基础与临床研究

上颌第一磨牙与后牙牙列磨耗特征的相关性研究

季中倩[1],王 涵[2],丁 涛[1],谢理哲[1],胡 建[1]

[摘要] **目的** 探究上颌第一磨牙 4 个牙尖磨耗面积与上颌后牙牙列(包括上颌第一磨牙)功能尖/非功能尖牙尖高度、牙尖斜度、磨耗面积、接触面积的相关性,为人工智能预测上颌第一磨牙磨耗面特征提供科学依据。**方法** 纳入 196 例患者,共计 784 个上颌后牙(不包括第三磨牙)牙面,根据口扫数据,运用 Geomagic Qualify 软件测量其功能尖/非功能尖牙尖高度、牙尖斜度、磨耗面积和接触面积。采用独立样本 t 检验比较不同性别上颌第一磨牙总磨耗面积的组间差异,运用 Pearson 相关分析研究各变量间的相关性,并通过一元线性回归分析年龄与上颌第一磨牙总磨耗面积的关联。在此基础上,以单因素分析中有统计学意义的指标为自变量,分别以上颌第一磨牙近中颊尖、远中颊尖、近中腭尖、远中腭尖磨耗面积及总磨耗面积为因变量开展多元线性回归分析,并构建相应的磨耗面积预测模型。**结果** 牙齿磨耗随着年龄增长不断加重,不同性别牙齿磨耗程度无明显差异;上颌第一磨牙 4 个牙尖之间的磨耗面积显著相关($P<0.05$);上颌第一磨牙总磨耗面积与上颌第一前磨牙、上颌第二前磨牙、上颌第二磨牙的各牙尖磨耗面积均显著相关($P<0.05$),与上颌第二磨牙近中颊尖磨耗面积相关性最强($P<0.05$);上颌第一前磨牙颊尖牙尖斜度与上颌第一磨牙总磨耗面积显著负相关($P<0.05$);上颌第一磨牙 4 个牙尖磨耗面积与上颌第一前磨牙、上颌第二前磨牙、上颌第二磨牙咬合接触面积正相关($P<0.05$),但相关性较弱。**结论** 上颌后牙牙列的磨耗面积与上颌第一磨牙磨耗面积具有一定的相关性,根据已知余留牙的磨耗数据,可以得出上颌第一磨牙各牙尖的磨耗数据,构建相应的数学模型,指导缺损牙全冠修复前的咬合分析与重建。

[关键词] 牙齿磨耗;相关性分析;咬合接触;口腔修复;数字化印模
[中图分类号] R782.6 [文献标识码] A [文章编号] 1003-9872(2026)09-0652-07
[doi] 10.13591/j.cnki.kqyx.2026.09.002

Study on the correlation between the wear characteristics of maxillary first molars and posterior dentition

JI Zhongqian, WANG Han, DING Tao, XIE Lizhe, HU Jian.(Department of Prosthodontics, The Affiliated Stomatological Hospital of Nanjing Medical University, Jiangsu Province Key Laboratory of Oral Diseases, Jiangsu Province Engineering Research Center of Stomatological Translational Medicine, Nanjing 210029, China)

Abstract: Objective To explore the correlation between the wear area of the four cusps of maxillary first molars and the height of functional/non-functional cusps of maxillary posterior dentition cusp, cusp inclination, wear area and contact area (including the maxillary first molar), in order to provide a scientific basis for artificial intelligence to predict the wear surface characteristics of maxillary first molars. **Methods** A total of 196 patients were included, with 784 upper posterior teeth (excluding third molars) analyzed. Based on intraoral scan data, the functional cusp/non-functional cusp height, cusp slope, wear area, and total tooth contact area were measured using Geomagic Qualify software. Independent sample t-tests were used to compare the differences in total wear area of the maxillary first molars between different genders. Pearson correlation analysis was applied to study the relationships between variables, and simple linear regression was used to examine the association between age and total wear area of the maxillary first molars. Based on this, variables that showed statistical significance in univariate analysis were used as independent variables, while the wear areas of the mesio-buccal cusp, disto-buccal cusp, mesio-lingual cusp, disto-lingual cusp, and total wear area of the maxillary first molar were used as dependent variables in multiple linear regression analyses. This allowed analysis of the effects of each influencing factor on the wear of individual cusps and the total wear area, and to build corresponding predictive models for wear area. **Results** Tooth wear increases with age, and there is no significant difference in wear between genders. The wear areas among the four cusps of the upper first molar are significantly related ($P<0.05$). The total wear area of the upper first molar is significantly related to the wear areas of the cusps of the upper first premolar, upper second premolar, and upper second molar ($P<0.05$), with the strongest correlation seen with the mesio-buccal cusp of the upper second molar ($P<0.05$). The buccal cusp slope of the upper first premolar is significantly negatively correlated with the

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(82571165);江苏省科教能力提升工程——江苏省研究型医院(YJXYYJSDW4),江苏省医学创新中心(CXZX202227)

作者单位:1 南京医科大学附属口腔医院修复科,南京医科大学口腔疾病研究江苏省重点实验室,江苏省口腔转化医学工程研究中心,江苏南京(210029);2 徐州市口腔医院修复科,江苏徐州(221002)
通信作者:胡 建 E-mail:hujianmjc@sohu.com

total wear area of the upper first molar ($P<0.05$). The wear areas of the four cusps of the upper first molar are positively correlated with the occlusal contact areas of the upper first premolar, upper second premolar, and upper second molar ($P<0.05$), but the correlation is relatively weak. **Conclusion** According to the known wear data of the remaining teeth, the wear data of each cusp of the maxillary first molars can be obtained, and the corresponding mathematical model can be constructed to guide the occlusal analysis and reconstruction of the missing teeth before full crown restoration.

Key words: tooth wear; correlation analysis; occlusal contact; oral prosthetics; digital impression

Stomatology,2026,46(9):652-657,662

在一生中,牙齿不断受到物理和化学因素影响,结构形态发生一系列变化,几乎每一个成年人都有不同程度的牙齿磨耗[1-2]。牙齿生理性磨耗有助于建立稳定的咬合接触关系,病理性磨耗则可导致异常咬合接触,乃至颞下颌关节紊乱病[3-4]。研究后牙牙列的磨耗规律,有助于口腔医生评估牙齿磨耗特征的相关性,以及通过整个牙列余留牙齿的磨耗特征来合理地预测目标牙的磨耗特征。

随着数字化口腔的发展,牙冠的修复重建正在从传统手工制作逐渐转向数字化制造[5-6]。目前诸多的牙冠修复设计系统均以数据库标准形态生成修复缺失牙[7-8]。为了生成与邻牙更为协调的咬合接触形态,许多研究在动态模拟仿真环境下通过数字化方案进行牙冠设计。例如虚拟𬌗架在数字环境中使用平均设置模拟下颌运动来辅助设计全冠,但设计出的修复体仍需手动调整[9-10]。电子面弓下颌运动轨迹可协助医师记录和分析患者修复前后口颌系统的咬合状态,然而其解剖铰链轴并不总是与运动铰链轴重合,且技术敏感性较高,需要专业培训人员操作[11]。CICERO CAD/CAM 系统设计后牙咬合面时考虑了消除动态咬合干扰,但是需要以减少咬合接触为代价[12]。除了动态模拟设计冠修复体,有学者提出生物源牙齿模型,该数学算法提取剩余牙齿咬合面并计算这些点和特征的平均值,得出牙冠平均数学模型,咬合面形态特征与天然牙存在较大误差[13-14]。自 2015 年以来,机器学习在各学科领域应用突然增加,袁福来等[15-16]提出基于生成对抗网络的咬合面形态设计方法,从生成的深度图像重建出目标牙冠的三维模型,显示出人工智能制造牙冠的可行性。

本文以后牙牙列磨耗面作为研究对象,探究上颌第一磨牙 4 个牙尖磨耗面积与上颌后牙牙列牙尖高度、牙尖斜度、磨耗面积、接触面积的关系,以余留牙磨耗面特征为参考,提出一种评估和重建目标牙咬合面磨耗特征的方法,为恢复与天然牙磨耗情形最近似的咬合面提供指导和参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本临床研究获得南京医科大学口腔医院生物伦理专业委员会的批准(批准号:PJ2023-144-001)。共纳入 2023 年 1 月—2023 年 12 月于南京医科大学附属口腔医院口腔修复科就诊的 196 例患者,其中男 80 例,女 116 例,年龄在 17~84 岁,共计研究 784 个上颌后牙的咬合面,根据患者的口扫数据,测量分析上颌第一前磨牙(上 4)、第二前磨牙(上 5)、第一磨牙(上 6)、第二磨牙(上 7)的功能尖/非功能尖牙尖高度(l)、牙尖斜度(α)、磨耗面积、咬合接触面积和上颌第一磨牙(上 6)近中颊尖(mesio-buccal cusp, MB)、远中颊尖(disto-buccal cusp, DB)、近中腭尖(mesio-palatal cusp, MP)、远中腭尖(disto-palatal cusp, DP)磨耗面积的关系。纳入标准:①完全萌出的恒牙列;②至少单侧牙列完整,无任何牙齿结构的缺损;③无牙列畸形。排除标准:①单侧任何牙齿脱落或修复治疗;②当前或既往有正畸治疗史;③存在颞下颌关节疾病;④重度磨耗以致磨耗面在各牙尖连成一片无法区分。

1.2 上颌后牙牙列磨耗特征的测量

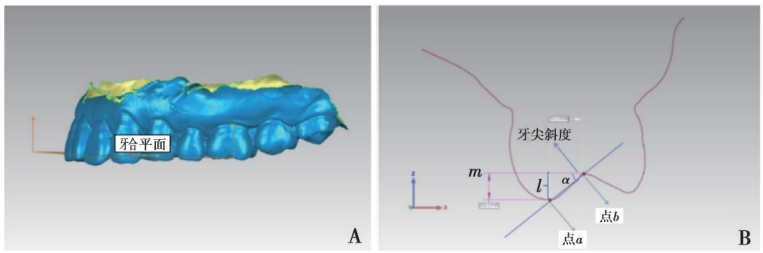
将每位患者的口扫数据保存为 STL 原始数据,利用 Geomagic Qualify(3D Systems,美国)进行数字化 3D 模型建模,由 2 名经过一致化培训的高年资专业口腔医师,分别测量全部患者各牙尖的牙尖高度、牙尖斜度、磨耗面积和咬合接触面积,若数据不一致则由第 3 位高年资医生审核确定。

1.2.1 牙尖高度、牙尖斜度测量

以𬌗平面作为统一坐标系,将 3D 图形转换为 2D,测量得 l 为牙尖高度,α 为牙尖斜度(图 1)。

1.2.2 磨耗面积测量

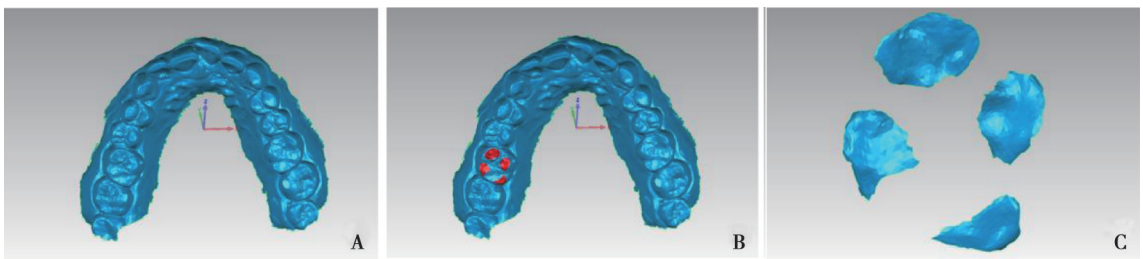
视觉评估并确定磨耗范围,磨耗范围为牙体咬合面因磨耗而损失的表面积,与健康牙体有明显分界,手动在软件内勾画计算区域数据的曲面面积,利用软件 Geomagic Qualify 计算并记录每颗后牙咬合面的磨耗面积(图 2)。



A:𬌗平面,即从双侧上颌中切牙的近中邻接点到第一磨牙的近中颊尖顶所构成的假想平面;B:点 a 为牙尖最高点,点 b 为牙尖嵴近中或远中延伸的𬌗面中央窝最低点,过点 b 作𬌗平面的平行线 m,点 a 到 m 的垂直距离即为牙尖高度 l,ab 连线与 m 的夹角即为牙尖斜度 α。

图 1　牙尖高度、牙尖斜度测量模式图

Fig.1　Measurement mode of cusp height and cusp inclination



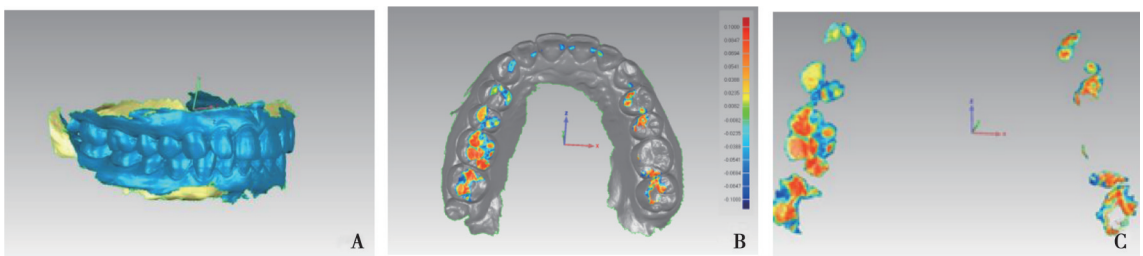
A:视觉评估并确定各牙尖磨耗范围;B:手动勾勒磨耗范围;C:投影面积软件自动计算各牙尖磨耗面积。

图 2　磨耗面积测量模式图

Fig.2　Diagram of the wear area measurement mode

1.2.3　咬合接触面积测量

使用 3Shape 口内扫描仪在上下牙弓咬合时扫描颊侧,再现模型的咬合状态。通过手动在软件内勾勒 0~0.1 mm 咬合距离区域数据的曲面面积,可得到牙列咬合接触面积(图 3)。



A:将上下颌模型与咬合模型进行拟合;B:生成偏差分析色阶图;C:计算曲面面积得到咬合接触面积。

图 3　咬合接触面积测量示意图

Fig.3　Schematic diagram of the measurement process of occlusal contact area

1.3　统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件(IBM,美国)进行统计分析。独立样本 t 检验用于检验性别对上颌第一磨牙总磨耗面积的影响是否存在差异,采用 Kolmogorov-Smirnov 检验对计量资料进行正态性检验,符合正态分布的变量采用 Pearson 相关分析进行相关性分析;采用一元线性回归分析上颌第一磨牙总磨耗面积与年龄的关系。相关系数(r)用于评估每个变量与上颌第一磨牙 4 个牙尖磨耗面积的相关性强弱与方向,$|r|<0.1$ 表示极弱相关,$0.1\leqslant|r|<0.3$ 表示弱相关,$0.3\leqslant|r|<0.5$ 表示中等程度相关,$|r|\geqslant0.5$ 表示强相关。

以上颌第一磨牙(上 6)各牙尖磨耗面积为因变量,以上颌第一前磨牙(上 4)、第二前磨牙(上 5)、第一磨牙(上 6)、第二磨牙(上 7)功能尖/非功能尖的牙尖高度、牙尖斜度、磨耗面积、咬合接触面积为自变量,构建多元线性回归模型;采用标准化系数 β 评价各自变量对因变量的贡献大小与作用方向,并构建回归方程。

2　结　果

2.1　样本描述

所有测量均显示较好的评估者内一致性和评估者间一致性。研究变量的测量结果如表 1 所示。性别与上颌第一磨牙总磨耗面积关系见表 2,结果显示:不同性别受试者上颌第一磨牙总磨耗面积差异

无统计学意义。Pearson 相关性分析结果显示,上颌第一磨牙总磨耗面积与年龄呈正相关($r=0.574$,$P<0.01$),一元线性回归方程为:上颌第一磨牙总磨耗面积=16.613+0.525×年龄(表 3)。

表 1 变量描述性统计结果

Tab.1 Descriptive statistics of variables

牙位	牙尖	磨耗面积/mm²	牙尖高度/mm	牙尖斜度/(°)	咬合接触面积/mm²
上 4	B	7.87±3.15	2.46±0.55	39.75±8.18	8.83±5.62
	P	3.96±2.58	1.49±0.48	31.20±8.21	
上 5	B	5.65±2.87	2.12±0.48	36.09±6.74	8.87±5.76
	P	3.56±2.07	1.40±0.48	29.42±8.84	
上 6	MB	9.02±4.62	1.57±0.49	25.58±7.05	20.77±13.95
	DB	7.47±3.76	1.61±0.49	27.30±7.20	
	MP	12.34±4.79	1.81±0.47	32.64±7.86	
	DP	8.55±4.03	1.33±0.48	25.86±7.52	
上 7	MB	7.82±4.25	1.19±0.48	20.96±6.99	18.73±12.46
	DB	5.39±2.96	1.04±0.50	20.79±7.01	
	MP	12.55±5.47	2.08±0.54	35.49±8.61	
	DP	4.49±3.12	1.36±0.64	28.99±9.64	

表 2 不同性别的磨耗面积差异

Tab.2 Differences of wear area between genders

性别	人数	磨耗面积/mm²	t	P
男	80	36.97±11.92	1.463	0.145
女	116	34.29±12.41		

表 3 年龄与磨耗面积的一元线性回归

Tab.3 Simple linear regression of age and wear area

因变量	自变量	非标准化系数		标准化系数	t	P	r^2
		B	标准误	β			
上颌第一磨牙总磨耗面积	年龄	0.525	0.067	0.574	9.359	<0.001	0.329

单因素相关性分析结果(表 4)示,上 6MB 磨耗面积与上 4B、上 5B、上 5P、上 6DB、上 6DP 及上 7 的 4 个牙尖磨耗面积呈正相关($P<0.05$),在上颌第一磨牙邻牙中与上 7MB 磨耗面积相关系数最大($r=0.518$);上 6DB 磨耗面积与上 5B、上 6MB、上 6MP、上 6DP 及上 7 的 4 个牙尖磨耗面积正相关($P<0.05$),上颌第一磨牙邻牙中与上 7DB 磨耗面积相关系数最大($r=0.424$);上 6MP 磨耗面积与上 4B、上 4P、上 5B、上 5P、上 6DB、上 6DP、上 6MB 及上 7 的 4 个牙尖磨耗面积呈正相关($P<0.05$),在上颌第一磨牙邻牙中与上 7MP 相关系数最大($r=0.592$);上 6DP 磨耗面积与上 4B、上 4P、上 5B、上 5P、上 6MB、上 6DB、上 6MP 及上 7 的 4 个牙尖磨耗面积正相关($P<0.05$)。

上 4B 牙尖斜度与上 6MP 磨耗面积负相关($r=-0.232$,$P<0.05$),与上 6 总磨耗面积负相关($r=-0.197$,$P<0.05$);上 6 总磨耗面积与上 4B、上 4P、上 5B、上 5P、上 7MB、上 7DB、上 7MP、上 7DP 磨耗面积正相关,其中与上 7MB 磨耗面积相关性最强($r=0.585$,$P<0.05$);与上 4、上 5、上 7 总磨耗面积正相关($r=0.347$、$r=0.551$、$r=0.395$,$P<0.05$);上 6MB、DB、MP、DP 磨耗面积与上 4、上 5、上 6、上 7 咬合接触面积正相关,但相关性较弱($r<0.3$)。

表 4 变量间的相关性分析

Tab.4 Correlation analysis between variables r

变量	上 6MB 磨耗面积	上 6DB 磨耗面积	上 6MP 磨耗面积	上 6DP 磨耗面积	上 6 总磨耗面积
上 4B 磨耗面积	0.278*	0.326	0.224*	0.164*	0.304*
上 4P 磨耗面积	0.115	0.424	0.246*	0.244*	0.282*
上 4B 牙尖高度	−0.062	−0.002	−0.079	0.079	−0.249
上 4P 牙尖高度	−0.216*	−0.227*	−0.233*	−0.201	−0.047
上 4B 牙尖斜度	−0.196	−0.089	−0.232*	0.011	−0.197*
上 4P 牙尖斜度	−0.214*	−0.246*	−0.232*	−0.286*	−0.303
上 4 接触面积	0.188*	0.266*	0.145	0.159*	0.074
上 5B 磨耗面积	0.371*	0.436*	0.423*	0.412*	0.506*
上 5P 磨耗面积	0.270*	0.461	0.357*	0.257*	0.339*
上 5B 牙尖高度	−0.006	−0.042	−0.025	−0.016	−0.366*
上 5P 牙尖高度	−0.302*	−0.328*	−0.349*	−0.209*	0.056
上 5B 牙尖斜度	−0.050	−0.081	−0.065	−0.066	−0.112
上 5P 牙尖斜度	−0.287*	−0.281*	−0.322*	−0.241*	−0.361
上 5 接触面积	0.289*	0.258*	0.167*	0.159*	0.326*
上 6MB 磨耗面积	−	0.543*	0.626*	0.450*	0.805*
上 6DB 磨耗面积	0.543*	−	0.597*	0.494*	0.743*
上 6MP 磨耗面积	0.626*	0.597*	−	0.497*	0.853*
上 6DP 磨耗面积	0.450*	0.494*	0.497*	−	0.724*
上 6MB 牙尖斜度	0.013	0.013	0.054	−0.018	0.073
上 6DB 牙尖斜度	−0.124	−0.152*	−0.153*	−0.055	−0.127
上 6MP 牙尖斜度	−0.380*	−0.305*	−0.395*	−0.174*	−0.412*
上 6DP 牙尖斜度	−0.263*	−0.161*	−0.205*	−0.200*	−0.271*
上 6 接触面积	0.296*	0.227*	0.194*	0.245*	0.313*
上 7MB 磨耗面积	0.518*	0.413*	0.510*	0.503*	0.585*
上 7DB 磨耗面积	0.355*	0.424*	0.444*	0.502	0.528*
上 7MP 磨耗面积	0.434*	0.413*	0.592*	0.475*	0.517*
上 7DP 磨耗面积	0.368*	0.414*	0.453*	0.464*	0.514*
上 7MB 牙尖斜度	−0.160	0.130	−0.073	−0.038	0.077
上 7DB 牙尖斜度	0.050	0.043	−0.010	−0.013	−0.004
上 7MP 牙尖斜度	−0.160*	−0.198*	−0.202*	−0.146	−0.251*
上 7DP 牙尖斜度	−0.237*	−0.148*	−0.148*	−0.113	−0.169*
上 7 接触面积	0.200*	0.195	0.066	0.209*	0.226
上 4 总磨耗面积	0.245*	0.292*	0.322*	0.224*	0.347*
上 5 总磨耗面积	0.418*	0.460*	0.481*	0.368*	0.551*
上 7 总磨耗面积	0.230*	0.397*	0.283*	0.359*	0.395*
年龄	0.317*	0.304*	0.335*	0.256*	0.574*

*:$P<0.05$。

2.2 构建预测模型

多元线性回归分析结果见表 5。回归方程如下:

上 6MB 磨耗面积=2.603+0.464×上 7MB 磨耗面积+0.471×上 5B 磨耗面积;

上 6DB 磨耗面积=2.333+0.203×上 7DB 磨耗面积+0.497×上 5P 磨耗面积+0.157×上 7MB 磨耗面积;

表 5　上颌第一磨牙四个牙尖的多元线性回归分析

Tab.5　Multiple linear regression analysis of the four cusps of maxillary first molars

因变量	自变量	非标准化系数		标准化系数	t	P	r^2	VIF	F
		B	标准误	β					
上 6MB 磨耗面积	上 7MB 磨耗面积	0.464	0.066	0.425	7.057	<0.001	0.370	1.098	36.088
	上 5B 磨耗面积	0.471	0.087	0.326	5.420	<0.001		1.098	
上 6DB 磨耗面积	上 7DB 磨耗面积	0.203	0.058	0.184	1.208	<0.001	0.374	2.734	29.858
	上 5P 磨耗面积	0.497	0.105	0.304	6.892	<0.001		1.005	
	上 7MB 磨耗面积	0.157	0.428	0.179	2.224	<0.001		1.005	
上 6MP 磨耗面积	上 7MP 磨耗面积	0.287	0.068	0.169	4.190	0.002	0.386	1.511	29.726
	上 5B 磨耗面积	0.419	0.103	0.209	4.089	<0.001		1.220	
	上 4B 牙尖斜度	−0.099	0.030	−0.232	−3.240	<0.001		1.071	
	上 7DP 磨耗面积	0.243	0.105	0.196	2.319	0.001		1.497	
上 6DP 磨耗面积	上 7MP 磨耗面积	0.173	0.062	−0.226	2.790	<0.001	0.335	1.863	23.839
	上 7DP 磨耗面积	0.221	0.086	0.187	2.555	<0.001		1.531	
	上 5B 磨耗面积	0.210	0.082	−0.164	2.553	0.006		1.172	
	上 7MB 磨耗面积	0.177	0.073	0.183	2.438	0.016		1.604	
上 6 总磨耗面积	上 5 磨耗面积	1.564	0.241	0.363	6.539	<0.001	0.457	1.118	82.272
	上 7MB 磨耗面积	1.579	0.182	0.477	8.576	<0.001		1.118	

上 6MP 磨耗面积 = 9.030+0.287×上 7MP 磨耗面积+0.419×上 5B 磨耗面积−0.099×上 4B 牙尖斜度+0.243×上 7DP 磨耗面积；

上 6DP 磨耗面积 = 2.750+0.173×上 7MP 磨耗面积+0.221×上 7DP 磨耗面积+0.210×上 5B 磨耗面积+0.177×上 7MB 磨耗面积；

上 6 总磨耗面积 = 15.844+1.564×上 5 总磨耗面积+1.579×上 7MB 磨耗面积。

3　讨　论

早期临床实践中，牙齿、牙弓形态测量均需要在石膏模型上进行。随着数字化口腔的发展，创建高分辨率虚拟 3D 模型成为可能。使用软件对数字模型进行的测量与使用数字卡尺对石膏模型进行的传统测量之间的差异很小[17]。Lee 等[18]的研究表明，真实咬合和虚拟咬合情况之间的误差仅出现在前牙区域，而前磨牙与磨牙区域在虚拟模型中显示出相对准确的测量结果。因此，本研究使用数字化印模的测量数据来进行研究。

牙齿磨耗是多因素作用的结果。既往研究表明，男性的牙齿磨耗往往高于女性[19-20]，这与男女饮食差异以及颅面结构特征有关[21-22]。然而，这一性别差异正在逐渐缩小[23]。在本研究中，尽管所有样本均有一定程度的牙齿磨耗，但在性别方面的差异并无统计学意义，这可能与近年来饮食精细化、牙齿清洁模式改变有关[19]。年龄与牙齿磨耗程度呈正相关[24-25]，年龄越大，牙齿磨耗越严重，这与本研究结果一致，因此，分析后牙磨耗特征需考虑年龄相关的变化。

后牙牙列的磨耗存在一定规律，不同牙齿之间的咬合面磨耗存在一定相关性。本研究表明，上颌第一磨牙 4 个牙尖与上颌第二磨牙 4 个同名牙尖磨耗面积存在中等程度以上的相关性，这与 Littleton 等[26]的研究结果一致。这两颗磨牙在咬合功能中承担了主要咀嚼力，因此它们的磨耗模式高度一致，这种相关性反映了它们在咬合接触中的协调作用。

前磨牙磨耗在后牙磨耗模式中具有重要意义[27]。本研究结果表明，第一磨牙与前磨牙的磨耗程度存在中等及以上相关性，提示我们在开展现代人群咀嚼模式相关研究时，应当把前磨牙磨耗特征也作为重点研究对象。

目前尖牙保护𬌗被公认为是最基本的工作侧咬合接触模式之一，随着年龄的增长，牙齿表面磨耗，尖牙保护𬌗逐渐发展成为组牙功能𬌗[28-29]，上颌非功能尖的牙尖能够在侧方运动中引导下颌的移动，导致后牙快速分离，减少后牙的接触。本研究发现，上颌第一前磨牙非功能尖牙尖斜度越高，上颌第一磨牙的磨耗面积越小，这是由于前磨牙和尖牙引导侧方运动，通过这种引导作用，前磨牙承担了更多的咬合力，从而减少上颌第一磨牙的磨耗，在一定程度上保护了牙齿免受损伤[30]。

Gillborg 等[19,26]的研究显示，同颌同名牙组的磨耗度相关性较强，对于上颌来说，磨耗程度顺序依次为磨牙、前磨牙、切牙，这与本研究结果一致。显然，磨耗模式与牙齿使用方式、萌出顺序和年龄引起的咬合关系变化相关。本研究显示上颌第一前磨牙的磨耗面积与上颌第二前磨牙相比，对上颌第一磨牙的影响较小，这可能是因为上颌第二前磨牙与上颌第一磨牙位置更接近。越接近目标牙的邻牙，其对目标牙的影响越大。上颌第二磨牙近中颊尖磨耗

面积对上颌第一磨牙磨耗面积影响度较高,进一步验证了同颌同名牙之间有相似的磨耗模式[26],提示医师临床上在恢复目标牙时应特别关注邻牙的形态特征及其对整体咬合功能的影响。

本研究存在一定局限性:磨耗面积与咬合接触相关性不强,这与口腔扫描仪测量咬合接触面积存在误差有关,生成 3D 模型的算法没有考虑牙周组织可让性以及受试者最大咬合力[31],且 3D 虚拟模型允许在采集过程中发生咬合间穿孔,这有助于将上下颌虚拟模型对准咬合,但会降低咬合记录间的可靠性[32]。此外,𬌗干扰、错𬌗畸形、牙列缺失、不完全萌出、牙列不齐、测量时患者体位、患者的心理状态、𬌗力大小等都可导致𬌗接触面积的改变[33-34]。

4 结 论

本研究提出了一种评估目标牙齿咬合面磨耗特征的方法,结果表明上颌第一磨牙磨耗面积与上颌后牙牙列的磨耗特征具有一定的相关性,如果已知余留牙表面磨耗数据,可通过分析此牙齿上的数据,预测缺失牙的表面磨耗面积,构建的数学模型可用于指导人工牙冠设计。

[参 考 文 献]

[1] Rebelo Vieira JM, Pereira JV, Sponchiado Júnior EC, *et al*. Prevalence of dental caries, periodontal disease, malocclusion, and tooth wear in indigenous populations in Brazil: A systematic review and meta-analysis[J]. Braz Oral Res, 2023, 37: e094.

[2] Pereira Cenci T, Cademartori MG, dos Santos LG, *et al*. Prevalence of tooth wear and associated factors: A birth cohort study [J]. J Dent, 2023, 128: 104386.

[3] Thomas DC, Singer SR, Markman S. Temporomandibular disorders and dental occlusion what do we know so far? [J]. Dent Clin N Am, 2023, 67(2): 299-308.

[4] Fan JY, Caton JG. Occlusal trauma and excessive occlusal forces: Narrative review, case definitions, and diagnostic considerations [J]. J Clin Periodontol, 2018, 45(S20): S199-S206.

[5] Aziz AM, Hamdoon Z, Husein AB, *et al*. Applications of artificial intelligence in restorative dentistry: A scoping review[J]. Quintessence Int, 2024, 55(6): 430-440.

[6] Marta RL, Miguel GP, Shantanu V, *et al*. Artificial intelligence applications in restorative dentistry: A systematic review[J]. J Dent, 2022, 128(5):867-875.

[7] Jiang XT, Dai N, Cheng XS, *et al*. Robust tooth surface reconstruction by iterative deformation[J]. Comput Biol Med, 2016, 68: 90-100.

[8] Sadid-Zadeh R, Stylianou A, Aponte Wesson R. Prosthetic management of an existing transmandibular implant: A clinical report [J]. J Prosthet Dent, 2018, 119(5): 693-697.

[9] Hsu MR, Driscoll CF, Romberg E, *et al*. Accuracy of dynamic virtual articulation: Trueness and precision[J]. J Prosthodont, 2019, 28(4): 436-443.

[10] Li LL, Chen H, Li WW, *et al*. Design of wear facets of mandibular first molar crowns by using patient-specific motion with an intraoral scanner: A clinical study[J]. J Prosthet Dent, 2023, 129(5): 710-717.

[11] 马丽娅,巢家瑞,刘飞,等.基于下颌运动轨迹与虚拟𬌗架运动参数模拟调𬌗的对比研究[J].华西口腔医学杂志,2023,41(3):254-259.

[12] Olthoff LW, van der Zel JM, de Ruiter WJ, *et al*. Computer modeling of occlusal surfaces of posterior teeth with the CICERO CAD/CAM system[J]. J Prosthet Dent, 2000, 84(2): 154-162.

[13] Mehl A, Blanz V, Hickel R. A new mathematical process for the calculation of average forms of teeth[J]. J Prosthet Dent, 2005, 94(6): 561-566.

[14] Mehl A, Blanz V, Hickel R. Biogeneric tooth: A new mathematical representation for tooth morphology in lower first molars[J]. Eur J Oral Sci, 2005, 113(4): 333-340.

[15] 袁福来,戴宁,田素坤,等. 采用条件生成式对抗网络的缺损牙全冠修复技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2019,31(12): 2113-2120.

[16] Tian SK, Wang MH, Dai N, *et al*. DCPR-GAN: Dental crown prosthesis restoration using two-stage generative adversarial networks[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2022, 26(1): 151-160.

[17] Kardach H, Szponar-Żurowska A, Biedziak B. A comparison of teeth measurements on plaster and digital models[J]. J Clin Med, 2023, 12(3): 943.

[18] Lee H, Cha J, Chun YS, *et al*. Comparison of the occlusal contact area of virtual models and actual models: A comparative study on Class Ⅰ and Class Ⅱ malocclusion models[J]. BMC Oral Health, 2018, 18(1): 109.

[19] Gillborg S, Åkerman S, Ekberg E. Tooth wear in Swedish adults: A cross-sectional study[J]. J Oral Rehabil, 2020, 47(2): 235-245.

[20] Van't Spijker A, Rodriguez JM, Kreulen CM, *et al*. Prevalence of tooth wear in adults[J]. Int J Prosthodont, 2009, 22(1): 35-42.

[21] Masotti S, Bogdanic N, Arnaud J, *et al*. Tooth wear pattern analysis in a sample of Italian Early Bronze Age population. Proposal of a 3-D sampling sequence[J]. Arch Oral Biol, 2017, 74: 37-45.

[22] 张煜雯,严斌,胡建. 颅面结构特征与牙列磨耗分布的相关性研究[J]. 口腔医学,2020,40(6): 540-543.

[23] Mijuskovic M, Gebistorf MC, Pandis N, *et al*. Tooth wear and gingival recession in 210 orthodontically treated patients: A retrospective cohort study[J]. Eur J Orthod, 2018, 40(4): 444-450.

[24] Kaklamanos EG, Menexes G, Makrygiannakis MA, *et al*. Tooth wear in a sample of community-dwelling elderly greeks[J]. Oral Health Prev Dent, 2020, 18(2):133-138.

[25] 肖小勇,曾雨欣,周静,等. 新疆山普拉墓地古代居民的牙齿磨耗[J]. 第四纪研究,2025,45(1): 306-318.

(下转第 662 页)