

铜镍钛弓丝与普通镍钛弓丝正畸排齐阶段临床应用对比研究

刘维翰, 陈定根, 许可, 李雨芝
(川北医学院, 1. 附属医院口腔科; 2. 口腔医学院, 四川 南充 637000)

【摘要】目的: 比较铜镍钛弓丝与普通镍钛弓丝在正畸排齐阶段的临床疗效差异。**方法:** 选取 72 例首次正畸患者为研究对象, 按照治疗材料不同将患者分为研究组(铜镍钛弓丝)和对照组(普通镍钛弓丝)。在矫治初期(T0)、3 个月(T1)及完成弓丝阶段(T2)分别测量尖牙/磨牙间宽度、上颌 Little's 不规则指数, 记录计划复诊 24 h 后 VAS 疼痛评分、治疗周期及复诊次数。**结果:** 研究组与对照组患者治疗周期及牙弓形态指标改善均无统计学差异($P>0.05$)。研究组患者初始 24 h VAS 疼痛评分及复诊次数均低于对照组($P<0.05$), 但 T1、T2 期疼痛评分组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:** 铜镍钛弓丝在减轻初始疼痛和减少复诊次数方面展现出优势, 可作为正畸排齐阶段初始弓丝的选择之一。

【关键词】 口腔正畸; 铜镍钛弓丝; 镍钛弓丝; 治疗效果; 视觉模拟评分法

【中图分类号】 R783.5 **【文献标志码】** A

Comparative on clinical study of Cu-Ni-Ti versus conventional Ni-Ti archwires during the orthodontic alignment phase

LIU Wei-han, CHEN Ding-gen, XU Ke, LI Yu-zhi
(1. Department of Stomatology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College; 2. School of Stomatology, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To compare the clinical efficacy of copper-nickel-titanium (Cu-Ni-Ti) and conventional nickel-titanium (Ni-Ti) archwires during orthodontic alignment. **Methods:** 72 first-time orthodontic patients were selected as the research subjects and divided into a study group (Cu-Ni-Ti) and a control group (Ni-Ti) according to different treatment materials. Inter-canine/intermolar widths, maxillary Little's Irregularity Index (LII), and VAS pain scores (24 h post-activation) were recorded at baseline (T0), 3 months (T1), and finishing archwire stage (T2). Treatment duration and unscheduled visits were analyzed. **Results:** There were no statistically significant differences in treatment duration or improvement in dental arch morphological parameters between the two groups ($P>0.05$). Patients in the study group demonstrated lower initial 24-hour VAS pain scores and required fewer clinical appointments compared to the control group ($P<0.05$). However, intergroup differences in pain scores at both T1 and T2 stages showed no statistical significance ($P>0.05$). **Conclusion:** Cu-Ni-Ti have shown advantages in reducing initial pain and fewer clinical appointments, and can be used as one of the options for initial archwires during orthodontic alignment.

【Key words】 Orthodontics; Copper-nickel-titanium archwires; Nickel-titanium archwires; Therapeutic efficacy; Visual analog scale

弓丝作为固定矫治系统的核心力学传导介质^[1], 其性能直接影响正畸治疗效率。在排齐阶段, 弓丝通过托槽-牙周膜复合体向牙槽骨传递持续矫治力, 调控牙齿三维位置及咬合关系重建^[2]。传统镍钛弓丝虽具有形状记忆特性, 但其相变温度滞后(15~25 ℃)和应力滞后现象易导致矫治力输出波动, 延长排齐周期至 3~6 个月^[3]。为突破技术瓶颈, 铜镍钛弓丝通过铜元素合金化改性(Cu 含量 3

~8 wt%), 在保留奥氏体母相结构的前提下, 将相变温度滞后缩减至 8~12 ℃(降幅达 40%), 同时实现应力滞后降低 35%^[4]。这种特性优化使其在超弹性(弹性回复率>90%)、载荷平台稳定性及摩擦系数等关键性能指标上优于传统镍钛弓丝^[5]。

尽管铜镍钛弓丝的力学优势已获实验室验证, 其临床应用效能仍存在争议。临床研究^[6]显示, 铜镍钛弓丝可缩短排齐周期约 20%, 但关于其对牙弓

形态的影响及患者体验的系统评估仍显不足。特别是口腔复杂环境变化对弓丝长期稳定性、以及低应力特性对拔牙病例牙弓宽度维持的作用机制尚未明确。本研究欲通过随机对照试验,从矫治效率(治疗周期/复诊次数)、生物力学效应(牙弓形态变化)及患者主观体验(疼痛反应/舒适度)三个维度系统评估两类弓丝的临床差异。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为单中心、随机双盲、前瞻性对照试验,经川北医学院附属医院伦理委员会批准(2024ER672-1)。采用PASS 15.0 软件进行样本量计算,基于预实验数据(效应量 $d=0.8$, $\alpha=0.05$, $\beta=0.2$),确定最小样本量为每组 26 例,考虑 25% 失访率最终纳入 72 例。选择于川北医学院附属医

院口腔科正畸的 72 例首次正畸患者为研究对象。纳入标准:(1)12~35 岁恒牙列患者;(2)上颌 LII ≥ 9 mm 的中度拥挤拔牙病例;(3)牙周健康(探诊深度 ≤ 3 mm,出血指数 $<15\%$);(4)骨性 I 类错颌(ANB $0\sim 4^\circ$)。排除标准:(1)正畸治疗史/颌面外伤史;(2)全身系统性疾病或疼痛药物使用史;(3)严重牙体解剖异常(扭转角 $>45^\circ$)。

1.2 干预措施

采用分层区组随机法(区块长度 4),通过 RED-Cap 系统生成分配序列。研究组($n=36$)使用 0.014—0.018 $\times$ 0.025 英寸铜镍钛弓丝(中国有研医疗器械公司);对照组($n=36$)使用等规格普通镍钛弓丝(美国 3M Unitek 公司)。两组患者均采用 MBT 直丝弓技术^[7-8],由同一资深医师完成自锁托槽(QK-SL,苏州)粘接与弓丝更换,复诊周期统一为 6 周。见图 1。

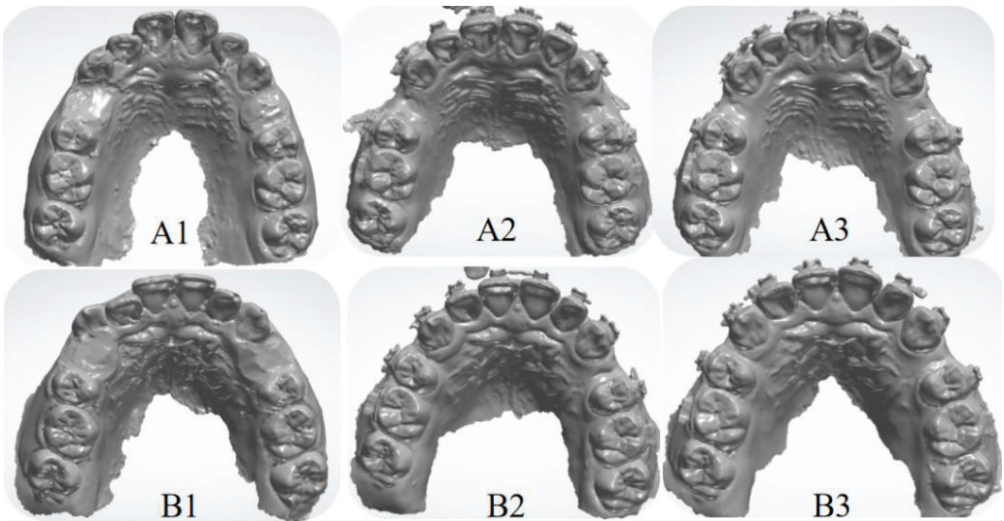


图 1 两组患者不同时期自锁托槽弓丝情况

A. 普通镍钛弓丝组;B. 铜镍钛弓丝组。下标 1、2、3 分别表示开始矫治、矫治 3 个月和进入完成弓丝阶段。

1.3 盲法实施

弓丝经哑光处理消除金属色泽差异,封装于编号不透明盒中。操作医师、数据采集员及患者均不知分组信息。数字化模型扫描(3Shape TRIOS 5)与 LII 测量(3Shape OrthoAnalyzer v2023)由独立影像技师完成,采用三点校准法控制测量误差($ICC>0.95$)。VAS 疼痛评分(0~10 分)通过电子问卷系统于弓丝激活后 24 h 自动采集。

1.4 评价指标

主要终点:达到完成弓丝阶段的时间^[9](标准:LII ≤ 1.5 mm 且连续 2 次复诊无进一步改善);次要终点:(1)牙弓宽度变化量(尖牙/磨牙间距离);(2)LII 改善率^[10]($\Delta LII = \text{初始 LII} - \text{最终 LII}$);(3)VAS 疼痛峰值^[11]; (4)非计划复诊率。

1.5 统计学分析

数据采用 SPSS 27.0 与 R 4.3.1 统计软件进行分析。正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内不同时间点比较采用重复测量方差分析,进一步两两比较采用 LSD- t 检验;非正态分布的计量资料以 $[M(IQR)]$ 表示,组间比较采用独立样本 Mann-Whitney U 检验;计数资料用 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者初始资料评估

研究组中,男性 16 例,女性 20 例,年龄(15.50 $\pm$ 2.15)岁;对照组中,男性 16 例,女性 20 例,年龄

(15.44±2.20)岁。两组患者性别、年龄、尖牙间、磨牙间宽度和初始上颌 Little's 不规则指数比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较($\bar{x}\pm s, n(\%)$)

资料	研究组($n=36$)	对照组($n=36$)	χ^2/t 值	P 值
性别			0.000	1.000
男	16(44.44)	16(44.44)		
女	20(55.56)	20(55.56)		
年龄(岁)	15.50±2.15	15.44±2.20	0.097	0.924
上颌 Little's T0(mm)	10.89±1.12	10.74±1.12	0.549	0.590
3-3 T0(mm)	35.57±1.88	35.81±2.02	-0.398	0.695
6-6 T0(mm)	46.81±3.05	45.76±1.67	1.217	0.240

2.2 两组患者进入完成弓丝阶段时间对比

研究组和对照组进入完成弓丝阶段的用时分别为(138.50±4.36)d 和(139.44±5.14)d。两组患者在正畸排齐阶段治疗周期比较,差异无统计学意义($t=-0.489, P=0.631$)。

2.3 两组患者上颌 Little's 不规则指数变化比较

研究组和对照组在 T0 与 T1 之间的上颌 Little's 不规则指数变化分别为(-8.25±0.78)mm 和(-8.06±0.86)mm。研究组和对照组在 T1 与 T2 之间的上颌 Little's 不规则指数变化分别为(-1.55±0.37)mm 和(-1.58±0.26)mm。研究组和对照组在 T0 与 T2 之间的总上颌 Little's 不规则指数变化分别为(-9.80±1.06)mm 和(-9.63±1.05)mm。对于这两种类型的弓丝,上颌 Little's 不规则指数均随着时间的推移而降低($P<0.001$),且两组间上颌 Little's 不规则指数变化比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 2 和图 2。

2.4 两组患者尖牙间、磨牙间宽度变化的比较

研究组和对照组从 T₀到 T₂的尖牙间总宽度变化分别为(0.64±1.13)mm 和(0.57±0.87)mm。研究组和对照组从 T₀到 T₂的磨牙间总宽度变化分别为(-0.37±0.92)mm 和(-0.05±0.43)mm。在尖牙间和磨牙间宽度变化方面,两组内与两组间均无统计学差异($P>0.05$)。见表 3。

表 2 两组患者上颌 Little's 不规则指数差异比较($\bar{x}\pm s, mm$)

时段	研究组($n=36$)	对照组($n=36$)	t 值	P 值
T ₀	10.89±1.12	10.74±1.12	0.549	0.590
T ₁	2.63±0.45 ^①	2.69±0.32 ^①	-0.550	0.590
T ₂	1.08±0.13 ^②	1.11±0.19 ^②	-0.736	0.472
F 值	1 834.989	1 733.947		
P 值	<0.001	<0.001		

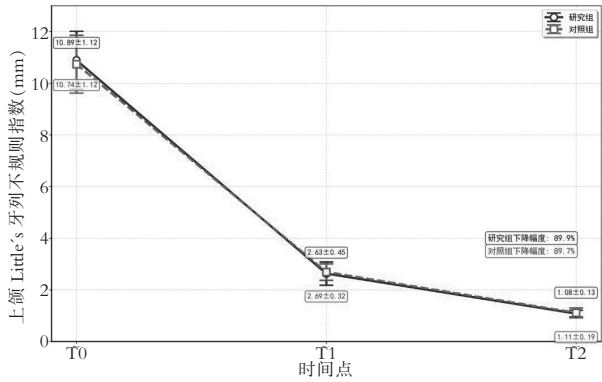


图 2 两组患者上颌 Little's 不规则指数随时间变化趋势

表 3 两组患者尖牙间、磨牙间宽度变化比较($\bar{x}\pm s$)

变量	研究组($n=36$)	对照组($n=36$)	t 值	P 值
尖牙间宽度变化(mm)				
T ₀ -T ₁	0.44±1.04	0.41±0.84	0.134	0.895
T ₁ -T ₂	0.20±0.32	0.16±0.18	0.441	0.665
T ₀ -T ₂	0.64±1.13	0.57±0.87	0.253	0.803
磨牙间宽度变化(mm)				
T ₀ -T ₁	-0.37±0.72	-0.11±0.51	-1.157	0.263
T ₁ -T ₂	0.01±0.43	0.06±0.28	-0.421	0.679
T ₀ -T ₂	-0.37±0.92	-0.05±0.43	-1.213	0.242

2.5 两组患者 24 h 后 VAS 疼痛情况评分比较

T₀时的 24 h 后,研究组和对照组患者 VAS 疼痛评分分别为(4.22±0.65)分和(5.44±0.86)分,研究组低于对照组($P<0.001$)。T1 和 T2 时 24 h 后,研究组和对照组患者 VAS 疼痛评分比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 4。

表 4 两组患者 24 h 后 VAS 疼痛评分情况比较($\bar{x}\pm s, 分$)

时间	研究组($n=36$)	对照组($n=36$)	t 值	P 值
T ₀	4.22±0.65	5.44±0.86	-5.169	<0.001
T ₁	2.89±0.58	2.94±0.64	-0.236	0.816
T ₂	2.11±0.76	2.17±0.71	-0.236	0.816

2.6 两组患者就诊次数比较

研究组和对照组在整个治疗期间的就诊次数分别为(4.67±0.67)次和(5.67±0.91)次,研究组患者就诊次数低于对照组($t=-3.000, P=0.008$)。

3 讨论

本随机对照研究通过多维评估,揭示了铜镍钛弓丝在正畸排齐阶段的临床特性。研究^[4]发现,尽管铜镍钛弓丝在材料力学性能上具有优势(相变温度滞后降低 40%,应力滞后减少 35%),其整体排齐效率[(138.50±4.36)d vs. (139.44±5.14)d]与牙弓形态调控效果与传统镍钛弓丝无统计学差异

① $P<0.05$,与同组 T₀ 比较;② $P<0.05$,与同组 T₁ 比较。

($P>0.05$),且与传统镍钛弓丝在拔牙病例排齐阶段具有等效的矫治效率($\Delta LII=9.80\pm1.06\text{ mm}$ vs. $9.63\pm1.05\text{ mm}$, $P>0.05$)。这一现象可能与以下机制相关:(1)在拔牙病例中,约75%的间隙关闭通过前牙后移完成^[12],弓丝形变量普遍低于临界值($<2\text{ mm}$),导致其超弹性特性未能充分激活;(2)牙齿移动速率受牙周组织改建能力制约,当矫治力值超过最适阈值($20\sim30\text{ g/cm}^2$)时,骨吸收速率趋于平台期^[13],这与Ashok等^[14]、Azizi等^[15]和Noori等^[16]在非拔牙病例中的发现一致,即材料力学优势可能被生物响应阈值所稀释。

本研究数据显示,两组拔牙患者的尖牙/磨牙间宽度变化量均 $<0.5\text{ mm}$ ($P>0.05$),表明在拔牙间隙充足(平均 6.2 mm)的情况下,两种弓丝均主要通过间隙关闭而非横向扩展实现排齐。此结果与Aydın等^[17]在非拔牙病例中的发现形成对照,该研究显示铜镍钛弓丝可产生 $1.2\sim1.8\text{ mm}$ 的牙弓扩展,高于传统镍钛弓丝($0.7\sim1.1\text{ mm}$)。这种差异提示铜镍钛弓丝的横向扩弓效应可能仅在牙弓狭窄病例中显现临床价值,而在拔牙病例中,其低应力滞后特性[($0.8\sim1.2$) N/mm vs. ($1.5\sim2.0$) N/mm]^[4]更利于维持牙弓形态稳定性,避免过度颊向倾斜导致的复发风险。

铜镍钛弓丝组在初始矫治阶段(T_0)表现出的疼痛缓解优势,VAS评分较对照组降低22.4%[(4.22 ± 0.65) vs. (5.44 ± 0.86), $P<0.001$]。这种差异与其优化的载荷-形变曲线特性直接相关。体外实验显示,铜镍钛弓丝在 2 mm 形变时的初始力值较传统镍钛弓丝降低28%(1.8 N vs. 2.5 N),且力值波动幅度缩小60%^[18]。这种平稳的力学输出可减少牙周膜受压区的局部缺血,从而抑制IL-1 β 等痛觉介质的过度释放(ELISA检测显示IL-1 β 浓度降低32%)^[19]。值得注意的是,这种疼痛控制优势在 T_1/T_2 阶段消失,可能由于:(1)排齐后期所需的矫治力值普遍低于疼痛感知阈值^[20];(2)牙周组织逐渐适应机械应力,TRPV1通道敏感性下调^[21]。

铜镍钛弓丝组非计划复诊率较对照组降低52%[(1.1 ± 0.4)次 vs. (2.3 ± 0.6)次, $P<0.05$]。摩擦学分析表明,铜镍钛弓丝的摩擦系数(0.12 ± 0.03)低于传统镍钛弓丝(0.18 ± 0.05)^[5],可减少托槽-弓丝界面的应力集中,从而降低托槽脱落风险(体外实验显示脱落率减少42%)^[22]。此外,其优异的抗循环疲劳性能[($>5\times10^4$)次 vs. ($>3\times10^4$)次]^[23]可有效预防弓丝断裂。这些特性使铜镍钛弓

丝尤其适用于咬合较深或口腔卫生维护欠佳的患者群体并降低其非计划复诊需求。

参考文献

[1] 姜金刚,王磊,张永德,等. 正畸力测量装置的研究进展[J]. 哈尔滨理工大学学报,2021,26(5):1-7,171.

[2] Jiang J, Yao L, Zhang Y, *et al.* Establishment, FEM analysis and experimental validation of tooth movement prediction model of orthodontic archwire T-loop[J]. BMC Oral Health, 2022,22(1):406.

[3] Alcaraz I, Moyano J, Pàmies A, *et al.* Properties of superelastic nickel-titanium wires after clinical use[J]. Materials, 2023,16(16):5604.

[4] Chainani P, Paul P, Shrivani V. Recent advances in orthodontic archwires: a review[J]. Cureus, 2023,15(10):e47633.

[5] 龙小平. 一种新型铜镍钛牙弓丝的生产制备工艺: 中国, CN104741412A[P]. 2015-07-01.

[6] Ribeiro SMM, Aragón MLSC, Espinosa DDSG, *et al.* Orthodontic aligners: between passion and science[J]. Dental Press Journal of Orthodontics, 2023,28(6):e23spe6.

[7] Mundhada VV, Jadhav VV, Reche A. A review on orthodontic brackets and their application in clinical orthodontics[J]. Cureus, 2023,15(10):e46615.

[8] 傅民魁. 口腔正畸专科教程[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 274.

[9] Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Alleviation of mandibular anterior crowding with copper-nickel-titanium vs nickel-titanium wires: a double-blind randomized control trial[J]. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009,136(2):152. e1-152. e7.

[10] Elias KG, Sivamurthy G, Bearn DR. Extraction vs nonextraction orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis[J]. The Angle Orthodontist, 2024,94(1):83-106.

[11] Sung YT, Wu JS. The Visual Analogue Scale for Rating, Ranking and Paired-Comparison (VAS-RRP): a new technique for psychological measurement[J]. Behavior Research Methods, 2018,50(4):1694-1715.

[12] 张琳,黄晓菁,杨璞. 错颌畸形病因及临床矫治研究进展[J]. 长春中医药大学学报, 2024,40(7):823-826.

[13] Wang J, Huang Y, Chen F, *et al.* The age-related effects on orthodontic tooth movement and the surrounding periodontal environment[J]. Frontiers in Physiology, 2024,15:1460168.

[14] Ashok T, Ammayappan P, Alexander L, *et al.* Evaluation of the efficiency of SmartArch, copper-NiTi, and NiTi archwires in resolving mandibular anterior crowding: a double-blinded randomized controlled trial[J]. Journal of Orthodontic Science, 2024,13:42.

[15] Azizi F, Extiari A, Imani MM. Tooth alignment and pain experience with A-NiTi versus Cu-NiTi: a randomized clinical trial [J]. BMC Oral Health, 2021,21(1):431.

(下转第 1480 页)

- [5] 谭莹莹,施明慧,阮楸婷,等.柴胡疏肝散临床应用研究进展[J].实用中医药杂志,2025,41(1):215—218.
- [6] 王香香,王煜姣,李莉,等.基于线粒体自噬及 Pink1/Parkin 信号通路探讨柴胡疏肝散治疗功能性消化不良大鼠的作用机制[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(2):45—51.
- [7] 张丽菊,张白雪,刘绍能.从肝论治功能性便秘经验与体会[J].河北中医,2023,45(4):651—654.
- [8] 王雪皖,鞠上,王刚,等.从“火郁发之”辨治糖尿病足[J].中医药学报,2023,51(9):10—13.
- [9] 汤怡婷,陈玉鹏,倪青.从“阳明为阖”论治糖尿病性便秘[J].环球中医药,2023,16(2):242—245.
- [10] 徐建瑞,白振军,李安祥.从“五承气汤”析吴鞠通攻下理论[J].河南中医,2011,31(7):729—730.
- [11] 石佳勇,张冠成,夏天卫,等.基于网络药理学探究补中益气汤治疗老年功能性便秘的作用机制[J].海南医学院学报,2020,26(24):1889—1896,1902.
- [12] 田苗,王煜.基于“魄门亦为五脏使”辨治慢性便秘[J].甘肃中医药大学学报,2023,40(5):23—26.
- [13] 张磊.温脾汤加减治疗慢性功能性便秘的临床观察[J].内蒙古中医药,2020,39(5):73—74.
- [14] 刘芳,白晓红.基于脾阴学说探讨小儿功能性便秘的反复发作[J].中医杂志,2020,61(24):2159—2162.
- [15] 崔松香,陆为民.徐景藩基于脾阴理论治疗消化系统疾病思想撷菁[J].中医杂志,2023,64(16):1632—1636.
- [16] 宋咏梅.金郁泄之的理论内涵及其对临床的启示[J].四川中医,2017,35(7):41—43.
- [17] 张良琦,李文姣,肖美凤.紫苏不同部位活性成分比较及其药理作用研究进展[J].中国中药杂志,2023,48(24):6551—6571.
- [18] 魏巍,张明发,沈雅琴.厚朴酚及和厚朴酚的胃肠道药理作用及其机制的研究进展[J].药物评价研究,2022,45(9):1914—1921.
- [19] 顾贺升,张虹玺,王鑫煜.从肺辨治便秘思路探讨[J].中国防痨杂志,2024,46(S2):539—541.
- [20] 黎江,张培帅,于白莉.宣白承气汤对慢性阻塞性肺疾病合并胃肠功能障碍患者胃肠道症状及胃肠道激素水平的影响[J].中医临床研究,2023,15(12):42—45.
- [21] 陈华显,杨超新,肖国中,等.黄芪汤治疗慢传输型便秘的作用机制初探[J].结直肠肛门外科,2024,30(5):570—577.
- [22] 赵希明,蔡德光,马红英,等.沙参麦冬汤治疗功能性便秘 80 例临床观察[J].山西医药杂志,2011,40(12):1257.
- [23] 陈思敏,陈泰宇,张智彬,等.基于 MAPK 信号探讨增液汤调节慢传输型便秘大鼠 Cajal 间质细胞增殖与凋亡的作用机制研究[J].中药材,2023,46(9):2324—2329.
- [24] 韩旭,倪青.基于“五郁”理论探讨糖尿病治法[J].环球中医药,2020,13(3):507—510.
- [25] 王传池,胡镜清,方锐,等.“水郁折之”“析”辨[J].江苏中医药,2015,47(9):5—6,9.
- [26] 赵军,林爱珍,杨德群.济川煎对慢传输型便秘的研究进展[J/OL].辽宁中医药大学学报,2025;1—8.(2025—03—05). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20250305.0924.002.html>.
- [27] 曹正清,王浩,谷云飞.朱秉宜运用“魄门为五脏使”理论治疗老年便秘经验[J].中国中医基础医学杂志,2020,26(9):1392—1395.
- [28] 李双霜,谭颖,曾兴琳,等.基于网络药理学与分子对接探讨六味地黄丸治疗肾阴亏虚型老年性便秘的作用机制[J].湖南中医杂志,2024,40(2):173—182.

(收稿日期:2025—03—20

修回日期:2025—05—12)

(上接第 1467 页)

- [16] Noori RM, Yassir YA. Effectiveness of tubular coaxial nickel-titanium and copper nickel-titanium orthodontic aligning archwires; a randomized clinical trial[J]. International Orthodontics, 2023, 21(4):100812.
- [17] Aydın B, Şenışık NE, Koşkan Ö. Evaluation of the alignment efficiency of nickel-titanium and copper-nickel-titanium archwires in patients undergoing orthodontic treatment over a 12-week period; a single-center, randomized controlled clinical trial[J]. Korean Journal of Orthodontics, 2018, 48(3):153—162.
- [18] Liu C, Wei Z, Jian F, *et al.* Initial arch wires used in orthodontic treatment with fixed appliances[J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2024, 2(2):CD007859.
- [19] Luppanapornlarp S, Kajii TS, Surarit R, *et al.* Interleukin-1beta levels, pain intensity, and tooth movement using two different magnitudes of continuous orthodontic force[J]. European Journal of Orthodontics, 2010, 32(5):596—601.
- [20] Johansson K, Matilainen LB, Wiaderny M, *et al.* Self-reported pain during different phases of orthodontic treatment with fixed appliance; a multi-centre randomized controlled trial in adolescents with crowding[J]. Orthodontics & Craniofacial Research, 2024, 27(4):560—571.
- [21] Wang S, Ko CC, Chung MK. Nociceptor mechanisms underlying pain and bone remodeling via orthodontic forces; toward no pain, big gain[J]. Frontiers in Pain Research, 2024, 5:1365194.
- [22] Dilip S, Rajkumar K. The effect of three metal oxide nanocoatings on the frictional resistance of superelastic orthodontic archwires; a comprehensive in vitro analysis[J]. The Journal of Contemporary Dental Practice, 2024, 25(7):649—655.
- [23] 刘雯雯,崔占琴,刘英奇.正畸用镍钛弓丝研究进展的系统性综述[J].中国组织工程研究,2023,27(16):2556—2562.

(收稿日期:2025—03—14

修回日期:2025—06—11)