

Лахтін Юрій Володимирович,
доктор медичних наук, професор,
професор кафедри стоматології
Сумський державний університет
ORCID ID: 0000-0001-5055-3162
SCOPUS ID: 57195465099
м. Суми, Україна

Григор'єв Денис Геннадійович,
аспірант кафедри стоматології,
Сумський державний університет
ORCID ID: 0009-0003-2495-7050
м. Суми, Україна

СТАН МІЦНОСТІ З'ЄДНАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ДЕНТИНОМ ПРИ РІЗНИХ ПРОТОКОЛАХ ЙОГО ПРЕПАРУВАННЯ І АДГЕЗИВНОЇ ПІДГОТОВКИ

Вступ. Методи попередньої обробки дентину перед відновленням зуба є ключовими для забезпечення міцного з'єднання реставраційного матеріалу з твердими тканинами, що визначає довготривалість утримання реставрацій. Попри численні дослідження, ефективність різних протоколів препарування та адгезивної підготовки залишається предметом дискусій.

Мета дослідження. Визначити міцність з'єднання на розтяг між реставраційним матеріалом і дентином при застосуванні різних методів препарування та адгезивної обробки.

Матеріали і методи. У 20 видалених третіх молярів емаль зішліфовували до дентину. Зразки поділено на 4 групи (по 5). У групах 1 і 2 застосовували ротаційні інструменти, у групах 3 і 4 – повітряно-абразивну обробку. У зразках 1 і 3 дентин не протравлювали; у зразках 2 і 4 – застосовували гель фосфорної кислоти. Усі зразки обробляли адгезивом Charisma GLUMA® Bond 5 та композитом Charisma «SMART». Міцність з'єднання визначали методом розтягування на машині УМ-500. Статистичний аналіз проводили у STATA 19 з використанням ANOVA і тесту Бонферроні.

Результати. Найменшу міцність з'єднання виявлено у зразках без протравлення. Значно вищі показники зафіксовано при попередньому протравленні дентину. Відмінності між групами з протравленням і без нього були статистично значущими ($p < 0,05$). Між групами з протравленням, але різними методами препарування, достовірних відмінностей не виявлено ($p > 0,05$). Сукупний вплив методу препарування й адгезивної підготовки становив 83,3% загальної варіації.

Висновки. Послєднання протравлення з повітряно-абразивним або роторним препаруванням забезпечує високу ефективність з'єднання. Найвищу міцність забезпечує повітряно-абразивне препарування з наступним протравленням, але ця перевага над традиційним роторним протоколом статистично незначуща.

Ключові слова: стоматологія, зуби, карієс зубів, препарування, повітряна абразія, міцність зв'язку, адгезія.

Lakhtin Yurii Volodymyrovych, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at the Department of Dentistry, Sumy State University, ORCID ID: 0000-0001-5055-3162, SCOPUS ID: 57195465099, Sumy, Ukraine

Hryhoriev Denys Hennadiiovych, Postgraduate Student at the Department of Dentistry, Sumy State University, ORCID ID: 0009-0003-2495-7050, Sumy, Ukraine

THE BOND STRENGTH OF COMPOSITE MATERIALS TO DENTIN UNDER DIFFERENT PROTOCOLS OF ITS PREPARATION AND ADHESIVE TREATMENT

Introduction. Methods of preliminary dentin surface treatment before tooth restoration play a key role in ensuring strong adhesion of restorative materials to hard dental tissues, which affects the long-term retention of restorations. Despite numerous studies, the effectiveness of different dentin preparation and adhesive protocols remains controversial.

Aim of the study. To determine the tensile bond strength between restorative material and dentin using different preparation and adhesive protocols.

Materials and methods. In 20 extracted third molars, the enamel was ground to expose the dentin. Samples were divided into 4 groups ($n = 5$). Groups 1 and 2 were prepared using rotary instruments; groups 3 and 4 – by air-abrasion. In groups 1 and 3, no etching was performed; in groups 2 and 4, dentin was etched with phosphoric acid gel. All samples were treated with Charisma GLUMA® Bond 5 adhesive and Charisma “SMART” composite. Tensile bond strength was measured using a UM-500 testing machine. Statistical analysis was performed in STATA 19 using ANOVA and Bonferroni test.

Results. The lowest bond strength was found in non-etched samples. Significantly higher values were recorded after preliminary etching. The difference between etched and non-etched groups was statistically significant ($p < 0.05$). No significant difference was found between

etched groups prepared by different methods ($p > 0.05$). The combined effect of preparation and adhesive protocols accounted for 83.3% of total variance.

Conclusions. Combining acid etching with either air-abrasion or rotary preparation ensures high bonding. Air-abrasion with etching showed the highest strength, but this advantage over the rotary protocol was not statistically significant.

Key words: dentistry, teeth, dental caries, preparation, air abrasion, bond strength, adhesion.

Вступ. Серед основних задач клінічної стоматології є повноцінне функціонування відновлених зубів та довготривале утримання реставрацій. На тривалість служби реставрацій впливають численні фактори – зокрема, поведінкові, клінічні, матеріалознавчі та оператор-залежні. Проте одним із ключових прогностичних чинників тривалого функціонування є міцність з'єднання реставраційного матеріалу з твердими тканинами зуба [1].

Як зазначають Fan-Chiang Y.S. та співавт. (2023), здатність формувати і зберігати надійний зв'язок має вирішальне значення для довговічності та успіху стоматологічного лікування. Обробка поверхні, адгезивні системи, методи затвердіння та умови середовища ротової порожнини є критичними чинниками, що впливають на стабільність зчеплення [2]. Клінічний успіх реставрації залежить від адекватної адгезії до конкретного субстрату (емаль, поверхневий або глибокий дентин), характеру каріозного ураження та методів попередньої обробки. Встановлено, що всі ці фактори безпосередньо впливають на міцність з'єднання [3, 4, 5].

Сучасна стоматологія постійно вдосконалює підходи до препарування завдяки впровадженню мінімально інвазивних технологій. Вони передбачають використання консервативних методів видалення патологічно змінених тканин, мінімальних дизайнів порожнин та адгезивних реставраційних матеріалів [6]. Малоінвазивна стоматологія передбачає вибір біологічно обґрунтованої, а не виключно механістичної стратегії лікування. [7]. Ця інноваційна техніка селективного видалення уражених карієсом тканин дозволяє зберігати структурну цілісність дентину і життєздатність пульпи [8].

Для малоінвазивного препарування каріозних порожнин були запропоновані різні методи. Одним із таких є повітряна абразія, яка створює сприятливі умови для зчеплення завдяки підвищенню шорсткості поверхні і розширенню площі адгезії [5, 7, 9, 10, 11].

Попри численні дослідження, результати щодо впливу повітряної абразивної обробки на міцність зв'язку залишаються суперечливими. Це пов'язано як із різними протоколами адгезивної підготовки, так і з особливостями самого дентину [12, 13]. Тому постає потреба в додаткових експериментальних дослідженнях, спрямованих на пошук оптимального поєднання методів обробки поверхні, їх потенційного впливу на ефективність зв'язку системи «матеріал-зуб» [14, 15].

Мета дослідження. Визначити міцність зв'язку на розтяг між реставраційним матеріалом і дентином при різних протоколах препарування і адгезивної підготовки.

Матеріали та методи. У 20 видалених імпактних третіх молярів зішлифовували емаль до оголення дентину. Залежно від методу підготовки поверхні дентину сформовано чотири групи (по 5 зразків):

1 – ротаційне препарування без протравлення, адгезив, композит;

2 – ротаційне препарування з протравленням, адгезив, композит;

3 – повітряно-абразивне препарування без протравлення, адгезив, композит;

4 – повітряно-абразивне препарування з протравленням, адгезив, композит.

Ротаційне препарування проводили зернистим діамантовим бором (100–125 мкм) у високошвидкісному наконечнику з водяним охолодженням. Кожен бор використовували не більше ніж на 5 зразках. Підготовлені поверхні промивали, висушували повітрям без мастила.

Повітряно-абразивну обробку виконували частинками Al_2O_3 (50 мкм) під кутом 45° , тиск – 0,41 МПа, відстань – 2 мм. Застосовували піскострумінний апарат Sandman Futura (Данія).

Протравлення проводили 37% гелем фосфорної кислоти (15 с), промивання – 30 с, висушування повітрям без масла.

На підготовлений дентин наносили однокомпонентний адгезив Charisma GLUMA® Bond 5 і інкрементно вносили композит Charisma «SMART». Кожний шар 2 мм полімеризували по 40 с, відстань до лампи – 2 мм. Площа з'єднання – 4 мм².

Міцність з'єднання визначали за методом TBS ((Tensile Bond Strength) на машині УМ-500. Зразки фіксували так, щоб навантаження діяло перпендикулярно. Швидкість – 1,0 мм/хв до відриву. Руйнування фіксували візуально (лупа $\times 10$), силу – за шкалою динамометра, розраховували TBS (МПа). Методика – за ISO/TS 4640:2023 [16].

Статистичну обробку проводили в програмі STATA 19 (StataCorp LLC, College Station, TX, USA). Дані подано як середня (M), стандартне відхилення (SD) і коефіцієнт варіації (CV%). Відмінності між групами оцінювали методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з пост-хок тестом Бонферроні. Критерій значущості – $p < 0,05$.

Автори повністю відповідають за дотримання вимог статей 43 та 45 Закону України «Основи законодавства України про охорону здоров'я», положень Гельсінської декларації «Рекомендації для лікарів, які беруть участь у біомедичних дослідженнях за участю людини» (1964 р., з поправками 1983 р.), а також Директиви 2001/20/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 4 квітня 2001 р. (з наступними змінами).

Дослідження було схвалене комісією з питань етики при проведенні експериментальних і клінічних досліджень університету (протокол № 1/05 від 01.05.2025 р.).

Інформовану згоду було отримано від усіх учасників після повного роз'яснення мети та методів дослідження. Дані учасників було анонімізовано і захи-

щено: вони зберігались у зашифрованих файлах із доступом лише для дослідницької групи.

Результати та їх обговорення. Як видно з табл. 1, показники міцності з'єднання між реставраційним матеріалом і дентином у кожній експериментальній групі суттєво відрізняються. Найвищі значення спостерігались у зразках із попереднім протравленням дентину, незалежно від методу препарування. У зразках без протравлення ці показники були нижчими. За візуальними спостереженнями, тип руйнування у більшості випадків був адгезивним.

Таблиця 1

Показники міцності з'єднання на розтяг між реставраційним матеріалом і дентином в залежності від протоколу препарування, МПа

Група зразків	M±SD	CV(%)
1	10,24±1,48	14,45
2	16,80±1,46	8,7
3	13,74±1,64	11,9
4	17,80±1,30	7,32

Аналіз коефіцієнта варіації (CV%) дозволив оцінити внутрішньогрупову стабільність результатів. У зразках без попереднього протравлення спостерігалася вища неоднорідність. Найбільшу варіабель-

ність зафіксовано у групі 1 (CV = 14,45%), що може свідчити про нижчу однорідність зразків або підвищену чутливість методу до зовнішніх чинників. У групі 3 CV становив 11,9%, що вказує на помірний рівень варіації. Найнижчі значення коефіцієнта варіації зафіксовано у групах 2 (8,7%) і 4 (7,32%) з попереднім протравленням, що підтверджує вищу стабільність і відтворюваність результатів.

Отже, протоколи препарування і адгезивної підготовки із застосуванням протравлення забезпечили не лише найвищі значення міцності з'єднання у групі 2 та 4 (16,80±1,46 та 17,80±1,30 МПа відповідно), а й мінімальну варіабельність, що свідчить про їх потенційну перевагу для клінічного застосування.

Графічна візуалізація (рис. 1) показує нижчі медіанні значення та ширший розкид результатів у групах без попереднього протравлення дентину (1 та 3), незалежно від методу препарування. Водночас у групах з протравленням (2 та 4) спостерігається перевага медіанних значень міцності та часткове перекриття довірчих інтервалів, що свідчить про високий рівень відтворюваності незалежно від методу препарування.

Однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA), наведений у табл. 2, показав наявність статистично значущих відмінностей між досліджуваними групами за показником міцності з'єднання композитного матеріалу з дентином (F = 26,70; p<0,001). Основний

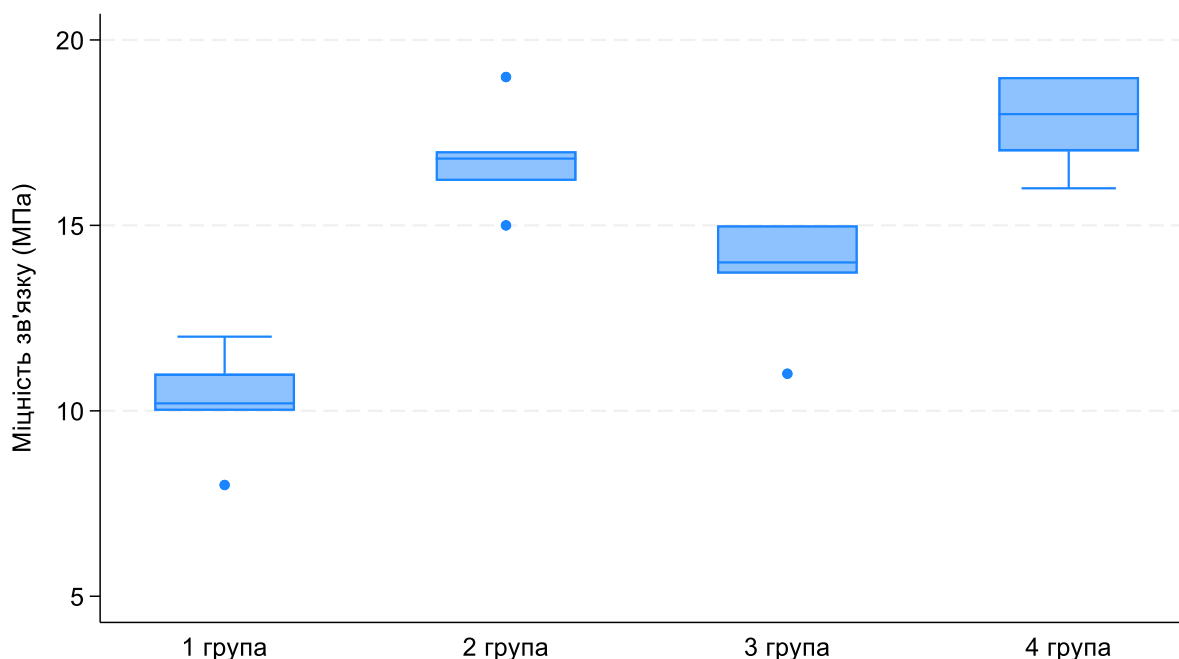


Рис. 1. Міцність зв'язку композитного матеріалу з дентином

Таблиця 2

Результати ANOVA-аналізу для порівняння міцності з'єднання композитного матеріалу з дентином між досліджуваними групами

Джерело варіації	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Між групами	174,1055	3	58,03517	26,69511	1,82E-06	3,238872
Усередині груп	34,784	16	2,174			
Разом	208,8895	19				

чинник – протоколи препарування та адгезивної підготовки – пояснює 83,3% варіації результатів, тоді як на інші невраховані фактори припадає лише 16,7%. Це вказує на суттєвий вплив вибраного клінічного підходу на якість з'єднання.

З метою деталізації міжгрупових відмінностей проведено пост-хок аналіз за критерієм Бонферроні табл. 3.

Таблиця 3

Результати пост-хок аналізу Бонферроні (HSD, Bonferroni) для парних порівнянь між групами

Парні порівняння		Середня різниця (МПа)	p	Статистична значущість
Група 1	Група 2	6,56	<0,001	значуща
Група 1	Група 3	3,50	0,01	значуща
Група 1	Група 4	7,56	<0,001	значуща
Група 2	Група 3	-3,06	0,028	значуща
Група 2	Група 4	1,0	0,7106	незначуща
Група 3	Група 4	4,06	0,003	значуща

За результатами тесту найменші показники міцності з'єднання виявлено у зразках з роторним препаруванням без протравлення (група 1), помірні – у випадку повітряно-абразивної обробки без протравлення (група 3), а найвищі – у групах з протравленням, незалежно від методу препарування (групи 2 і 4). Хоча повітряно-абразивне препарування з попереднім протравленням (група 4) демонструє найвищу середню міцність з'єднання, різниця з показниками для традиційного роторного методу (група 2) не є статистично значущою ($p = 0,7$).

Отже, метод попередньої обробки поверхні дентину має суттєвий вплив на міцність з'єднання з реставраційним матеріалом, що підтверджується статистично значущими відмінностями між групами за результатами пост-хок аналізу.

У даному дослідженні тип руйнування зони зчеплення визначався лише візуально за допомогою лупи, тому оцінка характеру з'єднання ґрунтується на непрямих припущеннях, що можуть потребувати додаткового підтвердження в подальших роботах.

Зниження міцності з'єднання реставраційного матеріалу з дентином у зразках без протравлення ($p < 0,05$) можна пояснити формуванням змазаного шару (smear layer), що утворюється як після використання ротаційних інструментів, так і після повітряної абразії [17, 18]. Цей шар спричиняє часткову обструкцію дентинних каналців, ускладнює проникнення адгезиву та гальмує утворення повноцінної гібридної зони. За даними Latta M.A. та співавт. (2020), товщина змазаного шару суттєво впливає на міцність адгезивного з'єднання: у зразках з товстим змазаним шаром спостерігався нижчий рівень зсувної міцності при використанні самоклеючих матеріалів [19]. Akter R.S. та колеги (2021) також зазначають, що на силу з'єднання істотно впливають не лише змазаний шар, а й тип адгезиву та процес старіння реставрацій [20].

Хоча ротаційне й повітряно-абразивне препарування формують схожий мікрорельєф та незна-

чно відрізняються за впливом на дентинну структуру, повітряна абразія демонструє вищу здатність до покращення глибини проникнення смоли [18, 21]. Це пов'язано зі збільшенням площі активної поверхні, підвищенням мікрошорсткості та поліпшенням поверхневої енергії, що загалом сприяє ефективнішій адгезії [10, 11, 22, 23].

Отримані нами вищі показники міцності при повітряній абразії без протравлення порівняно з ротаційним препаруванням ($p < 0,05$) узгоджуються з цими уявленнями та мають під собою біологічне та технологічне обґрунтування.

Найвищі показники міцності з'єднання, зафіксовані у зразках з різними протоколами препарування, але із застосуванням попереднього протравлення дентину ($p < 0,05$), зумовлені дією фосфорної кислоти. Ця кислота ефективно видаляє змазаний шар, відкриває дентинні каналці, змінює внутрішню мікроструктуру дентину та підвищує параметри його шорсткості [24, 25]. Відповідно до даних низки досліджень, використання протоколу протравлення і промивання є критичним етапом адгезивної підготовки. Такий підхід сприяє формуванню надійної мікромеханічної ретенції та забезпечує хімічну взаємодію між адгезивною системою і зубними субстратами. Це, у свою чергу, є ключовим фактором для досягнення стабільного з'єднання і адекватної адаптації реставрації до країв каріозної порожнини [9, 17, 26].

У сучасній науковій літературі питання впливу попередньої підготовки дентинної поверхні на міцність зв'язку з реставраційним матеріалом привертає значну увагу. Проте результати досліджень залишаються суперечливими і нерідко неузгодженими. Це частково пояснюється варіативністю протоколів підготовки, які застосовують різні автори, що ускладнює пряме порівняння отриманих нами результатів з даними інших дослідників. Так, в оглядовій роботі Lima V.P. і співавт. (2020) зазначено, що повітряна абразія не знижує міцність з'єднання з дентином, але її позитивний ефект залежить від розміру частинок і тиску повітря [22]. Подібні висновки зробили Coskun M.E. та колеги (2018): хоча всі параметри повітряного препарування сприяють підвищенню шорсткості поверхні, лише тиск і розмір часток чинять статистично значущий вплив на міцність з'єднання [10].

Результати нашого дослідження частково узгоджуються з висновками інших авторів. Зокрема, Başol E.U. та співавт. (2025) встановили, що повітряна абразія без подальшого протравлення не підвищує міцність зв'язку між дентином і адгезивом, а найкращі показники фіксуються у зразках із механічною обробкою та наступним протравленням [27]. Аналогічні дані наведені у дослідженні Melkumyan T. та співавт. (2021) [28]. Крім того, наші результати підтверджують висновки деяких досліджень, згідно з якими попереднє повітряно-абразивне препарування у поєднанні з протравленням ортофосфорною кислотою сприяє підвищенню міцності з'єднання [29, 30].

Водночас існує низка публікацій, результати яких не узгоджуються з нашими. У одних дослідженнях

повітряна абразія асоціювалася з нижчими показниками міцності з'єднання порівняно з роторним препаруванням, при цьому між методами не виявлено статистично значущої різниці [31]. Інші автори також зазначають, що повітряна абразія не демонструє переваг у порівнянні з ротаційними інструментами з погляду адгезивної міцності [32].

За даними оглядової статті Almeida G. та співавт. (2024), у 63,6% проаналізованих досліджень повітряна абразія не мала істотного впливу на силу з'єднання з дентином [15]. Отже, актуальним залишається проведення подальших досліджень щодо впливу протоколів попередньої обробки дентину на міцність з'єднання та довготривалість функціонування реставрацій [9].

Висновки. Протоколи препарування та адгезивної підготовки дентинної поверхні чинять виразний вплив на міцність з'єднання з реставраційним матеріалом. Найнижчі показники міцності реєструються у зразках, де препарування здійснювалося ротаційними інструментами без попереднього протравлення. Натомість високий рівень міцності досягається у зубах, незалежно від методу препарування, якщо застосовано однаковий протокол адгезивної підготовки з попереднім протравленням дентину. Найвищі значення міцності з'єднання

зафіксовано у зразках з повітряно-абразивним препаруванням і наступним протравленням, хоча статистично ця різниця порівняно з роторним препаруванням з протравленням є незначущою.

Отримані результати можуть свідчити, що протокол препарування повітряною абразією з протравленням сприяв не лише підвищенню міцності з'єднання, а й ефективному зчепленню на межі дентин–композит завдяки збільшенню шорсткості поверхні та її ефективної площі.

Перспективи подальших досліджень. З огляду на те, що в межах даного дослідження характер руйнування з'єднання матеріал–зуб оцінювався опосередковано – на основі результатів випробувань на міцність, візуального огляду та спостереження під лупою – доцільним є проведення додаткових морфологічних досліджень із використанням скануючої електронної мікроскопії. Такий підхід дозволить достовірно ідентифікувати тип руйнування (адгезивний, когезивний чи змішаний) та встановити залежність між режимами обробки поверхні й характером руйнування з'єднання. Отримані дані сприятимуть глибшому розумінню механізмів адгезії та вдосконаленню клінічних протоколів реставраційного лікування.

REFERENCES

1. Opdam NJM, van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Dental Research*. 2014; 93 (10): 943–949. <https://doi.org/10.1177/0022034514544217>.
2. Fan-Chiang YS, Chou PC, Hsiao YW, Cheng YH, Huang Y, Chiu YC, et al. Optimizing dental bond strength: insights from comprehensive literature review and future implications for clinical practice. *Biomedicines*. 2023; 11 (11): 2995. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11112995>.
3. Verma V, Mathur S, Sachdev V, Singh D. Evaluation of compressive strength, shear bond strength, and microhardness values of glass-ionomer cement Type IX and Cention N. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2020; 23 (6): 550. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_109_19.
4. Nair S, R Nadig R, S Pai V, Gowda Y. Effect of a papain-based chemomechanical agent on structure of dentin and bond strength: an in vitro study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2018; 11 (3): 161–166. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1504>.
5. Lee JJ, Choi JY, Seo JM. Influence of nano-structured alumina coating on shear bond strength between Y-TZP ceramic and various dual-cured resin cements. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2017; 9 (2): 130–137. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.2.130>.
6. Brostek AM, Walsh LJ. Minimal intervention dentistry in general practice. *Oral Health and Dental Management*. 2014; 13 (2): 285–294.
7. Fatima N, Mustilwar R, Paul R, Chauhan PS, Mostafa D, Dhopte A. Minimal invasive dentistry: a review. *International Journal of Health Sciences*. 2022; 1: 13062–13077. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS1.8280>.
8. Widbiller M, Weiler R, Knüttel H, Galler KM, Buchalla W, Scholz KJ. Biology of selective caries removal: a systematic scoping review protocol. 2022; 12 (2): e061119. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061119>.
9. Kui A, Buduru S, Labuneț A, Sava S, Pop D, Bara I, et al. Air particle abrasion in dentistry: an overview of effects on dentin adhesion and bond strength. *Dentistry Journal*. 2024; 13 (1): 16. <https://doi.org/10.3390/dj13010016>.
10. Coskun ME, Akar T, Tugut F. Airborne-particle abrasion; searching the right parameter. *Journal of Dental Sciences*. 2018; 13 (4): 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2018.02.002>.
11. Szerszeń M, Higuchi J, Romeczyk-Baishya B, Górski B, Łojkowski W, Pakielka Z, et al. Physicochemical properties of dentine subjected to microabrasive blasting and its influence on bonding to self-adhesive prosthetic cement in shear bond strength test: an in vitro study. *Materials*. 2022; 15 (4): 1476. <https://doi.org/10.3390/ma15041476>.
12. Huang CT, Kim J, Arce C. Intraoral air abrasion: a review of devices, materials, evidence, and clinical applications in restorative dentistry. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*. 2019; 40: 508–513.
13. Mujdeci A, Gokay O. The effect of airborne-particle abrasion on the shear bond strength of four restorative materials to enamel and dentin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2004; 92 (3): 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.05.007>.
14. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dental Materials*. 2012; 28 (5): 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009>.
15. Almeida G, Marques JA, Van Meerbeek B, Ramos JC, Falacho RI. Particle abrasion as a pre-bonding dentin surface treatment: A scoping review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024; 36 (5): 746–760. <https://doi.org/10.1111/jerd.13183>.

-
16. ISO/TS 4640:2023. Dentistry – Test methods for tensile bond strength to tooth structure. First edition 2023 05. ISO. <https://www.iso.org/standard/80210.html> [Accessed 18th July 2025].
17. Saikaew P, Sattabanasuk V, Hamrattisai C, Chowdhury AFMA, Carvalho R, Sano H. Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance. *Japanese Dental Science Review*. 2022; 58: 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2021.12.001>.
18. Abdul-Kareem Mahmood M, Khairi Al-Hadithi H, Mueen Hussein H. Evaluation of dentin features in teeth after caries removal by three techniques (chemomechanical, mechanical with a smart bur, and air-abrasion): an in vitro study. *Peer J*. 2024; 12: e17717. <https://doi.org/10.7717/peerj.17717>.
19. Latta MA, Radniecki SM. Bond strength of self-adhesive restorative materials affected by smear layer thickness but not dentin desiccation. *The journal of adhesive dentistry*. 2020; 22 (1): 79–84. p. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43932>.
20. Akter RS, Ahmed Z, Yamauti M, Carvalho RM, Chowdhury AFMA, Sano H. Effects of remaining dentin thickness, smear layer and aging on the bond strengths of self-etch adhesives to dentin. *Dental Materials Journal*. 2021; 40 (2): 538–546. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-436>.
21. Nihalani H, Borkar AC, Shetty SS, Gupta K, Khairajani D, Kakodkar R. Comparative evaluation of different surface pretreatment methods on the depth of penetration of adhesive resin in sandwich technique: A confocal laser scanning microscopy study. *Journal of conservative dentistry and endodontics*. 2024; 27 (6): 644–648. https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_329_23.
22. Lima V, Soares K, Caldeira V, Faria-e-Silva A, Loomans B, Moraes R. Airborne-particle abrasion and dentin bonding: systematic review and meta-analysis. *Operative Dentistry*. 2020; 46 (1): E21–E33. <https://doi.org/10.2341/19-216-L>.
23. Safaei Firoozabadi F, Hashemi Moghadam F, Tabatabaei SF, Nemati-Anaraki S, Mahdisiar F. Does air abrasion of dentin affect the bonding performance of different universal adhesives? *Journal of Dentistry*. 2025. Available Online from 14 July 2025. <https://doi.org/10.30476/dentjods.2025.103036.2413>.
24. Anastasiadis K, Nassar M. The effect of different conditioning agents on dentin roughness and collagen structure. *Journal of Dentistry*. 2024; 148: 105222. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105222>.
25. Darzé F, Bridi E, França F, Amaral F do, Turssi C, Basting R. Enamel and dentin etching with glycolic, ferulic, and phosphoric acids: demineralization pattern, surface microhardness, and bond strength stability. *Operative Dentistry*. 2023; 48 (2): E35–E47. <https://doi.org/10.2341/21-143-L>.
26. Ayla Y, Pişkin B, Şen BH. In vitro evaluation of microleakage properties of etched/non-etched air- abraded and conventionally prepared cavities: a scanning electron microscopy study. *Acta Stomatologica Cappadocia*. 2021; 1 (1): 52–67. <https://doi.org/10.54995/ASC.1.1.5>.
27. Başol EU, Cekic-Nagas I, Garoushi S, Nagas E, Vallittu PK, Lassila LVJ. Assessing the bond strength of short fiber composites to dentin using various air abrasion particles. *Journal of Prosthetic Research*. 2025 Jan 8. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_24_00159.
28. Melkumyan T, Musashaykhova S, Daurova F, Kamilov N, Sheraliyeva S, Dadamova A. Effect of air-abrasion on shear bond strength of resin composite to dentin: a study in vitro. *International Journal of Biomedicine*. 2021; 11 (4): 451–455. [https://doi.org/10.21103/Article11\(4\)_OA10](https://doi.org/10.21103/Article11(4)_OA10).
29. Aguilar MF, Ferretti MA, Lins RBE, Silva JDS, Lima DANL, Marchi GM, et al. Effect of phytic acid etching and airborne-particle abrasion treatment on the resin bond strength. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2024; 16: 191–199. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S456826>.
30. Roeder LB, Berry EA, You C, Powers JM. Bond strength of composite to air-abraded enamel and dentin. *Operative Dentistry*. 1995; 20 (5): 186–190.
31. Abuzenada BM. Impact of different cavity preparation techniques on dentin bond strength. *Bangladesh Journal of Medical Science*. 2025; 24 (10): 104–108. <https://doi.org/10.3329/bjms.v24i10.79178>.
32. Melkumyan T, Musashaykhova S, Khabadze Z, Makeeva M, Dashtieva M, Kakhkharova D, et al. Shear bond strength of two self-etching adhesives to air-abraded dentin: an in vitro study. *International Journal of Biomedicine*. 2022; 12 (4): 591–595. [https://doi.org/10.21103/Article12\(4\)_OA12](https://doi.org/10.21103/Article12(4)_OA12).

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 20.08.2025

Опубліковано: 01.10.2025