

牙髓活力检测的新进展

徐倩容综述 叶玲 谭红审校

(四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科 成都 610041)

[摘要] 牙髓状态的判定对牙体修复和牙髓治疗方案的选择十分重要,目前临床上牙髓状态的检测大致分为牙髓感觉测试和牙髓活力测试。牙髓感觉测试通过刺激牙髓神经观察患者的主观感受来判断,主观性较强,不一定能反映牙髓的真正状态,而牙髓活力检测可以通过检测牙髓血流量的变化从而体现牙髓的活力,客观、无创,在临床应用上有一定的优势。本文就牙髓感觉测试与牙髓活力检测的区别,以及目前牙髓活力检测的研究新进展作一综述。

[关键词] 牙髓活力检测; 牙髓感觉测试; 牙髓血流量; 脉搏血氧测定法; 激光多普勒

[中图分类号] R 781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1673-5749.2011.02.029

The new advancing in pulp vitality testing XU Qian-rong, YE Ling, TAN Hong. (Dept. of Conservative Dentistry and Endodontics, West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

[Abstract] It is significantly important to distinguish the pulpal status in determining plans of odontal prosthesis and endodontic therapy. There are pulp sensibility testing and pulp vitality testing currently. The sensibility testing is based on patients' feeling by stimulating the nerve in the pulp, which is subjective and cannot reflect the real status of the pulp. However, the pulp vitality testing can reflect the pulpal vitality by detecting its blood supply, simultaneously being objective and non-invasive, which makes its advantages in clinical application. This review discussed the difference between the pulp sensibility testing and pulp vitality testing, as well as recent progresses in the field of pulp vitality test.

[Key words] pulp vitality testing; pulp sensitivity testing; pulp's blood supply; pulse oximetry; laser doppler flowmetry

牙髓状态的检测和判断可以为牙髓病的诊断、治疗方案的选择提供临床依据,主要包括牙髓感觉测试、牙髓活力检测等^[1]。

目前临床上常用的检测方式是牙髓感觉测试,如温度测试、牙髓电测试、诊断性备洞等,主要根据患牙对外来刺激的反应来检查牙髓的状态,这些方法通过刺激牙髓神经,经过一定的疼痛传导途径^[2],引起患者的不适、麻木、甚至疼痛等感觉,但难以客观反映牙髓的活力,结果判定多依赖于患者的主观感觉,且牙髓神经对缺氧等状态有一定的抵抗力等因素的存在,使得感觉测试不能确切反映真正的牙髓状态,特别是对于情绪过度紧张的患者、外伤牙或者年轻恒牙,牙髓感觉测试常出现假阳性或者假阴性。

如何快速、准确、无创地评估牙髓状态,对

正确诊断、治疗牙髓病非常重要。相对牙髓感觉测试而言,牙髓活力检测通过对牙髓血流的检测,更能客观地反映出牙髓的活力状态。牙髓活力检测方法尤其是非创伤性牙髓活力检测方法,如脉搏血氧测定法(pulse oximetry, PO)、激光多普勒(laser doppler flowmetry, LDF)等,通过检测患牙牙髓血流量(pulpal blood flow, PBF)等客观指标获得能反映血氧饱和度、血细胞移动速率等的信号波形,以此来反映牙髓的状态变化^[1]。本文就牙髓感觉测试与牙髓活力检测的一些区别,以及牙髓活力检测的研究新进展作一综述。

1 牙髓感觉测试和牙髓活力检测

牙髓感觉测试^[2]主要是通过刺激受测牙的牙髓牙本质复合体中的 A δ 神经纤维,使其迅速产生一种尖锐、短暂的感觉或者麻刺感(如果刺激持续,则可激发 C 神经纤维而引起持续性钝痛),患者可以根据自身的主观感受对测试做出反应。

[收稿日期] 2010-07-26; **[修回日期]** 2010-11-19

[作者简介] 徐倩容(1985—),女,四川人,硕士

[通讯作者] 谭红, Tel: 028-85501439

牙髓感觉测试容易出现假阳性或者假阴性：情绪紧张、焦虑或有治疗疼痛经历的患者易产生假阳性；C神经纤维能在无氧环境下可存活一段时间，刺激时间过长易产生假阳性；根管钙化^[3]、牙外伤导致的神经纤维断裂、年轻恒牙未完全闭合的根尖孔、处于神经发育未完善阶段的牙齿等易出现假阴性^[4]。

在诸多牙髓感觉测试的方法中，温度测试、牙髓电测试主要依靠患者对测试的主观感觉，在判断牙髓是否存活的方面比较可靠，但也常出现假阳性、假阴性的结果；诊断性备洞根据备洞时刺激牙本质产生的酸软样牙本质过敏症状来判断牙髓状态，因其是有创操作而对牙体完整的牙并不适用，应用面较窄。在患者无法分清疼痛来源时，诊断性局部麻醉则是一种可试行的判断方法，对疼痛范围内的最后一颗牙实施浸润麻醉，直到疼痛消失，虽然这种方法不会破坏牙体的完整性，但神经纤维存在交叉，亦可能出现判断不

准确的情况。

牙髓活力状态在一定程度上取决于牙髓的血流量变化，因此PBF的检测被国内外大多数学者称之为真正的牙髓活力检测^[1,3-5]。PBF的检测可以对牙髓血细胞、血红蛋白等进行比较客观的评估，能反映健康牙齿、患牙的血供情况，对牙齿无刺激，且可检测年轻恒牙、外伤牙。目前发展起来的相关技术有：PO、LDF、激光透射、超声多普勒、透射法、荧光法等。牙髓血液来源于上、下牙槽动脉，动脉经根尖孔，在牙髓中央走行，并发出动脉分支形成密集的毛细血管网，满足细胞功能需求，最后回流于各级静脉，出根尖孔汇入牙槽静脉。牙髓血液循环正常、健康，体现了牙髓的活力或恢复情况。牙髓活力检测可通过测定不同血液信号，客观评估牙髓血供情况，比牙髓感觉测试更加有效，更能反映牙髓的真正活力^[4]。牙髓感觉测试和牙髓活力检测的对比详见表1。

表1 牙髓感觉测试和牙髓活力检测的区别

Tab 1 The difference between the pulp sensibility testing and pulp vitality testing

项目	反应对象	评估依据	可能的影响因素	检测方式	评价
牙髓感觉测试	神经纤维,以Aδ为主	患者的主观感受	外伤、年龄、患者自身心理、神经发育程度等	温度测试、电测试、诊断性备洞、诊断性的局部麻醉等	技术成熟、操作简便、价格低廉;但易受患者因素影响而出现假阳性或假阴性
牙髓活力检测	牙髓血供情况	客观的数据、波形等	周围组织血流信号干扰、牙齿解剖结构、牙齿异常结构、设计缺陷等	PO、LDF、激光透射、超声多普勒、透射法、荧光等	技术发展空间大、受主观影响相对较小、非创伤性,但价格较贵,干扰信号多,需要进一步验证及完善

2 牙髓活力检测的新进展

相对于牙髓感觉测试方法基本没有进展而言，牙髓活力检测虽然有一些无法避免的缺陷，设计上也还有改进的空间，但在牙髓真正活力的检测方面明显具有一定的优势，下面主要对目前牙髓活力检测的一些研究新进展进行介绍。

2.1 PO

PO作为监测患者血氧饱和度的一种方法，在全身麻醉手术及重症患者监护中常规应用，其主要基于比尔定律，即物质对某一单色光吸收的强弱与吸光物质浓度和厚度间的关系。脉搏血氧测定仪发射的红光(640 nm)和红外光(940 nm)可穿透牙体组织，分别检测氧合血红蛋白及去氧血红蛋白的吸光度变化，从而测定牙髓血容量及血氧

饱和度。PO是一种非创伤性、非侵入性的操作，可应用于口腔测试^[3]。

近几年，一些学者对PO应用于前牙牙髓血氧饱和度的测试进行了研究。Calil等^[6]收集了17名志愿者的食指血液进行血氧检测作为阳性对照，10颗已行根管治疗的牙齿作阴性对照，分别用冷刺激测试与PO对志愿者上颌的28颗中切牙和32颗尖牙进行测试，结果显示：阴性对照组的牙齿冷刺激测试阴性，PO法检测到牙齿的血氧饱和度为0，而实验组牙齿冷刺激测试均为阳性，用PO法确定的上颌中切牙、尖牙的牙髓平均血氧饱和度水平分别为0.912 9±0.026 1、0.906 9±0.027 1，比食指的血氧饱和度0.950 0±0.016 0低，但差异无统计学意义，提示PO法可应用于牙髓的活力检测。Gopikrishna等^[7]采用PO法和牙髓感觉测试的

方法(电测试、温度测试)对近期受伤的上颌恒切牙进行检测后发现:电测试或温度测试组测试为阳性反应的比例为 0%(刚受伤时)、29.4%(伤后 28 d)、82.35%(伤后 2 月)、94.11%(伤后 3 月),而 PO 检测的恒切牙则从伤后 0 d~6 月间一直有较稳定的阳性表现。

PO 在进行测量时要求有正常的动脉血流量^[4],如果遇到强烈的血管收缩、过多的二氧化碳和炎症代谢产物等,往往导致结果不易被检测;若牙冠发生钙化,也可能出现假阴性的测量结果。不同厂家的仪器、测量时探头放置的不同位置、周围组织都可能影响血氧饱和度值的测试结果^[8]。由于 PO 探头的设计限制,使其大部分仅应用于前牙,而对后牙牙髓活力的测试尚需进一步研究。

2.2 LDF

LDF 是用氦氖或者半导体作为激光光源,根据多普勒现象,吸收由血细胞运动而发生频率漂移的反射光,同时根据反射光强度、频率漂移大小来检测血细胞的流量和流速^[9]。Musselwhite 等^[10]在加肾上腺素的利多卡因局部浸润麻醉下检测前牙牙髓的血流量,同时记录心电图,实验发现:随着血管的收缩,PBF 和脉冲振幅均减小。LDF 在口腔中的应用还可见于对创伤牙牙髓活力的检测, Lee 等^[11]用干冰对创伤牙进行牙髓感觉测试后,使用 LDF 作为校对指标,发现在受伤后短时间内,创伤牙的牙髓仍有血液循环重新建立。Strobl 等^[12]选取 7~10 岁儿童创伤脱位的牙齿作为研究对象,经过再植夹板固定后,用 LDF 检测夹板拆除后的当天,12、24、36 周再植牙的 PBF,与另外 10 颗活髓牙以及 10 颗已行根管治疗的牙齿进行对比,同时结合临床表现、X 射线检查、牙髓感觉测试等方法对其进行检测后发现:LDF 检测的创伤牙是否活髓的准确率达 88.2%、活髓牙达 100%、根管治疗牙达 80%,死髓的创伤牙在伤后 24~36 周时 PBF 明显降低,研究者认为:LDF 检测可能比一般牙髓检测手段更能在较早期反映创伤牙血液循环重建的状态。Roy 等^[13]提出:在检测创伤牙时血细胞移动速度(moving blood cell velocity, MBCV)可能相对一般方法更为精确,研究中采用 LDF 对活髓牙、无活性牙(根管治疗牙)以及脱位再植的创伤牙的 PBF、MBCV 进行记录,发现 LDF 能记录到活髓牙的 PBF,虽与脉搏同步但存在时空的差异(不同志愿者、不同牙位的牙齿记录到的信号值不同,不同时间记录

的同一颗牙齿的信号值也不同),活髓牙与无活性牙的 PBF 差异无统计学意义;而活髓牙与无活性牙的 MBCV 却有明显的区别,在用 LDF 记录的 MBCV 与传统方法(温度测试等)对比检测创伤牙时,传统方法检测为阴性结果的在 MBCV 上有不同于无活性牙记录曲线的“阳性”表现。LDF 在各种牙髓活力评估(如创伤牙、外科手术对牙髓活力的影响等)、儿童牙髓测试、牙髓感觉测试校对、再植牙血供重建等方面都充分体现了其应用价值。

尽管 LDF 在检测 PBF 时有很多优势,但它也有比较明显的缺陷,如:牙周组织与口腔黏膜对血流信号的干扰^[4];有研究^[14]分别对中切牙腭、唇侧及两侧进行遮挡前后进行 LDF 检测,发现遮挡可以使 LDF 信号发生明显的变化。牙体形态、厚度^[9]、充填物大小^[16]、结构与参数指定、探头的位置及周围环境的温度变化等都对其有一定影响;对牙体组织可能造成伤害^[9];应用于口腔的 LDF 价格较高等,上述问题限制了 LDF 的临床应用。

2.3 透射激光

透射激光是 LDF 的一种变形,与 LDF 不同的是,其分成唇(颊)侧和腭(舌)侧 2 个探头,分别发射激光和接收信号。Sasano 等^[17]分别用透射激光和 LDF 检测活髓牙和无活性牙,结果发现:透射激光相对 LDF 来说,周围组织血流信号的干扰相对较少,信号更易被检测,也更加清楚。Sasano 等^[19]又进一步证明:随着激光功率的增加,透射激光检测 PBF 的能力也随之增加,并提示了较高能量的透射激光是检测 PBF 及牙髓活力的有效手段。尽管如此,透射激光在口腔诊治方面的应用并不多见,牙齿结构和厚度的干扰、探头形态结构和位置固定等都可能是影响其应用的因素^[4],但是透射激光具有的优势仍不容忽视,其临床应用有待进一步的探索。

2.4 激光或光诱导荧光技术

激光或光诱导荧光技术被广泛应用于探测气相原子、不同物种,仅微量就可确定物质的内部分布,在口腔医学中常见应用于诊断口腔肿瘤、结合目测法诊断窝沟龋和邻面龋损等^[18-20]。1958 年发现牙齿荧光与牙髓活力密切相关,首次提出了应用荧光来检测牙髓活力的可行性^[21],随后相继有学者^[22]进行了相关的研究,发现在一定的光学参数下,牙髓活力健康的牙齿与牙髓异常的牙

齿其荧光信号明显不同, 荧光强度随牙髓活力的降低而减弱。然而, 也有实验分析髓腔及根管冠1/3的荧光变化后发现: 被粪肠球菌及变异链球菌感染的根管能激发强烈的荧光^[23], 治疗后荧光值恢复正常。虽然存在以上不同的看法, 但一般认为牙髓可以激发荧光, 激光诱导荧光技术检测牙髓活力存在一定的理论基础。如何减少周围组织或者感染物对牙髓组织激发荧光的影响, 荧光强度值与牙髓活力正常状态数值之间的关系如何, 探测敏感度如何得到进一步的提高等, 都需要大量进一步的分析验证^[24]。

2.5 其他检测方法

2.5.1 双波长分光光度法 (dual wavelength spectrophotometry, DWLS)

利用检测器测出2种不同波长(760 nm和850 nm)光束吸收度的差值(其差值与被测物质浓度成正比), 来检测牙髓腔内毛细血管床血氧饱和度改变引起的信号变化, 是一种无创、客观的检测手段。Nissan等^[25]用DWLS对不同处理(清空、固定、充满氧合血)的牙髓进行检测, 结果表明DWLS能有效地分辨出牙髓腔内的不同状态, 提示DWLS可能成为一种牙髓检测的手段。尽管如此, 目前DWLS在牙髓活力测试方面的研究多处于实验阶段, 如何设计测试头、减少周围组织血流量的影响等均需要进一步地研究。

2.5.2 超声多普勒

有研究^[26]利用超声多普勒检测影响血流量变化的一些参数: 最大线速度、平均线速度、最小线速度、脉搏指数以及循环阻力等, 比较活髓牙及根管治疗后牙齿的PBF, 结果显示以上参数在活髓牙与根管治疗后牙齿之间有明显的统计学差异, 且在活髓牙中能检测到典型的小动脉搏动波形, 提示超声多普勒可利用以上参数来检测PBF, 从而探测牙髓的活力, 但相关研究较少, 理论基础需要进一步完善。

2.5.3 牙体表面温度测试

牙体表面温度测试是通过应用很灵敏的温度电偶来检测牙髓活力^[27]。Smith等^[28]报道了离体条件下灌注37℃水测得的牙体表面温度变化与水流量有关, 而活体条件下测得牙体表面温度变化不明显, 与血流量也无明显关系, 提示这种测试方法可能不适合检测牙髓活力。同时测试时间长、患者呼吸时的温度变化等都限制了其临床使用^[4]。

2.5.4 透照法

透照法常用于隐裂牙的检查, 也有报道^[2]见于牙髓坏死牙的检测, 主要是根据对

光照的透射效果来检测牙髓状态: 活髓牙具有良好的透光性; 死髓牙由于血细胞坏死, 色素沉着在牙本质小管中, 光照射后表现出暗淡、发黑等颜色。

2.5.5 其他

还有可用于检测组织中微血管床血流量变化的光体积描记法^[29]、紫外光摄影法^[4]等, 但相关报道不多。

3 结束语

牙髓及根尖周疾病的诊断不仅需要医生结合病史、患者对疼痛的描述及常规的口腔检查, 还需要影像学、牙髓检测等手段辅助。不断发展改进的牙髓活力测试方法提高了牙髓病诊断的准确性, 尤其是创伤牙和年轻恒牙, 减少了误诊, 提高了患牙的预后。但由于诸多原因, 如牙齿髓腔狭小、相对牙髓组织较少; 多根牙可能的部分髓坏死; 急性牙髓炎、牙髓充血时信号的判别; 周围组织的干扰; 设备设计的缺陷等, 新技术的应用还有很多局限和不能避免的缺点, 仍需总结经验、改善设计, 进一步提高牙髓活力检测的敏感度和准确性。

4 参考文献

- [1] Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshbabu N. Assessment of pulp vitality: A review[J]. *Int J Paediatr Dent*, 2009, 19(1):3-15.
- [2] Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental pulp neurophysiology: Part 1. Clinical and diagnostic implications[J]. *J Can Dent Assoc*, 2009, 75(1):55-59.
- [3] Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental pulp neurophysiology: Part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality[J]. *J Can Dent Assoc*, 2009, 75(2):139-143.
- [4] Chen E, Abbott PV. Dental pulp testing: A review[J]. *Int J Dent*, 2009, 2009:365785.
- [5] Sasano T, Onodera D, Hashimoto K, et al. Possible application of transmitted laser light for the assessment of human pulp vitality. Part 2. Increased laser power for enhanced detection of pulpal blood flow[J]. *Dent Traumatol*, 2005, 21(1):37-41.
- [6] Calil E, Caldeira CL, Gavini G, et al. Determination of pulp vitality *in vivo* with pulse oximetry[J]. *Int Endod J*, 2008, 41(9):741-746.
- [7] Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Comparison of electrical, thermal, and pulse oximetry methods for assessing pulp vitality in recently traumatized teeth[J]. *J Endod*, 2007, 33(5):531-535.
- [8] Kelleher JF, Ruff RH. The penumbra effect: Vasomotion-dependent pulse oximeter artifact due to probe mal-

- position[J]. *Anesthesiology*, 1989, 71(5):787-791.
- [9] Jafarzadeh H. Laser Doppler flowmetry in endodontics: A review[J]. *Int Endod J*, 2009, 42(6):476-490.
- [10] Musselwhite JM, Klitzman B, Maixner W, et al. Laser Doppler flowmetry: A clinical test of pulpal vitality[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1997, 84(4):411-419.
- [11] Lee JY, Yanpiset K, Sigurdsson A, et al. Laser Doppler flowmetry for monitoring traumatized teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2001, 17(5):231-235.
- [12] Strobl H, Gojer G, Norer B, et al. Assessing revascularization of avulsed permanent maxillary incisors by laser Doppler flowmetry[J]. *J Am Dent Assoc*, 2003, 134(12):1597-1603.
- [13] Roy E, Alliot-Licht B, Dajean-Trutaud S, et al. Evaluation of the ability of laser Doppler flowmetry for the assessment of pulp vitality in general dental practice[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008, 106(4):615-620.
- [14] Soo-ampon S, Vongsavan N, Soo-ampon M, et al. The sources of laser Doppler blood-flow signals recorded from human teeth[J]. *Arch Oral Biol*, 2003, 48(5):353-360.
- [15] Akpınar KE, Er K, Polat S, et al. Effect of gingiva on laser doppler pulpal blood flow measurements[J]. *J Endod*, 2004, 30(3):138-140.
- [16] Chandler NP, Pitt Ford TR, Monteith BD. Effect of restorations on pulpal blood flow in molars measured by laser Doppler flowmetry[J]. *Int Endod J*, 2010, 43(1):41-46.
- [17] Sasano T, Nakajima I, Shoji N, et al. Possible application of transmitted laser light for the assessment of human pulpal vitality[J]. *Endod Dent Traumatol*, 1997, 13(2):88-91.
- [18] Ebihara A, Krasieva TB, Liaw LH, et al. Detection and diagnosis of oral cancer by light-induced fluorescence[J]. *Lasers Surg Med*, 2003, 32(1):17-24.
- [19] Chu CH, Lo EC, You DS. Clinical diagnosis of fissure caries with conventional and laser-induced fluorescence techniques[J]. *Lasers Med Sci*, 2010, 25(3):355-362.
- [20] Walsh LJ. The current status of laser applications in dentistry[J]. *Aust Dent J*, 2003, 48(3):146-155.
- [21] 梁燕, 黄力子. 牙荧光检测仪测定牙髓活力的初步研究[J]. *中华口腔医学杂志*, 1994, 29(2):103-104.
- [22] Li HS, Lei ZY. Detection and research on dental pulp fluorescence signal[C]. 2009 Third international symposium on intelligent information technology application, Nanchang, 2009.
- [23] Sainsbury AL, Bird PS, Walsh LJ. DIAGNOdent laser fluorescence assessment of endodontic infection[J]. *J Endod*, 2009, 35(10):1404-1407.
- [24] 李翰山, 雷志勇. 基于激光技术的牙髓活力检测研究[J]. *激光与红外*, 2008, 38(1):22-24.
- [25] Nissan R, Trope M, Zhang CD, et al. Dual wavelength spectrophotometry as a diagnostic test of the pulp chamber contents[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1992, 74(4):508-514.
- [26] Yoon MJ, Kim E, Lee SJ, et al. Pulpal blood flow measurement with ultrasound Doppler imaging[J]. *J Endod*, 2010, 36(3):419-422.
- [27] Fanibunda KB. The feasibility of temperature measurement as a diagnostic procedure in human teeth[J]. *J Dent*, 1986, 14(3):126-129.
- [28] Smith E, Dickson M, Evans AL, et al. An evaluation of the use of tooth temperature to assess human pulp vitality[J]. *Int Endod J*, 2004, 37(6):374-380.
- [29] Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement[J]. *Physiol Meas*, 2007, 28(3):R1-R39.

(本文编辑 李彩)

(上接第233页)

- [28] Mitoma M, Oho T, Shimazaki Y, et al. Inhibitory effect of bovine milk lactoferrin on the interaction between a streptococcal surface protein antigen and human salivary agglutinin[J]. *J Biol Chem*, 2001, 276(21):18060-18065.
- [29] Oli MW, McArthur WP, Brady LJ. A whole cell BIA-core assay to evaluate P₁-mediated adherence of *Streptococcus mutans* to human salivary agglutinin and inhibition by specific antibodies[J]. *J Microbiol Methods*, 2006, 65(3):503-511.
- [30] Hamada T, Kawashima M, Watanabe H, et al. Molecular interactions of surface protein peptides of *Streptococcus gordonii* with human salivary components[J]. *Infect Immun*, 2004, 72(8):4819-4826.
- [31] 姜颖, 杨锦波, 刘天佳, 等. 不同浓度的葡萄糖对变形链球菌初始黏附能力的影响[J]. *华西口腔医学杂志*, 2006, 24(5):455-457.
- [32] Browngardt CM, Wen ZT, Burne RA. RegM is required for optimal fructosyltransferase and glucosyltransferase gene expression in *Streptococcus mutans*[J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2004, 240(1):75-79.
- [33] Qian H, Dao ML. Inactivation of the *Streptococcus mutans* wall-associated protein A gene (wapA) results in a decrease in sucrose-dependent adherence and aggregation[J]. *Infect Immun*, 1993, 61(12):5021-5028.
- [34] Zhu L, Kreth J, Cross SE, et al. Functional characterization of cell-wall-associated protein WapA in *Streptococcus mutans*[J]. *Microbiology*, 2006, 152(Pt 8):2395-2404.

(本文编辑 汤亚玲)