

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.02.006

•论著•

聚醚醚酮与常用金属卡环弹性限度及固位力的对比研究

刘纪元^{1,2}, 郭文迪^{1,2}, 曾子雯^{1,2}, 王星^{1,2}

[1. 新疆医科大学第一附属医院(附属口腔医院)口腔修复种植科, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区口腔医学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830054]

[摘要]目的 比较两种工作长度的聚醚醚酮与钴铬合金、纯钛、维他灵2000卡环材料的弹性限度,并分析形变为0.25、0.50 mm时各材料加载力。方法 分别制备4种材料卡环各20个,将每组材料随机抽出10个为卡环尖端距支点5 mm,剩下10个为卡环尖端距支点10 mm,分别模拟卡环在前磨牙区、磨牙区的工作长度。采用万能材料试验仪进行载荷-位移测试,比较4种材料弹性限度及加载力。结果 4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm弹性限度比较,差异有统计学意义($P<0.05$),弹性限度值由聚醚醚酮、纯钛、维他灵2000、钴铬合金依次降低;且4种材料卡环尖端距支点5 mm弹性限度小于卡环尖端距支点10 mm,差异有统计学意义($P<0.05$)。形变0.25 mm时,4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较,差异有统计学意义($P<0.05$),且聚醚醚酮组卡环的加载力小于钴铬组、纯钛组和维他灵2000组。形变0.5 mm时,4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较,差异有统计学意义($P<0.05$),且聚醚醚酮组卡环的加载力均小于钴铬组、纯钛组和维他灵2000组。结论 与3种常用可摘局部义齿金属卡环材料相比,聚醚醚酮有着更好的弹性,且在相同条件下能提供的固位力较小,可进一步增加其进入基牙的倒凹深度,以期获得良好的固位力。

[关键词] 卡环;可摘局部义齿;弹性限度;聚醚醚酮

[中图分类号] R783.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)02-0021-05

Comparison of the Elastic Limits and Retention Forces Between Polyether Ether Ketone and Commonly Used Metal Clasp

LIU Jiyuan^{1,2}, GUO Wendi^{1,2}, ZENG Ziwen^{1,2}, WANG Xing^{1,2}

[1. Department of Prosthodontics and Implantology, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University (Affiliated Stomatological Hospital), Urumqi 830054, Xinjiang, China;

2. Stomatological Institute of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830054, Xinjiang, China]

[Abstract]**Objective** To compare the elastic limits of two working lengths of polyether ether ketone with cobalt-chromium alloy, pure titanium and Vitallium 2000 clasp materials, and to analyze the loading force of each material when the deformation is 0.25 mm and 0.50 mm. **Methods** Four kinds of material clasp were prepared, 20 in each group. 10 of each group were randomly selected as clasp tip from the fulcrum 5 mm, and the remaining 10 as the clasp tip from the fulcrum 10 mm, so as to simulate the working lengths of the clasps in the premolar region and the molar region, respectively. The load-displacement test was performed with universal material tester, and the elastic limits and loading forces were compared among the four materials. **Results** There were significant differences in the elastic limits of the four materials between the clasp tip from the fulcrum 10 mm and the clasp tip from the fulcrum 5 mm ($P<0.05$). The elastic limit values decreased sequentially from polyether ether ketone, pure titanium, Vitallium 2000, and cobalt-chromium alloy. The elastic limit of the four materials in the clasp tip from the fulcrum 5 mm was lower than

第一作者: 刘纪元(2000.11-),男,河南项城人,硕士研究生,主要从事口腔修复学及组织工程基础研究

通讯作者: 王星(1982.8-),女,新疆呼图壁县人,硕士,副主任医师,硕士生导师,主要从事口腔修复学研究

that in the clasp tip from the fulcrum 10 mm, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). When the deformation was 0.25 mm, there was significant difference in the loading force of the four materials between the clasp tip from the fulcrum 10 mm and the clasp tip from the fulcrum 5 mm ($P<0.05$), and the loading force of the clasp in the polyether ether ketone group was smaller than that in the cobalt-chromium alloy group, pure titanium group and Vitallium 2000 group. When the deformation was 0.5 mm, there was significant difference in the loading force of the four materials between the clasp tip from the fulcrum 10 mm and the clasp tip from the fulcrum 5 mm ($P<0.05$), and the loading force of the clasp in the polyether ether ketone group was lower than that in the cobalt-chromium alloy group, pure titanium group and Vitallium 2000 group. **Conclusion** Compared with three commonly used removable partial denture metal clasp materials, polyether ether ketone has better elasticity, but it can provide less retention force under the same conditions, which can further increase the depth of undercut into the abutment, in order to obtain good retention force.

[Key words] Clasp; Removable partial denture; Elastic limit; Polyether ether ketone

目前,可摘局部义齿卡环支架材料一般分为金属类和非金属类两大类,其中常用金属类卡环材料以钴铬合金、纯钛、维他灵2000为主导,非金属材料包括聚醚醚酮、树脂等,而聚醚醚酮(polyether ether ketone, PEEK)具有可靠的生物相容性、稳定的理化性能^[1],被广泛应用于医学领域,与3D打印技术相结合后也逐渐应用于可摘义齿支架的制作^[2, 3]。聚醚醚酮材料制作的可摘局部义齿有以下优点:①质地轻,异物感极小;②无金属成分,规避金属过敏隐患;③美观性更佳,满足患者需求;④可采用3D打印技术加工,有效缩短加工周期等金属材料不具有的优点,是一种非常具有应用前景的非金属替代材料^[4-6]。不同材料以及不同制造方式的卡环,因弹性形变限度不同,推荐进入的倒凹深度也不同,一般认为卡环进入倒凹的深度不可超过其弹性极限^[7],若卡环进入基牙倒凹深度超过卡环臂的弹性形变限度,卡环易发生不可逆形变,最终影响其卡抱力及义齿的使用寿命。本实验测量4种材料卡环的长、短臂组在比例极限内的形变限度,在此基础上比较4种材料卡环在0.25 mm和0.5 mm时的固位力变化,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 实验材料 聚醚醚酮(登泰克,吉林省登泰克牙科材料有限公司)、钴铬合金(BEGO,上海松佰医疗器械科技有限公司)、纯钛(西京,西安西京医疗用品有限公司)、维他灵2000(登士柏,登士柏西诺德)、半椭圆型成品铸造卡环

(家鸿口腔医疗股份有限公司)。

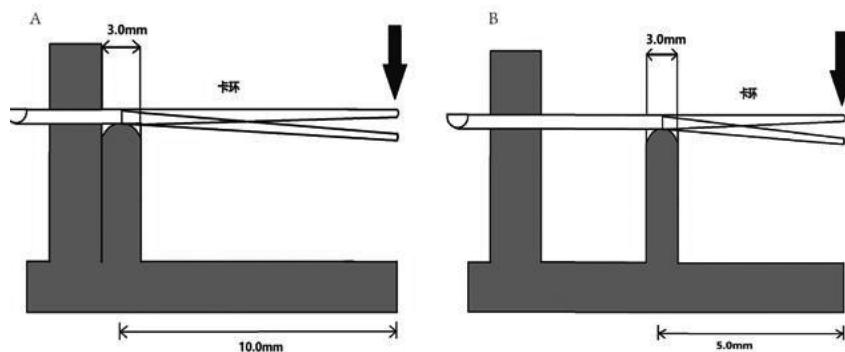
1.2 实验设备及时间 电子万能生物材料试验机(深圳市睿葛尔仪器有限公司)、实验夹具(济南方辰仪器设备有限公司)。实验时间:2024年4月。

1.3 方法

1.3.1 试件制备 取半椭圆型成品卡环蜡型,由加工厂按照材料标准加工流程和规范制作同等大小聚醚醚酮、钴铬合金、纯钛、维他灵2000卡环各20个,并按临床要求完成卡环的打磨抛光。该过程由同一位技师完成。置于光学显微镜下观察试件表面,选择表面光滑完整、无缺陷的试件,每组20个。

1.3.2 分组 将每组材料随机抽出10个为卡环尖端距支点5 mm,剩下10个为卡环尖端距支点10 mm,分别模拟卡环在前磨牙区、磨牙区的工作长度。

1.3.3 载荷-挠曲测试 在电子万能试验机上,卡环试件如图1所示固定。固定夹具对卡环尖端持续加载至位移2.00 mm时停止(速度1 mm/min)。加载方向是由平面侧向曲面侧弯曲。计算机自动记录卡环形变过程并产生相应的载荷-位移曲线。模拟临床可摘局部义齿常用倒凹深度时的卡环形变。在卡环弯曲发生弯曲的过程中,卡环所产生的加载力相当于口腔中局部义齿卡环脱位时对基牙产生的正压力,而卡环所提供的固位力源自卡环脱出时与基牙表面产生的摩擦力^[8],根据摩擦力公式[最大静摩擦力($F_{\max}$)=正压力(N) $\times$ 摩擦系数(f)]^[9],计算出卡环材料在对应倒凹深度下所能提供的固位力。



注：A：卡环尖端距支点 10 mm；B：卡环尖端距支点 5 mm。

图1 卡环测试示意图

1.4 各组样品理化性能检测与表征 载荷-位移测试后，将应力疲劳后4组材料随机选取2个试件清洗后室温干燥，单反相机拍摄观察，随后喷金处理，使用扫描电镜（SEM）拍照观察应力疲劳后4组材料表面形貌。X射线能量色散谱（EDS）检测聚醚醚酮材料中各元素的含量和分布情况。

1.5 统计学方法 将电子万能试验机所测得的位移、载荷数值导入Origin2022绘图软件进行分析处理，即得到每组材料的载荷-位移曲线。筛选后的各材料卡环长度和宽度测量值符合正态分布，

测得数据应用GraphPad 8.0进行分析，以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，采取单因素方差分析或独立样本 t 检验，以 $\alpha = 0.05$ 作为显著性检验水准。

2 结果

2.1 各种材料表面形貌 肉眼观察聚醚醚酮组卡环呈灰白颜色，表面较为细腻；钴铬组卡环呈平面测粗糙颗粒状，曲面侧光滑金属样外观；纯钛组卡环表面呈银灰色金属外观；维他灵2000卡环表面呈“镜面状”金属外观，见图2。

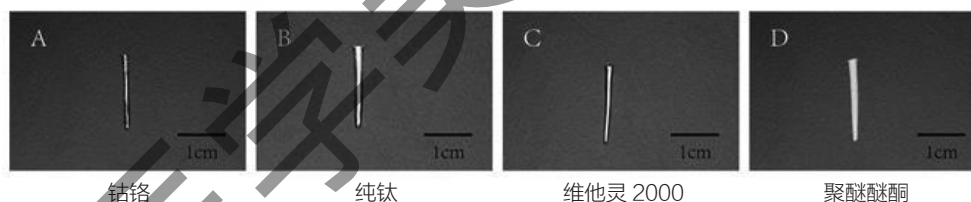


图2 各组材料卡环表面肉眼观察

2.2 载荷-挠曲实验结果 4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm弹性限度比较，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ），弹性限度值由聚醚醚酮、纯钛、维他灵2000、钴铬依次降低；且4种材料卡环尖端距支点5 mm弹性限度小于卡环尖端距支点10 mm，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ），见表1。形变0.25 mm时，4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ），且聚醚醚酮组卡环的加载力小于钴铬组、纯钛组和维他灵2000组，见表2。形变0.5 mm时，4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较，差异有

统计学意义（ $P < 0.05$ ），且聚醚醚酮组卡环的加载力均小于钴铬组、纯钛组和维他灵2000组，见表3。

表1 4种材料在卡环尖端距支点5 mm和10 mm的弹性限度比较（ $\bar{x} \pm s$, mm）

材料	<i>n</i>	5 mm	10 mm
钴铬	10	0.23 ± 0.039	0.36 ± 0.040
纯钛	10	0.31 ± 0.037	0.52 ± 0.077
维他灵 2000	10	0.28 ± 0.040	0.38 ± 0.055
聚醚醚酮	10	1.520 ± 0.100	1.750 ± 0.154
<i>F</i>		417.000	241.800
<i>P</i>		0.000	0.000

表2 4种材料形变0.25 mm时在卡环尖端距支点5 mm和10 mm的卡环加载力比较 ($\bar{x} \pm s$, N)

材料	<i>n</i>	5 mm	10 mm
钴铬	10	30.40 ± 1.866	20.70 ± 2.339
钛	10	19.20 ± 1.745	12.90 ± 1.533
维他灵 2000	10	27.90 ± 1.846	20.50 ± 1.624
聚醚醚酮	10	1.600 ± 0.257	1.490 ± 0.193
<i>F</i>		745.000	322.000
<i>P</i>		0.000	0.000

表3 4种材料形变0.50 mm时在卡环尖端距支点5 mm和10 mm的卡环加载力比较 ($\bar{x} \pm s$, N)

材料	<i>n</i>	5 mm	10 mm
钴铬	10	38.12 ± 3.020	29.17 ± 2.261
钛	10	24.18 ± 2.390	25.05 ± 3.065
维他灵 2000	10	38.87 ± 4.820	34.65 ± 2.500
聚醚醚酮	10	1.880 ± 0.200	1.770 ± 0.280
<i>F</i>		312.700	406.100
<i>P</i>		0.000	0.000

3 讨论

钴铬合金具有优良的固位力、抗压力,且价格便宜等优点,但其铸造的义齿支架存在体积大、基托设计变化小、卡环弹性差、在唾液长期浸泡中易产生腐蚀、生物相容性较差等问题^[10]。纯钛合金的密度较低、弹性高、质量轻,较钴铬合金有着较高的生物相容性,其表面二氧化钛氧化膜具有较好的防腐蚀效果,但纯钛铸造过程中易产生气孔且制作工艺复杂,容易出现应力集中部位变形,导致固位力降低甚至卡环折断的问题^[11]。维他灵2000属于钴铬高温合金,具有与普通钴铬合金相同的机械强度、抗氧化力及抗热腐蚀能力,其抗压力、弹性均较好,支架不易变形,折断可能性低,卡环容易调节^[12]。聚醚醚酮作为一种新型材料,相较于金属材料而言,有着良好的物理性能,同时聚醚醚酮有着良好的美观效果、质地轻、佩戴舒适感较好、不会造成金属过敏等特点。随着科技的进步与发展,患者对口腔美观的需求也逐渐提升,聚醚醚酮未来的应用前景也十分广泛。

本实验测得以临床常用规格卡环制作出的

聚醚醚酮卡环材料在不同工作长度的弹性限度及在0.25 mm和0.5 mm倒凹深度下时的固位力大小,并与常用的3种金属材料进行对比,结果显示4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm弹性限度比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),弹性限度值由聚醚醚酮、纯钛、维他灵2000、钴铬合金依次降低;且4种材料卡环尖端距支点5 mm弹性限度小于卡环尖端距支点10 mm,差异有统计学意义($P < 0.05$);当形变0.25 mm时,4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),且聚醚醚酮组卡环的加载力小于钴铬合金组、纯钛组和维他灵2000组;当形变0.5 mm时,4种材料在卡环尖端距支点10 mm和卡环尖端距支点5 mm卡环加载力比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),且聚醚醚酮组卡环的加载力均小于钴铬合金组、纯钛组和维他灵2000组,表明聚醚醚酮卡环若用于前磨牙区时,为获得较大卡抱力,进入基牙倒凹深度可大于0.50 mm;钴铬卡环应用于前磨牙区时,适用于小于0.25 mm的倒凹深度;纯钛卡环和维他灵2000卡环用于前磨牙区时,进入基牙倒凹深度0.25 mm为宜。聚醚醚酮卡环用于磨牙区时,为获得较大卡抱力,基牙倒凹深度可大于0.50 mm;钴铬合金卡环和维他灵2000长臂卡环用于磨牙区时,基牙倒凹深度在0.25 mm内为宜;纯钛长臂卡环用于磨牙区时,基牙倒凹深度为0.50 mm为宜。以往实验认为^[13],单一卡环的固位力至少需达到5 N才能保证可摘局部义齿正常工作,而当可摘局部义齿用于修复肯氏Ⅰ类缺损的整体只需3~7.5 N的固位力。本实验测得在前磨牙及磨牙区,钴铬合金、纯钛、维他灵2000卡环在0.25 mm的倒凹深度已可达临床所需固位力,聚醚醚酮在0.25 mm及0.50 mm的倒凹深度下固位力均不能满足临床所需固位力。研究表明^[13, 14],卡环固位力与卡环进入基牙倒凹深度、卡环的宽度和厚度、卡环的设计密切相关。罗颐辰等^[15]设计制作出聚醚醚酮三臂卡环,卡环进入基牙倒凹深度为0.75 mm,测试其固位力并进行了疲劳实验,实验结果得出聚醚醚酮卡环组固位力小于钴铬合金组,但已经可以满足临床固位力需求。本

实验简化了卡环设计,选择了半椭圆形成品卡环蜡型制作的形卡环,同时只对卡环末端进行加载,实验的不足之处是直形卡环没有曲率,临床的卡环由于基牙外形有一定曲率,卡环的曲率会对卡环的刚度以及应力分布产生影响^[9];同时,本实验使用的聚醚醚酮卡环是以临床常用半椭圆形成品卡环蜡型为模型制作的,卡环厚度及宽度较小,导致最终测得聚醚醚酮卡环固位力较小。此外,本实验还有一定的局限性:在口腔环境中,唾液的润滑和腐蚀作用会对卡环的固位力产生影响,体外力学实验不能完全模拟可摘局部义齿卡环在口腔中实际摘戴过程,卡环的受力与临床卡环的受力存在一定差异,体外研究与实际存在一定差别;本实验研究的是单一卡环臂所能提供的固位力,不能代表其他类型卡环及整幅可摘局部义齿的实际情况,未来还需要进一步的研究。

综上所述,在临床应用聚醚醚酮材料时,还需结合实际情况增加卡环进入基牙的倒凹深度、卡环材料的宽度及厚度,同时通过合理的义齿设计,以获得更好的固位效果。未来还需要进一步研究如何进行长期稳定且安全的提高聚醚醚酮材料力学性能、美观等,从而推动聚醚醚酮材料在口腔医学领域的更深入、更广阔的应用,为牙列缺损和牙列缺失患者提供一种更美观的选择。

[参考文献]

- [1]姚苏霞,田国兵,郭亚芳.Bio-HPP支架和钴铬合金铸造支架的对比研究[J].中国药物与临床,2020,20(12):1974-1975.
- [2]Norotte G,Barrios C.Clinical and radiological outcomes after stand-alone ALIF for single L5-S1 degenerative discopathy using a PEEK cage filled with hydroxyapatite nanoparticles without bone graft[J].Clin Neurol Neurosurg,2018,168:24-29.
- [3]Stratton-Powell AA,Pasko KM,Brockett CL,et al.The Biologic Response to Polyetheretherketone (PEEK) Wear Particles in Total Joint Replacement: A Systematic Review[J].Clin Orthop Relat Res,2016,474(11):2394-2404.
- [4]Wu S,Qian C,Jiao T,et al.Comparison of the Retention and Fit of Polyether Ether Ketone Clasps during Fatigue Circulation Tests[J].Heliyon,2023,9(9):e19959.
- [5]Peng PW,Chen MS,Peng TY,et al.In vitro study of optimal removable partial denture clasp design made from novel high-performance polyetherketoneketone[J].J Prosthodont Res,2024,68(3):466-473.
- [6]张存良,张力,吴国锋.聚醚醚酮的性能及其在口腔修复中的应用[J].实用口腔医学杂志,2024,40(1):136-140.
- [7]戴云,吴国锋.可摘局部义齿卡环固位力的研究现状[J].实用口腔医学杂志,2023,39(4):544-548.
- [8]陈睿楨,沈纪元,林玲,等.可摘局部义齿卡环设计和工艺的研究进展[J].福建医科大学学报,2024,58(2):71-77.
- [9]边晓宇,李凤兰.可摘局部义齿卡环疲劳性能测试方法及研究现状[J].中华老年口腔医学杂志,2021,19(1):60-64.
- [10]鲍艳娜.不同材料支架式可摘局部义齿修复后不良反应比较[J].现代仪器与医疗,2018,24(3):120-121.
- [11]张雪,孙宇,张兆钰,等.常用可摘局部义齿支架材料表面微生物粘附的实验研究[J].口腔医学,2018,38(1):19-22.
- [12]李丽霞,马丽.Vitallium2000铸造支架义齿、纯钛支架义齿及钴铬合金支架义齿在义齿修复中的效果比较[J].实用临床医药杂志,2019,23(21):21-24.
- [13]Zheng J,Aarts J M,Ma S,et al.Fatigue behavior of removable partial denture cast and laser-sintered cobalt-chromium (CoCr) and polyetheretherketone (PEEK) clasp materials[J].Clin Exp Dent Res,2022,8(6):1496-1504.
- [14]党薇,王珍珍,谭灵.PEEK与钴铬合金铸造支架可摘局部义齿的临床应用效果对比分析[J].中国美容医学,2023,32(10):123-127.
- [15]罗颐辰,邱琳,耿铭珠,等.不同设计的聚醚醚酮卡环固位及疲劳性能研究[J].口腔医学,2024,44(5):369-374.

收稿日期: 2024-12-24 编辑: 周思雨