

ВЛИЯНИЕ НА ОРИЕНТАЦИЯТА ПРИ SLM ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА ПРОТЕЗНИ КОНСТРУКЦИИ С ОПОРА ИМПЛАНТИ

Габриела Кирова

*Катедра по дентално материалознание и протетична дентална медицина,
Факултет по дентална медицина, Медицински университет – Варна*

EFFECT OF BUILD ORIENTATION IN SLM ON THE ACCURACY OF IMPLANT-SUPPORTED PROSTHETIC FRAMEWORKS

Gabriela Kirova

*Department of Dental Material Science and Prosthetic Dentistry, Faculty of Dental Medicine,
Medical University of Varna*

РЕЗЮМЕ

Аддитивното производство (3D принтиране) навлиза все по-широко в денталната медицина, осигурявайки висока прецизност и предвидимост при изработване на различни видове възстановявания. Технологията селективно лазерно стопяване (SLM – selective laser melting) позволява изграждането на сложни по геометрия обекти чрез послойно разтопяване на метален прах. Настоящото проучване разглежда влиянието на ориентацията при SLM върху точността, определяна от параметрите маргиналната адаптация и вътрешното прилягане, при имплантатно-протетични конструкции.

Ключови думи: SLM, 3D принтиране, маргинална адаптация, вътрешно прилягане, точност, ориентация

ABSTRACT

Additive manufacturing (3D printing) is increasingly being introduced in dentistry, providing high precision and predictability in the fabrication of various types of restorations. Selective laser melting (SLM) enables the production of geometrically complex objects through layer-by-layer melting of metal powder. The present study investigates the influence of build orientation in SLM on accuracy, defined by the parameters marginal adaptation and internal fit, in implant-supported prosthetic frameworks.

Keywords: SLM, 3D printing, marginal adaptation, internal fit, accuracy, build orientation

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години адитивното производство (3D принтиране) се утвърждава като една от най-бързо развиващите се технологии с широко приложение в различни направления на съвременната дентална медицина. Един от най-използваните методи за послойно изграждане на метални конструкции е селективното лазерно стопяване (selective laser melting, SLM). При този процес

обектът се формира слой по слой чрез последователно разтопяване и напластяване на метален прах под въздействието на високоенергиен лазерен лъч (7,11,17).

Точността на получените конструкции при SLM е обусловена от множество технологични параметри, включително дебелина на слоя, мощност и скорост на сканиране, термични вариации и ориентацията на обекта върху печатната платформа (1,12). Ориен-

тацията има особено значение, тъй като влияе върху геометричната точност, структурната стабилност, необходимостта и разположението на опорните структури, разпределението на вътрешните напрежения и качеството на повърхността. Тези фактори рефлектират пряко върху точността на прилягане и маргиналната адаптация, които са от критично значение за предотвратяване на механични и биологични усложнения (3,4,10).

ЦЕЛ

Целта на настоящото проучване е да се провери и изследва влиянието на ориентацията на обекта при SLM върху точността на протезни конструкции с опора импланти.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Настоящото изследване представлява обзор на съвременната литература насочен към оценка влиянието на ориентацията при SLM върху точността на конструкции с опора импланти. Проведено е проучване в електронни бази данни PubMed, Scopus и Google Scholar за периода 2019-2025 г., използвайки ключови думи „SLM“, „3D printing“, „marginal adaptation“, „internal fit“, „accuracy“, „build orientation“.

Включени са пълнотекстови статии на английски език. Селектираните публикации са обединени по тематичен фокус върху влиянието на ориентацията върху точността на конструкции и включват данни за маргинална адаптация или вътрешно прилягане.

РЕЗУЛТАТИ

Анализът на селектираните публикации показва, че ориентацията оказва съществено влияние върху точността на конструкцията. В повечето изследвания най-добри резултати по отношение на маргинална адаптация и вътрешното прилягане са отчетени при ъгли на ориентация 45° и 60°, докато 0° и 90° демонстрират по-големи отклонения. Независимо от вариациите в методологията, наблюдавана е обща тенденция, че оптимизирането на ориентацията подобрява точността и съответствието с CAD модела.

ДИСКУСИЯ

Протезните конструкции с опора импланти е необходимо да отговарят на редица изисквания, гарантиращи тяхната дъл-

готрайност и клинична ефективност. Сред основните критерии са естетика, здравина, добра маргинална адаптация и пасивно прилягане. Тези параметри осигуряват не само функционална и биомеханична стабилност, но и предотвратяват усложнения в перимимплантатните тъкани (2,9).

Постигането на висока точност представлява водещ фактор, определящ успеха на имплантатно-протетичното лечение. Точността обичайно се дефинира чрез два основни параметъра: маргинална адаптация (marginal adaptation) и вътрешно прилягане (internal fit) (21).

Поддържането на пародонталното и периимплантатното здраве е в значителна степен обусловено от състоянието на маргиналната зона, където липсата на адекватна адаптация създава предпоставки за биологични усложнения. Неоптималната маргинална адаптация функционира като плак-ретентивен фактор, благоприятстващ натрупването на зъбна плака и бактериални биофилми (5). Това може да доведе до възпаление на меките тъкани (периимплантатен мукозит), което при липса на своевременно интервенция може да прогресира до периимплантит, съпроводен с прогресивна костна резорбция (15).

Недостатъчното пасивно прилягане е свързано с редица механични последствия, включително натрупване на напрежения върху винтовете и протезната конструкция, повишен риск от разхлабване, скъсване или фрактури на компонентите. Тези фактори могат да наложат необходимост от чести корекции и да компрометират дългосрочната стабилност и надеждност на конструкцията (16).

В процеса на адитивно производство чрез SLM точността на конструкцията се влияе от множество технологични параметри. Според литературни данни ориентацията на обекта спрямо принтиращата платформа има особено важно значение, тъй като определя разпределението на топлината, необходимостта от опорни структури и степента на деформации (3,18).

При ориентация 0° опорните структури се разполагат единствено върху оклузалната повърхност, което изисква минимален брой опори (19). Въпреки това хоризон-

талното наслагване на слоевете може да доведе до натрупване на грешки между тях и до повърхностни неравности, което влошава маргиналната точност (Altug et al). Според Chaowthawee et al. намалената точност по Z-оста при ориентация 0° допълнително може да доведе до деформации и необходимост от допълнителна постобработка (6,19).

Според Qu et al. ориентацията от 45° се препоръчва като най-ефективна, осигуряваща най-добра точност и адаптация на конструкции изработени чрез SLM, тъй като демонстрира значително по-малки отклонения и най-добра адаптация спрямо 0° и 90° (20). Chaowthawee et al. допълнително потвърждават, че при 45° се наблюдава по-тънък циментов слой и минимални маргинални отклонения в сравнение с останалите ориентации, което предполага по-равномерно разпределение на напреженията и по-нисък риск от деформации (6).

Chaowthawee et al. и Park et al. също съобщават, че ориентацията между 45° и 60° подобрява както вътрешното прилягане, така и маргиналната адаптация, постигайки най-ниско отклонение спрямо CAD модела (6,19). В изследване на Palmeri et al. се подчертава че ориентацията около 45° оказва значително влияние не само върху точността, но върху поръзността и механичните свойства на готовите конструкции (18). В свое проучване Aiza et al. посочват диапазон 40°-50° като оптимален (3).

При 90° ориентация се отчита най-голяма склонност към термични деформации и свиване на материала, което компрометира структурната стабилност и маргиналната адаптация. (6,8). Това се отчита и при изследване на големи мостови конструкции (14). Според Htat et al. ориентацията на печат значително влияе върху маргиналната адаптация и вътрешно прилягане на SLM Co-Cr корони. Ориентация 90° демонстрира най-големи несъответствия, докато 0° и 45° показват значително по-добра адаптация (10).

В други проучвания се посочва, че ориентацията от 180° показва най-добро прилягане (13). В свое изследване Farag et al. посочват, че оптималната ориентация може да варира според използваната технология (8).

Ориентацията на обекта при SLM е ключов технологичен параметър, оказващ влияние върху маргиналната адаптация и точността на прилягане. Това подчертава необходимостта за стандартизирани протоколи според типа конструкция. Оптимизирането на ориентацията върху платформата може да доведе до по-добро съвпадение между реалния и виртуалния (CAD) модел, минимизиране на деформациите и постигане на по-висока клинична предвидимост на резултатите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикова Ц. Кобалт-хромови дентални сплави, произведени чрез избиращелно лазерно стопяване с лазер, Варна 2018г., 200 стр.
2. Abduo J, Lyons K, Bennani V, Waddell N, Swain M. Fit of screw-retained fixed implant frameworks fabricated by different methods: a systematic review. *Int J Prosthodont.* 2011 May-Jun;24(3):207-20. PMID: 21519567.
3. Aiza I, Baldi C, de la Vega FM, Sebastiani S, Veronese NE, Yousefi M, et al. Effects of build orientation and inclined features on physical, microstructural and mechanical properties of powder bed fusion additively manufactured metallic parts. *Prog Mater Sci.* 2025 Jan;147:101357. doi:10.1016/j.pmatsci.2024.101357.
4. Alharbi N, Osman RB, Wismeijer D. Factors Influencing the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Full-Coverage Dental Restorations Using Stereolithography Technology. *Int J Prosthodont.* 2016 Sep-Oct;29(5):503-10. doi: 10.11607/ijp.4835. PMID: 27611757.
5. Cantó-Navés O, Martí-Vigil J, de Medrano J, Wu J, Figueras-Alvarez O. Comparison of the Internal and Marginal Adaptation of Implant-Supported Restorations on Titanium Base Using Various Materials: An In Vitro Study. *Materials (Basel).* 2025 Apr 1;18(7):1590. doi: 10.3390/ma18071590. PMID: 40271820; PMCID: PMC11990505.
6. Chaowthawee, A., Chaiamornsap, P., Jiangkongkho, P. and Sirimethawong, Y. 2025. Effect of Building Orientation on Marginal Gap and Internal Fit of The Implant-Supported 3D-Printed Provisional Crown. *c.* 18, 1 (Feb. 2025), 57–68.
7. Chen Y, Wei J. Application of 3D Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers (Basel).* 2025 Mar 26;17(7):886. doi: 10.3390/polym17070886. PMID: 40219277; PMCID: PMC11991056.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

8. Farag E, Sabet A, Ebeid K, et al. Build angle effect on 3D-printed dental crowns marginal fit using digital light-processing and stereolithography technology: an in vitro study. *BMC Oral Health*. 2024;24:73. doi:10.1186/s12903-024-03851-4
9. Ghodsi S, Alikhasi M, Soltani N. Marginal Discrepancy of Single Implant-Supported Metal Copings Fabricated by Various CAD/CAM and Conventional Techniques Using Different Materials. *Eur J Dent*. 2019 Oct;13(4):563-568. doi: 10.1055/s-0039-1700364. Epub 2019 Nov 26. PMID: 31770811; PMCID: PMC6938449.
10. Htat HL, Limpuangthip N, Lee JH, Lee SJ. Printing orientation and heat treatment effects on fit and hardness of selective laser melting-manufactured cobalt-chromium crowns. *J Dent*. 2025 Sep;160:105856. doi: 10.1016/j.jdent.2025.105856. Epub 2025 May 27. PMID: 40441285.
11. Huang S, Wei H, Li D. Additive manufacturing technologies in the oral implant clinic: A review of current applications and progress. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023 Jan 20;11:1100155. doi: 10.3389/fbioe.2023.1100155. PMID: 36741746; PMCID: PMC9895117.
12. Konieczny B, Szczesio-Wlodarczyk A, Sokolowski J, Bociong K. Challenges of Co-Cr Alloy Additive Manufacturing Methods in Dentistry-The Current State of Knowledge (Systematic Review). *Materials (Basel)*. 2020 Aug 10;13(16):3524. doi: 10.3390/ma13163524. PMID: 32785055; PMCID: PMC7475880.
13. Kim D-Y. Evaluation of fits of metal copings fabricated by using selective laser melting at various angles. *J Prosthet Dent*. 2022;128(3):415-420.
14. Lu TY, Lin WC, Yang TH, Sahrir CD, Shen YK, Feng SW. The Influence of Dental Virtualization, Restoration Types, and Placement Angles on the Trueness and Contact Space in 3D-Printed Crowns: A Comprehensive Exploration. *Dent J (Basel)*. 2023 Dec 19;12(1):2. doi: 10.3390/dj12010002. PMID: 38275677; PMCID: PMC10814425.
15. Matarese G., Ramaglia L., Fiorillo L., Cervino G., Lauritano F., Isola G. Implantology and Periodontal Disease: The Panacea to Problem Solving Open Dent. *J*. 2017;11:460–465. doi: 10.2174/1874210601711010460
16. Mukhopadhyay P, Khalikar A, Wankhade S, Deogade S, Shende R. The passive fit concept—A review of methods to achieve and evaluate in multiple-unit implant-supported screw-retained prostheses. *MAP Sci Dent J*. 2021;3(2):83. doi:10.37191/Mapsci-2582-3736-3(2)-083.
17. Oros, D.; Penčić, M.; Orošnjak, M.; Kedziora, S. Additive Manufacturing Technologies and Their Applications in Dentistry: A Systematic Literature Review. *Appl. Sci*. 2025, 15, 8346.
18. Palmeri D, Buffa G, Pollara G, Fratini L. Sample building orientation effect on porosity and mechanical properties in Selective Laser Melting of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Mater Sci Eng A*. 2022;830:142306. doi:10.1016/j.msea.2021.142306.
19. Park G-S, Kim S-K, Heo S-J, Koak J-Y, Seo D-G. Effects of printing parameters on the fit of implant-supported 3D printing resin prosthetics. *Materials*. 2019;12(16):2533. doi:10.3390/ma12162533
20. Qu W, Takaichi A, Kajima Y, Kamijo S. Effect of build orientation on trueness and adaptation of intaglio surface of maxillary complete denture metal frameworks fabricated by selective laser melting. *J Prosthodont Res*. 2025; DOI:10.2186/jpr. JPR_D_24_00195.
21. Sleem SM, Aboel-Fadl A, Taha D. Marginal fit evaluation of implant-supported interim fixed partial dentures fabricated using two manufacturing techniques: An in vitro study. *Int J Appl Dent Sci*. 2024;10(1):Article 1906. doi:10.22271/oral.2024.v10.i1b.1906.

Адрес за кореспонденция:

Габриела Кирова
 Факултет по дентална медицина
 Медицински университет – Варна
 бул. Цар Освободител 84
 Варна, 9002
 e-mail: gabriela.kirovaa@gmail.com
