

不同牙刷设计对牙刷性能的影响:文献回顾

石启蒙¹ 李罡² 李艳红¹

¹昆明医科大学附属口腔医院口腔预防科,昆明 650106; ²昆明医科大学附属口腔医院

口腔修复科,昆明 650106

通信作者:李艳红,Email:86835596@qq.com

【摘要】 龋病和牙周病是与牙菌斑密切相关的常见口腔疾病,有效的菌斑控制是维护牙体和牙周组织健康的关键。刷牙是有效的个人菌斑控制方法,对牙刷作出设计上的改进,对增加其菌斑清除效率和安全性等性能有重要作用。本文将对不同牙刷设计对牙刷性能造成的影响进行综述。

【关键词】 牙科装置,家用治疗; 设备设计; 刷牙

基金项目: 云南省医学学科带头人项目(D2019-007); 云南省“万人计划”名医专项(2019—2024年); 昆明医科大学研究生创新基金(2022S182)

引用著录格式: 石启蒙,李罡,李艳红. 不同牙刷设计对牙刷性能的影响:文献回顾[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2023, 17(4):309-314.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.04.012

Effects of different toothbrush designs on toothbrush efficiency

Shi Qimeng¹, Li Gang², Li Yanhong¹

¹Department of Preventive Dentistry, School and Hospital of Stomatology, Kunming Medical University, Kunming 650106, China; ²Department of Prosthodontics, School and Hospital of Stomatology, Kunming Medical University, Kunming 650106, China

Corresponding author: Li Yanhong, Email:86835596@qq.com

【Abstract】 Caries and periodontal disease are common oral diseases closely related to dental plaque. Effective plaque control is the key to maintain the health of teeth and periodontal tissue. Toothbrushing is an effective personal plaque control method. Improving the design of toothbrush plays an important role in increasing its plaque removal efficiency and safety. This article reviewed the effects of different designs on the performance of toothbrushes.

【Key words】 Dental devices, home care; Equipment design; Toothbrushing

Fund programs: Yunnan Medical Discipline Leader Project in 2019 (D2019-007); Special Program For Famous Doctors of Yunnan “Ten Thousand People Plan” (2019-2024); Graduate Innovation Fund of Kunming Medical University (2022S182)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.04.012

龋病和牙周病是导致失牙的主要口腔疾病^[1],其发生、进展与积聚在牙齿表面的牙菌斑密切相关^[2],有效的牙菌斑控制对龋病和牙周病的预防有重要作用。刷牙能有效的控制牙菌斑,其菌斑控制效果主要取决于刷牙技术、刷牙时长和牙刷设计^[3]。对牙刷的设计进行改进,可以提升牙刷的牙菌斑清除效率等性能。本文将对不同牙刷设计对牙刷性能造成的影响进行文献回顾。

一、手动牙刷

世界上最早的植毛牙刷出现时间可以追溯到我国的辽代^[4],古人用铁丝将兽毛成簇结扎于兽骨上以作为刷牙的工具,初具现代牙刷的雏形。20世纪30年代末,采用塑料刷柄和尼龙刷毛的牙刷开始普及,在此后的20年间,手动牙刷逐渐成为了生活中常见的口腔清洁工具^[5]。手动牙刷常通过对刷柄、刷头形状和刷毛的设计进行改进,以提升牙刷性能。

1. 刷柄:刷柄的设计会影响使用者的持握与施力(图1)。直刷柄是常见的刷柄设计,然而使用直刷柄牙刷清洁下前牙舌侧面和上前牙腭侧面时,由于牙弓的弯曲,刷柄容易受到前磨牙的阻挡,导致刷毛难以完全接触牙面,从而影响了这些部位的牙菌斑清除效果。而采用弯曲刷柄的设计,在便于使用者绕过前磨牙的阻挡,更有效地清除下前牙舌侧面和上前牙腭侧面牙菌斑的同时,由于刷柄与刷头在牙刷长轴方向上的偏心排列结构,使用者只需小角度转动手腕,就能使刷头完成较大范围的拂刷动作,有助于使用者清除更多的牙菌斑^[6]。Droubi等^[7]发现,部分特殊儿童由于疾病原因导致手部运动受限,无法稳定持握牙刷;而根据特殊儿童的手部运动模式,个性化定制更便于稳定持握的牙刷刷柄,能帮助特

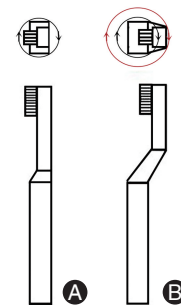


图1 手动牙刷刷柄设计示意图 A:直刷柄设计:旋转刷柄时,刷头与刷柄会以相同角度转动;B:弯曲刷柄设计:使得刷头(红色轨迹)相比刷柄(黑色轨迹)进行了更大距离的运动。

殊儿童获得更好的牙菌斑控制效果。

2. 刷头设计:牙刷刷头的大小与形状会影响牙刷清除牙菌斑的效率。大小合适的刷头,易达到口腔中难以清洁的牙面清除菌斑^[5]。部分手动牙刷对刷头形状进行特殊设计,从而帮助难以有效刷牙的人群达到良好的牙菌斑控制效果。Youcharoen等^[8]发现,相较于使用手动牙刷,使用可同时清洁三个牙面的三头牙刷可以取得更好的牙菌斑清除效果;对于儿童等难以掌握有效刷牙技术的人群,使用三头牙刷刷牙时不易遗漏使用传统牙刷刷牙时容易遗漏的牙面,如牙齿的舌腭面。Al-Omiri等^[9]认为,牙刷采用三头能提高刷牙效率,减少刷牙所需的时间,从而提高使用者刷牙的依从性。Mamat等^[10]则认为,使用刷头呈T型的牙刷刷牙,避免了使用者手臂的完全悬空,提高了儿童刷牙过程中的手部稳定性的同时便于使用竖刷牙刷牙。此外,T型牙刷能同时清洁的牙面范围相较传统牙刷更大,在研究中取得了不低于传统手动牙刷的牙菌斑清除效果。

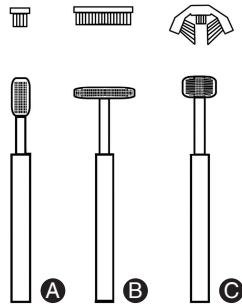


图2 手动牙刷刷头设计示意图 A:传统手动牙刷;B:T型牙刷;C:三头牙刷。

3. 刷毛硬度:目前常用的牙刷刷毛材料为尼龙材料^[11],通常认为刷毛较硬的牙刷的牙菌斑清除效率较高^[12]。刷毛直径会影响刷毛的硬度,直径较小的刷毛更加柔软。目前,部分牙刷通过采用极细的刷毛,以求提升刷牙时的舒适度的同时增加刷毛数量,以求取得更高的牙菌斑清除效率。2021年的一项研究表明,采用过细刷毛的牙刷,无法有效清除牙菌斑^[13]。虽然牙菌斑清除效率较低,但是使用软毛牙刷刷牙可降低软组织损伤的风险,较硬的刷毛则更容易损伤口腔内的软硬组织^[14-15]。有学者发现,软毛牙刷在模拟刷牙过程中造成了更多的牙体磨损^[11,16-17]。这可能是由于相比硬刷毛,软刷毛在相同刷牙力作用下产生更大幅度的弯曲,增加了刷毛与牙面的接触面积,从而在往复运动过程中产生了更多的牙齿磨损。

4. 刷毛末端形态:根据对刷毛末端的处理方式不同,可以将刷毛分为磨圆刷毛和锥形刷毛^[5]。磨圆刷毛的尖端进行了机械磨圆处理,刷毛末端与牙面接触面积较小,从而减少了刷牙过程中刷毛末端对牙面的摩擦力,在一定程度上减少了刷毛对牙体的磨损。采用磨圆刷毛的牙刷的菌斑清除效率高于采用锥形刷毛的牙刷^[18]。锥形刷毛是经过化学处理,末端呈圆锥状的刷毛。锥形刷毛的末端抗挠曲强度低于

直径相同的磨圆刷毛,呈自然弯曲状态,更容易对牙齿邻间隙、窝沟等硬刷毛难以到达的部位进行清洁。Langa等^[19]的研究表明,采用锥形刷毛的牙刷能显著减少牙间区域的牙菌斑,且锥形刷毛牙刷造成的牙龈损伤事件发生率较低。Ren等^[18]发现,完全采用锥形刷毛的牙刷更明显地改善了牙龈炎症。Versteeg等^[20]发现,尽管锥形刷毛牙刷有减少牙龈损伤的趋势,但是磨圆刷毛牙刷清除了更多的牙菌斑并更显著地改善了牙龈出血,值得一提的是,锥形刷毛牙刷获得了更高的舒适度评价。

5. 刷毛排列方式:刷毛的排列方式同样会影响牙刷的性能。为便于描述,根据观察方向,笔者将观察牙刷刷毛的排列方向分为冠状观察方向与矢状观察方向。冠状观察方向指从刷毛的一侧,以与刷毛垂直的方向对刷毛进行观察;矢状观察方向指从刷毛尖端,以与刷毛平行的方向对刷毛进行观察。在冠状观察方向上以交叉角度排列的刷毛,更容易到达牙齿邻间隙清除牙菌斑^[21]。国内外学者对不同刷毛方式排列的牙刷进行了一定数量的体外研究,以探究采用不同刷毛排列方式的牙刷对牙体组织的磨损作用。Turssi等^[11]发现对比了刷毛以不同方式排列的牙刷与牙颈部楔状缺损发生的关系,结果表明,刷毛末端平齐的牙刷造成的楔状缺损体积明显高于其他牙刷,而交叉刷毛的牙刷与更高的楔状缺损发生率相关。Bizhang等^[22]使用刷毛在冠状观察方向分别呈波浪状排列和与末端平齐的牙刷,进行长达8.5年模拟刷牙后发现,刷毛呈波浪状排列的牙刷造成的牙本质磨损程度更低。有学者发现,在矢状观察方向上,刷毛簇平行排列的牙刷造成的牙本质磨损程度高于刷毛簇交错排列的牙刷,并推测该现象可能是牙膏在平行排列的刷毛簇间进行了更大范围运动导致的^[23]。笔者认为,相较于刷毛簇交错排列的牙刷,刷毛簇平行排列的牙刷在较小刷牙力作用下,同时接触牙面的刷毛更少,可能造成刷毛对牙面的压强增加,若在较大刷牙力下,将导致部分刷毛过度弯曲,从而造成更多的牙齿磨损。

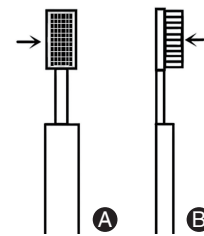


图3 手动牙刷刷毛排列方式示意图 观察方向如箭头所示:冠状观察方向(A),矢状观察方向(B)。

一项研究表明,在经过专业指导的情况下尽力刷牙时,能清除牙齿表面90%的牙菌斑^[24]。虽然使用手动牙刷可以达到有效的牙菌斑控制,然而部分人群由于未掌握正确的刷牙方法、双手灵活性有限和缺乏耐心等原因,难以使用手动牙刷进行有效的菌斑控制^[25]。研究表明,未经过专业指导的非口腔医学专业人员即使用手动牙刷尽力刷牙,仅能清除牙

龈缘30%~40%的牙菌斑^[26-27],而电动牙刷等新型牙刷的出现,或是提升了牙菌斑的清除效率,或是简化了重复枯燥的刷牙过程,以帮助人们克服刷牙的困难。

二、电动牙刷

自20世纪50年代,电动牙刷问世并不断更新换代,提高性能的同时也提升了使用时的体验^[28-29]。常见的电动牙刷工作模式有:往复运动式、声波式、超声波式、相对旋转式和往复旋转式等。一项长达11年的队列研究发现,在减少牙周袋平均探诊深度和控制附着丧失进展方面,电动牙刷更加有效,且电动牙刷的使用者保留的牙齿数量比手动牙刷使用者多19.5%^[30]。其中,部分声波式电动牙刷(sonic toothbrush)和往复旋转式电动牙刷(oscillating-rotating toothbrush)相较于手动牙刷和其他工作模式的电动牙刷,在清除牙菌斑效果、维护牙龈健康的性能方面表现出一定的优势。

1. 声波式电动牙刷:声波式电动牙刷是指振动频率在20~20 000 Hz的电动牙刷^[5],牙刷内的声波发生器,将声波能量传导至刷头,使刷毛做短距离往复运动并产生机械清洁效果。高频振动的刷毛使口腔中的液体快速流动,对牙菌斑产生流体剪切力^[31]。即便刷毛与菌斑不直接接触,也能通过声波的能量效应去除菌斑^[32],这是声波式电动牙刷的一个重要特点。Nightingale等^[33]发现,声波电动牙刷清除菌斑效果和减轻牙龈炎症的性能优于手动牙刷。Mensi等^[34]发现,在受试者刷牙6周(电动牙刷:6.21%,手动牙刷:22.81%)和6个月(电动牙刷:11.34%,手动牙刷:28%)后,使用声波电动牙刷者菌斑指数水平低于使用手动牙刷者,且声波式电动牙刷更显著地减轻了牙龈出血。万艳等^[35]发现,声波式电动牙刷在儿童使用后也表现出了优于手动牙刷的牙菌斑控制效果,并提高了儿童与其家长的刷牙积极性。Favrel等^[36]发现与手动牙刷相比,一种同时具有手动模式和声波模式的新型声波式电动牙刷,菌斑清除率更高并能更有效改善牙龈出血。李蕙兰等^[37]发现,在7周的使用后,声波电动牙刷比手动牙刷更好地清除了牙菌斑。然而,最近的一项研究表明,受试者分别在电源开启和关闭的情况下使用同种声波式电动牙刷刷牙后,牙菌斑的去除量差异无统计学意义^[38]。声波式电动牙刷的振动频率、振动模式均会显著影响其牙菌斑清除效率,体外研究表明,声波式电动牙刷的振动频率不低于每分钟31 000次时,对模拟邻面牙菌斑有较好的祛除效果^[39]。Yaacob等^[40]和Wang等^[41]的系统性回顾中表明,声波式电动牙刷拥有不低于或是优于手动牙刷的牙菌斑清除效果。

2. 往复旋转式电动牙刷:往复旋转式电动牙刷的刷头呈圆形,当电机产生的圆周运动传递到刷头时,刷头套筒中的组件会将圆周运动转换为反复旋转^[42],使刷头做频率约为每分钟7 600次^[43]、角度约为45°的往复旋转运动^[44]。Ccahuana-Vasquez等^[45]发现在使用5周后,往复旋转式牙刷的菌斑清除效果明显优于手动牙刷,并更显著地减轻牙龈炎症(电动牙刷减少牙龈出血位点:52.2%,手动牙刷减少牙龈出血位点:23.6%)。此外,儿童使用往复旋转式电动牙刷的菌斑控制效果优于手动牙刷,在3~6岁和7~9岁的儿童中,

往复旋转式电动牙刷比手动牙刷分别多减少了32.3%和51.9%的牙菌斑^[46]。往复旋转式电动牙刷不仅在天然牙列中表现出了性能优势,Allocca等^[47]发现与手动牙刷相比,使用往复旋转式电动牙刷的受试者种植体周围牙龈出血明显改善。然而最近有研究表明,在减轻牙龈种植体周围牙龈炎症方面,声波式电动牙刷比往复旋转式电动牙刷具有更大的优势。原因可能是往复旋转式牙刷的运动模式特点导致其可能更容易在旋转运动中将牙菌斑推入龈沟中,但机制还有待进一步研究^[48]。一种结合了往复旋转式和声波式工作模式的新型电动牙刷应运而生。该新型电动牙刷在保留往复旋转的工作模式的同时,还可沿刷毛传递声波振动。研究发现,与手动牙刷^[45]和声波牙刷^[49]相比,该新型牙刷均表现出更强的菌斑清除率和减轻牙龈炎症的性能优势。一定数量的证据表明,不论是与手动牙刷还是其他工作模式的电动牙刷相比,往复旋转式电动牙刷都是一种能有效清除牙菌斑的电动牙刷^[45-49]。

3. 设计互动功能的电动牙刷:为提升使用者的刷牙积极性、提升刷牙技能的掌握程度,纠正使用者不良的刷牙习惯,从而获得更好的牙菌斑清除效果,部分电动牙刷加入了互动功能,牙刷可给予使用者更换刷牙区域的提示,并通过与牙刷相连接的软件,在刷牙后根据个人的刷牙习惯,给出个性化的刷牙指导。研究表明,与使用手动牙刷的受试者相比,使用互动式电动牙刷的受试者菌斑明显减少,并且平均刷牙时间更长^[29]。互动式电动牙刷在增加刷牙趣味性的同时,也提高了使用者的刷牙意愿^[33,50]。

4. 电动牙刷的安全性:电动牙刷的安全性同样令人瞩目。研究表明,声波式电动牙刷相比手动牙刷可能造成更多的牙体磨损^[51]。这可能是由于刷牙过程中,电动牙刷的刷毛在牙面进行了更多运动,从而增加牙齿磨损的风险^[22]。重要的是,以上结论是在实验室为手动牙刷和电动牙刷设置相同刷牙压力的条件下产生的。然而,电动牙刷可在制造过程中置入压力传感器,当检测到刷牙压力过大时,电机将停止工作,直到压力正常后,才会恢复运动,从而保证了电动牙刷的安全性^[52]。Graetz等^[53]的研究表明,受试者在使用电动牙刷时会使用较小的刷牙压力,与手动牙刷相比对牙龈退缩的改善更加明显。Mark等^[54]通过实验室研究发现,往复旋转式电动牙刷运行过程中不会产生气溶胶,在标准化的感染控制程序下,在医院使用往复运动型电动牙刷时不会增加额外的气溶胶传播致病微生物的风险。

虽然电动牙刷在性能方面相较于手动牙刷具有一定的优势,但是目前的电动牙刷仍存在不足之处。使用时的振动感和噪声可能是让人拒绝使用电动牙刷的原因。较高的价格同样会影响部分人群更偏向于使用手动牙刷。即便部分工作模式的电动牙刷经过长时间的设计优化,已取得了较优越的性能,然而对于部分缺乏刷牙自觉性或无法独立刷牙的人群而言,仍需要更高效、易于使用的牙刷。

三、口腔清洁装置和特殊牙刷

目前,部分口腔清洁装置或特殊牙刷则在设计上作出较

大改变。

1. U型牙刷(图4):U型牙刷的设计初衷是为了帮助无法自理的人群,如长期卧床者进行快速有效的口腔卫生维护。U型牙刷在U形的托盘内壁加入了硅胶刷毛,使用者在刷牙时只需用上下颌牙齿对托盘进行咬合,启动牙刷后,就能在短时间内对上下颌的所有牙齿进行清洁。然而,Schnabl等^[55]和Keller等^[56]对使用U型牙刷和手动牙刷的受试者进行研究后发现,U型牙刷取得的牙菌斑清除效果明显低于手动牙刷。Nieri等^[57]则发现,受试者在使用U型牙刷刷牙后,口内的牙菌斑量与未刷牙的受试者相比无显著差异,说明在该项研究中测试的U型牙刷没有起到控制菌斑的作用。原因可能是由于U型牙刷的形状为统一设计,无法与受试者形状各不相同的牙弓相匹配,部分刷毛无法有效接触牙面,从而未能减少牙菌斑。为与不同形状牙弓相匹配,需设计不同大小型号的牙刷托盘,如需对所有牙齿进行有效清洁,则需采用个性化制作的牙刷托盘,使刷毛可以充分接触牙齿表面,从而提升其牙菌斑清除效果。

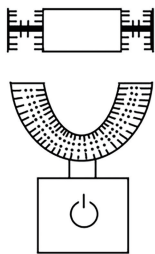


图4 U型牙刷示意图

2. 可咀嚼牙刷(图5):可咀嚼牙刷是一种置于口腔内只需通过咀嚼运动就可清除牙面的菌斑的牙刷,是一种与口香糖类似,但在体部周围增加了类似刷毛的结构。Kayalvizhi等^[58]发现,为长期使用1周后,可咀嚼牙刷相较于手动牙刷清除了更多的舌腭侧牙菌斑,并具有帮助手部灵活性较低的人群有效清除牙菌斑的潜力。然而,此种牙刷为一次性牙刷,并且年龄较小的儿童使用该牙刷可能存在误吞、误吸的风险。

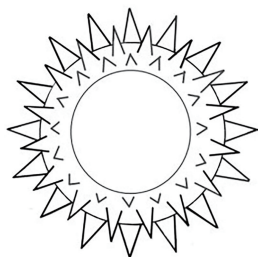


图5 可咀嚼牙刷示意图

此外,部分新型牙刷的设计,正在逐步脱离传统的采用尼龙刷毛、塑料刷头和刷柄的设计模式。为获得更高的牙菌斑清除效率,采取了更特殊的设计。虽然类似U型牙刷的新型牙刷,在进一步改进设计后,有获得更高菌斑清除性能的

潜力^[57]。然而不可忽视的是,口腔健康的保持,与建立正确的口腔健康意识息息相关。儿童熟练掌握刷牙技术需要时间的积累、耐心的指导及口腔健康意识的培养^[25]。随着儿童年龄的增长,通常能进行更加有效的刷牙,但如果养成了不当的刷牙习惯,将很难进行改正。如在儿童时期开始使用特殊牙刷,可能会影响正确刷牙技术的习得与良好刷牙习惯的养成,从而可能对儿童未来的口腔健康造成潜在影响。而对于因疾病等原因无法独立完成有效口腔卫生维护的人群而言,设计一种高效、易使用、安全的特殊牙刷或口腔清洁装置,则具有巨大的潜在应用价值。

四、总结

目前,何种牙刷设计更为优越,尚存在争议,原因在于牙刷性能是多种因素共同作用下表现出的属性,研究单一牙刷设计变量的临床试验数量不足,无法排除牙刷不同设计因素间的相互作用。需要进一步开展实验室或临床研究,以探索不同设计因素对牙刷性能的影响,以进一步改进牙刷的设计,提高牙刷的性能。需明确的是,牙刷要发挥应有的性能,仍然有赖于使用者对口腔卫生的重视以及对专业口腔卫生指导的依从性。而为患者研发和推荐能高效清除牙菌斑且适于患者使用的牙刷,对于其口腔健康而言具有重要的意义。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, et al. Oral diseases: A global public health challenge[J]. Lancet, 2019,394(10194): 249-260. DOI:10.1016/S0140-6736(19)31146-8.
- [2] Mosaddad SA, Tahmasebi E, Yazdani A, et al. Oral microbial biofilms: An update[J]. Eur J Clin Microbiol Infect Dis, 2019, 38(11):2005-2019. DOI:10.1007/s10096-019-03641-9.
- [3] Beals D, Ngo T, Feng Y, et al. Development and laboratory evaluation of a new toothbrush with a novel brush head design [J]. Am J Dent, 2000,13(Spec No):5A-14A.
- [4] 冯希平. 口腔预防医学[M]. 7版. 北京:人民卫生出版社, 2020:48-49.
- [5] Ng C, Tsoi JKH, Lo ECM, et al. Safety and design aspects of powered toothbrush—A narrative review [J]. Dent (Basel), 2020,8(1):15. DOI:10.3390/dj8010015.
- [6] Battaglia A. The Bass technique using a specially designed toothbrush [J]. Int J Dent Hyg, 2008,6(3):183-187. DOI:10.1111/j.1601-5037.2008.00302.x.
- [7] Droubi L, Laflouf M, Alkurdi S, et al. Does customized handle toothbrush influence dental plaque removal in children with down syndrome? A randomized controlled trial [J]. Healthcare(Basel), 2021,9(9):1130. DOI:10.3390/healthcare9091130.
- [8] Youcharoen K, Thomngam N, Aranya N, et al. Plaque removal efficacy of triple-headed toothbrush in 4-6-Year-Old children: A randomized crossover study [J]. Int Soc Prev Community Dent, 2021,11(5):546-552. DOI:10.4103/jisped.JISPCD_93_21.
- [9] Al-Omiri MK, Al-Shayyab MH, Alahmari NM, et al. Impacts of

- the Triple bristles three-sided sonic powered toothbrush on tooth shade, plaque control and gingival health [J]. *Int J Dent Hyg*, 2021, 19(4):382-397. DOI:10.1111/idh.12552.
- [10] Mamat N, Mani SA, Danaee M. T-shaped toothbrush for plaque removal and gingival health in children: A randomized controlled trial [J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 113. DOI: 10.1186/s12903-022-02137-x.
- [11] Turssi CP, Kelly AB, Hara AT. Toothbrush bristle configuration and brushing load: Effect on the development of simulated non-carious cervical lesions [J]. *J Dent*, 2019, 86: 75-80. DOI: 10.1016/j.jdent.2019.05.026.
- [12] Verma SK, Sharma N, Singh S, et al. Comparison of different tooth brushes on the degree of plaque removal [J]. *Family Med Prim Care*, 2020, 9(2): 556-560. DOI: 10.4103/jfmpe.jfmpe_666_19.
- [13] Saffarzadeh A, Khodarahmi N, Mohammadi M. Evaluation of the effect of ultra-soft toothbrushes with different commercial brands on plaque and bleeding indices [J]. *J Dent (Shiraz)*, 2021, 22(1):53-59. DOI:10.30476/DENTJODS.2020.83259.1044.
- [14] Romitti D, Fagundes AV, Angst PDM, et al. The use of medium bristle toothbrushes is associated with the incidence of gingival fissures [J]. *Clinical Investig*, 2022, 26(2): 1657-1666. DOI: 10.1007/s00784-021-04138-6.
- [15] Hamza B, Tanner M, Körner P, et al. Effect of toothbrush bristle stiffness and toothbrushing force on the abrasive dentine wear [J]. *Int J Dent Hyg*, 2021, 19(4):355-359. DOI:10.1111/idh.12536.
- [16] Bizhang M, Riemer K, Arnold WH, et al. Influence of bristle stiffness of manual toothbrushes on eroded and sound human dentin—An *in vitro* study [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153250. DOI: 10.1371/journal.pone.0153250.
- [17] AlShehab AH, AlHazoom AA, Alowa MH, et al. Effect of bristle stiffness of manual toothbrushes on normal and demineralized human enamel—An *in vitro* profilometric study [J]. *Int J Dent Hyg*, 2018, 16(2): e128-e132. DOI: 10.1111/idh.12332.
- [18] Ren YF, Cacciato R, Whelehan MT, et al. Effects of toothbrushes with tapered and cross angled soft bristle design on dental plaque and gingival inflammation: A randomized and controlled clinical trial [J]. *J Dent*, 2007, 35(7): 614-622. DOI: 10.1016/j.jdent.2007.04.005.
- [19] Langa GPJ, Muniz FWMG, Wagner TP, et al. Anti-plaque and anti-gingivitis efficacy of different bristle stiffness and end-shape toothbrushes on interproximal surfaces: A systematic review with meta-analysis [J]. *J Evid Based Dent Pract*, 2020, 21(2): 101548. DOI: 10.1016/j.jebdp.2021.101548.
- [20] Versteeg PA, Piscoer M, Rosema NA, et al. Tapered toothbrush filaments in relation to gingival abrasion, removal of plaque and treatment of gingivitis [J]. *Int J Dent Hyg*, 2008, 6(3): 174-182. DOI: 10.1111/j.1601-5037.2008.00284.x.
- [21] Kakar AM, Nair SK, Saraf S. A 12-week, multicenter, normal-use evaluation of a manual toothbrush with angled bristle design [J]. *J Indian Soc Periodontol*, 2019, 23(5): 469-474. DOI: 10.4103/jisp.jisp_529_18.
- [22] Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, et al. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement [J]. *PLoS One*, 2017, 12(2): e0172060. DOI: 10.1371/journal.pone.0172060.
- [23] Hamza B, Niedzwiecki M, Körner P, et al. Effect of the toothbrush tuft arrangement and bristle stiffness on the abrasive dentin wear [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 840. DOI: 10.1038/s41598-022-04884-x.
- [24] Deinzer R, Schmidt R, Harnacke D, et al. Finding an upper limit of what might be achievable by patients: Oral cleanliness in dental professionals after self-performed manual oral hygiene [J]. *Clin Oral Investig*, 2018, 22(2): 839-846. DOI: 10.1007/s00784-017-2160-9.
- [25] Löe H. Oral hygiene in the prevention of caries and periodontal disease [J]. *Int Dent J*, 2000, 50(3): 129-139. DOI: 10.1111/j.1875-595x.2000.tb00553.x.
- [26] Deinzer R, Ebel S, Blättermann H, et al. Toothbrushing: To the best of one's abilities is possibly not good enough [J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18(1): 167. DOI: 10.1186/s12903-018-0633-0.
- [27] Harnacke D, Beldoch M, Bohn GH, et al. Oral and written instruction of oral hygiene: A randomized trial [J]. *J Periodontol*, 2012, 83(10): 1206-1212. DOI: 10.1902/jop.2012.110550.
- [28] Gomez-Pereira P, Axe A, Butler A, et al. Plaque removal by a novel prototype power toothbrush versus a manual toothbrush: A randomized, exploratory clinical study [J]. *Clin Exp Dent Res*, 2022, 8(4): 849-857. DOI: 10.1002/cre.2.556.
- [29] Erbe C, Klees V, Ferrari-Peron P, et al. A comparative assessment of plaque removal and toothbrushing compliance between a manual and an interactive power toothbrush among adolescents: A single-center, single-blind randomized controlled trial [J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18(1): 130. DOI: 10.1186/s12903-018-0588-1.
- [30] Pitchika V, Pink C, Vözke H, et al. Long-term impact of powered toothbrush on oral health: 11-year cohort study [J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46(7): 713-722. DOI: 10.1111/jcpe.13126.
- [31] Schmidt JC, Zaugg C, Weiger R, et al. Brushing without brushing? —A review of the efficacy of powered toothbrushes in noncontact biofilm removal [J]. *Clin Oral Investig*, 2013, 17(3): 687-709. DOI: 10.1007/s00784-012-0836-8.
- [32] Busscher HJ, Jager D, Finger G, et al. Energy transfer, volumetric expansion, and removal of oral biofilms by non-contact brushing [J]. *Eur J Oral Sci*, 2010, 118(2): 177-182. DOI: 10.1111/j.1600-0722.2010.00723.x.
- [33] Nightingale KJ, Chinta SK, Agarwal P, et al. Toothbrush efficacy for plaque removal [J]. *Int J Dent Hyg*, 2014, 12(4): 251-256. DOI: 10.1111/idh.12081.
- [34] Mensi M, Scotti E, Sordillo A, et al. Efficacy of sonic versus manual toothbrushing after professional mechanical plaque removal: A 6-month randomized clinical trial [J]. *Int J Dent Hyg*, 2021, 19(4): 366-375. DOI: 10.1111/idh.12541.

- [35] 万艳, 周围. 声波震动牙刷与手动牙刷控制乳牙菌斑效果及对牙龈健康影响的对比研究[J]. 临床口腔医学杂志, 2021, 37(9):539-542. DOI:10.3969/j.issn.1003-1634.2021.09.008.
- [36] Favrel S, Urbaniak A, Chabowska I, et al. Efficacy of a hybrid toothbrush versus comparative manual toothbrush for plaque removal—Randomized in-use study [J]. Clin Cosmet Investig Dent, 2020, 12:241-250. DOI:10.2147/CCIDE.S257411.
- [37] 李蕙兰, 梁燕, 代芸洁, 等. 电动牙刷与手动牙刷对牙菌斑的控制效果[J]. 贵州医科大学学报, 2020, 45(1): 78-82. DOI: 10.19367/j.cnki.1000-2707.2020.01.015.
- [38] Schlueter N, Fiedler S, Mueller M, et al. Efficacy of a sonic toothbrush on plaque removal—A video-controlled explorative clinical trial [J]. PLoS One, 2021, 16(12): e0261496. DOI: 10.1371/journal.pone.0261496.
- [39] Schmidt JC, Astasov FM, Waltimo T, et al. Efficacy of various side-to-side toothbrushes and impact of brushing parameters on noncontact biofilm removal in an interdental spacemodel [J]. Clin Oral Investig, 2017, 21(5): 1565-1577. DOI: 10.1007/s00784-016-1969-y.
- [40] Yaacob M, Worthington HV, Deacon SA, et al. Powered versus manual toothbrushing for oral health [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2014(6): CD002281. DOI: 10.1002/14651858.CD002281.pub3.
- [41] Wang P, Xu Y, Zhang J, et al. Comparison of the effectiveness between power toothbrushes and manual toothbrushes for oral health: A systematic review and meta-analysis [J]. Acta Odontol Scand, 2020, 78(4): 265-274. DOI: 10.1080/00016357.2019.1697826.
- [42] Chiang CC. Block head structure of electric toothbrush: U.S. Patents, US10321489[P]. 2004-01-22[2023-03-10].
- [43] Penick C. Power toothbrushes: A critical review [J]. Int J Dent Hyg, 2004, 2(1):40-44. DOI:10.1111/j.1601-5037.2004.00048.x.
- [44] Warren PR, Cugini MA, Chater BV, et al. A review of the clinical efficacy of the Oral-B oscillating/rotating power toothbrush and the Philips Sonicare toothbrush in normal subject populations [J]. Int Dent J, 2004, 54(6): 429-437. DOI: 10.1111/j.1875-595x.2004.tb00300.x.
- [45] Ccahuana-Vasquez RA, Adam R, Conde E, et al. A 5-week randomized clinical evaluation of a novel electric toothbrush head with regular and tapered bristles versus a manual toothbrush for reduction of gingivitis and plaque [J]. Int J Dent Hyg, 2019, 17(2):153-160. DOI:10.1111/idh.12372.
- [46] Davidovich E, Ccahuana - Vasquez RA, Timm H, et al. Randomised clinical study of plaque removal efficacy of an electric toothbrush in primary and mixed dentition [J]. Int J Paediatr Dent, 2021, 31(5):657-663. DOI:10.1111/ipd.12753.
- [47] Allocca G, Pudylyk D, Signorino F, et al. Effectiveness and compliance of an oscillating-rotating toothbrush in patients with dental implants: A randomized clinical trial [J]. Int J Implant Dent, 2018, 4(1):38. DOI:10.1186/s40729-018-0150-6.
- [48] Preda C, Butera A, Pelle S, et al. The efficacy of powered oscillating heads vs. powered sonic action heads toothbrushes to maintain periodontal and peri-implant health: A narrative review [J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(4):1468. DOI: 10.3390/ijerph18041468.
- [49] Adam R, Ram Goyal C, Qaqish J, et al. Evaluation of an oscillating-rotating toothbrush with micro-vibrations versus a sonic toothbrush for the reduction of plaque and gingivitis: Results from a randomized controlled trial [J]. Int Dent J, 2020, 70(Suppl 1):S16-S21. DOI:10.1111/idj.12569.
- [50] Bilen YZ, Çokakoğlu S, Öztürk F. The short-term effects of manual and interactive powered toothbrushes on the periodontal status of orthodontic patients: A randomized clinical trial [J]. J World Fed Orthod, 2021, 10(1): 14-19. DOI: 10.1016/j.ejwf.2020.11.003.
- [51] Singh TP, Nirola A, Brar R. A profilometric and scanning electron microscopic analysis of tooth surface abrasion caused by rotary/oscillatory, linear motion, sonic, and ultrasonic toothbrushes: An *in vitro* study [J]. J Indian Soc Periodontol, 2021, 25(2):112-119. DOI:10.4103/jisp.jisp_162_20.
- [52] van der Weijden GA, Timmerman MF, et al. High and low brushing force in relation to efficacy and gingival abrasion [J]. J Clin Periodontol, 2004, 31(8): 620-624. DOI:10.1111/j.1600-051x.2004.00529.x.
- [53] Graetz C, Plaumann A, Heinevetter N, et al. Bristle splaying and its effect on pre-existing gingival recession - a 12-month randomized controlled trial [J]. Clin Oral Investig, 2017, 21(6): 1989-1995. DOI:10.1007/s00784-016-1987-9.
- [54] Mark EP, Lewis MAO, Graziani F, et al. Droplet sizes emitted from demonstration electric toothbrushes [J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(5): 2320. DOI: 10.3390/ijerph18052320.
- [55] Schnabl D, Wiesmüller V, Hönlinger V, et al. Cleansing efficacy of an auto-cleaning electronic toothbrushing device: A randomized-controlled crossover pilot study [J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(1):247-253. DOI:10.1007/s00784-020-03359-5.
- [56] Keller M, Keller G, Eller T, et al. Cleansing efficacy of an auto-cleaning toothbrushing device with nylon bristles: A randomized-controlled pilot study [J]. Clin Oral Investig, 2023, 27(2): 603-611. DOI:10.1007/s00784-022-04755-9.
- [57] Nieri M, Giuntini V, Pagliaro U, et al. Efficacy of a U-shaped automatic electric toothbrush in dental plaque removal: A cross-over randomized controlled trial [J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(13):4649. DOI:10.3390/ijerph17134649.
- [58] Kayalvizhi G, Radha S, Prathima GS, et al. Comparative evaluation of plaque removal effectiveness of manual and chewable toothbrushes in children: A randomized clinical trial [J]. Int J Clin Pediatr Dent, 2019, 12(2): 107-110. DOI: 10.5005/jp-journals-10005-1604.

(收稿日期:2023-03-10)

(本文编辑:王嫚)