

УДК:616.314–089.28–085.46.004.6

Зносостійкість стоматологічних матеріалів при динамічному контакті з твердими тканинами зуба. Експериментальне дослідження

Durability of Dental Products at Dynamic Contact with Hard Tooth Tissues. Experimental Research

Лещук Л.С., асп.

каф. ортопедичної стоматології,
Львівський національний медичний
університет ім. Данила Галицького
Leshchuk L.S., PhD student
Department of Prosthetic Dentistry
Danylo Halytskyi Lviv National Medical
University

Адреса для кореспонденції:

Лещук Лідія Степанівна
e-mail: lidiasl@ukr.net

Мета: Покращити відновлення щільності та зносостійкості міжзубних контактних пунктів методом оптимального вибору реставраційного матеріалу. **Методи:** Провели експериментальне дослідження мікротвердості, шорсткості та зносостійкості різних класів реставраційних стоматологічних матеріалів щодо емалі природного зуба. **Результати:** Виявили, що під час тертя зношення зразків Gradia Direct, Ceramage було приблизно однакове – 10,10 мм³ та 9,22 мм³, Omega 900 – 5,61 мм³, а IPS.e.max значно менше – 3,5 мм³. **Висновки:** Під час відновлення контактного пункту найдоцільніше застосовувати прес-кераміку для збереження форми та тривалості функціонування реставрації у бічній ділянці.

Ключові слова: зносостійкість матеріалу, зносостійкість твердих тканин зуба, жувальний цикл, циклічний зворотно-поступальний рух, апроксимальна поверхня зуба.

Purpose: Improvement of proximity and durability of interdental contact points recovery by dint of optimal choice of restoration material. **Methods:** Experimental research of micro – hardness, roughness and durability of dental restoration materials of different grades in comparison to natural tooth enamel. **Results:** It was discovered, that wear of Gradia Direct, Ceramage samples in the process of friction was approximately equal (10,10 mm³ and 9,22 mm³), as for Omega 900 – 5,61 mm³, and IPS. e.max – much less – 3,5 mm³. **Conclusions:** Towards keeping the shape of anatomically recovered contact point, it is a good practice to use press ceramic in the process of lateral tooth restoration exploitation.

Key words: material durability, hard tooth tissues durability, chewing cycle, cyclic in and out movement, tooth approximal surface.

Вступ

Незважаючи на значний обсяг профілактичних заходів, карієс зубів залишається одним із найрозповсюдженіших стоматологічних захворювань [1–4, 7, 11]. Проблема лікування карієсу зубів методом виконання прямих композитних реставрацій чи вкладок є основною у стоматології, при цьому головним зали-

шається питання довготривалості функціонування реставрацій. Особливо це стосується відновлення порожнин класу II за Блеком, з урахуванням контактних поверхонь зуба. Зважаючи на високе навантаження, якому підлягають реставрації порожнин бічних зубів, при їхньому відновленні необхідно брати до уваги контактне співвідношення пломбувальних матеріалів з прилеглими

тканинами суміжних зубів [5, 6, 12–14]. За даними досліджень, упродовж року людина здійснює близько 240–250 тис. жувальних циклів [9], кожен з яких складається з декількох фаз: підготовчої, розжовування та розтирання їжі. Підготовча фаза починається від моменту відкриття порожнини рота і продовжується до контакту з харчовою грудкою. Під час фази розжовування



Мал. 1. Установка для дослідження матеріалів під час тертя-ковзання

зуби взаємодіють з харчовою грудкою до моменту змикання. Триває взаємодія трьох тіл – стирання незакріпленим абразивом, яким є харчова грудка, що контактує з двома поверхнями зубів, тобто відбувається абразія. Фаза розтирання починається від моменту розчавлювання харчової грудки і контакту антагоністів, коли жувальна сила сконцентрована у площині оклюзійних контактів, відтак відбувається взаємодія двох тіл і зносостійкість обох елементів пари тертя – стирання, а жувальна сила спрямована перпендикулярно до поверхні антагоністів. Розтирання продовжується до початку підготовчої фази і триває 0,1–0,24 с [8], а жувальний цикл – 1 с.

Відомо, що тертя без рідини спричиняє підвищене стирання і твердих тканин зуба, і відновних матеріалів, а коефіцієнт тертя стабілізується лише після перших 100 циклів навантаження [10]. Метою дослідження є вивчення зносостійкості низки стоматологічних матеріалів, що найчастіше використовують для відновлення твердих тканин жувальної групи зубів.

Матеріал і методи

Дослідження зносостійкості стоматологічних матеріалів провели на установці, створеній спільно із співробітниками лабораторії Львівського фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України (мал. 1). Це обладнання дозволяє досліджувати тертя (зношеність) двох зразків при їхній контактній взаємодії у середовищі чи без нього способом циклічного зворотно-поступального руху. Також можна задавати статичне навантаження на зразки, що піддаються тертю, шлях переміщення, реєстрацію кількості циклів за певний період та зусилля, що виникає під час тертя. Для дослідження обрали по 3 зразки стоматологічних матеріалів

(табл. 1) у металевій розбірній формі 18x10x6 мм.

Випробування зразків проводили при питомому навантаженні 30 Н, кількість циклів за 1 хв. – 40, час тертя – 120 хв. (7 200 с), робоче середовище тертя – 0,9% розчин NaCl. Кількість циклів тертя пари зразок-зуб (премоляр) за 120 хв. становила 4800±5 повторень.

Ступінь стирання зразків після дослідження визначали у мм³, вимірюючи довжину, ширину і глибину доріжки стирання за допомогою оптичного мікроскопа Neophot 2 («Zeiss», Німеччина) з точністю ±0,01 мм при збільшенні ×20 (мал. 2). Втрату маси зразка визначали ваговим методом, зважуючи зразки і зуби до та після дослідження на електронній вазі Voyager («OHAUS»,

Таблиця 1. Перелік композитних матеріалів для експериментального дослідження

Вид реставрації	Композитний матеріал
Прямі	Gradia Direct, «3M», Японія
Непрямі	Ceramage «Shofu Inc», Японія
Керамічні вкладки	Omega 900 «Vita», Німеччина
Прес-кераміка	IPS.e.max «Ivoclar Vivadent», Німеччина



Мал. 2. Оптичний мікроскоп Neophot 2 («Zeiss», Німеччина)



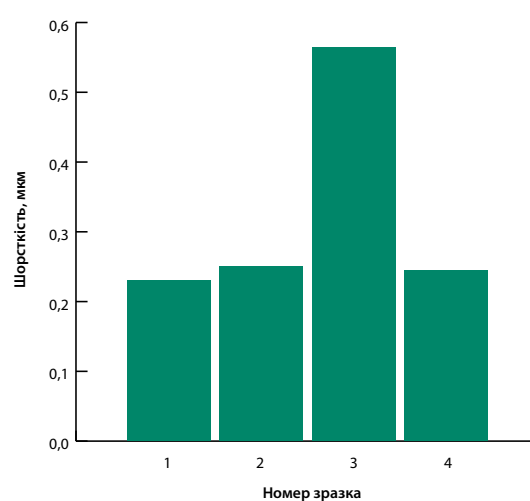
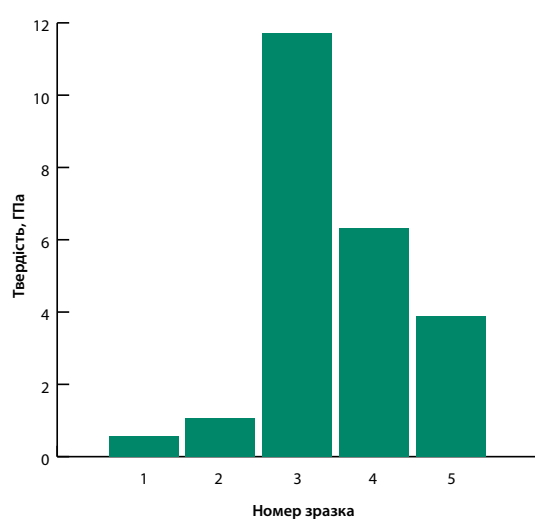
Мал. 3. Електронна вага Voyager («OHAUS», США)



Мал. 4. Мікротвердомір ПМТ-3М («Ломо», Росія) для вимірювання мікротвердості досліджуваних матеріалів



Мал. 5. Профілометр моделі 170621 («АСМА-Прибор», Росія) для визначення шорсткості поверхні



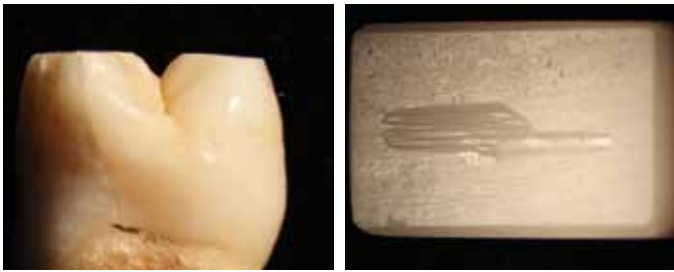
Мал. 6. Поверхнева мікротвердість (а) та шорсткість (б) досліджуваних матеріалів

Таблиця 2. Результати досліджень тертя різних стоматологічних матеріалів, тривалість тертя до 120 хв.

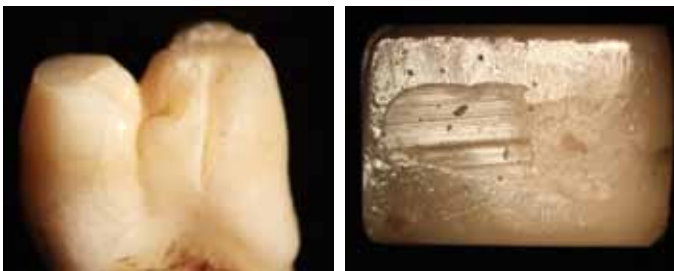
Пара тертя	Зношеність матеріалу		Зношеність зуба	
	Обсяг, мм ³	Маса, г	Обсяг, мм ³	Маса, г
Gradia Direct/зуб	10,10 (p<0,05)	0,0050 (p<0,01)	~0,6	0,0025 (p<0,01)
Ceramage/зуб	9,22 (p<0,05)	0,0043 (p<0,01)	~1,7	0,0080 (p<0,01)
Omega 900/зуб	5,61 (p<0,05)	0,0021 (p<0,01)	~7,5	0,0350 (p<0,01)
IPS.e.max/зуб	3,5 (p<0,05)	0,0030 (p<0,01)	~7	0,0310 (p<0,01)
зуб/зуб	—	—	~6,1/~7	0,025/0,030 (p<0,01)



Мал. 7. Ділянки стирання пари тертя Gradia Direct/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



Мал. 9. Ділянки стирання пари тертя Ceramage/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



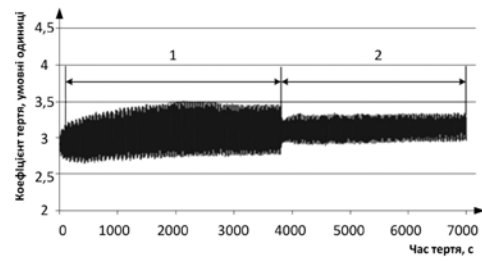
Мал. 11. Ділянки стирання пари тертя Omega 900/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



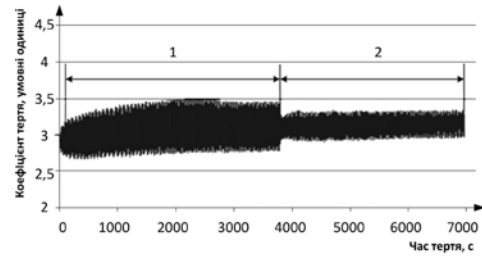
Мал. 13. Ділянки стирання пари тертя IPS.e.max/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



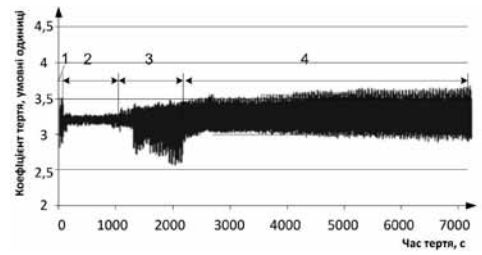
Мал. 15. Ділянки стирання контрольної групи зуб/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



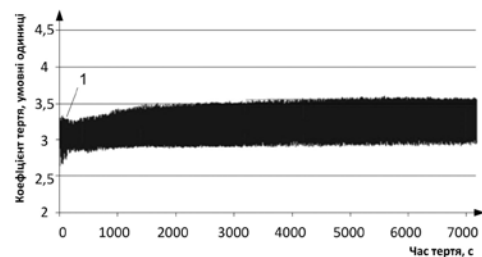
Мал. 8. Зміна коефіцієнта тертя пари Gradia Direct/зуб упродовж 120 хв. циклічного навантаження



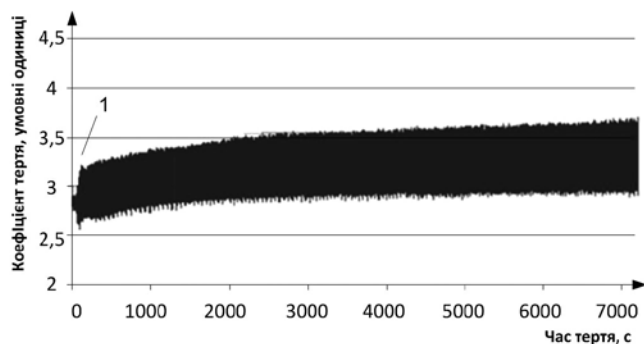
Мал. 10. Зміна коефіцієнта тертя пари Ceramage/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



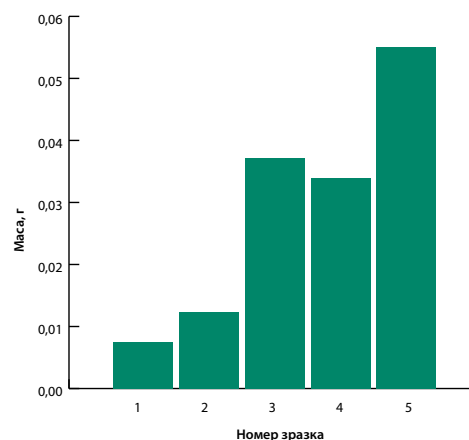
Мал. 12. Зміна коефіцієнта тертя зразка Omega 900/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



Мал. 14. Зміна коефіцієнта тертя пари IPS.e.max/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



Мал.16. Зміна коефіцієнта тертя контрольної групи зуб/зуб після 120 хв. циклічного навантаження



Мал.17. Сумарна втрата маси усіх досліджуваних пар тертя

США), з точністю 10^{-4} г (мал. 3). Перед дослідженням виконали вимірювання мікротвердості досліджуваних зразків на мікротвердомірі ПМТ-3М («Ломо», Росія) (мал. 4) і визначили шорсткість відполірованих поверхонь зразків за допомогою профілометра моделі 170621, («АСМА-Прибор», Росія) (мал. 5). Порівнювали результати експериментальних досліджень дозованого циклічного навантаження на зносостійкість матеріалів зразків різних груп із визначенням достовірних відмінностей за критерієм Стьюдента, оцінюючи достовірність результатів у межах $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Ураховуючи важливість впливу на тертя поверхневої мікротвердості та шорсткості, дослідили ці показники. Під час визначення поверхневої мікротвердості зразків композитних матеріалів Gradia Direct та Ceramage виявили низькі результати — 0,56 ГПа та 1,07 ГПа відповідно. Дещо вищий показник відзначили у прес-кераміці IPS.e.max, 6,31 ГПа, найвищий — у кераміці Omega 900 (11,71 ГПа) (мал. 6а). Дослідження шорсткості матеріалів для відновлення зубів після полірування показало, що композитні матеріали Gradia Direct, Ceramage та прес-кераміка IPS.e.max були майже однаково шорсткими, у межах 0,23–0,25 мкм. Проте у керамічного матеріалу Omega 900 з польового шпату

виявили найвищий показник шорсткості — 0,564 мкм (мал. 6б). Після циклічного біомеханічного навантаження зразки піддавали макроскопічному та мікроскопічному дослідженню, встановили, що досліджувані поверхні усіх зразків стираються по-різному (табл. 2).

Так, при макроскопічному огляді зразка першої пари тертя Gradia Direct/зуб виявили найбільш виражені глибокі доріжки тертя, порівняно з іншими матеріалами, водночас на поверхні зуба спостерігали незначне стирання емалі. Високий ступінь зношування зразка композитного матеріалу Gradia Direct можна пояснити його невисокою твердістю (мал. 6а). При світловій мікроскопії на ділянках матеріалу виявили пошкодження, подряпини та заглиблення, характерні для дії тривалого механічного навантаження. На графіку зміни коефіцієнта тертя у часі (мал. 8) можна виокремити дві ділянки з яких перша відображає процес притирання поверхні зразка та поверхні зуба. Зміна коефіцієнта тертя на межі двох ділянок відбулася внаслідок збільшення площі контакту в ділянці тертя. Обсяг зношення матеріалу доволі значний, і становить $10,10 \pm 0,2$ мм³, водночас обсяг зношення зуба — лише $\sim 0,6 \pm 0,2$ мм³ (табл. 2, мал. 7). При макроскопічному огляді зразка пари тертя Ceramage/зуб виявили борізки середньої глибини та незначні механічні пошкодження. На контактній поверхні зуба помітні ділянки стирання

та відколювання емалі (мал. 9). На графіку зміни коефіцієнта тертя у часі ідентифікували окремі ділянки (мал. 10): на ділянці 1 відбувався процес притирання, що продовжився на ділянці 2. Для ділянок 1–2 характерні задирання і сколювання, відповідно до незначних піків коефіцієнта тертя. Після притирання робочих поверхонь, коефіцієнт тертя стабілізувався у 3 ділянці. При мікроскопічному дослідженні зразків матеріалу виявили пошкодження, зокрема подряпини та заглибини. Обсяг зношення матеріалу склав $9,22 \pm 0,01$ мм³, зуба — $\sim 1,7 \pm 0,02$ мм³ (табл. 2).

У третій парі тертя матеріал Omega 900/зуб при макроскопічному дослідженні виявили борізки значно меншої глибини, що можна пояснити найвищою серед досліджуваних зразків твердістю матеріалу. При мікроскопічному дослідженні спостерігали борізки однакової глибини, а зношення матеріалу сягало $5,61 \pm 0,02$ мм³, зуба — $\sim 7,5 \pm 0,02$ мм³. Під час одного з експериментів зуб при терті зламався (мал. 11, табл. 2). Висока твердість і шорсткість поверхні зразка ускладнює тертя. У 1 ділянці спостерігали значні стрибки амплітуди коефіцієнта тертя. Процес притирання відбувався методом стирання нерівностей та загострень зуба. У 2 ділянці процес тертя стабілізувався, коефіцієнт тертя зменшився майже втричі, проте у 3 ділянці зламалася частина зуба, що спричинило задирання. Після певного

стабілізування величина коефіцієнта, тертя продовжувало зростати у 4 ділянці аж до завершення експерименту (мал. 12).

У четвертій парі тертя при макроскопічному огляді виявили незначні механічні ушкодження досліджуваного матеріалу IPS.e.max. Доріжки стирання були неглибокі, при цьому зуб стирався рівномірно, у значному обсязі (мал. 13). Висока твердість і невисока шорсткість зразка сприяли швидкому притиранню поверхонь (ділянка 1, мал. 14). Після притирання спостерігали незначне зростання коефіцієнта тертя, що швидко стабілізувався, залишаючись сталим до завершення експерименту (мал. 14). Під час мікроскопічного дослідження виявили рівномірне стирання усієї ділянки контакту. Обсяг зношування матеріалу становив $3,5 \pm 0,02$ мм³, зуба — $\sim 7,0 \pm 0,02$ мм³ (табл. 2). При макроскопічному огляді п'ятої пари тертя зуб/зуб виявили рівномірне стирання твердих тканин без видимих сколювань та тріщин. У всіх випадках спостерігали надмірно щільний взаємодіючий контакт досліджуваних елементів. При мікроскопічному дослідженні встановили рівномірне стирання на всій площі контакту. Також на обох по-

верхнях виявили характерні для стирання емалі притертості (мал. 15). Графік зміни коефіцієнта тертя у часі був рівномірним протягом усього періоду (мал. 16). Зношеність зуба, прикріпленого на верхній платформі, становила $\sim 6,1 \pm 0,05$ мм³, на нижній — $\sim 7,0 \pm 0,02$ мм³ ($p > 0,05$) (табл. 2). Узагальнюючи отримані результати, можемо визначити відносне зношування стоматологічного матеріалу при терті матеріал/зуб за формулою:

$$\frac{\text{маса втрати матеріалу, г}}{\text{об'єм втрати матеріалу, мм}^3}$$

Отже, відносне зношування зразка Gradia Direct дорівнювало $4,95 \times 10^{-4}$ г/мм³, Ceramag — $4,66 \times 10^{-4}$ г/мм³, Vita Omega 900 — $3,74 \times 10^{-4}$ г/мм³, IPS.e.max у — $8,57 \times 10^{-4}$ г/мм³. При цьому зуб, що був контртілом, найменше підлягав стиранню у першій парі з Gradia Direct — 0,0025 г, приблизно однаково у третій з Vita Omega 900 — 0,0350 г і четвертій з IPS.e.max — 0,0310 г, спостерігали значне стирання зубів контрольної групи зуб/зуб — 0,0250 г/0,0300 г. Визначили сумарну втрату пари тертя, що дорівнює сумі втрати маси досліджуваного матеріалу і втрати маси контртіла (мал. 17). Отже, сумарна втрату першої пари тертя дорівнює 0,0075 г, другої — 0,0123 г, третьої —

0,0371 г, четвертої — 0,034 г та контрольної — 0,055 г (мал. 17).

Висновки

За результатами експериментального дослідження, найтвердішим стоматологічним реставраційним матеріалом є IPS.e.max із загальною втратою зразка за 120 хв. тертя 3,5 мм³ і втратою маси 0,003 г. Найм'якшим є композит для прямих реставрацій Gradia Direct із загальною втратою зразка 10,10 мм³ і масою 0,005 г. Відносне зношування зразків Gradia Direct, Ceramag, Omega 900 було приблизно рівне: $4,95 \times 10^{-4}$, $4,66 \times 10^{-4}$ та $3,74 \times 10^{-4}$ г/мм³ відповідно, а зразка IPS.e.max значно відрізнялося — $8,57 \times 10^{-4}$ г/мм³. Сумарна втрату пари тертя була майже однаковою у зразків Omega 900 і IPS.e.max — 0,0371 г і 0,034 г відповідно; найбільшу сумарну втрату спостерігали у контрольній групі — 0,055 г. За визначеними параметрами процесу зношення різних видів реставраційних матеріалів з'ясували, що найкращою для відновлення контактних міжзубних пунктів виявилася прес-кераміка IPS.e.max, яку можна застосовувати для пломбування порожнин бічних зубів типу МО, ДО та МОД.

Список використаної літератури

1. Боровский Е.В. Кариес зубов: препарирование и пломбирование / Е.В. Боровский — М. Москва, 2001. — 143 с.
2. Логинова Н.К. Физиология эмали и дентина / Н.К. Логинова, А.Г. Колесник, В.С. Бартевев // Стоматология. — 2006. — Том 85, № 4. — С. 60–68.
3. Лукиных Л.М. Приоритеты в стоматологии / Л.М. Лукиных // Клини. стоматология. — 2004. — № 2. — С. 64–67.
4. Мамедова Л.А. Кариес зубов и его осложнения (от древности до современности) / Л.А. Мамедова. — Медицинская книга, 2002. — 184 с.
5. Луцкая И.К. Физиология зуба / И. К. Луцкая // Современная стоматология. — 2007. — № 1. — С. 50–55.
6. Павленкова Е.В. Особенности оперативной обработки твердых тканей зуба при кариозных полостях II класса по Блэку / Е.В. Павленкова // Український стоматологічний альманах. — 2005. — № 5. — С. 66–69.
7. Brasilsford S.R. The microflora of the erupting first permanent molar / S.R. Brasilsford, E.C. Sheely, S.C. Gilbert, D.T. Clark, E. A.M. Kidd, L. Zoitopoulos // Caries. Res. — 2005. — Vol. 39, № 1. — P. 78–84.
8. De Log R. Intra-oral restorative materials wear: rethinking the current approaches: How to measure wear / R. DeLog // Dental materials. — 2006. Epub. — P. 10.
9. Gohring N. Attritional wear and abrasive surface alterations of composite resin materials in vitro / T.N. Gohring, M.J. Besek, P.R. Schmidlin // J Dent., 2002. — V.30. — P. 119–127.
10. Li H. Wearbehaviour of human teeth in dry and artificial saliva conditions / H. Li, Z.R. Zhou // Wear. 2002. — № 249. — P. 980–984.
11. Murchison H. Enamel demineralization / H. Murchison, S. Larrymore // Ibid. — 1999. — Vol. 47. — P. 722–727.
12. Tyas M.J. Adhesive restorative materials: a review / M.J. Tyas, M.F. Burrow // Aust. Dent. J. — 2004. — Vol. 49, № 3. — P. 112–121.
13. Redman K.D. The survival and clinical performance of resin-based composite restorations / K.D. Redman, K.Y. Hemmings, J.A. Good // Brit. Dent Journal. — 2003. — № 10. — P. 194.
14. Pivetta M.R. Bond strength and etching pattern of adhesive system to enamel: effects of conditioning time and enamel preparation / M.R. Pivetta, S.K. Moura, L.P. Barroso, A.C. Lascada, A. Reis, A.D. Loquereio, R.H. Grande // J. Esthet. Restor. Dent. — 2008. — Vol. 20, № 5. — P. 322–335.

Стаття надійшла в редакцію 7 серпня 2013 року