

失败种植体的取出与重植临床研究进展

包雨晨^{1,2,3,4}, 杨思嘉^{1,2,3,4}, 何福明^{1,2,3,4*}

¹浙江大学医学院附属口腔医院修复科, 浙江 杭州

²浙江省口腔疾病临床医学研究中心, 浙江 杭州

³浙江省口腔生物医学研究重点实验室, 浙江 杭州

⁴浙江大学癌症研究院, 浙江 杭州

收稿日期: 2022年3月18日; 录用日期: 2022年4月12日; 发布日期: 2022年4月21日

摘要

在种植体广泛应用于患者临床修复缺失牙的现代环境下, 种植体失败的情况也屡屡发生。临床医生需要尽早发现问题, 并对已经引起的不良后果和可能引起失败的因素进行及早干预, 在种植失败的位点上种植体重植。本文就失败种植体的取出、重植的准备及预后作一综述。

关键词

口腔种植, 种植失败, 种植体取出, 重植

Research Progress on the Clinical Effect of Removal and Replantation of Failed Implants

Yuchen Bao^{1,2,3,4}, Sijia Yang^{1,2,3,4}, Fuming He^{1,2,3,4*}

¹Department of Prosthodontics, The Affiliated Stomatology Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou Zhejiang

²Zhejiang Provincial Clinical Research Center for Oral Diseases, Hangzhou Zhejiang

³Key Laboratory of Oral Biomedical Research of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang

⁴Cancer Center of Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 18th, 2022; accepted: Apr. 12th, 2022; published: Apr. 21st, 2022

Abstract

In the modern environment where implants are widely used for clinical restoration, implant fail-

*通讯作者。

文章引用: 包雨晨, 杨思嘉, 何福明. 失败种植体的取出与重植临床研究进展[J]. 临床医学进展, 2022, 12(4): 3018-3024. DOI: 10.12677/acm.2022.124435

ure often occurs. Clinicians need to find the problems as soon as possible and intervene the adverse consequences and possible factors that may cause failure as soon as possible, and replanting at the site of implant failure. This paper reviews the removal, replantation preparation and prognosis of failed implants.

Keywords

Dental Implant, Implant Failure, Implant Removal, Implant Replantation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

种植牙以其逼真的外观、有力的咀嚼优点，目前已成为大部分无牙或者缺牙患者的首选修复方式，以修复为导向的种植治疗是一种有效的、可预测的、可靠的治疗选择。尽管在大部分情况下种植修复能取得让患者和医生都满意的效果，但是种植体失败的情况也时有发生。当种植体失败时，临床医生需要考虑后续的治疗，包括种植体重植、固定桥、可摘局部义齿等修复方案。尽管重植的留存率较低，并且患者的疼痛指数较高[1]，种植体重植依然是患者和临床医生的首选方案。目前已有大量文献研究分析种植体的失败，但对种植体重植的临床效果还存在争议。本文就种植体失败后的取出方式，种植体重植后的临床表现及预后作一系统性综述。

2. 失败种植体的取出

当种植体失败时，临床医生需要取出失败的种植体。当种植体由于稳定性差而在临床上表现为植体松动时，可以通过反扭矩扳手将其旋出[2]。但部分失败的种植体是不松动的，暴力取出很容易伤及骨和邻牙。临床医生需要在尽可能减少创伤的前提下选择适当的技术快速有效的取出失败的种植体。

2.1. 拔牙器械和高速手机

当种植体松动，或种植体仅与少量的骨接触时，临床医生可以使用拔牙器械来取出种植体。这些器械包括但不限于牙挺、牙钳、血管钳等。如果种植体旋出没受到阻力的话，甚至不需要旋转就可以直接拔出。

高速手机具有显著的去骨效果，临床上常通过结合使用高速手机与拔牙器械或反扭矩扳手来取出失败的种植体。先用高速手机去除种植体颈部 1/2 的骨质，减轻扭矩之后再反扭矩扳手将种植体旋出。但当高速手机深入向下磨除植体根方骨组织时，容易产生皮下气肿[3]或损伤上颌窦、下牙槽神经等重要解剖结构。

2.2. 环切钻

环切钻是一种常见的用来取出失败种植体的工具[4]。临床医生通常应选择比种植体直径宽一点的环切钻，以免破坏种植体，尽可能减少骨的损伤，为后续的重植保留更好的骨条件。环切钻对周围的骨创伤较大，在操作的时候应注意用大量生理盐水降温，以免造成骨髓炎或热损伤。Marini [5]等报道了患者在使用环切钻取种植体之后出现了下颌骨疲劳性骨折的病例。环切骨钻和拔牙器械的结合使用可以减少

种植体周围的骨损伤。影像显示种植体根尖骨缺损较少。

计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)手术导板可以用来辅助环切钻进行种植体取出[6]。通过 CAD/CAM 手术导板来辅助环切钻, 可以精准取出种植体, 减少骨 - 种植体界面骨损伤, 降低了手术的危险性。

2.3. 超声骨刀

超声骨刀手术系统是指使用超声频率微振荡刀进行截骨术与骨整形手术的一种创新性的骨外科手术设备, 具有软硬组织识别功能, 同时采用冷切割模式, 可确保手术过程中最大的精确性与安全性[7]。超声骨刀通过附加在压电装置上的金刚石切割头来破坏种植体 - 骨界面, 实现种植体的取出。种植体的位置往往靠近神经和血管, 而超声骨刀的共频率范围在 24,000~29,500 赫兹之间, 可以保证精确性和选择性的切割, 避免损伤软组织[8]。使用超声骨刀进行圆周截骨时要保证间歇使用和大量的生理盐水冷却冲洗, 以免造成热损伤。截骨时超声骨刀应尽可能靠近种植体表面, 以尽可能去除最少量的骨。该方法主要应用于折断的和种植位置不佳的植体。与环切钻相比, 术后的骨愈合有明显改善, 但是所需手术时间较长[9]。

2.4. 反扭矩棘轮套装

反扭矩棘轮技术(CTRT)对种植体周围骨组织造成的损伤最小, 几乎可以做到无损[2]。CTRT 包括三部分: 拧入种植体的拆卸螺丝, 取出器和扭矩扳手。

CTRT: 第一种需要种植体有完整的基台。当种植体基台和螺丝完整时, 用牙钳通过逆时针的扭矩将其旋转出来。第二种技术是当种植体折裂或受损时, 则需要选择反向螺钉技术(RST)。逆时针方向将拆卸螺丝打入受损的种植体中, 以便能够锁住受损的种植体。根据种植体的直径和长度选择相应的取出器, 锁紧后, 施加反扭矩将植体整体拔除。Stajcic [10]等建议在拧紧拆卸螺丝时用生理盐水冷却, 以免造成过度摩擦造成的高温引起骨坏死。当种植体旋出的扭矩过大、种植体直径较长较细、牙槽骨骨质较硬时, 可能会有折断的风险。种植体的骨结合是是否使用 CTRT 的关键, 当剩余骨结合大于 4 mm 时, 建议先用环切钻、超声电刀等去除种植体冠侧骨质, 再用 CTRT 将其旋出。

2.5. 激光

激光应用于切割骨的过程类似于超声骨刀。激光产生脉冲光子, 这些光子被水吸收, 导致微爆炸并破坏周围的目标组织, 以实现骨 - 种植体界面的环周破坏。Smith [11]等报道了一例使用水激光(Erbium, Chromium: Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet. Er, Cr: YSGG 激光取出单个种植体的病例, 患者术后预后良好。Er, Cr: YSGG 激光可以有效切割骨组织, 并且可以使骨组织保持良好的活性, 且不会出现钙磷比例的改变[12]。Hajji [13]等人比较常规环钻与(Er, Cr: YSGG)激光在去除种植体时的骨体积、手术时间和骨表面形态变化。结果显示, 激光去骨的量几乎只有环切钻去骨量的一半(0.302 cm^3 vs. 0.519 cm^3)。在手术时, 激光耗费的时间是环切钻的两倍多(44.1s vs. 17.2s)。在评估骨形态学改变时, 扫描电子显微镜下发现激光组骨边缘清晰, 无任何热改变, 而环切钻骨组骨形成异常, 有一些微裂纹。另外, 激光去骨时还有显著的凝血效果[11]。

2.6. 高频电刀

高频电刀的作用原理是在骨 - 种植体结合界面造成骨热坏死, 再用扭矩扳手以较低的逆时针扭矩取出种植体。这种取出方式没有明显的机械性损伤。但是往往会引起局部骨坏死的发生[14]。骨加热到 44 摄氏度到 47 摄氏度超过 1 分钟就会导致骨热坏死[15]。目前用高频电刀取出失败种植体的临床报道较

少, 还需要更多的研究来为这种方式提供可靠的临床认证。

3. 种植体取出位点与重植时机

种植体取出后良好的位点情况和充分的骨组织是进行种植体重植的基础。但因种植体周围炎导致种植失败的患者往往在炎症降解的时候伴随着相应的骨缺损。种植体成功与否取决于其稳定性, 而稳定性则取决于骨-植入界面的生物力学特性。初期稳定性不足会导致种植手术后植体与骨之间微运动过度, 造成种植体松动, 增加种植体失败的风险[16]。Lekholm 和 Zarb [17]分类法认为, D 级(基底骨已开始吸收)和 E 级(基底骨已发生重度吸收)骨发生种植体失败的概率显著增高。与没有种植的区域相比, 种植体失败取出后位点的骨质量通常会进一步降低[18]。

种植体取出往往伴随着牙槽骨损伤, 剩余骨量充足时可以即刻重植, 对于有较大骨缺损的部位则需要延期重植。

3.1. 即刻重植

当种植体早期骨结合不良或机械原因导致失败取出, 失败位点的骨量充足, 在遵循适应症的前提下满足以下三个条件时, 可以采用即刻重植的方式: 1) 牙槽骨在重新备洞时能去除原来的螺纹沟槽及侵入的软组织; 2) 重植的种植体直径比失败的植体更粗; 3) 失败位点剩余骨量充足。初期稳定性不够的情况下可以辅助应用骨增量术式, 包括引导骨组织再生术、上颌窦外提升术、骨劈开术等。在保证不侵犯周围重要解剖结构的情况下可以显著增加种植体的长度与直径。

3.2. 延期重植

伴随着种植体周围炎失败的患者因为骨缺损较大而无法获得良好的初期稳定性, 所以常选择延期重植的方式。Mardingd [19]等认为对于骨吸收量较大的晚期失败的病例, 从种植体脱落到重植相距的时间过短, 会增加种植体再次失败的风险。何晶[20]等报道的 12 例失败植体从脱落到重植的平均间隔时间为 (6.8 ± 4.4) 个月, 留存率为 100%。骨增量手术是提高种植体存留率的重要因素。但还没有大样本量的研究表明, 相同条件下即刻重植和延期重植后的种植体存留率存在显著差异。

3.3. 异位点重植

部分晚期失败的患者, 因为严重的植体周围炎导致大面积骨缺损。骨增量手术也无法使原位点重植的植体获得足够的初期稳定性或原位点重植易损伤重要的解剖结构如下颌神经管及上颌窦时, 在患者仍选择种植修复的情况下, 我们可以在相邻骨量充足的位点进行种植, 来满足种植及上部修复需要。

4. 重植种植体的选择

种植体的选择对其留存率也有很大的影响。临床医生要根据不同病人的情况选择合适的植体。

4.1. 种植体的直径和长度

EMachtei [21]等的研究发现失败组的平均植入物直径(3.72 mm)小于成功植入物(4.05 mm, $P = 0.06$)。Winkler [22]等人在一项为期 36 个月的种植体留存率研究里报告, 宽径种植体(>4 mm)的留存率高于窄直径种植体。窄直径的种植体与骨接触的面积小, 共振频率分析测量直径较小的种植体初期稳定性更低[23]。

尽管 Alemany [24]等的 meta 分析表明, 短种植体和长种植体的留存率和骨流失率没有显著性差异, 但种植失败后的骨吸收之间有显著性差异。Halim [25]等分析了 25,490 个短植体和 159,435 个长植体。结果表明, 短种植体的失败风险显著高于长种植体。种植体的冠-植体比可能是影响种植体留存率的重要

因素,但目前国内外缺少这方面的研究。

4.2. 种植体表面处理

种植体的表面改性可能会影响其留存率。Alsaady [26]等的研究表明二氧化钛表面处理(Tiunite)植体留存率(96.6%)要显著高于机械表面处理的植体(79.4%, $P = 0.05$)。在同位点重植时,表面改善的种植体预后更好。Hao CP [27]等通过 meta 分析研究了四种常用种植牙表面(喷砂酸蚀 SLA、喷砂酸蚀活性亲水 SLActive、二氧化钛表面处理 Tiunite 和双重酸处理 Osseotite)的骨整合和稳定性,研究表明表明,SLActive 表面在早期具有促进骨整合的能力。TiUnite 表面对整体愈合期的骨整合效果最好,在稳定性方面也具有最佳效果。

5. 种植体上部修复的选择

5.1. 修复材料的选择

一项 12 年的回顾性研究报道了氧化锆修复体长期的稳定性和低种植体周围炎发病率[28]。Pjetursson [29]等的综述比较了氧化锆冠和金属烤瓷冠修复体的种植体存留率,金属烤瓷冠支持的种植体留存率高于二氧化锆,且有统计学意义。多单元种植修复时,金属烤瓷桥修复的故障率低于氧化锆桥修复,氧化锆修复体更易发生断裂和崩瓷[30]。氧化锆固定修复短期留存率较高[29],且美学并发症比金属烤瓷冠少[31]。临床上应结合患者美观和功能的需求,考虑患者的经济水平,选择合适的修复材料和修复方式。

5.2. 修复方式的选择

种植体植入的数量决定了患者不同的上部修复方式。Chuchai 等的一项关于单冠与三单元联桥的研究表明,单冠的边缘密合性要好于桥修复[32]。Tobias [33]等的研究表明,当种植体负载时,单冠、长基台连接三单元桥修复体抗疲劳断裂强度明显高于短基台连接和无基台连接修复体,桥组强度高于冠组。临床上应结合患者经济水平和颌骨质量,来选择不同的修复方式。

6. 重植的临床表现

在先前失败的位点上行种植体重植对临床医生来说是一个挑战,当位点条件过差时,会导致种植体二次失败。种植体的留存率会随着种植次数的增加而降低。Mardinger [19]等的研究表明,失败种植体重植的存活率在 93%,二次重植的存活率在 85%。Quaranta [34]等进行了 16 枚失败种植体的即刻重植,只有一例失败,他们认为即刻重植是可行的。多次种植失败的位点往往伴随着严重的骨损伤。Kimiko [1]等 177 枚重植种植体的研究表明,首次重植的种植体存活率为 77.4% (177 个种植体中的 137 个, $P = 0.0001$)。第二次重植的生存率为 72.7% (16/22)。第三次重植的生存率为 50.0% (1/2),在同一部位的每一次重植,存活率都将持续下降,且患者的疼痛指数更高。总的来说,种植体重植的存活率低于一般报道的首次种植体植入后的存活率。在重植中,表面粗糙的种植体的存活率高于表面光滑的种植体。大多数种植体初始失败可能是由可改变的危险因素造成的,如种植体结构、解剖位置、感染和咬合超负荷[35]。多次失败的现象常在同一患者身上出现,表现为一定的聚集性。这和患者自身的条件密不可分,往往伴随着吸烟、口腔卫生差等严重的不良习惯。

重植的患者与初次种植的患者心态不同,因疼痛、费用等会对再次种植心存顾虑。临床医生要与患者进行良好的沟通,避免因种植失败带来的医患矛盾。

7. 结论

综上所述,种植失败与种植位点条件、种植体选择、患者自身因素等有着密不可分的关系。在种植

失败发生后,应尽早取出失败的植体,为重植做好充分的准备。临床医生应该:一、安抚好病人的情绪,积极配合治疗。二、选取适当方法取出失败的植体,在做到彻底清创的同时尽量保存骨量。三、重植时保证种植位点充足的骨量,必要时辅以适当的骨增量手术。四、选择合适的种植体,在不影响重要解剖结构的前提下可以选用长度更长直径更大的表面处理良好的植体。五、督促病人维持良好的口腔卫生,避免因吸烟、无法控制的高血糖等带来的二次失败。种植失败并不代表着治疗的结束,而是新的开始。如何避免种植失败的发生,提高重植种植体的存留率,仍是临床医生需要解决的挑战。

基金项目

浙江大学医学院教育改革项目(jgyb20202049)。新型牙种植体的临床应用技术及其系统评价体系研究(2016YFC1102705),中央高校基本科研业务费专项资金资助(2021FZZX005-39)。

参考文献

- [1] Agari, K. and Le, B. (2020) Successive Reimplantation of Dental Implants into Sites of Previous Failure. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **78**, 375-385. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.10.001>
- [2] Froum, S., Yamanaka, T., Cho, S.C., Kelly, R., St James, S. and Elian, N. (2011) Techniques to Remove a Failed Integrated Implant. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, **32**, 22-26, 28-30.
- [3] Döngel, I., Bayram, M., Uysal, I.O., Sunam, G.S. (2012) Subcutaneous Emphysema and Pneumomediastinum Complicating a Dental Procedure. *Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery*, **18**, 361-363. <https://doi.org/10.5505/tjtes.2012.26817>
- [4] Bowkett, A., Lavery, D., Patel, A. and Addy, L.J. (2016) Removal Techniques for Failed Implants. *British Dental Journal*, **220**, 109-114. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.88>
- [5] Marini, E., Cisterna, V. and Messina, A. (2013) The Removal of a Malpositioned Implant in the Anterior Mandible Using Piezosurgery. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, **115**, e1-e5. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2011.10.031>
- [6] Deeb, G., Koerich, L., Whitley III, D. and Bencharit, S. (2018) Computer-Guided Implant Removal: A Clinical Report. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **120**, 796-800. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.10.032>
- [7] 杜芳, 孙钦峰. 超声骨刀在口腔领域中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2008, 35(3): 268-270.
- [8] Messina, A.M., Marini, L. and Marini, E. (2018) A Step-by-Step Technique for the Piezosurgical Removal of Fractured Implants. *Journal of Craniofacial Surgery*, **29**, 2116-2118. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000004553>
- [9] Rahnama, M., Czupkało, L., Czajkowski, L., Graszka, J. and Wallner, J. (2013) The Use of Piezosurgery as an Alternative Method of Minimally Invasive Surgery in the Authors' Experience. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, **8**, 321-326. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2011.35144>
- [10] Stajčić, Z., Stojčev Stajčić, L.J., Kalanović, M., Đinić, A., Divekar, N. and Rodić, M. (2015) Removal of Dental Implants: Review of Five Different Techniques. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **45**, 641-648. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.11.003>
- [11] Smith, L.P. and Rose, T. (2010) Laser Explantation of a Failing Endosseous Dental Implant. *Australian Dental Journal*, **55**, 219-222. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01225.x>
- [12] Kimura, Y., Yu, D., Fujita, A., Yamashita, A., Murakami, Y. and Matsumoto, K. (2017) Effects of Erbium, Chromium: YSGG Laser Irradiation on Canine Mandibular Bone. *Journal of Periodontology*, **72**, 1178-1182. <https://doi.org/10.1902/jop.2000.72.9.1178>
- [13] Hajji, M., Franzen, R., Grümer, S., Modabber, A., Nasher, R., Prescher, A., et al. (2016) Removal of Dental Implants Using the Erbium, Chromium: Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet Laser and the Conventional Trephine Bur: An *in Vitro* Comparative Study. *Photomedicine and Laser Surgery*, **34**, 61-67. <https://doi.org/10.1089/pho.2015.3981>
- [14] Augustin, G., Davila, S., Mihoci, K., Udiljak, T., Vedrina, D.S. and Antabak, A.J. (2008) Thermal Osteonecrosis and Bone Drilling Parameters Revisited. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **128**, 71-77. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0427-3>
- [15] Albrektsson, T. and Eriksson, A. (1985) Thermally Induced Bone Necrosis in Rabbits. Relation to Implant Failure in Humans. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **186**, 311-312. <https://doi.org/10.1097/00003086-198505000-00037>
- [16] Taylor, M., Barrett, D.S. and Deffenbaugh, D. (2012) Influence of Loading and Activity on the Primary Stability of

- Cementless tibial Trays. *Journal of Orthopaedic Research*, **30**, 1362-1368. <https://doi.org/10.1002/jor.22056>
- [17] Lekholm, U., Zarb, G.A. and Albrektsson, T. (1985) Patient Selection and Preparation. Tissue Integrated Prostheses. Quintessence Publishing Co., Chicago.
- [18] Kim, Y.K., Park, J.Y., Kim, S.G. and Lee, H.J. (2010) Prognosis of the Implants Replaced after Removal of Failed Dental Implants. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, **110**, 281-286. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.01.031>
- [19] Mardinger, O., Ben Zvi, Y., Chaushu, G., Nissan, J. and Manor, Y. (2012) A Retrospective Analysis of Replacing Dental Implants in Previously Failed Sites. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, **114**, 290-293. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.07.010>
- [20] 何晶, 商亚微, 邓春富, 尚德浩, 张翀, 王丹宁, 等. 种植体失败位点再种植的临床回顾分析[J]. 上海口腔医学, 2014, 23(2): 196-200.
- [21] Machtei, E.E., Mahler, D., Oettinger-Barak, O., Zuabi, O. and Horwitz J. (2008) Dental Implants Placed in Previously Failed Sites: Survival Rate and Factors Affecting the Outcome. *Clinical Oral Implants Research*, **19**, 259-264. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01466.x>
- [22] Winkler, S., Morris, H.F. and Ochi, S.J. (2000) Implant Survival to 36 Months as Related to Length and Diameter. *Annals of Periodontology*, **5**, 22-31. <https://doi.org/10.1902/annals.2000.5.1.22>
- [23] Östman, P.-O., Hellman, M., Wendelhag, I. and Sennerby, L. (2006) Resonance Frequency Analysis Measurements of Implants at Placement Surgery. *The International Journal of Prosthodontics*, **19**, 77-83.
- [24] Torres-Aleman, A., Fernández-Estevan, L., Agustín-Panadero, R., Montiel-Company, J.M. and Medicine, M.-F. (2020) Clinical Behavior of Short Dental Implants: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, **9**, Article No. 3271. <https://doi.org/10.3390/jcm9103271>
- [25] Abdel-Halim, M., Issa, D. and Chrcanovic, B. (2021) The Impact of Dental Implant Length on Failure Rates: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Materials*, **14**, Article No. 3972. <https://doi.org/10.3390/ma14143972>
- [26] Alsaadi, G., Quirynen, M. and Van Steenberghe, D. (2006) The Importance of Implant Surface Characteristics in the Replacement of Failed Implants. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **21**, 270-274.
- [27] Hao, C.P., Cao, N.J., Zhu, Y.H. and Wang, W.J. (2021) The Osseointegration and Stability of Dental Implants with Different Surface Treatments in Animal Models: A Network Meta-Analysis. *Science Report*, **11**, Article No. 13849. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93307-4>
- [28] Pjetursson, B.E., Sailer, I., Makarov, N.A., Zwahlen, M. and Thoma, D. (2017) Corrigendum to “All-Ceramic or Metal-Ceramic Tooth-Supported Fixed Dental Prostheses (FDPs)? A Systematic Review of the Survival and Complication Rates. Part II: Multiple-Unit FDPs” [Dental Materials 31 (6) (2015) 624-639]. *Dental Materials*, **33**, e48-e51. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.033>
- [29] Pjetursson, B.E., Valente, N.A., Strasding, M., Zwahlen, M., Liu, S. and Sailer, I. (2018) A Systematic Review of the Survival and Complication Rates of Zirconia-Ceramic and Metal-Ceramic Single Crowns. *Clinical Oral Implants Research*, **29**, 199-214. <https://doi.org/10.1111/clr.13306>
- [30] Abdulmajeed, A.A., Lim, K.G., Närhi, T. and Cooper, L. (2016) Complete-Arch Implant-Supported Monolithic Zirconia Fixed Dental Prostheses: A Systematic Review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **115**, 672-627.e1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.08.025>
- [31] Pozzi, A., Arcuri, L., Fabbri, G., Singer, G. and Londono, J. (2021) Long-Term Survival and Success of Zirconia Screw-Retained Implant-Supported Prostheses for up to 12 Years: A Retrospective Multicenter Study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, Article ID: S0022-3913(21)00265-1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.04.026>
- [32] Chuchai, A., Masnisa, C. and Chanavut, A. (2014) Gap Comparison between Single Crown and Three-Unit Bridge Zirconia Substructures. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, **6**, 253-258. <https://doi.org/10.4047/jap.2014.6.4.253>
- [33] Graf, T., Güth, J.-F., Edelhoff, D., Krennmair, G. and Stimmelmayer, M. (2021) Influence of Butt Joint Connections with Long Guiding Areas on the Stability of Single Crowns and 3-Unit Bridges—An *In-Vitro*-Study. *Journal of Prosthodontic Research*, **65**, 455-460. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_20_00036
- [34] Quaranta, A., Cicconetti, A., Battaglia, L., Piemontese, M. and Voza, I. (2012) Crestal Bone Remodeling around Platform Switched, Immediately Loaded Implants Placed in Sites of Previous Failures. *Journal of Prosthodontic Research*, **10**, 115-122. <https://doi.org/10.1177/1721727X120100S222>
- [35] Oh, S.L., Shiau, H.J. and Reynolds, M.A. (2020) Survival of Dental Implants at Sites after Implant Failure: A Systematic Review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **123**, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.11.007>