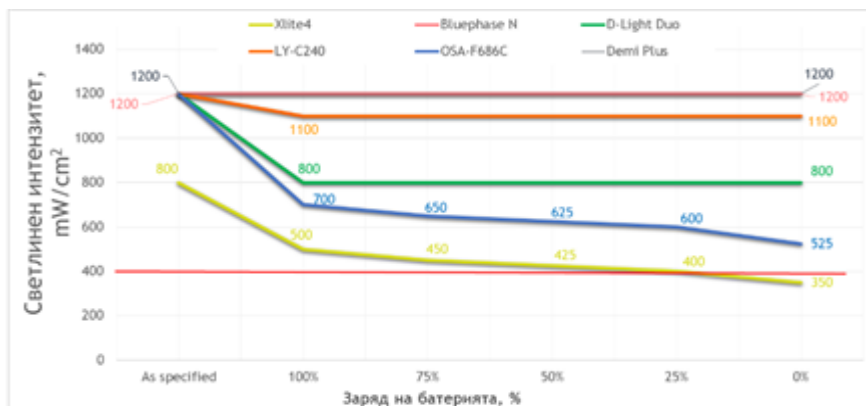
В настоящото проучване ФПЛ-и са разделени на две групи в зависимост от светлинния интензитет. В първата група влизат 6 ФПЛ-и с интензитет на светлината по-малък от 1200 mW/cm^2 , а във втората – 4 ФПЛ-и с интензитет на светлината по-голям от 1200 mW/cm^2 .

На *фиг. 7.* е показан животът на батериите на отделните ФПЛ-и, изразен чрез брой полимеризационни цикли. Ясно се вижда, че има голяма разлика в живота на батериите на различните ФПЛ-и в двете групи. Не се открива определена зависимост нито с интензитета на излъчваната светлина, нито с големината на вълновия обхват.

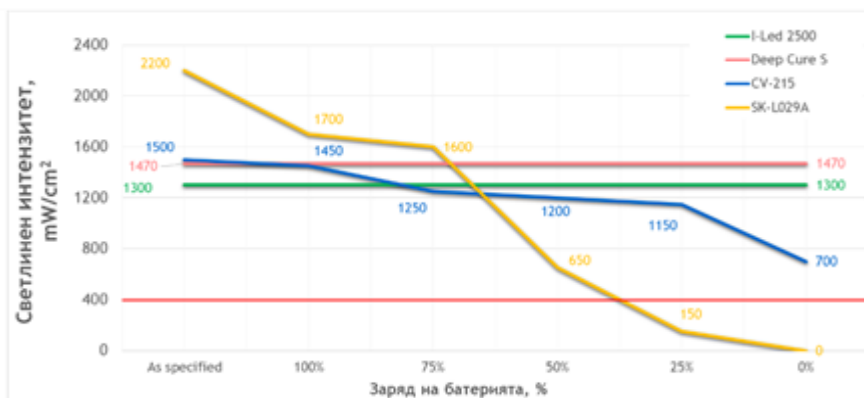


Фиг. 7. Живот на батерията на ФПЛ-и, изразен чрез брой полимеризационни цикли

При изследването на светлинния интензитет на 10-те ФПЛ-и е установено, че при 6 от тях (*LY-C240, SK-L029A, CV-215, OSA-F686C, Xlite 4, D-Light Duo*) реалният интензитет е по-нисък от посочения по спецификация, а при 4 от тях (*SK-L029A, CV-215, Xlite 4, OSA-F686C*) интензитетът се понижава с разреждане на батерията, респективно увеличаване броя на полимеризационните цикли. Това доказва, че при някои светодиодни ФПЛ-и продължителността на работа и зарядът на



Фиг. 8. Промяна на светлинния интензитет на светодиодни ФПЛ-и ($I_L < 1200 \text{ mW/cm}^2$) с намаляване на заряда на батерията.



Фиг. 9. Промяна на светлинния интензитет на светодиодни ФПЛ-и ($1200 < I_L < 2200 \text{ mW/cm}^2$) с намаляване на заряда на батерията.

батерията оказват влияние върху интензитета на излъчваната от тях светлина (фиг. 8. и фиг. 9.)

Настоящото проучване показва, че при 60% от изследваните устройства реалният интензитет не отговаря на посочения от производителя. При 40% от лампите светлинният интензитет се понижава с намаляване на заряда на батерията, като при някои пада под минимално необходимите 400 mW/cm^2 (за постигане на пълноценна полимеризация на КМ светлинният интензитет на ФПЛ трябва да бъде най-малко 400 mW/cm^2 при 60 секунди облъчване [Rueggeberg FA et al, 1994]).

Изводи:

- При някои устройства (LY-C240, SK-L029A, CV-215, OSA-F686C, Xlite 4, D-Light Duo) интензитетът на светлината е по-нисък от посочения от производителя, което може да бъде причина за неправилно определяне на оптималното време за полимеризация.

- При шест от изследваните ФПЛ-и - Bluephase N, D-Light Duo, LY-C240, Demi Plus, I-LED 2500 и Elipar Deep Cure S, светлинният интензитет е стабилен и не зависи от заряда на батерията.

- При останалите модели (SK-L029A, CV-215, Xlite 4, OSA-F686C) разреждането на батерията е причина за намаляване на интензитета на светлината, което води до непълноценна полимеризация на КМ. Дадени са препоръки за ефективно приложение на тези ФПЛ-и за получаване на obturation с високо качество.

- Необходимо е денталните лекари периодично да правят измервания с радиометър на светлинния интензитет на ФПЛ-и и редовно да ги поставят на зарядните станции, особено при зависимите от батерията модели.

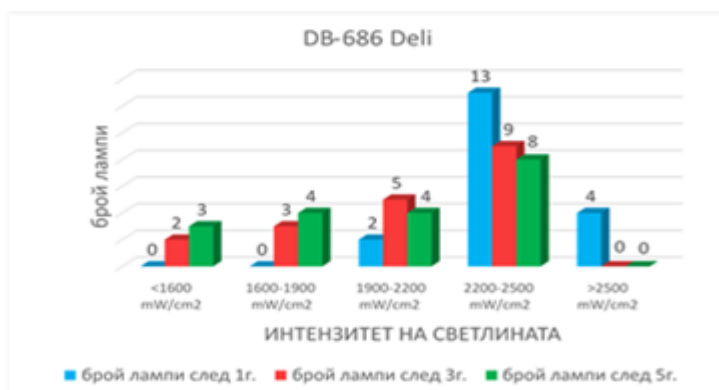
- Необходимо е да се направят допълнителни изследвания относно стабилността на светлинния интензитет на ФПЛ-и в зависимост от продължителността на тяхната употреба.

РЕЗУЛТАТИ и АНАЛИЗ по ЗАДАЧА 2

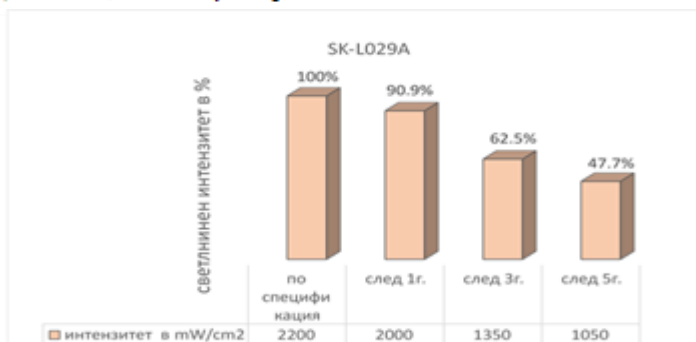
Изследване на светлинния интензитет на светодиодни ФПЛ-и след различен период на употреба

- **ФПЛ-и от група 1**

При първата група ФПЛ-и (24 устройства от три различни модела) измерванията са направени след 1г., 3г. и 5г. от употребата им. Прави впечатление, че само при едно устройство е измерен светлинен интензитет по-малък от 400 mW/cm^2 , което го прави негодно за употреба. В същото време, обаче, при всички лампи се забелязва спад на интензитета в различна степен – от 2% до 83%. Тази разлика се отдава от една страна на разликата в моделите, а от друга – в различната натовареност при работа с устройствата (колкото повече полимеризационни цикли осъществи една ФПЛ – толкова повече намалява светлинния интензитет). Сравнителният анализ на средния спад в проценти след 3г. употреба, показва че той е най-малък при *Smart Xpress* (Bluedent) – 0%, следва *DB-686 DELI* (Сохо) – 13,2%, а най-голям е при *SK-L029A* (Spark Dental) – 37,5%. Последователността се запазва и след 5г. на експлоатация, съответно *Smart Xpress* – 16,2%, *DB-686 DELI* – 20,1%, и *SK-L029A* – 52,3%. (фиг. 10, 11. и 12.)



Фиг. 10. Измерване на светлинния интензитет на ФПЛ DB-686 Deli (Сохо) след 1г., 3г. и 5г. употреба.



Фиг. 11. Промяна на светлинния интензитет на ФПЛ SK-L029A (Spark Dental) за 5 годишен период на употреба.



Фиг. 12. Промяна на светлинния интензитет на ФПЛ Smart Xpress (Blue dent) за 5 годишен период на употреба.

- **ФПЛ-и от група 2**

Втората група ФПЛ-и включва 30 устройства от 2 различни модела - *Minident* (Vigodent) и *Masterdent* (Vigodent), тествани съответно след 7г и 9г. употреба. Трябва да се отбележи, че светлинният интензитет на всички изследвани лампи е между 800 mW/cm^2 и 1300 mW/cm^2 , като няма нито една с интензитет под минимално допустимия от 400 mW/cm^2 и нито една с интензитет по-малък от 700 mW/cm^2 , колкото е зададения по спецификация. Тези резултати потвърждават тезата, че моделът и честотата на използване са от голямо значение за намаляването на светлинния интензитет с напредване на клиничната възраст на ФПЛ-и.

- **ФПЛ-и от група 3**

Най-драстична промяна в светлинния интензитет е установена при ФПЛ-и от третата група - *LD Max* (Gnatus) – след 10 години експлоатация 31 от 40 устройства или 77,5% са негодни за употреба, тъй като светлинният интензитет е под минимално допустимите 400 mW/cm^2 (фиг. 13.)



Фиг. 13. Измерване на светлинния интензитет на *LD Max* (Gnatus) след 10г. употреба

Настоящото проучване показва, че денталните лекари трябва бъдат добре запознати с характеристиките на своите ФПЛ-и и периодично да ги проверяват с радиометър, защото с увеличаване на времето на употреба на устройствата намалява техният светлинен интензитет. Измерването се налага, поради две причини: първо, защото ярката синя светлина от лампата може да бъде с много нисък интензитет и второ, защото повърхността на композита може да е видимо твърда, но в дъното на obturation степенята на мономер-полимерна конверсия да е ниска. В някои случаи спадът на светлинния интензитет е незначителен, но в други е драстичен и е причина за поправка или подмяна на устройствата – 34% или приблизително 1/3 от изследваните в настоящото проучване ФПЛ-и са негодни за употреба след 10 години от въвеждането им в експлоатация.

Изводи:

- *Установена е обратна зависимост между времето на експлоатация на светодиодните ФПЛ и техният светлинен интензитет – колкото по-дълго време и по-интензивно е използвана една лампа, толкова по-нисък е нейният интензитет.*
- *Намаляването на светлинния интензитет с увеличаване времето на употреба на устройствата е различно за различните модели, а също и за различните устройства от един и същи модел.*
- *Близо 1/3 или 34% от изследваните ФПЛ-и са с интензитет на светлината по-малък от 400 mW/cm^2 , което ги прави негодни за работа след 10 години на употреба.*
- *Лекарите по дентална медицина трябва редовно да измерват светлинния интензитет на фотополимерните си лампи, особено с увеличаване времето на тяхната употреба, за да осигурят дълготрайност на своите възстановителни процедури.*

РЕЗУЛТАТИ и АНАЛИЗ по ЗАДАЧА 3

Влияние на факторите на процеса на фотополимеризация върху твърдостта на дентални композити

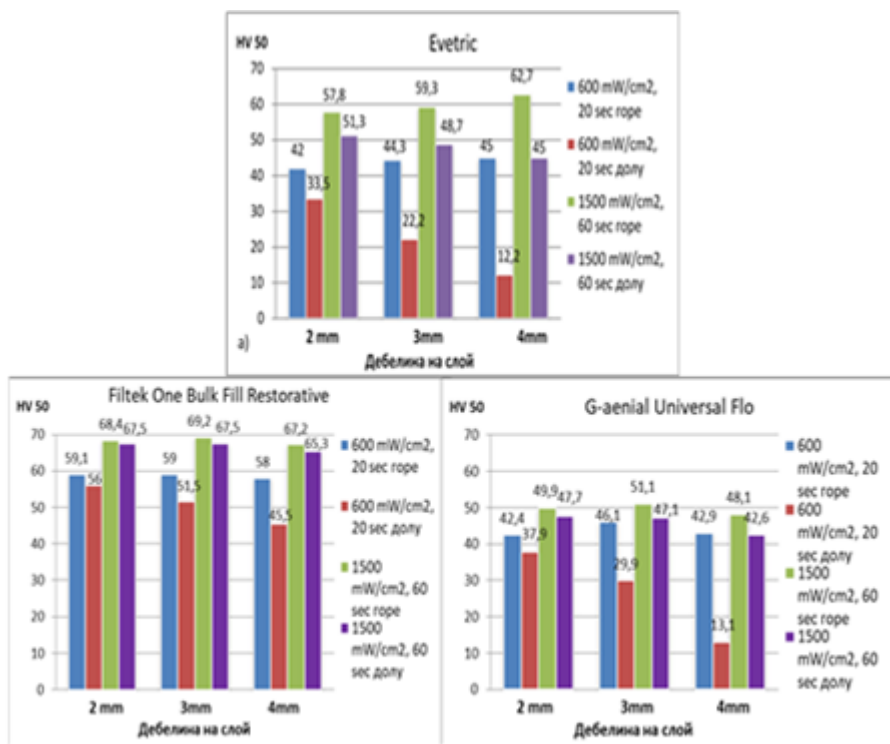
В настоящата работа е изследвано влиянието на трите основни фактора на фотополимеризацията – интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слоя, върху твърдостта на трите изследвани композита.

Ръководен принцип за определяне дали материалът в долната част на обтурацията е пълноценно полимеризирал е когато разликата между максималната твърдост на повърхността на композита и тази в дъното е не повече от 20% [Price RB et al, 2003; Yap AU et al, 2003; Bouschlicher MR et al, 2004]. Съобщава се още, че съотношението KHN top-to-bottom от 80% съответства на съотношението на степента на конверсия top-to-bottom от 90% [Price RB et al, 2003].

3.1. Твърдост на изследваните композити

При еднакви условия на полимеризация се получават различни стойности на микротвърдост по Викерс за трите композита – най-малка е твърдостта на ТФК *G-aenial Universal Flo* (42.4-51.1 HV по горна повърхност / 13.1-47.1 HV по долна), следвана от тази на УФК *Evetric* (42-62.7 HV / 12.2-51.3 HV), а най-голяма е на БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* (58-69.2 HV / 45.5-67.5 HV) (*фиг. 14*). Получените резултати могат да се обяснят с различията в състава на материалите – съотношението органичен матрикс/пълнител от една страна, а от друга – вида на неорганичните пълнежни частици. При ТФК *G-aenial Universal Flo*, чийто вискозитет е най-малък, тегловото съотношението матрикс/пълнител е 31/69 %. Големото съдържание на органичен

матрикс в състава на този композит обуславя и неговите сравнително ниски стойности на HV.



Фиг. 14. Твърдост на изследваните композити получена при еднакви условия на фотополимеризация.

БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* е композитът с най-голяма твърдост, въпреки че в състава си има по-голямо количество органичен матрикс отколкото УФК *Evetric* – съотношението матрикс/пълнител за първия е 23,5/76,5 %, а за втория – 19-20/80-81 %. Тези резултати могат да се обяснят с разликите в състава на неорганичната компонента – в БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* са инкорпорирани керамични и циркониеви частици, които притежават висока твърдост. Тези пълнители не се срещат в композицията на УФК *Evetric*, но за

сметка на това там има преполимери, които се характеризират с по-малка твърдост.

При сравняване на трите композита по отношение на разликата в твърдостта между горна и долна повърхност се установи, че при УФК *Evetric* разлика над допустимите 20% се получава в най-много случаи – при 41% от изследваните образци. При ТФК *G-aenial Universal Flo* се наблюдава по-добро полимеризиране на материала в целия му обем дори и при по-голяма дебелина на слоя от 3 и 4 mm – разликата в твърдостта между горна и долна повърхност е над 20% в 29% от случаите. Изключително близки стойности на HV по горна и долна повърхности се получават при БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative*, като едва 7% от изследваните образци дават разлика в твърдостта по-голяма от 20%.

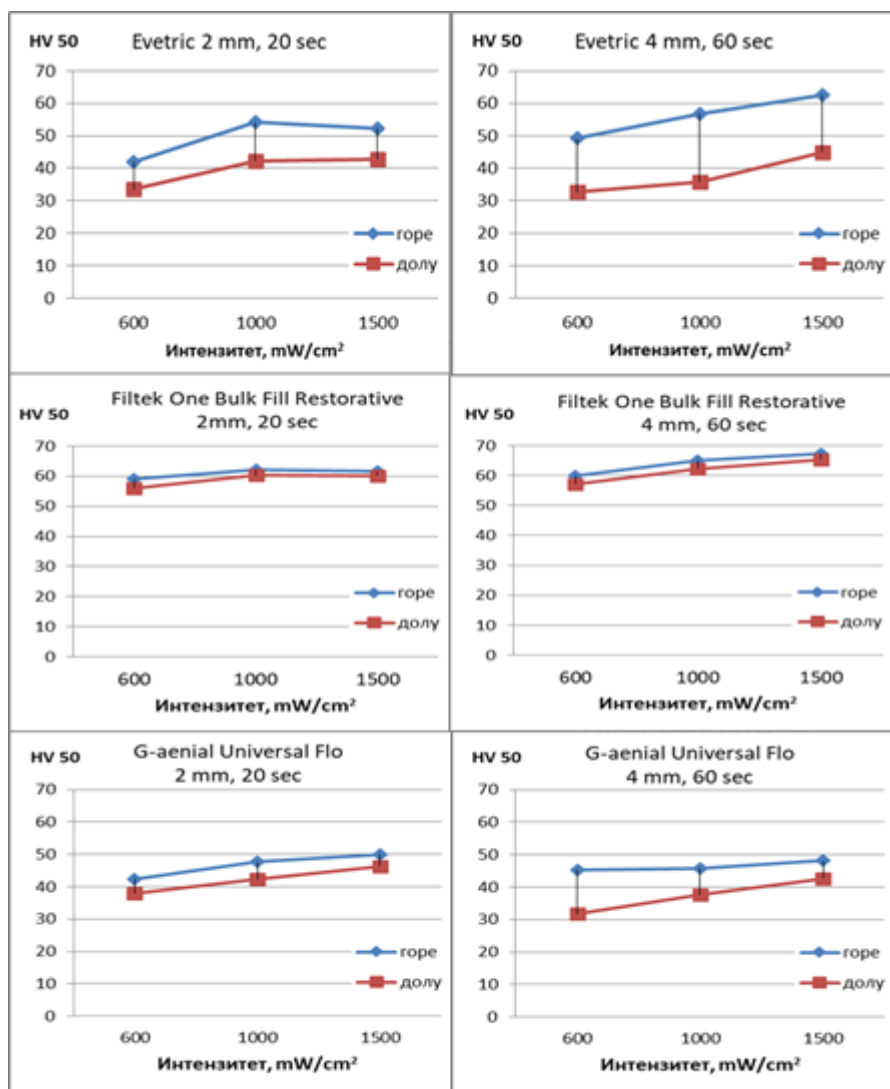
Анализът на резултатите показва, че различните фактори на фотополимеризацията влияят по различен начин върху твърдостта по двете повърхности на композитите.

При константни време на облъчване и дебелина на слоя, с увеличаването на интензитета на светлината се повишава твърдостта приблизително равномерно и по двете повърхности и при трите композита (*фиг. 15*). Повишението на твърдостта е най-силно изразено при УФК *Evetric*, следвано от ТФК *G-aenial Universal Flo*, а най-слабо е влиянието на интензитета при БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative*.

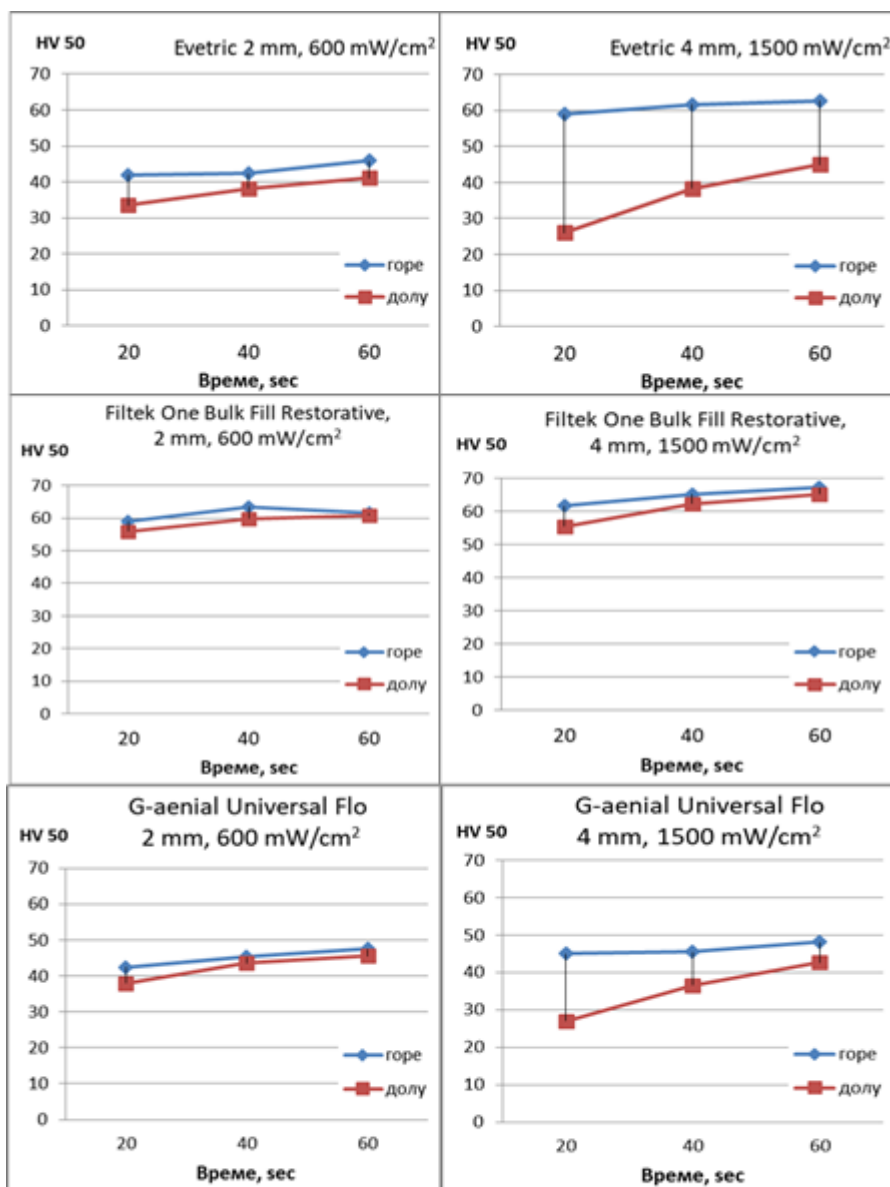
Повишаването на времето на облъчване при непроменени светлинен интензитет и дебелина на слоя води до увеличаване на твърдостта предимно по долната повърхност и при трите материала (*фиг. 16*). Времето оказва най-силно влияние върху твърдостта по долната повърхност на УФК *Evetric* и ТФК *G-aenial Universal Flo*.

При константни интензитет на светлината и време на облъчване, обаче, промяната в дебелината на слоя влияе по сходен начин върху твърдостта по горната повърхност – тя остава почти непроменена, но по различен начин върху твърдостта по долната повърхност (*фиг. 17*). При УФК *Evetric* увеличаването на

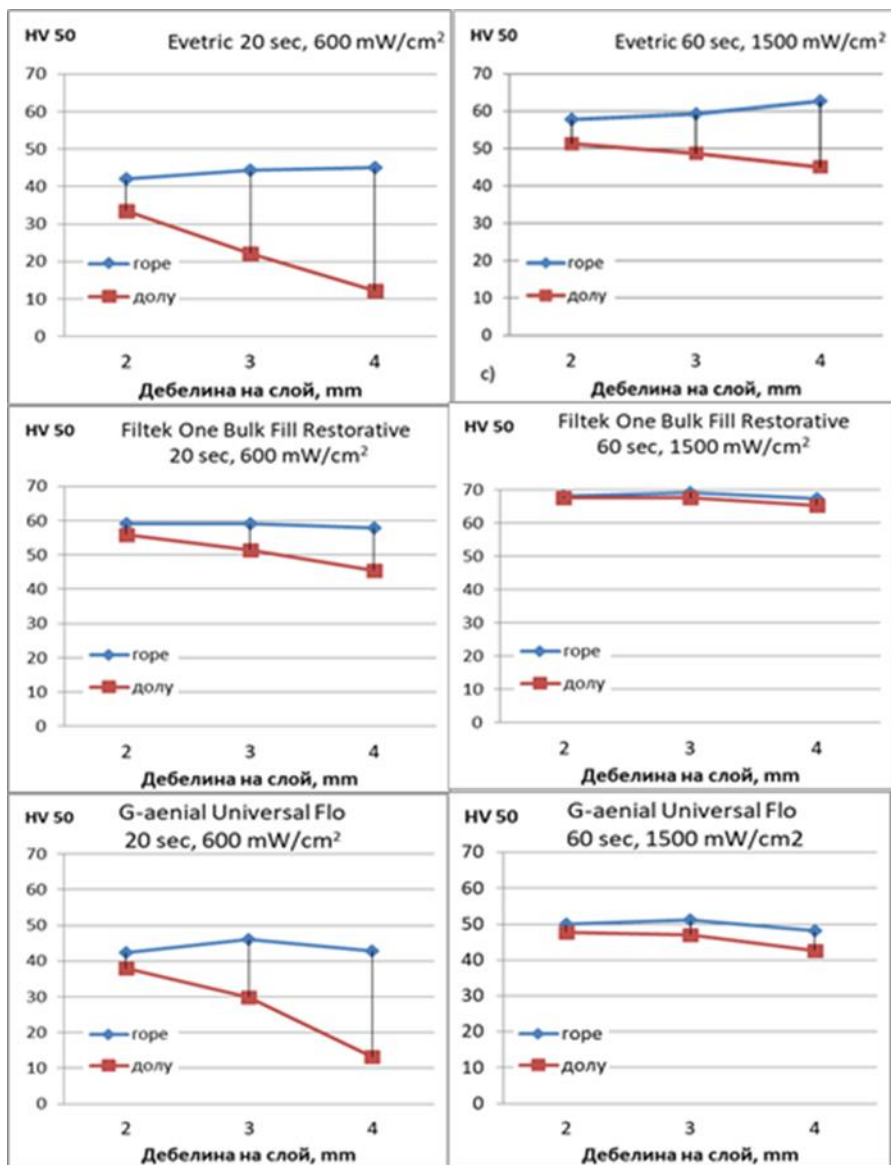
дебелината води до силно намаляване на твърдостта по дъното на обтурацията. При БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* се наблюдава точно обратното - увеличаването на дебелината на слоя не води до промяна в твърдостта по долната повърхност. ТФК *G-aenial Universal Flo* заема място по средата между другите два композита, тъй като при малък интензитет и кратко полимеризационно време твърдостта по дъното на материала намалява осезаемо с увеличаването на дебелината, а при голям интензитет и увеличено полимеризационно време твърдостта остава сравнително непроменена.



Фиг. 15. Влияние на интензитета на светлината върху твърдостта на изследваните композити при дебелина на слоя и време на облъчване съответно 2 mm/20 sec и 4 mm/ 60 sec.

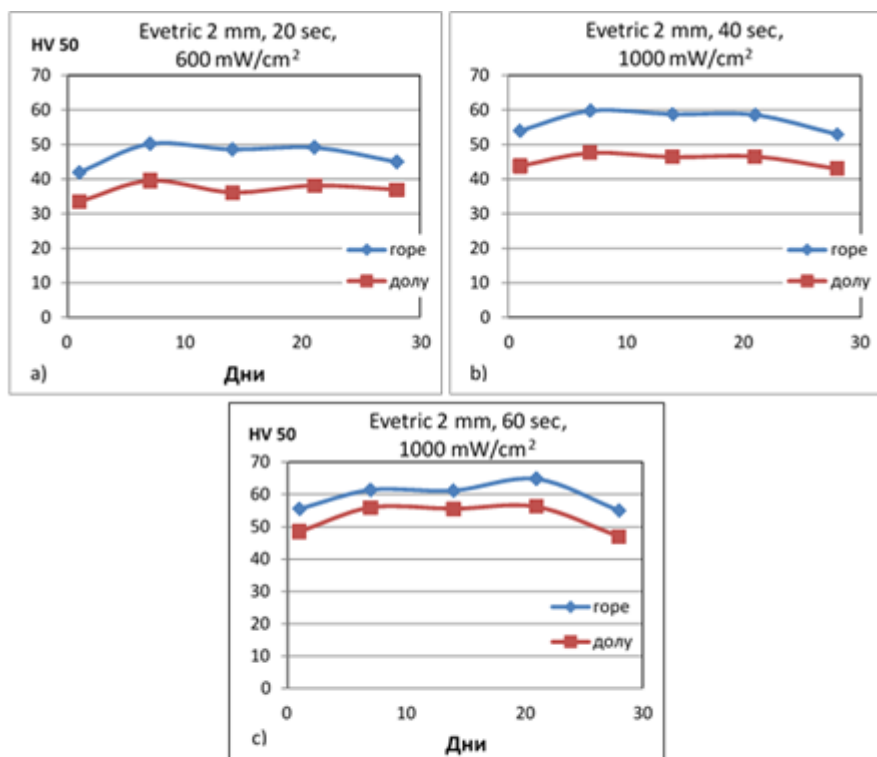


Фиг. 16. Влияние времето на облъчване върху твърдостта на изследваните композити при дебелина на слоя и интензитет на светлината съответно 2 mm/600 mW/cm² и 4 mm/1500 mW/cm²



Фиг. 17. Влияние на дебелината на слой върху твърдостта на изследваните композити при интензитет на светлината и време на облъчване съответно $600 \text{ mW/cm}^2 / 20 \text{ s}$ и $1500 \text{ mW/cm}^2 / 60 \text{ s}$.

Резултатите от 4-те допълнителни измервания на микротвърдостта по Викерс на УФК *Evetric* в интервал от 28 дни показват, че поведението на материала е еднакво и при трите комбинации от параметри - до 7-ми ден се забелязва повишение на твърдостта и по двете повърхности – между 11% и 20% за горна и 9% и 18% за долна повърхност. Тази по-висока твърдост се запазва за период от 14 дни - до 21-ви ден, след което при последното измерване на 28-мия ден твърдостта на материала се понижава и почти достига до първоначалните си стойности (фиг.18).



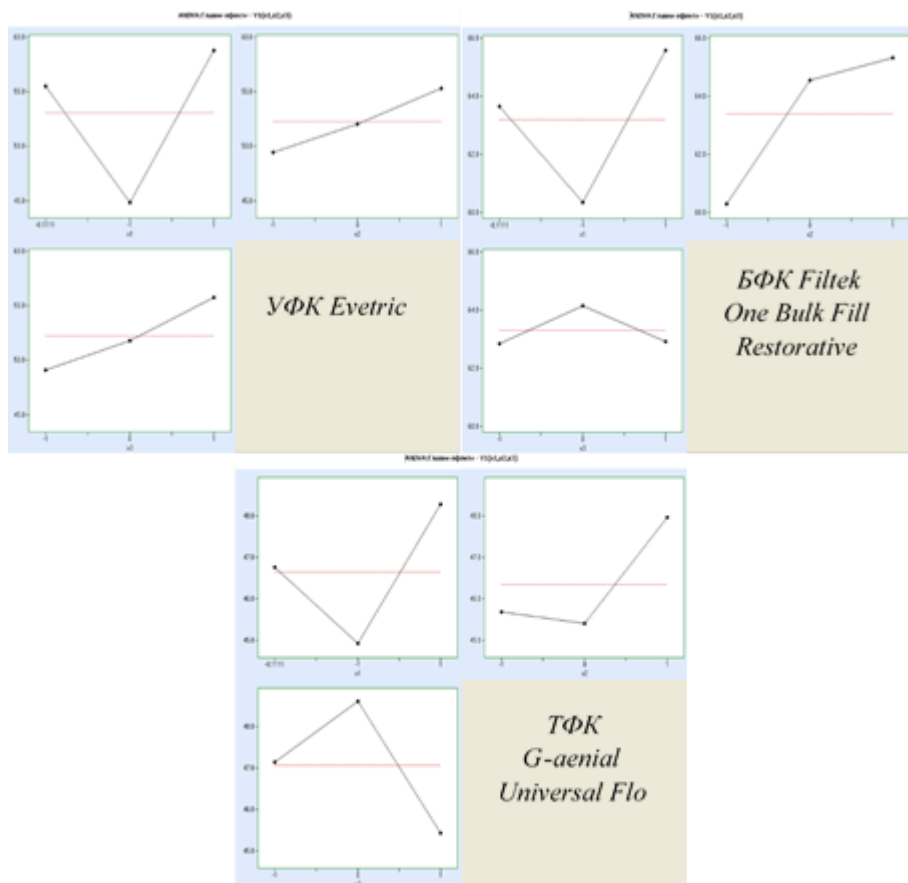
Фиг. 18. Влияние на фактора стареене върху твърдостта на УФК *Evetric* при дебелина на слоя 2 mm и светлинен интензитет/време на облъчване: 600 mW/cm²/20 s – a), 1000 mW/cm²/40 s – b) и 1000 mW/cm²/60 s – c).

Повишението на твърдостта през първата седмица потвърждава резултатите на Yilmaz EÇ et al, 2016 и Yilmaz EÇ et Sadeler R, 2018, като това навярно се дължи на продължаващ процес на полимеризация по целия обем на композита. От друга страна, редица автори [Deliperi S, 2002; van Dijken JW et Pallesen U, 2011; Subbiya A et al, 2015; Baroudi K et Mahmoud S, 2015] доказват, че полимеризационното свиване води до възникване на напрежения в композитната обтурация, което допълнително ще повлияе върху твърдостта. С течение на времето започва релаксация на вътрешните напрежения и съответно понижението на твърдостта. **За доказване на тази хипотеза са необходими допълнителни изследвания.**

3.2. Влияние на факторите на процеса на фотополимеризация върху твърдостта на изследваните композити

Влиянието на факторите на процеса на фотополимеризация - интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слоя е изследвано чрез дисперсионен анализ ANOVA. Този метод от една страна потвърждава влиянието на всеки един фактор върху твърдостта, от друга - дава възможност да се определят значимостта на отделните фактори и тяхното взаимно влияние.

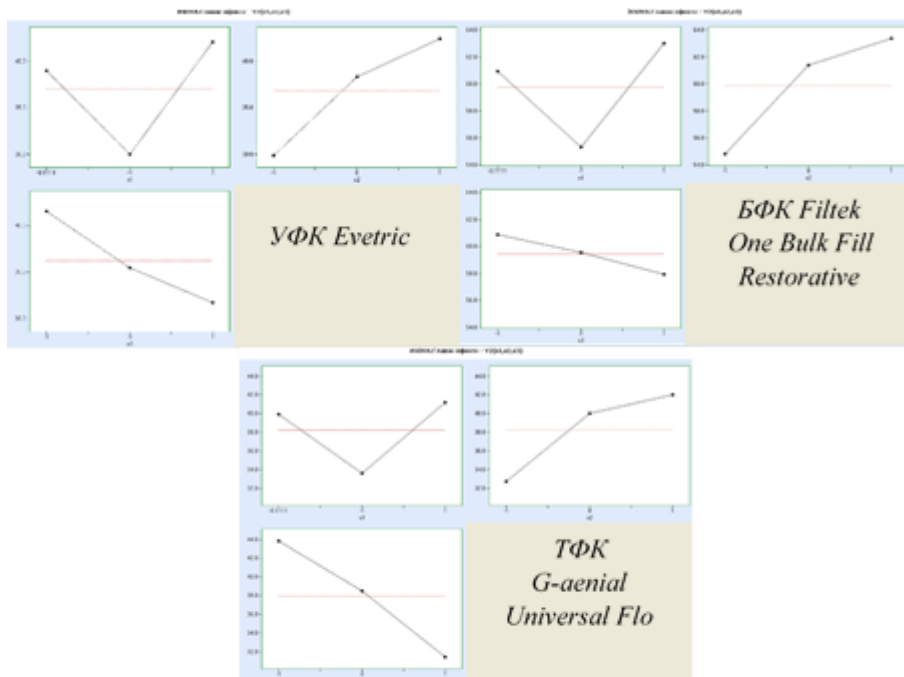
От графиките на *фиг. 19* се вижда, че най-значимият фактор за твърдостта по горната повърхност на УФК *Evetric* е интензитетът на светлината (x_1), следван от дебелината на слоя (x_3) и времето на облъчване (x_2). Следователно, интензитетът на ФПЛ оказва най-голямо влияние върху твърдостта по горната повърхнина на композитната обтурация. Максимална твърдост по горната повърхнина се получава при максимални стойности на трите параметъра – интензитет, време и дебелина на слоя (1500 mW/cm²/60s/4mm), а минимална – при минимални стойности на параметрите (600 mW/cm²/20s/2mm).



Фиг. 19. Влияние на отделните фактори на фотополимеризацията върху твърдостта по горната повърхност на изследваните композити.

Най-значим фактор при БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* е интензитетът на светлината, следван от времето на облъчване и дебелината на слоя (фиг. 19). Максимална твърдост по горната повърхнина се получава когато интензитетът на светлината и времето на облъчване имат най-високи стойности (1500 mW/cm² и 60 s) при средна стойност на дебелината на слоя от 3 mm. Докато работата с минималните стойности на трите фактора (600

mW/cm², 20 s и 2 mm) гарантира минимална твърдост по горната повърхнина.



Фиг. 20. Влияние на отделните фактори на фотополимеризацията върху твърдостта по долната повърхност на изследваните композити.

За ТФК *G-aenial Universal Flo*, аналогично на УФК *Evetric*, най-значим фактор за твърдост по горната повърхнина е интензитетът, следван от дебелината и времето (фиг. 20). Но за разлика от него, отделните фактори оказват различно влияние върху целевата функция. Максимална твърдост по горната повърхнина се получава при максимални стойности на интензитета и времето на облъчване (1500 mW/cm² и 60 s) и при средна сройност на дебелината на слоя от 3 mm. Докато минимална твърдост се получава в резултат на работа с

минимален интензитет 600 mW/cm^2 , време на облъчване от 40 s и максимална дебелина на слоя 4 mm.

Относно влиянието на отделните фактори върху твърдостта по долната повърхност на обтурацията за УФК *Evetric* най-значими фактор е дебелината на слоя (x_3), следван от времето на облъчване (x_2) и интензитета на светлината (x_1) (фиг. 20.). Максимална/минимална твърдост по долната повърхнина се получава при максимални/минимални стойности на първите два параметъра – интензитет и време (1500 mW/cm^2 и 60s / 600 mW/cm^2 и 20s), а стойностите на третия параметър – дебелина на слой са съответно минимални/максимални (2 mm/4 mm).

При твърдостта по долната повърхнина на БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* (фиг. 20.), обаче, най-значим фактор е времето, следван от интензитета и дебелината. Максимална/минимална твърдост по долната повърхнина се получава при максимални/минимални стойности на интензитета и времето (1500 mW/cm^2 и 60s / 600 mW/cm^2 и 20s) и при минимална/максимална дебелина на слоя, съответно 2 mm/4 mm.

За твърдостта по долната повърхнина на ТФК *G-aenial Universal Flo* с най-голяма значимост е дебелината на слоя, следван от времето на облъчване и интензитета на светлината. И тук, както и при УФК *Evetric*, максимална/минимална твърдост по долната повърхнина се получава при максимални/минимални стойности на първите два параметъра – интензитет и време (1500 mW/cm^2 и 60 s / 600 mW/cm^2 и 20 s), докато стойностите на третия параметър – дебелина на слой са минимални/максимални (2 mm / 4 mm).

Изводи:

- *Настоящото изследване показва, че най-висока е твърдостта на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative (65 +/-4 HV), следвана от УФК Evetric (56 +/-4 HV), а с най-ниска твърдост се характеризира ТФК G-aenial Universal Flo (47 +/-4 HV).*

- *БФК Filtek One Bulk Fill Restorative е композитът с най-голяма твърдост и с най-малка разлика в твърдостта*

между горна и долна повърхност (1-22%) независимо от дебелината на слоя. Това показва превъзходството на бълк фил пред конвенционалните композити по отношение на степента на полимеризация.

- УФК Evetric заема междинно положение по отношение на твърдостта в сравнение с БФК и ГФК. При него разликата в твърдостта между горна и долна повърхност е най-голяма (11-73%). При полимеризация на слой с дебелина 4 mm разликата в твърдостта превишава 20% при всички комбинации от интензитет и време.

- Твърдостта на ГФК G-aenial Universal Flo е най-малка в сравнение с другите два композита при всички режими на полимеризация. Това трябва да се вземе под внимание при възстановяването на обширни разрушения по оклузалната повърхност на дистални зъби, при пациенти със силно развита дъвкателна мускулатура и/или парафункции. Разликите в твърдостта между горна и долна повърхност варират между 4-69%, като големите разлики са характерни при работа с нисък интензитет, кратко време на облъчване и голяма дебелина на слоя.

- Независимо от вида на денталния композит, интензитетът на светлината влияе равномерно върху твърдостта в целия обем на материала, а времето на облъчване въздейства основно върху твърдостта в долната част на композитния слой.

- С увеличаване на дебелината на слоя твърдостта по горната повърхност на композиционните материали не се изменя. Влиянието върху твърдостта по долната повърхност е различно в зависимост от вида на композита – от несъществена промяна при БФК Filtek One Bulk Fill Restorative до силно намаление при УФК Evetric.

- Най-значимият фактор, който оказва влияние върху твърдостта по горната повърхност и на трите композита е интензитетът на светлината, следван от следван от дебелината на слоя и времето на облъчване при УФК Evetric и

ТФК G-aenial Universal Flo. За БФК Filtek One Bulk Fill Restorative времето на облъчване е на второ място, следвано от дебелината на слоя.

• *Най-значим фактор, който оказва влияние върху твърдостта по долната повърхност на УФК Evetric и ТФК G-aenial Universal Flo, е дебелината на слоя, следван от времето на облъчване и интензитета на светлината. За БФК Filtek One Bulk Fill Restorative най-значим фактор е времето, следван от интензитета и дебелината на слоя.*

• *Параметрите на фотополимеризацията, които осигуряват максимална/минимална твърдост по горната повърхност са различни за изследваните дентални композити:*

- *При УФК Evetric максимална/минимална твърдост се получава при максимални/минимални стойности на трите параметъра – интензитет, време и дебелина на слоя (1500 mW/cm^2 , 60s и 4mm / 600 mW/cm^2 , 20s и 2mm).*
- *При БФК Filtek One Bulk Fill Restorative максимална твърдост по горната повърхнина се получава при най-високи стойности на интензитета и времето (1500 mW/cm^2 и 60 s) и средна стойност на дебелината на слоя от 3 mm. Работата с минималните стойности на трите фактора (600 mW/cm^2 , 20 s и 2 mm) гарантира минимална твърдост.*
- *За ТФК G-aenial Universal Flo максимална твърдост по горната повърхнина се получава при максимални стойности на интензитета и времето (1500 mW/cm^2 и 60 s) и средна сройност на дебелината на слоя от 3 mm. Минимална твърдост се получава при работа с минимален интензитет 600 mW/cm^2 , време на облъчване от 40 s и максимална дебелина на слоя 4 mm.*

• *Параметрите на фотополимеризацията, които осигуряват максимална/минимална твърдост по долната повърхност са идентични за изследваните дентални композити –максимални/минимални стойности на интензитета и времето*

(1500 mW/cm² и 60 s / 600 mW/cm² и 20 s) и минимална/максимална дебелина на слоя 2 mm / 4 mm.

• При всички видове композити най-голяма твърдост на обтурацията се получава при комбиниране на най-големия интензитет, най-дългото времетраене и най-малката дебелина на слоя.

• Установена е неравномерна твърдост на УФК Evetric за 28 дневен период от време - повишаване с 9-20% до 7-ми ден, запазване на тази по-висока твърдост до 21-ви ден и понижение до първоначалните стойности на 28-мия ден.

РЕЗУЛТАТИ и АНАЛИЗ по ЗАДАЧА 4

Оптимизация на параметрите на процеса на фотополимеризация на денталните композити

За всеки композит са изчислени дебелина на слоя и твърдост по горна и долна повърхности за 21 режима на фотополимеризация с интензитет на светлината в обхвата 600-1500 mW/cm² и време на облъчване 20, 40 и 60 s.

4.1. УФК Evetric

Регресионните моделии за целевите функции Y_1 – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2 – твърдост по долната повърхнина на УФК Evetric имат следния вид:

$$Y_1 = 56.266 + 6.402x_1 + 1.5325x_2 + 2.0025x_3 - 4.458x_1^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = 35.936 + 6.118x_1 + 6.459x_2 - 6.991x_3 + 1.189x_1x_3 + 3.089x_2x_3 \quad (6)$$

С помощта на регресионните модели са направени оптимизации с вариране на управляващите фактори интензитет

(x_1) и време на облъчване (x_2) с цел получаване максимална твърдост по горна повърхнина на композита, твърдост по долна повърхнина, равна на 80% от тази по горната повърхнина, и дебелина на слоя, който ги осигурява. Като условие при оптимизацията за УФК *Evetric* е приета твърдост по горната повърхност 56 +/-4 HV, а за твърдост по долната повърхност - 80% от 56 +/-4 HV. За този композит са направени общо 9 оптимизации с различни комбинации на вариране на параметрите интензитет (x_1) и време на облъчване (x_2), представени в *т.1* на “*Материали и методи по задача 4*”.

Таблица 8.

Оптимални режими на фотополимеризация на УФК Evetric, получени чрез регресионен анализ.

№	I mW/ cm ²	t s	d mm	HV Горе	HV Долу	Забележка
1	1500	60	3,10	60,0	48,0	Режими, които удовлетворяват изискването от max HV 56 +/-4 по горна повърхност и HV по долна повърхнина ≥ 80%
2	1500	40	3,05	58,3	41,6	
3	1500	20	2,35	55,3	41,6	
4	1000	60	2,85	57,0	43,0	
5	1000	40	2,15	53,9	41,6	
6	1000	20	Некоректно решение			Разликата в HV между горна и долна повърхности е по-голяма от 20%
7	600	60	Некоректно решение			Стойностите на HV по горната повърхност са по-малки от допустимата 56 +/-4
8	600	40	Некоректно решение			
9	600	40	Некоректно решение			

Резултатите в *таблица 8.* показват, че поставените ограничителни условия за оптимизацията водят до получаване на некоректни решения на уравненията от регресионния анализ за някои режими. Тези некоректни решения се отнасят до параметри на фотополимеризация, при които стойностите на твърдостта по горната повърхност са по-малки от допустимите или разликата в

твърдостта между горна и долна повърхности е по-голяма от 20%. Това наложи прилагането на нов подход към оптимизация на параметрите и разработването на програма за тяхното изчисляване чрез софтуерния продукт *MatLab*.

С помощта на програмата са изчислени максимална твърдост по горната повърхнина, 80% твърдост по долната повърхнина и дебелина на слой, който я гарантира за вариации на времето на облъчване от 20, 40 и 60 s и при интензитет на ФПЛ, изследвани в задачи 1 и 2, който е в обхвата 600-1500 mW/cm². Получените резултати за УФК *Evetric* са дадени в *таблица 9*.

<i>Таблица 9.</i>						
<i>Параметри на фотополимеризация на УФК Evetric.</i>						
ФПЛ-и, използвани в задачи 1 и 2	№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина mm	Твърдост, HV 50	
					Горе	Долу
<i>Xlite4</i> (ThreeH, China)	1	600	20	2.09	42.05	33.64
	2	600	40	2.33	44.07	35.26
	3	600	60	2.81	46.56	37.25
<i>OSA-F686C</i> (Osaka Dental, China)	4	700	20	1.97	45.00	36.00
	5	700	40	2.19	46.97	37.58
	6	700	60	2.62	49.36	39.48
<i>D-Light Duo</i> (GC, Japan)	7	800	20	1.88	47.57	38.05
	8	800	40	2.08	49.49	39.59
	9	800	60	2.46	51.80	41.44
<i>LY-C240</i> (BDMED, China)	10	1000	20	1.78	51.53	41.22
	11	1000	40	2.95	53.40	42.72
	12	1000	60	2.31	55.64	44.51
<i>Demi Plus</i> (Kerr, USA) <i>Bluephase N</i> (Ivoclar Vivadent, Lichtenstein)	13	1200	20	1.76	53.96	43.17
	14	1200	40	1.98	55.86	44.69
	15	1200	60	2.39	58.21	46.57
<i>I-LED 2500</i> (Woodpecker, China)	16	1300	20	1.85	54.61	43.69
	17	1300	40	2.06	56.57	45.26
	18	1300	60	2.54	59.07	47.26
<i>Elipar Deep Cure S</i> (3M ESPE, USA); <i>CV-215</i> (Cicada Dental, China);	19	1500	20	2.07	54.82	43.85
	20	1500	40	2.39	56.98	45.59

SK-L029A (Spark Dental, China); Smart Xpress (Bluedent, Bulgaria) DB-686 DELI (Coho, China)	21	1500	60	3.17	60.08	48.06
---	----	------	----	------	-------	-------

Данните в *таблица 9*. могат да бъдат обособени в 3 групи. В първата група влизат режимите на фотополимеризация, които не осигуряват необходимата твърдост по горна и долна повърхнини, което пък е признак за непълна полимеризация. Това са режимите с интензитет 600-700 mW/cm² за всички времена на облъчване и интензитет 800 mW/cm² за време 20 и 40 s. Втората е граничната група с два режима: **800 mW/cm² - 60 s и 1000 mW/cm² - 20 s, които осигуряват твърдост, близка до долната граница.** Имайки предвид повишаването на твърдостта на композита с течение на времето, установено в „*Резултати и анализ по задача 3*“, тези режими може да се считат за приемливи. Към третата група спадат всички режими с интензитет 1000 mW/cm² с време 40 и 60 s, както и тези над 1000 mW/cm². Те гарантират максимална твърдост по горната повърхнина HV_{max} и 80% HV_{max} по долната повърхнина, като е изчислена дебелината на слоя композит за всяко време на облъчване.

Нашите резултати показват, че при този случай може да се работи с дебелина на слоя до 2.39 mm за 1200 mW/cm², 2.54 mm за 1300 mW/cm² и 3.17 mm за 1500 mW/cm². От друга страна, фирмата-производител препоръчва 2-милиметров композитен слой да се полимеризира за 20 s при интензитет на ФПЛ между 500 и 1000 mW/cm² и за 10 s при интензитет над 1000 mW/cm². Получените от нас резултати опровергават тези препоръки, тъй като при спазване на указаните параметри не би се получила задоволителна твърдост на материала.

4.2. БФК Filtek One Bulk Fill Restorative

За БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* регресионните модели за целевите функции Y_1 – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2 – твърдост по долната повърхнина имат

следния

ВИД:

$$Y_1 = 64.55 + 2.327x_1 + 2.256x_2 - 0.704x_3 - 1.866x_2^2 + 1.003x_1x_2 \quad (10)$$

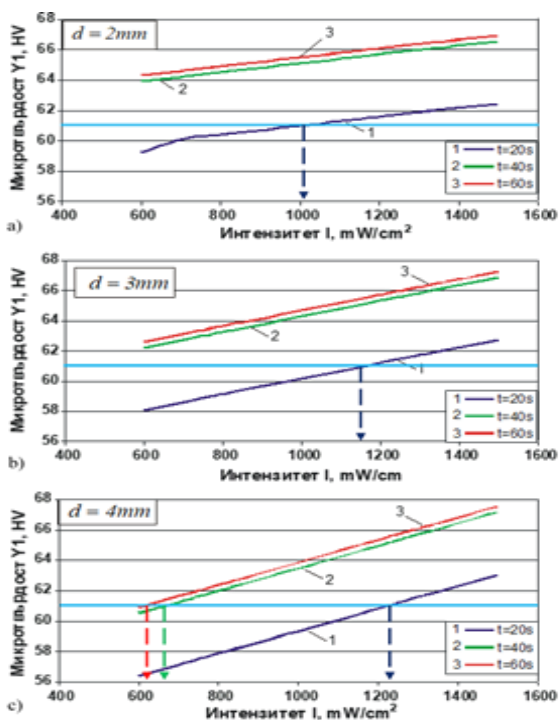
$$Y_2 = 59.113 + 3.596x_1 + 4.170x_2 - 2.740x_3 + 1.162x_1x_3 + 1.397x_2x_3 \quad (11)$$

Като условие при оптимизацията на параметрите за БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* е приета твърдост по горната повърхност 65 +/-4 HV, а за твърдост по долната повърхност-80% от 65 +/-4 HV. Получените резултати са дадени в *таблица 10*.

<i>Таблица 10.</i>						
<i>Параметри на фотополимеризация на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative.</i>						
№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина mm	Твърдост, HV 50		Y ₂ / Y ₁
				Горе, Y ₁	Долу, Y ₂	
1	600	20	3.86	56.63	45.30	0.80
2	600	40	4.72	59.29	48.81	0.82
3	600	60	8.36	53.47	46.27	0.86
4	700	20	4.03	57.08	46.94	0.82
5	700	40	4.99	59.78	49.07	0.82
6	700	60	9.30	53.78	46.33	0.86
7	800	20	4.23	57.58	47.06	0.82
8	800	40	5.31	60.35	49.31	0.82
9	800	60	10.58	54.08	46.20	0.85
10	1000	20	4.71	58.78	47.26	0.80
11	1000	40	6.16	61.72	49.66	0.80
12	1000	60	15.35	54.61	44.70	0.82
13	1200	20	5.34	60.34	47.38	0.78
14	1200	40	7.50	63.66	49.73	0.78
15	1200	60	32.66	54.75	36.13	0.66
16	1300	20	5.73	61.32	47.39	0.77
17	1300	40	8.51	65.03	49.57	0.76
18	1300	60	91.26	53.28	Няма физически смисъл	
19	1500	20	6.79	63.89	47.27	0.74
20	1500	40	12.07	69.59	48.39	0.70
21	1500	60	Резултатите нямат физически смисъл			

От *таблица 10.* се вижда, че единствено при $I=600 \text{ mW/cm}^2$ и $t=20 \text{ s}$ съществува дебелина 3.86 mm в интервала $2\text{-}4 \text{ mm}$, при която отношението „твърдост – долу” към „твърдост – горе” е равно на 0.8 и точността на изчислените микротвърдости (горе – 56.63 HV ; долу – 45.30 HV) е гарантирана. За всички останали комбинации „интензитет – време” от таблицата, изчислената гранична дебелина е по-голяма от горната граница на интервала $2\text{-}4 \text{ mm}$. При този композит, за всички комбинации от таблицата (без първата), отношението „твърдост – долу” към „твърдост – горе” е по-голямо или по-малко от 0.8 . За съответните изчислени дебелини (те са по-големи от 4 mm , т.е. те са извън дефинирания интервал $2\text{-}4 \text{ mm}$), точността на изчислените микротвърдости не е гарантирана, тъй като регресионните модели са в сила само за интервалите, в които се променят управляващите фактори.

Графиките на *фиг. 21.* показват зависимостта на микротвърдостта по горната повърхнина (Y_1) от интензитета, времето и дебелината. Ясно се вижда, че за трите дебелини ($2, 3$ и 4 mm) увеличаването на времето над 40 s е практически ненужно, тъй като микротвърдостта на горната повърхност се увеличава незначително. От *фиг. 20.*, според конкретните условия, може да се избере оптимална комбинация от параметри на фотополимеризация за гарантиране на минималнодопустимата твърдост 61 HV (синята хоризонтална линия на всички графики).



Фиг. 21. Зависимост на микротвърдостта по горната повърхнина от интензитета, времето и дебелината.

Фирмата-производител препоръчва времето на облъчване за 4 mm слой да е 40 s при интензитета в интервала 550-1000 mW/cm² и 20 s при интензитета над 1000 mW/cm² [Technical Product Profile. Filtek One Bulk Fill Restorative]. Но резултатите от нашето изследване показват, че не би се получила задоволителна твърдост при полимеризиране за 40 s с интензитета 550-700 mW/cm² и за 20 s с интензитета 1000-1250 mW/cm².

В таблица 11. са обобщени параметрите на фотополимеризация на БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative*, които осигуряват минимално допустимата твърдост по горната повърхнина 61 HV и твърдост по долната

повърхнина - 80% от тази на горната за дебелина на слой между 2-4 mm.

<i>Таблица 11.</i>			
<i>Параметри на фотополимеризация на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative, които осигуряват минимално допустимата твърдост по горната повърхнина 61 HV и 80% твърдост по долната повърхнина.</i>			
№	Интензитет mW/cm²	Време s	Дебелина на слой mm
1	I>1000	20	2
2	600-1500	40	2
3	I>1000	20	3
4	600-1500	40	3
5	I>1250	20	4
6	700-1250	40	4
7	I<700	60	4

4.3. ТФК G-aenial Universal Flo

Регресионните модели за целевите функции Y_1 – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2 – твърдост по долната повърхнина на ТФК *G-aenial Universal Flo* имат следния вид:

$$Y_1 = 46.762 + 1.715x_1 + 1.054x_2 - 1.326x_3 - 0.766x_1x_3 + 0.730x_1x_2x_3 \quad (13)$$

$$Y_2 = 37.091 + 4.214x_1 + 5.271x_2 - 7.769x_3 + 1.994x_1x_3 + 3.185x_2x_3 \quad (14)$$

Като условие при оптимизацията на параметрите за ТФК *G-aenial Universal Flo* е приета твърдост по горната повърхност 47 +/-4 HV, а за твърдост по долната повърхност - 80% от 47 +/-4 HV. Получените резултати са дадени в *таблица 12*.

Анализът на данните в *таблица 12*. показва, че **всички режими на фотополимеризация удовлетворяват изискването за необходимата твърдост по горната повърхнина**. Прави впечатление, че с **най-ниска твърдост по горната повърхнина са два режима - режим 1, който се характеризира с най-ниски параметри интензитет и време и режим 21 – с най-високите**

параметри. Останалите комбинации от параметри осигуряват HVmax в границите 44.46 – 47.50 HV. При работа с ТФК *G-aenial Universal Flo*, за да се гарантира максимална твърдост по горната повърхност 46-48 HV дебелината на слой не трябва да превишава 5 mm.

Фирмата-производител препоръчва слой от 1.5 mm да се полимеризира за 20 s с интензитет на ФПЛ 700 mW/cm² и за 10 s с интензитет 1200 mW/cm² [Technical Manual. *G-aenial Universal Flo*]. Резултатите от нашето изследване потвърждават, че при спазване на тези указания би се получила задоволителна твърдост, респективно и степен на полимеризация на ТФК *G-aenial Universal Flo*.

Таблица 12.

Параметри на фотополимеризация на ТФК G-enial Universal Flo.

ФПЛ	№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина mm	Твърдост, HV 50	
					Горе	Долу
<i>Xlite4</i> (ThreeH, China)	1	600	20	2.42	43.89	35.11
	2	600	40	2.66	45.24	36.19
	3	600	60	3.23	45.81	36.65
<i>OSA-F686C</i> (Osaka Dental, China)	4	700	20	2.44	44.46	35.57
	5	700	40	2.71	45.64	36.51
	6	700	60	3.37	46.00	36.80
<i>D-Light Duo</i> (GC, Japan)	7	800	20	2.46	45.02	36.02
	8	800	40	2.77	46.02	36.82
	9	800	60	3.54	46.15	36.92
<i>LY-C240</i> (BDMED, China)	10	1000	20	2.51	46.09	36.87
	11	1000	40	2.91	46.68	37.35
	12	1000	60	4.01	46.29	37.03
<i>Demi Plus</i> (Kerr, USA) <i>Bluephase N</i> (Ivoclar Vivadent, Lichtenstein)	13	1200	20	2.57	47.06	37.65
	14	1200	40	3.11	47.16	37.73
	15	1200	60	4.77	46.01	36.81
<i>I-LED 2500</i> (Woodpecker, China)	16	1300	20	2.61	47.50	38.00
	17	1300	40	3.24	47.29	37.84
	18	1300	60	5.37	45.58	36.46
	19	1500	20	2.72	48.22	38.58

<i>Elipar Deep Cure S</i> (3M ESPE, USA); <i>CV-215</i> (Cicada Dental, China); <i>SK-L029A</i> (Spark Dental, China); <i>Smart Xpress</i> (Bluedent, Bulgaria); <i>DB-686 DELI</i> (Cохо, China)	20	1500	40	3.61	47.19	37.75
	21	1500	60	7.63	43.22	34.58

Изводи:

- *Направена е оптимизация чрез регресионен анализ на параметрите на процеса на фотополимеризация на дентални композити от три различни групи: универсален нанохибриден фотополимеризиращ композит Evetric, Bulk Fill фотополимеризиращ композит за постериорни възстановявания Filtek One Bulk Fill Restorative и универсален течен фотополимеризиращ композит с високо съдържание на пълнител G-aenial Universal Flo.*

- *За всички композити са установени и визуализирани регресионни модели за целевите функции Y_1 – твърдост по горната повърхнина на композитния слой и Y_2 – твърдост по долната повърхнина.*

- *Коефициентите пред безразмерните координати на регресионните модели за всички изследвани композити потвърждават изводите от дисперсионния анализ чрез ANOVA.*

- *С помощта на регресионните модели за изследваните композити са направени оптимизации с вариране на управляващите фактори интензитет (x_1) и време на облъчване (x_2) с цел получаване максимална твърдост по горна повърхнина на композита, твърдост по долна повърхнина, равна на 80% от тази по горната повърхнина, и дебелина на слоя, който ги осигурява.*

- *За всеки композит са изчислени дебелина на слой, твърдост по горна и долна повърхнини на образеца за 21 режима на фотополимеризация с интензитет на светлината в обхвата 600-1500 mW/cm² и време на облъчване 20, 40 и 60 s.*

- Установено е, че за УФК Evetric режимите с интензитет под 800 mW/cm^2 не осигуряват необходимата твърдост $56 \pm 4 \text{ HV}$ по горната повърхнина, а при работа с интензитет 800 mW/cm^2 тя е гарантирана само при облъчване от 60 s. При ФПЛ-и с интензитет в обхвата $1000\text{-}1500 \text{ mW/cm}^2$ може да се работи с всички времена на облъчване. Максималните стойности на интензитета и времето (1500 mW/cm^2 и 60 s) осигуряват успешна полимеризация на слой с дебелина 3 mm (горе $60 \text{ HV}/48 \text{ HV}$ долу).

- Установени са препоръчителни режими за БФК Filtek One Bulk Fill Restorative, които осигуряват твърдост по горната повърхнина, по-голяма от минимално допустимата (61 HV), при работа с дебелина на слоя 2-4 mm. При дебелина на слоя над 4 mm, режимите с интензитет $1000\text{-}1500 \text{ mW/cm}^2$ и време на облъчване от 20 и 40 s гарантират необходимата твърдост на горната повърхност и съотношение на твърдост „горе“ към твърдост „долу“ по-малко от 0.8. При този композит успешно може да се полимеризира слой с дебелина 5-7 mm.

- Установено е, че при ТФК G-aenial Universal Flo всички режими на фотополимеризация удовлетворяват изискването за необходимата твърдост, но за да се гарантира нейната максимална стойност $46\text{-}48 \text{ HV}$, дебелината на слоя не трябва да превишава 5 mm.

- Установено е, че указанията за фотополимеризация на фирмата-производител само на ТФК G-aenial Universal Flo гарантират необходимата твърдост, докато препоръчителните режими за УФК Evetric и БФК Filtek One Bulk Fill Restorative не удовлетворяват това изискване.

- Разработени са таблици с препоръчителни режими на фотополимеризация за трите вида композити, които може с лекота да се ползват от зъболекарите в денталните кабинети и клиники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наред с изключителните възможности и удобства, които светлинната полимеризация предоставя на лекарите по дентална медицина, съществуват и редица проблеми, основната група от които е свързана с непълноценната полимеризация на денталните композити. Това, от една страна, се дължи на недостатъчната информираност на лекарите по дентална медицина относно характеристиките, експлоатацията и поддръжката на фотополимеризиращите лампи, а от друга - на ниското ниво на познание и контрол върху основните фактори на фотополимеризацията.

В настоящия дисертационен труд е установено, че при някои светодиодни фотополимерни лампи светлинният интензитет е по-нисък от посочения от производителя, а при една част от безжичните модели разреждането на батерията е причина за намаляването му. Установена е още обратна зависимост между времето на експлоатация на фотополимерните лампи и техния светлинен интензитет – колкото по-дълго време и по-интензивно е използвана една лампа, толкова по-нисък е нейният интензитет. Поради изказаните факти препоръчваме на лекарите по дентална медицина редовно да измерват с радиометър светлинния интензитет на фотополимерните си лампи, особено с увеличаване на времето на тяхната употреба, за да осигурят високо качество и дълготрайност на поставяните от тях композитни obturации.

Резултатите от изследванията на микротвърдостта на денталните композити показват, че указанията за фотополимеризация на производителя не винаги удовлетворяват изискването за висока твърдост. В тези случаи не може да се постигне достатъчна степен на полимеризация на композиционния материал, което пък води до понижена твърдост - предпоставка за намалена абразивоустойчивост на възстановяването. Поради това в дисертационния труд са разработени таблици с препоръчителни режими на

фотополимеризация за три основни вида композити - универсален нанохибриден фотополимеризиращ композит *Evetric*, Bulk Fill фотополимеризиращ композит за постериорни възстановявания *Filtek One Bulk Fill Restorative* и универсален течен фотополимеризиращ композит *G-aenial Universal Flo*. Използването на тези режими определя постигане на висока твърдост на obtурациите.

Получените резултати в дисертационния труд, направените препоръки относно експлоатацията и поддръжката на фотополимеризиращите лампи, както и разработените препоръчителни режими за фотополимеризация на дентални композити са предназначени за приложение в денталните практики. Те ще улеснят ежедневната работа на лекарите по дентална медицина и ще гарантират високо качество на композитните възстановявания.

ПРИНОСИ

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

С оригинален характер

1. Установена е обратна зависимост между времето на експлоатация на светодиодните фотополимеризиращи лампи и техния светлинен интензитет – колкото по-дълго време и по-интензивно е използвана една лампа, толкова по-нисък е нейния интензитет.
2. Установена е значимостта на факторите на процеса на фотополимеризация – интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слой върху твърдостта на три вида дентални композити.
3. Установени са параметрите на фотополимеризацията - интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слой, които осигуряват максимална/минимална твърдост на изследваните композити.
4. Установена е неравномерна твърдост на УФК *Evetric* за 28 дневен период от време - повишаване с 9-20% до 7-ми ден,

запазване на по-високата твърдост до 21-ви ден и понижение до първоначалните стойности на 28-мия ден.

5. Направена е оптимизация чрез регресионен анализ на параметрите на процеса на фотополимеризация - интензитет на светлината, време на облъчване и дебелина на слой на изследваните дентални композити.
6. Разработена е програма за изчисляване на твърдост и дебелина на слоя на денталните композити по зададени интензитет на светлината и време на облъчване.
7. За изследваните композити са изчислени и установени режими на фотополимеризация, които гарантират максимална твърдост при съответната дебелина на слоя.

С потвърдителен характер

1. Потвърдено е, че най-висока е твърдостта на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative (65 +/-4 HV), следвана от УФК Evetric (56 +/-4 HV), а с най-ниска твърдост се характеризира ТФК G-aenial Universal Flo(47 +/-4 HV).

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

С оригинален характер

1. Установено е, че не при всички фотополимеризиращи лампи светлинният интензитет е стабилен - при една част от тях интензитетът е по-нисък от посочения от производителя, като разреждането на батерията води до неговото намаляване.
2. Установено е, че указанията за фотополимеризация на фирмите-производители не винаги гарантират посочената твърдост за отделните дентални композити.
3. Разработени са таблици с препоръчителни режими на фотополимеризация за трите вида изследвани композити, които гарантират необходимата твърдост, и са предназначени да улеснят работата на лекарите по дентална медицина.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Georgiev G. Factors associated with light curing units: a questionnaire survey. *Scr Sci Med Dent*. 2019;5(2):37-43.
2. Georgiev G, Dikova T, Panov V. Development of devices for photo polymerization of dental composites. MATERIALS SCIENCE “NONEQUILIBRIUM PHASE TRANSFORMATIONS”. 2019;1(3):139-42.
3. Georgiev G, Panov V, Dikova T. Investigation of light intensity of wireless LED light curing units. *J Techn Univ Gabrovo*. 2020;60:40-45.

УЧАСТИЯ В НАУЧНИ ФОРУМИ

1. Georgiev G, Panov V, Dikova T. Development of Devices for Photo polymerization of Dental Composites. 29th Annual Assembly of IMAB, 9-12 May 2019, Varna, Bulgaria.
2. Georgiev G, Dikova T, Panov V. Development of devices for photo polymerization of dental composites. V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE: MATERIALS SCIENCE “NONEQUILIBRIUM PHASE TRANSFORMATIONS”. 09-12.09.2019, Varna, Bulgaria.
3. Georgiev G, Panov V, Dikova T. Investigation of the light intensity of LED light curing units after different periods of use. Jubilee 30-th Annual Assembly of IMAB, 18-21 October 2021. Varna, Bulgaria.

ПРЕПОРЪКИ и ПРЕПОРЪЧИТЕЛНИ РЕЖИМИ за ЕФИКАСНА ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ на ДЕНТАЛНИ КОМПОЗИТИ

В настоящото приложение са дадени препоръки и препоръчителни режими за фотополимеризация на трите изследвани композита, които осигуряват:

- 1) максимална твърдост по горната повърхнина,
- 2) твърдост по долната повърхнина, равна на 80% от тази по горната и
- 3) дебелина на слой, който я гарантира за вариации на времето на облъчване от 20, 40 и 60 s и при интензитет на светлината в обхвата 600-1500 mW/cm².

1. Универсален нанохибриден фотополимеризиращ композит *Evetric*

1.1. Препоръки за ефикасна фотополимеризация:

- Не всички режими на фотополимеризация с интензитет в обхвата 600-1500 mW/cm² и време на облъчване 20-60 s осигуряват необходимата твърдост по горната повърхнина на обтурация от УФК *Evetric*.
- Не се препоръчва да се използват фотополимерни лампи, които работят с интензитет под 800 mW/cm².
- При ФПЛ-и с интензитет 800 mW/cm² е необходимо обтурацията да се облъчва 60 s за да се гарантира необходимата твърдост.
- При ФПЛ-и с интензитет в обхвата 1000-1500 mW/cm² може да се работи с всички времена на облъчване.
- Увеличаване времето на облъчване от 20 до 60 s води до повишаване дебелината на слоя композит и твърдостта.

- При работа с максимални стойности на интензитета и времето (1500 mW/cm² и 60 s) може успешно да се полимеризира слой с дебелина 3 mm и твърдост по горната повърхност 60 HV.

1.2. Препоръчителни режими за УФК *Evetric*:

<i>Препоръчителни режими за фотополимеризация на УФК Evetric.</i>					
№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина на слой mm	Твърдост, HV 50	
				Горе	Долу
1	800	60	2.46	51.80	41.44
2	1000	20	1.78	51.53	41.22
3	1000	40	2.95	53.40	42.72
4	1000	60	2.31	55.64	44.51
5	1200	20	1.76	53.96	43.17
6	1200	40	1.98	55.86	44.69
7	1200	60	2.39	58.21	46.57
8	1300	20	1.85	54.61	43.69
9	1300	40	2.06	56.57	45.26
10	1300	60	2.54	59.07	47.26
11	1500	20	2.07	54.82	43.85
12	1500	40	2.39	56.98	45.59
13	1500	60	3.17	60.08	48.06

2. Bulk Fill фотополимеризиращ композит за постериорни възстановявания *Filtek One Bulk Fill Restorative*

2.1. Препоръки за ефикасна фотополимеризация:

- При фотополимеризация на БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative* не е необходимо обтурацията да се облъчва 60 s, тъй като увеличаването на времето над 40 s не води до значително увеличение на твърдостта по горната повърхнина.

- При работа с дебелина на слоя в обхвата 2-4 mm, режимите на фотополимеризация могат да се подбират от *таблица 4.4*.

- При работа с дебелина на слоя, по-голяма от 4 mm, режимите на фотополимеризация е необходимо да се подбират от *таблица 4.7*.

- В таблица 4.7. е посочена максималната дебелина на слоя, при която е удовлетворено условието за висока твърдост по горната повърхност и твърдост по долната повърхнина, равна на 80% от тази по горната.

2.2. Препоръчителни режими за БФК *Filtek One Bulk Fill Restorative*:

<i>Препоръчителни режими за фотополимеризация на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative.</i>			
№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина на слой mm
1	I>1000	20	2
2	600-1500	40	2
3	I>1000	20	3
4	600-1500	40	3
5	I>1250	20	4
6	700-1250	40	4
7	I<700	60	4

<i>Препоръчителни режими на фотополимеризация на БФК Filtek One Bulk Fill Restorative при дебелина на слоя, по-голяма от 4 mm.</i>					
№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина на слой mm	Твърдост, HV 50	
				Горе	Долу
1	800	40	5.31	60.35	49.31
2	1000	40	6.16	61.72	49.66
3	1200	20	5.34	60.34	47.38
4	1200	40	7.50	63.66	49.73
5	1300	20	5.73	61.32	47.39
6	1500	20	6.79	63.89	47.27

3. Универсален течен фотополимеризиращ композит с високо съдържание на пълнител *G-aenial Universal Flo*

3.1. Препоръки за ефикасна фотополимеризация:

- Всички режими на фотополимеризация с интензитет в обхвата 600-1500 mW/cm² и време на облъчване 20-60 s

удовлетворяват изискването за необходимата твърдост по горната повърхнина на обтурацията.

- За да се гарантира максимална твърдост от 46-48 HV по горната повърхнина, дебелината на слоя не трябва да превишава 5 mm.

- Всички режими от таблицата може да се използват за успешна фотополимеризация на обтурация от ТФК *G-aenial Universal Flo*.

3.2. Препоръчителни режими за ТФК *G-aenial Universal Flo*

<i>Препоръчителни режими за фотополимеризация на ТФК G-aenial Universal Flo.</i>						
№	Интензитет mW/cm ²	Време s	Дебелина на слой mm	Твърдост, HV 50		
				Горе	Долу	
1	600	20	2.42	43.89	35.11	
2	600	40	2.66	45.24	36.19	
3	600	60	3.23	45.81	36.65	
4	700	20	2.44	44.46	35.57	
5	700	40	2.71	45.64	36.51	
6	700	60	3.37	46.00	36.80	
7	800	20	2.46	45.02	36.02	
8	800	40	2.77	46.02	36.82	
9	800	60	3.54	46.15	36.92	
10	1000	20	2.51	46.09	36.87	
11	1000	40	2.91	46.68	37.35	
12	1000	60	4.01	46.29	37.03	
13	1200	20	2.57	47.06	37.65	
14	1200	40	3.11	47.16	37.73	
15	1200	60	4.77	46.01	36.81	
16	1300	20	2.61	47.50	38.00	
17	1300	40	3.24	47.29	37.84	
18	1300	60	5.37	45.58	36.46	
19	1500	20	2.72	48.22	38.58	
20	1500	40	3.61	47.19	37.75	
21	1500	60	7.63	43.22	34.58	

Conclusion

Along with the exceptional opportunities that photo polymerization provides to dentists, there are a number of problems, the main group of which is related to the incomplete polymerization of dental composites. This, on the one hand, is due to the lack of information of dentists about the characteristics, operation and maintenance of light curing units, and on the other - the low level of knowledge and control over the main factors of photopolymerization.

In the present dissertation it was found that in some LED light curing units the light intensity is lower than specified by the manufacturer, and in some wireless models the discharge of the battery is the reason for its reduction. An inverse relationship between the service life of light curing units and their light intensity was also found - the longer and more intensively a unit is used, the lower its intensity is. Due to the stated facts, we recommend dentists to regularly measure the light intensity of their light curing units with a radiometer, especially by increasing the time of their use to ensure higher quality and longevity of their composite restorations.

The results of microhardness tests of dental composites show that the manufacturer's light curing guidelines do not always meet the requirement for high hardness. In these cases, a sufficient degree of polymerization of the composite can not be achieved, which in turn leads to reduced hardness - a prerequisite for reduced wear resistance of the restoration. Therefore, in the dissertation are developed tables with recommended light curing modes for three main types of composites - universal nanohybrid light cured composite *Evetric*, bulk fill light cured composite for posterior restorations *Filtek One Bulk Fill Restorative* and universal flowable light cured composite *G-aenial Universal Flo*. The use of these modes allows the achievement of high hardness of the restorations.

The obtained results in the dissertation, the recommendations made regarding the operation and maintenance of light curing units, as well as the developed recommended regimes for light curing of dental composites are intended for application in dental offices. They will

facilitate the daily work of dentists and will guarantee high quality composite restorations.