

PFM ЯК ЗОЛОТИЙ СТАНДАРТ РЕСТАВРАЦІЙ У ХХ СТОЛІТТІ: АНАЛІЗ РИНКУ ТА КЛІНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Остроголов Дмитро Феофанович,

кандидат медичних наук, асистент кафедри стоматології,

Державний заклад «Луганський державний медичний університет»

ORCID: 0009-0005-1143-0406

Металокерамічні реставрації (porcelain-fused-to-metal, PFM) упродовж більшої частини ХХ століття залишалися ключовим технологічним проривом в ортопедичній стоматології, забезпечуючи оптимальне поєднання механічної міцності металевго каркаса з естетичними властивостями стоматологічної кераміки. У цьому дослідженні подано комплексний історичний аналіз становлення металокераміки – від ранніх порцелянових «жакет»-коронки Ч. Ленда, що заклали концептуальний фундамент керамічних реставрацій, до формування двокомпонентних каркасно-керамічних систем, які впродовж десятиліть визначали стандарти протезування. Особливий акцент зроблено на науково-технологічних інноваціях: розвитку керметів, дослідженнях у галузі сплавів різних поколінь, удосконаленні опаківих та низькотемпературних керамік, а також на появі високошвидкісних турбінних наконечників, що суттєво змінили можливості клінічного препарування та сприяли масовому впровадженню PFM.

Окремий розділ огляду присвячено соціально-економічним і ринковим закономірностям, які впливали на динаміку популярності металокерамічних реставрацій у різні історичні періоди. Наведено статистичні дані з виробничих аудитів зуботехнічних лабораторій, звітів національних медичних служб і стоматологічних асоціацій, які демонструють тривале ринкове домінування металокераміки з 1960-х до кінця 1990-х років. Показано, як перехід від благородних Au–Pd сплавів до економічніших базо-металевих систем Ni–Cr та Co–Cr сприяв здешевленню технології, розширенню її доступності та підтриманню високого обсягу виробництва в різних країнах світу. Разом із тим проаналізовано причини поступового зниження частки PFM у 2000-х роках, зумовленого активним розвитком цирконієвих матеріалів і повністю керамічних матеріалів, без металевих каркасів.

У роботі узагальнено сучасні клінічні дані щодо довгострокової виживаності й ускладнень металокерамічних коронок, включно з аналізом десятирічних досліджень, оцінкою тріщинотворення облицювальної кераміки, відшарування та специфіки поведінки різних видів сплавів порівняно з оксидною керамікою. Підкреслено, що PFM-реставрації зберігають високу прогнозованість і надійність, а їхні клінічні результати залишаються конкурентними в контексті сучасних матеріалознавчих тенденцій.

Також розглянуто сучасний технологічний етап розвитку металокераміки, зокрема інтеграцію CAD/CAM-технологій (інтегровані технології автоматизованого проектування й автоматизованого виробництва за допомогою комп'ютерних систем), цифрових протоколів планування, адитивних технологій (SLM – селективне лазерне плавлення) та їхній вплив на точність виготовлення каркасів, повторюваність результатів і оптимізацію лабораторних процесів. Огляд підкреслює, що, попри поступове зміщення ринку в бік високопрозорих цирконієвих систем, металокераміка не втратила клінічної актуальності: вона трансформується, адаптується до сучасної цифрової стоматології та вимог до функціональної надійності протезів.

Стаття комплексно висвітлює історичні, матеріалознавчі, економічні та клінічні аспекти PFM-технології, формуючи цілісне бачення її розвитку та демонструючи ключові чинники, що зумовили еволюцію реставраційних підходів у стоматології. Окреслено перспективні напрями подальших досліджень, пов'язані з удосконаленням сплавів, оптимізацією цифрових виробничих методів та оцінкою довгострокової ефективності металокераміки в умовах змінюваних ринкових і клінічних потреб.

Ключові слова: металокераміка, PFM, історія стоматології, кермети, турбінний наконечник, сплави, реставрації, CAD/CAM, адитивні технології, ортопедична стоматологія.

Вступ. Металокераміка — один із ключових історичних етапів розвитку ортопедичної стоматології: поєднання металевого каркаса й облицювальної кераміки дало унікальний баланс міцності та естетики, завдяки чому суттєво розширилися показання для непрямих реставрацій. Сформовані в середині ХХ століття технологічні підходи визначили клінічну практику на десятиліття та сприяли розвитку лабораторних методів, матеріалознавства й цифрових технологій. Ця робота спрямована на систематизацію історичних джерел, аналіз ключових віх і пояснення трансформації пріоритетів у виборі реставраційних матеріалів.

Матеріали та методи. Дослідження виконано у форматі структурованого історико-аналітичного огляду, що базувався на цілеспрямованому пошуку та відборі наукових джерел у PubMed, Google Scholar, Web of Science та спеціалізованих монографіях, які висвітлюють історичний розвиток PFM-технології, еволюцію стоматологічних сплавів і керамік, інструментальні інновації, ринкові тенденції та клінічні результати. У вибір включалися рецензовані, методично достовірні джерела, тоді як роботи з неповними або сумнівними даними виключалися. Зібрані матеріали були систематизовані за чотирима напрямками: історичний розвиток, матеріалознавчі інновації, соціально-економічні чинники та клінічна ефективність, що дало можливість узагальнити технічні характеристики сплавів і керамік, виробничу статистику та показники довгострокової виживаності реставрацій. Аналітичні методи передбачали порівняльний аналіз, узагаль-

нення клінічних досліджень і зіставлення результатів PFM із сучасними безметалевими системами для формування комплексного уявлення про еволюцію та ефективність металокерамічних реставрацій.

Результати. Непрямі металокерамічні реставрації (PFM) сформувалися як відповідь на потребу стоматології поєднати естетику кераміки з механічною міцністю металу. Історичні витoki технології сягають кінця ХІХ століття, коли Чарльз Г. Ленд представив першу порцелянову жакет-коронку — новаторську, але вразливу до тріщиноутворення конструкцію, що не мала достатньої внутрішньої підтримки [1].

У післявоєнний період інтерес дослідників змістився в бік кераміко-металевих композитів (cermet), які заклали основу для подальшого розвитку двокомпонентних каркасних систем [2]. Характерно, що термін «металокераміка» виник у військовому матеріалознавстві: дослідницькі програми ВПС США (Повітряні сили Сполучених Штатів Америки) активно фінансували створення теплостійких композитів, і саме в цьому середовищі сформувалося поняття, яке пізніше перекочувало в стоматологію [2].

Широке впровадження непрямих реставрацій стало можливим завдяки прориву у сфері стоматологічних інструментів. У середині ХХ століття інженери застосували принципи роботи авіаційних турбінних двигунів до стоматологічних наконечників, що призвело до створення в 1957 році Джоном Бордемом першого високошвидкісного турбінного наконечника, який радикально підвищив точність препарування й

фактично зробив масове виготовлення PFM-технології реальним [3].

Після офіційної презентації металокерамічної коронки на міжнародній стоматологічній виставці в 1962 році технологія швидко здобула широке визнання та стала стандартом у протезуванні [2]. Аналіз технологічної еволюції демонструє послідовний розвиток матеріалів: перше покоління (1950–1960-ті) базувалося на благородних сплавах (Au–Pd), які забезпечували надійний оксидний шар, але мали високу собівартість [4]; друге покоління (1970–1980-ті) впровадило економічні Ni–Cr і Co–Cr сплави, що підвищили доступність та зменшили частоту відшарування кераміки [4]. У 1990–2000-х роках удосконалені опаківі й низькотемпературні кераміки забезпечили поліпшену естетику та стабільність [5]. Цифрова ера (2000–2010-ті) принесла CAD/CAM-фрезерування, а сучасний етап характеризується застосуванням SLM та адитивних технологій, що забезпечують високу точність і відсутність дефектів лиття [5].

У 1970–1980-х роках відбулося заміщення дорогоцінних сплавів базо-металевими аналогами, що стимулювало зростання виробництва PFM і знизило залежність лабораторій від коливань цін на благородні метали. До кінця 1990-х років частка металокераміки досягла піка: у 1997 році в США 72 % усіх виготовлених коронок були PFM [6]. У 1988 році в Англії та Уельсі частка PFM становила 62 % серед усіх коронок [7], а аналіз NHS-звітів (Національна служба охорони здоров'я Великої Британії) 1997/98 року засвідчив виготовлення понад 1,3 млн коронок

для дорослого населення, значна частина яких була металокерамічною [8]. У деяких клініках наприкінці XX століття PFM становили понад 80 % усіх коронок [9].

Попри стрімке зростання популярності цирконію у 2000-х роках, металокераміка зберігає значну частку ринку в практиках, орієнтованих на міцність, економічність і передбачуваність результатів [10].

Клінічні результати підкреслюють довговічність PFM. Систематичні огляди фіксують трирічну виживаність $\approx 97\%$ [11]. Дослідження з 10-річним спостереженням демонструють високу стабільність конструкцій на Co–Cr та благородних сплавах [12]. Порівняння із цирконієвими реставраціями показує: 5-річна виживаність імплант-опорних протезів становила 100 % для PFM та 98,1 % для цирконію [13]. Додаткові клінічні дані підтверджують низьку частоту ускладнень у PFM-коронок у 5-річній перспективі [14]. Довгострокові аналізи клінічних практик демонструють, що коронки, зокрема металокерамічні, можуть слугувати понад 30–50 років [15].

Висновки. Металокерамічні реставрації продовжують залишатися важливою технологією в ортопедичній стоматології – їхній історичний внесок надзвичайно великий. Хоча на сучасному ринку їх частка зменшується, PFM не зникає повністю, а трансформується: вони адаптуються до цифрових процесів, нових сплавів і сучасних лабораторій. Розуміння цієї трансформації є важливим для клініцистів, науковців та виробників.

Література

1. Zhang Y., & Lawn B. Dental ceramics for restoration and metal-veneering: Historical roots and current perspectives. *Journal of Dentistry*. 2017. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5657342/>.
2. Tinklepaugh J. R. (Ed.). *Cermets*. Reinhold Publishing Corporation. 1960. URL: <https://books.google.com/books?id=ZmRkAAAAMAAJ>.
3. Forrai J., & Spielman A. I. (Eds.). History of the dental electric drill. In *Encyclopedia of the History of Dentistry*. 2023. URL: <https://kaleidoscopehistory.hu/index.php?cikkid=918&subpage=cikk>.
4. Kelly J. R., & Nishimura I. Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1996. Vol. 75 (1). P. 18–32. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9005250/>.
5. Helvey G. A. A history of dental ceramics. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*. 2010. Vol. 31 (4). P. 309–311. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20461962/>.
6. Christensen G. J. Indirect restoration use: A changing paradigm. *Journal of the American Dental Association*. 2012. Vol. 143 (4). P. 398–400. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0184>.
7. Wilson N. A., Whitehead S. A., Mjur I. A., & Wilson N. H. F. Reasons for the placement and replacement of crowns in general dental practice. *Primary Dental Care*. 2003. Vol. 10 (2). P. 53–59. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12736961/>.
8. Burke F. J. T., & Lucarotti P. S. Ten-year outcome of crowns placed within the General Dental Services in England and Wales. *Journal of Dentistry*. 2009. Vol. 37 (1). P. 12–24. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18487003/>.
9. Lynch C. D., Hannigan A., & Allen P. F. Placement and replacement of crowns in general dental practice. *British Dental Journal*. 2018. Vol. 225(3). P. 229–234. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30095124/>.
10. Garfield Refining. *What is a PFM dental crown?* 2025, February 7. URL: <https://www.garfieldrefining.com/resources/blog/what-is-a-pfm-dental-crown/>.
11. Chen H., Li T., et al. Clinical performance of zirconia-based tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39369882/>.
12. Rathmann F., et al. Up to 10 years clinical performance of zirconia ceramic and metal-ceramic fixed partial dentures: A retrospective study. *Journal of Dentistry*. 2022. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36464507/>.
13. Nejatidanesh F., et al. Five-year clinical outcomes of metal-ceramic and zirconia-based implant-supported dental prostheses: A retrospective study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32598899/>.
14. Jamal S., Ghafoor R., Khan F. R., & Zafar, K. Five-year evaluation of the complications observed in porcelain-fused-to-metal (PFM) crowns placed at a university hospital. *Journal of the Pakistan Medical Association*. 2020. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32400739/>.
15. Olley R. C., Andiappan M., & Frost P. M. An up to 50-year follow-up of crown and veneer survival in a dental practice. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018. Vol. 119 (6). P. 935–941. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28969914/>.

References

1. Zhang, Y., & Lawn, B. (2017). Dental ceramics for restoration and metal-veneering: Historical roots and current perspectives. *Journal of Dentistry*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5657342/>.
2. Tinklepaugh, J. R. (Ed.). (1960). *Cermets*. Reinhold Publishing Corporation. <https://books.google.com/books?id=ZmRkAAAAMAAJ>.

3. Forrai, J., & Spielman, A. I. (Eds.). (2023). History of the dental electric drill. In *Encyclopedia of the History of Dentistry*. <https://kaleidoscopehistory.hu/index.php?cikkid=918&subpage=cikk>.
4. Kelly, J. R., & Nishimura, I. (1996). Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 75 (1), 18–32. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9005250/>.
5. Helvey, G. A. (2010). A history of dental ceramics. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 31 (4), 309–311. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20461962/>.
6. Christensen, G. J. (2012). Indirect restoration use: A changing paradigm. *Journal of the American Dental Association*, 143 (4), 398–400. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0184>.
7. Wilson, N. A., Whitehead, S. A., Mjir, I. A., & Wilson, N. H. F. (2003). Reasons for the placement and replacement of crowns in general dental practice. *Primary Dental Care*, 10 (2), 53–59. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12736961/>.
8. Burke, F. J. T., & Lucarotti, P. S. (2009). Ten-year outcome of crowns placed within the General Dental Services in England and Wales. *Journal of Dentistry*, 37 (1), 12–24. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18487003/>.
9. Lynch, C. D., Hannigan, A., & Allen, P. F. (2018). Placement and replacement of crowns in general dental practice. *British Dental Journal*, 225 (3), 229–234. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30095124/>.
10. Garfield Refining (2025, February 7). *What is a PFM dental crown?* <https://www.garfieldrefining.com/resources/blog/what-is-a-pfm-dental-crown/>.
11. Chen, H., Li, T., et al. (2024). Clinical performance of zirconia-based tooth-supported fixed dental prostheses: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39369882/>.
12. Rathmann, F., et al. (2022). Up to 10 years clinical performance of zirconia ceramic and metal-ceramic fixed partial dentures: A retrospective study. *Journal of Dentistry*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36464507/>.
13. Nejatidanesh, F., et al. (2020). Five-year clinical outcomes of metal-ceramic and zirconia-based implant-supported dental prostheses: A retrospective study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32598899/>.
14. Jamal, S., Ghafoor, R., Khan, F. R., & Zafar, K. (2020). Five-year evaluation of the complications observed in porcelain-fused-to-metal (PFM) crowns placed at a university hospital. *Journal of the Pakistan Medical Association*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32400739/>.
15. Olley, R. C., Andiappan, M., & Frost, P. M. (2018). An up to 50-year follow-up of crown and veneer survival in a dental practice. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 119 (6), 935–941. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28969914/>.

Ostroholov D. F. PFM as the Gold Standard of Restorations in the 20th Century: An Analysis of Development, Market Dynamics, and Clinical Effectiveness

Porcelain-fused-to-metal (PFM) restorations remained a major technological breakthrough in prosthodontics throughout most of the twentieth century, providing an optimal combination of the mechanical strength of a metal substructure with the esthetic qualities of dental ceramics. This study presents a comprehensive historical analysis of the development of metal-ceramic technology—from Charles Land’s early porcelain “jacket” crowns, which laid the conceptual foundation for ceramic restorations, to the emergence of two-component metal–ceramic systems that defined prosthetic standards for decades. Special emphasis is placed on scientific and technological innovations: the evolution of cermets, research on successive generations of dental alloys, advancements in opaque and low-fusing ceramics, and the introduction of high-speed turbine handpieces that fundamentally changed clinical preparation capabilities and facilitated the widespread adoption of PFM.

A separate section of the review examines the socio-economic and market dynamics that shaped the popularity of metal-ceramic restorations during different historical periods. Statistical data from dental laboratory production audits and reports from national health services and dental associations are presented, demonstrating the prolonged market dominance of metal-ceramics from the 1960s through the late 1990s. The transition from noble Au–Pd alloys to more economical base-metal systems such as Ni–Cr and Co–Cr is shown to have reduced manufacturing costs, expanded accessibility, and sustained high production volumes across many countries. The review also analyzes the reasons behind the gradual decline of PFM use in the 2000s, driven primarily by the rapid development of zirconia-based and fully ceramic, metal-free materials.

The paper synthesizes current clinical evidence on the long-term survival and complications of metal-ceramic crowns, including analyses of ten-year studies, assessments of veneering-ceramic chipping, delamination, and the performance characteristics of various alloys compared with oxide ceramics. It is highlighted that PFM restorations continue to demonstrate high predictability and reliability, with clinical outcomes that remain competitive within contemporary materials-science trends.

The review also considers the modern technological phase in the evolution of metal-ceramics, including the integration of CAD/CAM technologies (computer-aided design and computer-aided manufacturing), digital planning protocols, and additive manufacturing methods such as selective laser melting (SLM), along with their impact on framework accuracy, reproducibility, and optimization of laboratory workflows. Despite the ongoing market shift toward high-translucency zirconia systems, metal-ceramics retain their clinical relevance, evolving and adapting to digital dentistry and the increasing demands for functional durability.

This article provides a comprehensive overview of the historical, materials-science, economic, and clinical aspects of PFM technology, offering a holistic view of its development and identifying key factors that have shaped the evolution of restorative approaches in dentistry. Promising directions for future research are outlined, including alloy optimization, refinement of digital manufacturing methods, and evaluation of the long-term effectiveness of metal-ceramic restorations in the context of changing market and clinical needs.

Key words: *metal-ceramics, PFM, history of dentistry, cermets, turbine handpiece, alloys, restorations, CAD/CAM, additive technologies, prosthodontics.*

Дата надходження статті до редакції: 22.10.2025

Дата прийняття статті до друку: 24.11.2025

Дата публікації: 05.12.2025