УДК 616.314.15-002-74

**ВПЛИВ ФАКТОРУ КОНФІГУРАЦІЇ ПОРОЖНИНИ НА ПРОГНОЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ РЕСТАВРАЦІЇ**

Костенко Є.Я., Войтович В.І., , Гончарук-Хомин М.Ю.

Кафедра терапевтичної стоматології ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

**Резюме. Вступ.** Розробка параметру конфігурації порожнини була обґрунтована потребою квантифікації співвідношення показників полімеризаційної усадки та полімеризаційного стресу у відповідності до особливостей геометрії відпрепарованого каріозного дефекту. Однак за даними різних досліджень рівень розподілу полімеризаційного стресу більш виражено залежить від абсолютних розмірів досліджуваних зразків реставрацій, а не безпосередньо від показника С-фактору, що проте не було в достатній мірі інтерпретовано з точки зору клінічної значимості отриманих результатів. **Мета.** Проаналізувати вплив фактору конфігурації відпрепарованої порожнини на успішність функціонування прямих реставрацій у процесі розробки моделі прогностичної оцінки розподілу напруг на межі інтерфейсу композитного матеріалу та тканин зуба. **Матеріали та методи.** Для проведення пошуку використовувалась форму пошуку Google Scholar (<http://scholar.google.com>) із застосуванням її розширених функцій. В результаті використання операторів «пошук за фразою» та «в заголовку» були сформовані наступні набори ключових слів «С-factor», «dental cavity configuration», «cavity geometry», «direct restoration», «composite restoration», які застосовувалися у різних комбінаціях. Кожний отриманий результат пошуку за комбінацією ключових слів представляв собою набір академічних робіт відповідної тематики, які в подальшому підлягали контент-аналізу. **Результати дослідження.** Виходячи із наведених літературних даних був підтверджений факт зменшення рівня усадочного стресу при зростанні кількісного показника С-фактору, та зниження прогностичного показника успішності композитної реставрації при аналогічній тенденції. Показники С-фактору у діапазоні 0,3-2,3 не є гранично критичними з точки зору ризику формування мікропроміжку між композитом та стінкою зуба у порівнянні із показниками С-фактору, що наближаються до 3,0. **Висновок.** Подальша розробка складної моделі скінчених елементів з репрезентацією у її структурі елементів різної щільності (зокрема емалі, дентину, різних композитних та прокладочних матеріалів) та відповідною математичною аргументацією векторів полімеризаційної усадки та стресу, дозволить об’єктивізувати кумулятивний вплив показника С-фактору на успішність функціонування композитної реставрації, виходячи із полінаправленості напруг на межі бондингового інтерфейсу композитного матеріалу та тканин зуба.

**Вступ.** Розробка параметру конфігурації порожнини була обґрунтована потребою квантифікації співвідношення показників полімеризаційної усадки та полімеризаційного стресу у відповідності до особливостей геометрії відпрепарованого каріозного дефекту. Класично, С-фактор виражається як співвідношення кількості стінок реставрації, що контактує із стінками зуба за рахунок бондингу, до кількості так званих вільних стінок, які не контактують із структурою зуба [1, 2]. Виходячи з цього та особливостей механізму полімеризації сучасних композитних матеріалів, первинно було висунуто гіпотетичне припущення, що показник полімеризаційного стресу зростає паралельно із збільшенням значення показника С-фактору. Одні з перших досліджень, направлених на визначення ролі С-фактору у прогнозі успішного функціонування реставрацій, були проведені Feilzer A.J., який аналізував вплив варіації С-фактору, використовуючи циліндричні зразки реставрацій різної довжини та діаметру [3, 4]. В ході проведених експериментів вдалось встановити, що полімеризаційний стрес насправді зменшується із зростанням показника С-фактору різних досліджуваних зразків. Однак за даними різних досліджень рівень розподілу полімеризаційного стресу більш виражено залежить від абсолютних розмірів досліджуваних зразків реставрацій, а не безпосередньо від показника С-фактору, що проте не було в достатній мірі інтерпретовано з точки зору клінічної значимості отриманих результатів [5,6].

Тому подальший аналіз впливу С-фактору на прогноз функціонування композитної реставрації шляхом виокремлення у структурі останнього параметрів полімеризаційної напруги, усадки та маргінальної адаптації є актуальним науково-практичним питанням стоматології, що потребує відповідного вирішення.

**Мета дослідження:** проаналізувати вплив фактору конфігурації відпрепарованої порожнини на успішність функціонування прямих реставрацій у процесі розробки моделі прогностичної оцінки розподілу напруг на межі інтерфейсу композитного матеріалу та тканин зуба.

**Матеріали та методи дослідження.** З метою реалізації мети дослідження було проведено аналіз наукових публікацій з глибиною пошуку 10 років, завдання котрого полягало у наступному: виокремленні аспектів впливу фактору конфігурації порожнини на параметри полімеризаційної усадки та полімеризаційного стресу; визначенні відповідності застосовуваних підходів вивчення ролі С-фактору у прогнозі успішності функціонування прямих композитних реставрацій; пошуку нових підходів до інтеграції показників конфігурації, об’єму та топографії каріозної порожнини у єдину математичну модель, яка б передбачала можливості для аналізу розподілу стресових чинників в залежності від типу застосовуваного матеріалу, специфіки його внесення та адаптації з метою подальшої профілактики сколів реставрації та її часткової або повної дезінтеграції.

Для проведення пошуку використовувалась форму пошуку Google Scholar (<http://scholar.google.com>) із застосуванням її розширених функцій. В результаті використання операторів «пошук за фразою» та «в заголовку» були сформовані наступні набори ключових слів «С-factor», «dental cavity configuration», «cavity geometry», «direct restoration», «composite restoration», які застосовувалися у різних комбінаціях. Кожний отриманий результат пошуку за комбінацією ключових слів представляє собою набір академічних робіт відповідної тематики, які в подальшому підлягали контент-аналізу.

**Результати дослідження та їх обговорення.** У своєму дослідження Wang Z. та Сhiang M.Y.M. визначити С-фактор як дескриптор зняття напруги матеріалу, який є більш корелятивним до показника рівня полімеризаційного стресу, але не обов’язково до його амплітуди [7]. Кореляція між С-фактором та амплітудою полімеризаційного стресу є особливо залежною від сумісності використовуваної дослідницької системи з урахуванням специфіки геометрії порожнини та необхідності відновлення несучих структур зуба.

У дослідженні специфічної ролі С-фактору та об’єму реставрації на розвиток мікропідтікання та усадочної напруги між параметрами конфігурації порожнини та досліджуваними результуючими показниками не було відмічено явної лінійної асоціації (r=0,048, p=0,6210). Однак значуща кореляція на рівні r=0,724 була зареєстрована між об’ємом виконаної реставрації та прогресуванням мікропідтікання у експериментальних умовах [8]. При цьому Braga R.R. та колеги (2006) відмітили, що дослідження впливу С-фактору на рівень мікропідтікання в експериментальних умовах є доцільним лише у випадках порівняння реставрацій однакового об’єму, оскільки останній параметр є більш визначальним для зміни показників усадкового стресу [9].

Watts D.C. та Sattertwaite J.D. встановили, що хоча С-фактор і впливає на характер співвідношення однонаправлених усадки-стресу, однак останній показник залежить не тільки від величини С-фактору, а й від характеру його формування – специфічної геометрії порожнини [10]. Крім того, дослідники визначали наявність нелінійної залежності між параметрами висоти та діаметру досліджуваних композитних зразків по відношенню до одноосьових полімеризаційних усадки та стресу. При цьому сервоконтрольовані моделі аналізу на думку Watts D.C. та Sattertwaite J.D. не представляють собою необхідний варіант дизайну дослідження змін композиту, що відбуваються в ході його полімеризації, враховуючи варіативність геометрії каріозних порожнин [10]. Wang Z. та Сhiang M.Y.M. також звернули увагу на проблему вибору відповідних методів дослідження для встановлення ролі параметру С-фактору на формування полімеризаційного стресу та полімеризаційної усадки. Автори відмітили, що загальноприйнятий тренд інтерпретації залежності змін С-фактору та похідних параметрів наступний: усадочний стрес зменшується при зростанні показника С-фактору [7]. Однак при виборі для дослідження несумісних або невідповідних систем аналізу такі тренди інтерпретації можуть варіювати, змінюючись у окремих випадках до абсолютно реверсивних.

Fok A. та Aregawi W.A. запропонували свою інноваційну трьохмірну модель дослідження параметру С-фактору виходячи із необхідності забезпечення сумісності запропонованого підходу різним клінічним та експериментальним умовам [5]. Дослідники обгрунтовували необхідність використання корекційного фактору, як похідної функції від С-фактору, а також коефіцієнта поперечної деформації та товщини пограничного шару досліджуваних зразків, з використанням яких можливо більш прогнозовано оцінювати розвиток полімеризаційного стресу. Такий підхід авторів був обґрунтований тим, що по суті стоматологічна реставрація представляє собою складну за формою структуру, яка у різних ділянках піддається різному впливу сил стиснення та розтягу. Наприклад, поверхневий шар реставрацій піддається переважно площинним двохосьовим напругам, в той час, коли припульпарний шар – трьохосьовому впливу, який в залежності від об’єму може взагалі не залежати від форми порожнини. Таким чином, стає зрозуміло, що розподіл стресу у структурі пломби є нерівномірним, і не може бути проаналізований виходячи лише із положення про С-фактор.

У дослідженні De Silca E.M. (2007) авторам вдалось встановити, що показник С-фактору на рівні 3,4 провокує розвиток мікропроміжку між композитом та тканинами зуба у всіх досліджуваних експериментальних зразках. Результати аналізу Стьюдента-Ньюмана-Кейлса підтвердили статистично вищі показники формування мікрозазору між композитом та тканинами зубами при С-фактор=3,4 у порівнянні із показниками фактору конфігурації порожнини на рівнях 2,6 та 1,8 (p<0.0001) [11]. Більше того, при останніх показниках С-фактору формування мікрозазору відмічалося лише у одному із усіх випадків кожної досліджуваної групи зразків, і різниця між такими не була статистично значимою (p>0.05). Результати інших суміжних досліджень також вказують на те, що показники С-фактору у діапазоні 0,3-2,3 є не настільки критичними у порівнянні із такими, що наближаються до 3,0. У дослідженні Лахтіна Ю.В. та колег (2015) на основі використання моделі зуба та реставрації побудованої із скінчених елементів, дослідникам вдалось виявити, що при однонаправленому строго вертикальному навантаження на реставрований зуб І класу за Блеком, максимальне напруження виникає в емалі на межі безпосереднього контакту. Таким чином, визначальними у подібних клінічних випадках є не лише вплив С-фактору (С=5), а й роль прецизійності адаптації реставрації вздовж збереженого контуру емалі [12].

Armstrong S.T. та співавтори відмітили, що при порівняння сили адгезії на відрив після нанесення та полімеризації ненаповненого бонду, даний показник виявився вищим у порожнинах із показниками С-фактору менше 0,5 (36,93 МПа та 32,68 МПа в періоди спостереження 30 та 150 днів), у порівняння із порожнинами із показником С-фактору на рівні 2,5 (32,84 МПа та 15,46 МПа в періоди спостереження 30 та 150 днів) [13]. Проте таке зростання відбувалось нерівномірно між двома матеріалами, що свідчить про те, що склад, тип наповнювача, смоли та системи ініціатора композита також визначають прогресування полімеризаційного стресу. Аналогічний результат був отриманий і Ghulman M.A. (2011), який довів, що показник маргінальної адаптації сілоранових матеріалів та мікрогібридних аналогів також змінюється в залежності від зміни показника С-фактору [14]. Однак, нульова гіпотеза дослідження, яка полягала у тому, що С-фактор не впливає на показники маргінальної адаптації силоранових матеріалів була повністю спростована. Незважаючи на один з найменших показників полімеризаційної усадки рівень маргінального прилягання Filtek Silorane також виявився залежним від параметрів С-фактору, хоч і в меншій мірі, ніж рівень аналогічного досліджуваного критерію Filtek Z250. Рівень маргінального підтікання при показниках С-фактору 1/5 становив 0,030 мм ± 0,067, при С-фактор=2/4 – 0,031 мм ± 0,070, при С-фактор=5/1 – 0,104 мм ± 0,149 [14]. При показниках С-фактору 3/3 та 4/2 у групі силоранів жодних ознак мікропідтікання не відмічалось.

Таким чином, стає очевидним, що роль С-фактору у ряді досліджень була лише складовою у системі прогнозування розвитку полімеризаційного стресу. При моделюванні порожнини циліндричної форми Рединову Т.Л. вдалось виявити, що в умовах, коли модуль пружності пломби складав близько половини модуля пружності зуба, критична область концентрації напруги займала майже всю напівсферу реставрації, при зрівноваженні же параметрів модуля пружності – критична область напруги зміщувалася ближче до центру напівсфери [15]. Таким чином, дослідники встановили, що при рівнозначності модулів пружності зуба та реставрації пружно-деформований стан одиниці зубного ряду та пломби розподіляється рівномірно, і не залежить від форми відпрепарованої порожнини. При цьому порожнини клиноподібної форми характеризуються більш високою концентрацією напруг у порівнянні із порожнинами циліндричної форми.

Дослідження проведене Ништа Б.В. (2014), яке було направлено на розробку комп’ютерної моделі для чисельного аналізу напруженого стану зуба після реставрації каріозної порожнини, дозволило встановити, що форма останньої визначає характер сприйняття зубом механічного навантаження. Варіюючи розмір та форму пломби, що визначались геометрією порожнини, дослідники змінювали кількість кінцевих елементів саме у обсягу реставрації, і встановили, що при їх кількості у 54142 – величина максимального навантаження становила 119 МПА (на 61% більше, ніж для зуба без пломби), при кількості 37335 – 105 МПА (на 42% більше інтактного зуба), при кількості 30719 – 89 МПА (на 42% більше, ніж для зуба без пломби) [16]. Очевидно, що таке зростання характеру напруг на моделі зуба було пов’язано не тільки із зростанням об’єму самої реставрації, а й відповідно із зменшенням кількості власних інтактних тканин, а тому – і із підвищенням показника середнього рівня неоднорідності досліджуваної моделі, що врешті і спричиняє не тільки зростання рівня концентрацій, а й їх міграцію із формування відповідним зон максимальної напруги на межі інтерфейсу з’єднання.

Григоренко Я.М. та співавтори (2011) запропонували власну біомеханічну модель та відповідний підхід аналізу на її основі впливу розмірів і локалізації каріозної порожнини на величину напруги в її ділянці [17]. Використовуючи запропонований авторами підхід та забезпечуючи на його основі апробацію можливих варіантів реставрації дефекту (різними техніками, матеріалами із різними показниками жорсткості), можливо більш обґрунтовано підходити до процесу відновлення каріозних дефектів з прогнозуванням потенційних сколів, тріщин та зломів структури пломби та інтактних тканин зуба. Очевидно, що дана модель також може бути модифікована шляхом уведення у склад проміжного еластичного шару бонду та з подальшим врахуванням різниці у структурі пружності різних використовуваних матеріалів (СІЦ, текучих композитів).

Виходячи з вищенаведеного стає зрозумілим, що для подальшого дослідження впливу геометрії відпрепарованої порожнини на якість виконаної реставрації необхідне використання математично-досконалих методів моделювання, по типу методу кінцевих елементів. За даними Рединова Т.Л. та колег моделювання впливу геометрії порожнини на напружено-деформований стан зуба та реставрації складається із наступної послідовності етапів [15]:

1. чіткої верифікації параметрів поставленої задачі та формулювання розрахункової схеми дослідження;
2. розробки геометричної моделі, яка б підходила для аналізу методом скінчених елементів;
3. сегментації сформованої моделі на сітку кінцевих елементів;
4. прикладення до сформованої та сегментованої моделі маргінальних значеннями умов дослідження у формі відповідних навантажень;
5. математичне вирішення системи сформульованих в результаті дослідження рівнянь;
6. аналіз отриманих результатів.

Специфіка дослідження конкретно параметру С-фактору у структурі моделі сформованої із скінчених елементів, полягає у тому, що досліднику фактично необхідно сформувати дві окремі об’ємні моделі, одна з яких репрезентуватиме зуб із порожниною, інша ж – реставрацію (об’єкт), яка буде виповнювати порожнину.

**Висновок.** В результаті проведеного аналізу впливу фактору конфігурації відпрепарованої порожнини на успішність функціонування прямих реставрацій вдалось систематизувати наступні положення: 1) точність дослідження впливу С-фактору на параметри полімеризаційного стресу та полімеризаційної усадки залежать від відповідності розробленого дизайну дослідження та від врахування варіацій геометрії, топографії та об’єму каріозних порожнин; 2) виходячи із наведених літературних даних був підтверджений факт зменшення рівня усадочного стресу при зростанні кількісного показника С-фактору, та зниження прогностичного показника успішності композитної реставрації при аналогічній тенденції; 3) показники С-фактору у діапазоні 0,3-2,3 не є гранично критичними з точки зору ризику формування мікропростору між композитом та стінкою зуба у порівнянні із показниками С-фактору, що наближаються до 3,0; 4) при моделюванні напруг на структуру реставрації та зуба необхідно враховувати, що поверхневий шар реставрацій піддається переважно площинним двохосьовим напругам, в той час, як в товщі матеріалу розвиваються трьохосьові направлені стреси, які в залежності від об’єму оточуючого композиту можуть взагалі не залежати від форми порожнини.

Подальша розробка складної моделі скінчених елементів з репрезентацією у її структурі елементів різної щільності (зокрема емалі, дентину, різних композитних та прокладочних матеріалів) та відповідною математичною аргументацією векторів полімеризаційної усадки та стресу, дозволить об’єктивізувати кумулятивний вплив показника С-фактору на успішність функціонування композитної реставрації, виходячи із полінаправленості напруг на межі бондингового інтерфейсу композитного матеріалу та тканин зуба.

**Список використаної літератури**

1. Kleverlaan, C. J., & Feilzer, A. J. (2005). Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. Dental Materials, 21(12), 1150-1157.
2. Jongsma, L. A., Kleverlaan, C. J., Pallav, P., & Feilzer, A. J. (2012). Influence of polymerization mode and C-factor on cohesive strength of dual-cured resin cements. Dental Materials, 28(7), 722-728.
3. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., & Davidson, C. L. (1989). Increased wall-to-wall curing contraction in thin bonded resin layers. Journal of Dental Research, 68(1), 48-50.
4. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., & Davidson, C. L. (1993). Setting stresses in composites for two different curing modes. Dental Materials, 9(1), 2-5.
5. Fok, A. S., & Aregawi, W. A. (2018). The two sides of the C-factor. Dental Materials, 34(4), 649-656.
6. Borges, A. L. S., Borges, A. B., Xavier, T. A., Bottino, M. C., & Platt, J. A. (2014). Impact of quantity of resin, C-factor, and geometry on resin composite polymerization shrinkage stress in Class V restorations. Operative dentistry, 39(2), 144-151.
7. Wang, Z., & Chiang, M. Y. (2016). Correlation between polymerization shrinkage stress and C-factor depends upon cavity compliance. Dental materials, 32(3), 343-352.
8. Braga, S. S. L., Oliveira, L. R. S., Rodrigues, R. B., Bicalho, A. A., Novais, V. R., Armstrong, S., & Soares, C. J. (2018). The Effects of Cavity Preparation and Composite Resin on Bond Strength and Stress Distribution Using the Microtensile Bond Test. Operative dentistry, 43(1), 81-89.
9. Boaro, L. C. C., Brandt, W. C., Meira, J. B. C., Rodrigues, F. P., Palin, W. M., & Braga, R. R. (2014). Experimental and FE displacement and polymerization stress of bonded restorations as a function of the C-Factor, volume and substrate stiffness. Journal of dentistry, 42(2), 140-148.
10. Watts, D. C., & Satterthwaite, J. D. (2008). Axial shrinkage-stress depends upon both C-factor and composite mass. Dental Materials, 24(1), 1-8.
11. da Silva, E. M., Dos Santos, G. O., Guimarães, J. G. A., Barcellos, A. A. L., & Sampaio, E. M. (2007). The influence of C-factor, flexural modulus and viscous flow on gap formation in resin composite restorations. Operative Dentistry, 32(4), 356-362.
12. Лахтін, Ю. В., Сміянов, Ю. В., & Нішта, Б. В. (2015). Моделювання напруженого стану твердих тканин зуба при реставрації каріозних порожнин І класу. Український стоматологічний альманах, (4).
13. Armstrong, S. R., Keller, J. C., & Boyer, D. B. (2001). The influence of water storage and C-factor on the dentin–resin composite microtensile bond strength and debond pathway utilizing a filled and unfilled adhesive resin. Dental Materials, 17(3), 268-276.
14. Ghulman, M. A. (2011). Effect of cavity configuration (C factor) on the marginal adaptation of low-shrinking composite: a comparative ex vivo study. International journal of dentistry, 2011.
15. Шелковников, Е. Ю., Кириллов, А. И., Ефремов, С. М., Рединова, Т. Л., Тимофеев, А. А., & Метелева, Т. Ю. (2014). Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы. Ползуновский вестник, (2), 54-58.
16. Ништа, Б. В., Лахтин, Ю. В., & Смеянов, Ю. В. (2014). Компьютерное моделирование и численный анализ напряженного состояния зуба после реставрации кариозной полости. Журнал інженерних наук, (1,№ 3), C7-C12.
17. Григоренко, Я. М., Григоренко, А. Я., Копытко, М. Ф., Москаленко, А. Н., & Хоменко, Л. А. (2011). Математическое моделирование функциональной нагрузки при поражении твердых тканей зуба кариесом. Доповiдi Національної академії наук України, (8), 177-182.