

# 不同年龄段天然牙的摩擦磨损行为研究

郑 靖, 沙 伟, 周仲荣

(西南交通大学 材料先进技术教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

**摘要:** 采用往复滑动摩擦磨损试验台考察了不同年龄段的天然牙同钛合金配副时的摩擦学性能。结果表明: 天然牙的摩擦磨损行为同年龄密切相关, 早期和中期恒牙的摩擦磨损行为相似, 磨损表面主要呈现轻微擦伤迹象, 中期恒牙的抗磨性能最佳; 乳牙及晚期恒牙的摩擦系数变化波动较大, 抗磨性能不佳, 磨损表面主要呈现严重犁削和剥落特征。

**关键词:** 天然牙; 摩擦磨损性能; 年龄; 磨损表面形貌

**中图分类号:** TQ 174; TH 117. 3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-0595(2004)05-0471-05

作为人体内直接行使咀嚼功能的器官, 牙齿同发音、言语及面部美观等密切相关。牙齿通常可分为乳牙和恒牙两大类。婴儿在 7~8 个月龄时开始萌出乳牙, 至 2 岁半左右幼儿期陆续萌出 20 个乳牙。正常的乳牙能够发挥良好的咀嚼功能, 有助于颌面部正常发育和正确发音, 并引导恒牙正常萌出<sup>[1]</sup>。但同恒牙相比, 乳牙更易磨损和被切削<sup>[1,2]</sup>。乳牙过度磨损会造成咀嚼功能低下, 并影响颌面发育。在儿童期和少年期(6~13 岁), 乳牙逐渐脱落并被恒牙所取代。作为乳牙脱落后的第二副牙列, 因疾患或意外损伤而脱落的恒牙不能再生。鉴于恒牙牙合面磨损的难以避免以及人牙组织结构的非均质性和各向异性<sup>[3]</sup>, 不同年龄段恒牙的摩擦磨损行为必然存在差异。目前国内外针对树脂牙和天然牙摩擦磨损行为的研究报道很多, 其中部分研究涉及口腔环境因素以及年龄等对天然牙摩擦磨损性能的影响。但相关报道大多局限于体内临床观察<sup>[4~10]</sup>, 而很少涉及体外研究。为此, 我们在前期研究基础上<sup>[3]</sup>, 选用目前临床常用的牙科种植体材料钛合金作为摩擦偶件材料, 通过体外模拟口腔环境, 考察了乳牙、早期恒牙、中期恒牙及晚期恒牙的摩擦磨损行为, 初步探讨了天然牙摩擦学特性同年龄的相关性, 期望为不同年龄段牙齿过度磨损的临床防治以及新一代仿生牙科修复材料的开发提供实验依据。

## 1 实验部分

### 1.1 试验材料

为了尽量保持试验结果的可比性, 试验所用牙齿

试样均取自下牙合第一磨牙, 在制样之前置于 0~4 的蒸馏水中以防脱水。将新鲜拔除的无龋坏的磨牙用于制作平面试样, 按年龄段将各待测磨牙划分为乳牙、早期恒牙、中期恒牙和晚期恒牙等 4 组, 每组含 10 个试样, 试样分类见表 1。首先用自凝塑料将磨牙

表 1 4 种不同年龄段的天然牙

Table 1 Four kinds of natural teeth at different ages

Sample	Age
Primary teeth	6~12 years old
Permanent teeth at early stage	16~20 years old
Permanent teeth at medium stage	30~40 years old
Permanent teeth at later stage	50~60 years old

包埋于 10 mm × 10 mm × 20 mm 的钢质模具中, 待包埋塑料完全凝固后, 从模具中取出平面试样, 再依次用 180<sup>#</sup>、240<sup>#</sup>、600<sup>#</sup>、800<sup>#</sup>、1 200<sup>#</sup> 水砂纸间歇打磨至暴露出约 2 mm × 2 mm 的牙合面, 尽量保留原始牙合面, 然后依次分别用 10.0 μm、5.0 μm、1.0 μm、0.5 μm 的金刚石抛光膏在水冷却下抛光至表面粗糙度  $R_a = 0.2 \mu\text{m}$ 。在平面牙试样制作过程中, 尽量保持各人牙试样的制备时间相近, 以保证其脱水程度基本一致。采用口腔临床常用的具有良好生物相容性的钛合金修复材料作为摩擦偶件材料(基材硬度为 320HV<sub>50g</sub>), 加工制得的  $\phi 40$  mm 的钛合金球偶件表面硬度约为 350HV<sub>50g</sub>。

### 1.2 试验方法

在往复式摩擦磨损试验台上进行摩擦磨损试验,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50275126)。

收稿日期: 2003-10-09; 修回日期: 2003-12-28/联系人郑靖, email: zhengjl86@163.com。

作者简介: 郑靖, 女, 1974 年生, 副研究员, 目前主要从事生物摩擦学及表面工程等方面的研究。

采用人工唾液润滑<sup>[3]</sup>。由计算机自动控制并全程记录试验过程中的摩擦力和位移随循环次数的变化。主要试验参数如下: 法向荷载为  $p_n = 20\text{ N}$ , 往复位移  $D = 1\text{ mm}$ , 频率  $f = 2\text{ Hz}$ , 温度  $25^\circ\text{C}$ , 总循环次数 5 000 次。采用间歇往复滑动模式, 每 1 000 次循环后中断试验, 卸载, 将球形试件与平面试件脱离接触, 用丝绸仔细清理磨损表面, 间隔 30 min 后在同一接触位置重新加载, 继续进行试验。

利用显微压痕硬度仪测量试件表面的维氏硬度,

每个天然牙平面试件的测量时间均约为 40 min。用光学显微镜和共焦激光扫描显微镜 (CLSM) 观察分析磨斑形貌并测量磨损深度 (精度为  $0.001\text{ }\mu\text{m}$ , 每个磨痕测 10 次, 取最大值); 每组天然牙平面试样的表面硬度和磨损深度均为 10 次测定结果的平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 摩擦行为

图1示出了不同天然牙平面试样同钛合金球对

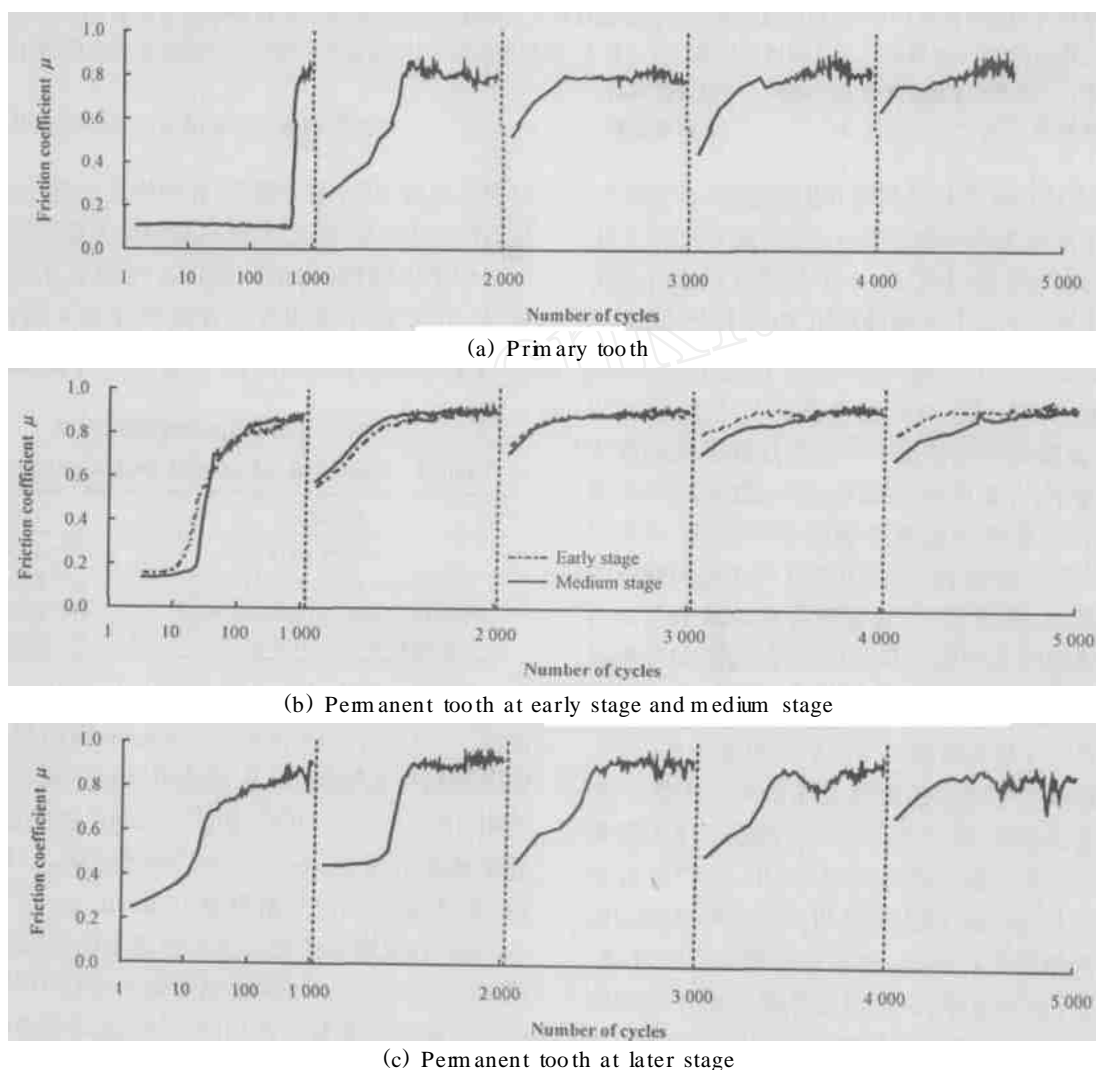


Fig 1 Variation of friction coefficients of various natural teeth sliding against Ti alloy with cycles

图1 不同天然牙平面试样同钛合金球对摩时的摩擦系数随循环次数变化的关系曲线

摩时的摩擦系数随循环次数变化的关系曲线。可见乳牙在摩擦磨损试验初期的摩擦系数稳定于 0.11 附近, 经约 450 次循环后迅速增大, 经 700 次循环后达到 0.80, 随后在 0.83 附近波动 [见图 1(a)]。早期和中期恒牙的摩擦系数随循环次数的变化趋势相似, 经约 20 次循环后摩擦系数开始增大, 经 100 次循环后

增大至 0.80, 随后缓慢增大并在 2 000 次循环后趋于稳定; 但早期恒牙的摩擦系数初始值 (约为 0.16) 和稳态值 (约为 0.93) 同中期恒牙的 (0.13 和 0.91) 相比均略高 [见图 1(b)]。晚期恒牙的摩擦行为则明显有别于中期恒牙, 摩擦系数起始值较高 (0.25), 经 10 次循环后增大至 0.40, 随后随循环次数增加而迅速

增大, 至 30 次循环后增大到 0.70, 此后摩擦系数随循环次数增加而缓慢增大, 900 次循环后在 0.88~

0.93 之间波动[见图 1(c)]

图 2 示出了不同年龄段天然牙牙合面微观形貌

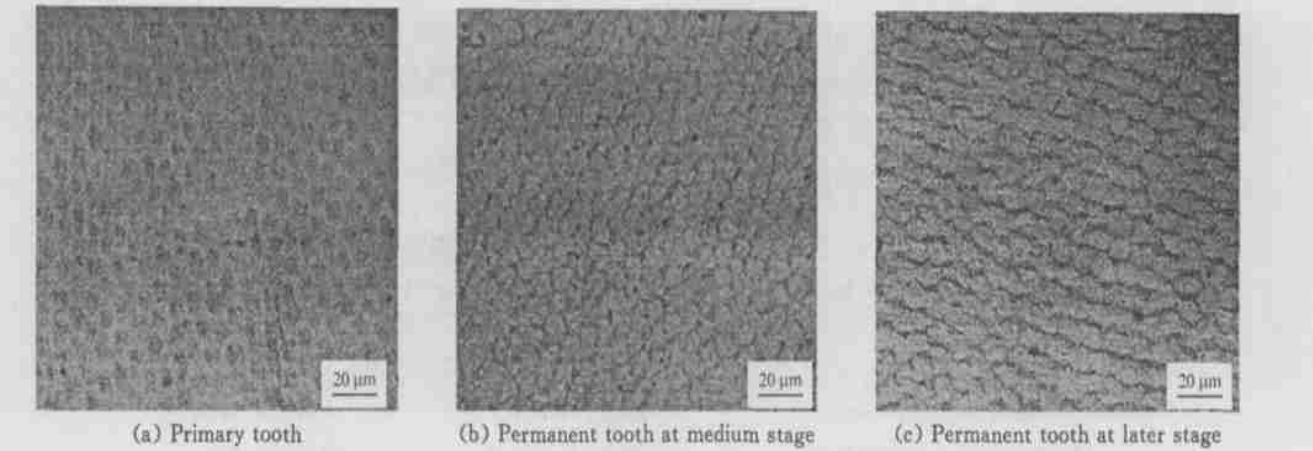


Fig 2 CLSM surface morphologies of natural teeth at different ages

图 2 不同年龄段天然牙表面形貌 CLSM 照片

CLSM 照片. 可以看出, 同恒牙相比, 乳牙的釉柱晶体尺寸较小, 釉间质所占体积较大. 因此, 乳牙牙合面的韧性优于恒牙, 当其同 Ti 合金球对摩时可以在较长时间(循环次数 450)内保持较低的摩擦系数. 与此同时, 乳牙和晚期恒牙牙合面釉质层中的釉柱排列远不

如中期恒牙的紧密, 表面非均质性增强, 抗剪切强度降低, 这正是乳牙和晚期恒牙摩擦系数出现波动的主要原因之一<sup>[11]</sup>.

2.2 磨损行为

图 3 示出了不同年龄段天然牙平面试样磨损表面

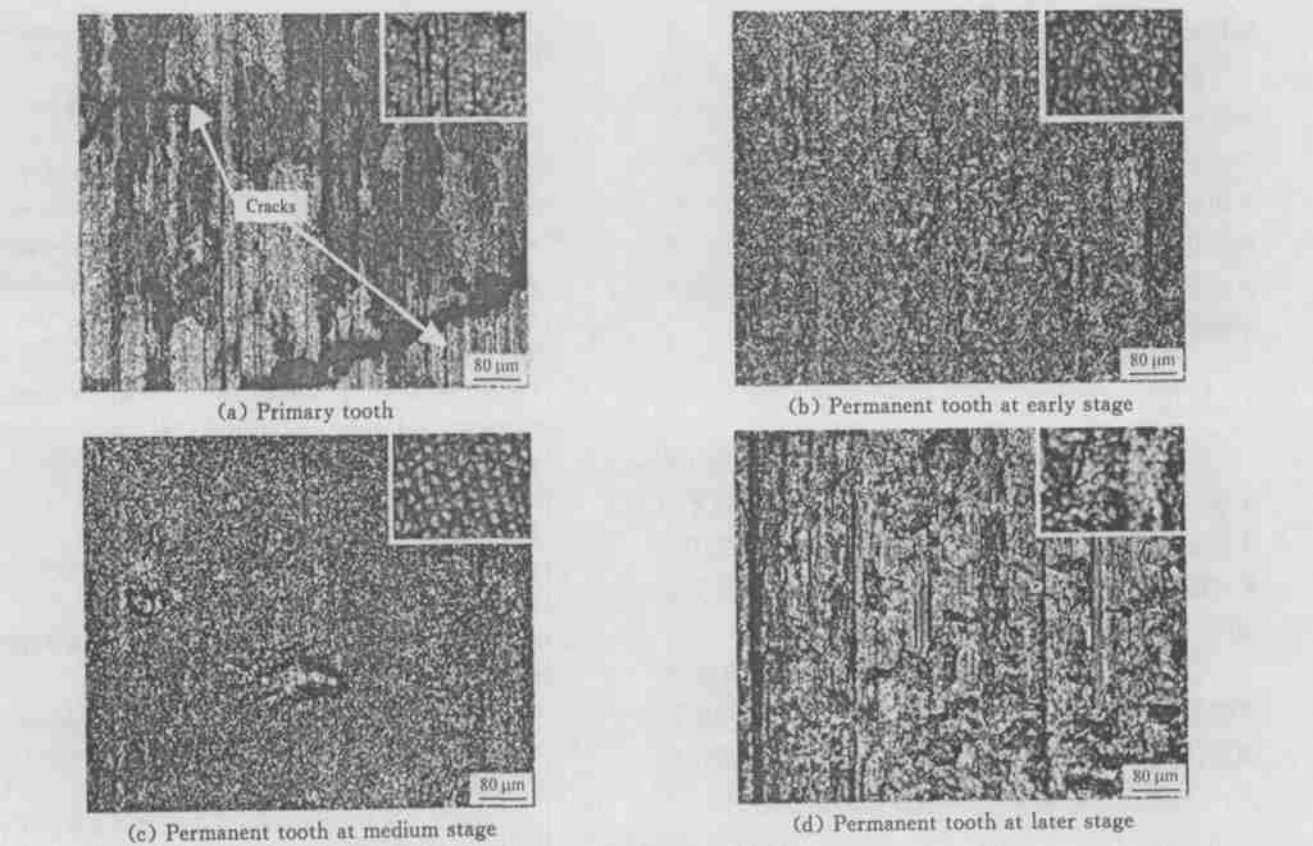


Fig 3 CLSM morphologies of worn surfaces of natural teeth at different ages

图 3 不同年龄段天然牙试样磨损表面形貌 CLSM 照片

面形貌 CLSM 照片. 可以看出, 乳牙磨斑表面存在剥

落坑和轻微划痕, 且局部存在裂纹[见图 3(a)] 这是

因为乳牙牙合面的釉柱排列松散[见图 2(a)], 表面硬度低(表 2), 而且乳牙釉质和牙本质层同恒牙相比较薄<sup>[1]</sup>, 因此乳牙易磨损和被切削。恒牙平面试样磨痕表面形貌不仅区别于乳牙, 而且因年龄不同而存在显著差异。早期恒牙磨斑表面存在轻微犁沟和擦伤痕迹[见图 3(b)]; 同早期恒牙相比, 中期恒牙磨损表面的犁削和擦伤明显减轻, 局部存在小剥落坑[图 3(c)];

晚期恒牙磨损表面的犁削和擦伤则显著加剧, 并出现大块剥落[见图 3(d)]。在高放大倍数下观察发现, 早期和中期恒牙磨损表面釉柱清晰可见, 轮廓分明, 而乳牙和晚期恒牙磨损表面的釉柱产生严重破坏, 釉柱轮廓模糊, 这同其相应的抗磨性能差异相一致。

表 2 列出了不同年龄段天然牙平面试样的表面硬度和最大磨损深度。可见中期恒牙的表面硬度最大。

表 2 不同年龄段天然牙试样的牙合面硬度和磨痕深度

Table 2 Surface hardness and wear scar depth of natural teeth at different ages

Sample	Hardness $HV_{50g}$	Wear depth/ $\mu m$
Primary teeth	313.4 $\pm$ 20.6	19.734 $\pm$ 1.485
Permanent teeth at early stage	341.2 $\pm$ 11.7	18.643 $\pm$ 1.108
Permanent teeth at medium stage	360.0 $\pm$ 12.9	16.378 $\pm$ 1.212
Permanent teeth at later stage	287.3 $\pm$ 19.4	23.154 $\pm$ 1.508

(约 360.0  $HV$ ), 磨损深度最小(为 16.378  $\mu m$ ), 耐磨性最佳; 晚期恒牙的表面硬度最小(约为 287.3  $HV$ ), 磨痕最深(约为 23.145  $\mu m$ ); 早期恒牙和乳牙的表面硬度及磨痕深度居中。此外, 同早期及中期恒牙相比, 乳牙和晚期恒牙试样表面硬度数据离散性较大(参见表 2), 表明其微观结构的非均质性同其他年龄段的天然牙试样相比更为强烈。

综上所述, 中期恒牙的抗磨性能较好, 这同其微观结构密切相关。同乳牙相比, 恒牙釉质中釉柱的排列明显较紧密, 而晚期恒牙釉质层中的釉柱边界则远不如中期恒牙那样清晰。早期恒牙的耐磨性略逊于中期恒牙, 这一方面是因为早期恒牙的釉质尚未完全发育成熟, 另一方面是因为早期恒牙的牙牙合面大多为无釉柱表层<sup>[1]</sup>, 其硬度同下层釉质相比略低。

### 3 结论

a 天然牙的摩擦磨损行为同年龄密切相关; 乳牙磨痕表面存在裂纹和剥落迹象; 早期和中期恒牙的摩擦磨损行为相似, 磨损表面主要呈现轻微擦伤迹象; 晚期恒牙的摩擦系数则出现明显波动, 磨损明显加剧, 磨损表面呈现严重犁削和剥落特征。

b 不同年龄段天然牙摩擦磨损性能对年龄的依赖性同天然牙牙合面硬度以及显微组织和结构密切相关; 中期恒牙的耐磨性最佳, 早期恒牙的耐磨性次之, 晚期恒牙的耐磨性最差, 乳牙的耐磨性居中。

### 参考文献:

- [1] 刘大维. 口腔预防医学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991.
- [2] 吴洁, 黄宗仁, 张颢. 枸橼酸锌、氟化钠对牙体硬组织的影响[J]. 临床口腔医学杂志, 1990, 6(1): 40-42.
- [3] 郑靖, 周仲荣, 张杰, 等. 天然牙/纯钛摩擦学特性的研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(10): 127-130.
- [4] Zheng J, Zhou Z R, Zhang J, et al. Tribological properties of natural tooth/pure titanium[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(10): 127-130.
- [5] Nystrom N, Kononen M, Alaluusua S, et al. Development of horizontal tooth wear in maxillary anterior teeth from 5 to 18 years of age[J]. J Dent Research, 1990, 69(11): 1765-1770.
- [6] Hirose M N, Tange T, Igarashi S, et al. In vivo fluoride profiles at different sites of buccal and lingual enamel surfaces obtained by enamel biopsy of human maxillary first permanent molars in young adults[J]. Arch Oral Biol, 1996, 41(12): 1187-1190.
- [7] Van R H M, Truin G J, Frencken J E F M, et al. Prevalence, distribution and background variables of smooth-bordered tooth wear in teenagers in the Hague of the Netherlands[J]. Caries Research, 2002, 36: 147-154.
- [8] Chuajedone P, Kedjarune-Lenggat U, Kertpon D, et al. Associated factors of tooth wear in southern Thailand[J]. J Oral Rehabil, 2002, 29: 997-1002.
- [9] 邱宜农, 李同生, 刘维民, 等. 三种有机酸处理后人牙釉质的磨损性能研究[J]. 摩擦学学报, 2003, 23(1): 42-47.
- [10] Qiu Y N, Li T S, Liu W M, et al. Friction and wear behavior of human enamel eroded with different organic acids[J]. Tribology, 2003, 23(1): 42-47.
- [11] 郑靖, 周仲荣, 于海洋, 等. 口腔环境因素对树脂牙摩擦学特性的影响[J]. 摩擦学学报, 2003, 23(6): 504-508.
- [12] Zheng J, Zhou Z R, Yu H Y, et al. Effect of oral environment on the tribological behavior of plastic teeth sliding against a titanium ball[J]. Tribology, 2003, 23(6): 504-508.

- [10] 郑靖, 周仲荣. 人牙釉质在人工唾液润滑下同不同偶件对磨时的摩擦学性能研究[J]. 摩擦学学报, 2004, 24(2): 139-143  
Zheng J, Zhou Z R. Study on tribological behavior of human enamel sliding against various counterparts under lubrication of artificial saliva[J]. Tribology, 2004, 24(2): 139-143
- [11] Zhou Z R, Gu S R, Vincent L. An investigation of fretting wear for two aluminium alloys[J]. Tribology International, 1997, 30 (1): 1-7.

## Tribological Behavior of Natural Teeth of Different Ages

ZHENG Jing, SHA Wei, ZHOU Zhong-rong

(Key Laboratory for Advanced Technology of Materials of Ministry of Education,  
Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** A reciprocal sliding friction and wear tester was performed to investigate and compare the friction and wear behaviors of natural teeth of different ages sliding against titanium alloy under the lubrication of artificial saliva. The microstructures and worn surface morphologies of the tested teeth were observed with an optical microscope and co-focus laser scanning electron microscope. It was found that the friction and wear behaviors of the natural teeth of different ages were strongly dependent on the age, which was related to the different microstructures of the teeth at different ages. Namely, the early-stage permanent teeth showed similar friction and wear behaviors as the medium-stage permanent teeth, and the medium-stage permanent teeth had the best wear-resistance among the teeth of different ages. This was because the medium-stage permanent teeth had the most compact and strong microstructure, which contributed to preventing them from severe scuffing and abrasion in a long run. Contrary to the above, the primary teeth and later-stage permanent teeth had relatively fragile and weak microstructures, therefore they showed relatively poorer wear-resistance than the early-stage and medium-stage permanent teeth, owing to the liability to be scuffed and abraded. This accounted for the more severe scuffing and abrasion signs on the worn surface of the primary teeth and later-stage permanent teeth as compared to that of the early-stage and medium-stage permanent teeth as well.

**Key words:** natural teeth; friction and wear behavior; age; worn surface morphology

**Author:** ZHENG Jing, female, born in 1974, Associate Professor, email: zhengj168@163.com