

红光和蓝光联合域发生发液及 5% 米诺地尔酊 治疗 I 型女性雄激素脱发的疗效研究

戴晨蕾, 刘军, 孙晓明, 杨镜徽, 马江, 王雨璇, 陈菊萍

(扬州大学附属医院 皮肤与性病科, 江苏 扬州, 225000)

摘要: **目的** 探讨红光和蓝光联合域发生发液及 5% 米诺地尔酊治疗 I 型女性雄激素脱发的疗效。**方法** 将 160 例 Ludwig 分型 I 型女性雄激素脱发患者随机分为 4 组, 即 A 组(域发生发液联合 5% 米诺地尔酊)、B 组(红光和蓝光照射联合域发生发液)、C 组(红光和蓝光照射联合 5% 米诺地尔酊)、D 组(红光和蓝光照射联合域发生发液和 5% 米诺地尔酊), 每组 40 例。所有患者口服复方甘草酸苷片、善存复合维生素片, 治疗周期为 3 个月。比较治疗前后毛发直径、毛发密度、多根毛发毛囊单位个数的差异。**结果** 4 组患者毛发密度、毛发直径、多根毛发毛囊单位个数均较治疗前改善, 且 D 组在毛发密度、毛发直径、多根毛发毛囊单位个数方面的改善效果最佳, 差异均有统计学意义($P < 0.001$)。所有患者在治疗期间无严重不良事件或副作用。**结论** 红光和蓝光联合域发生发液及 5% 米诺地尔酊治疗 I 型女性雄激素脱发效果显著, 是一种有效的非手术治疗方式。

关键词: 女性雄激素脱发; 红光; 蓝光; 米诺地尔酊; 域发生发液

中图分类号: R 751.05; R758.7; R 753.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-2353(2024)24-010-05 DOI: 10.7619/jcmp.20243505

Efficacy of red and blue lights combined with Yufa Shengfa solution and 5% minoxidil solution in treating type I female androgenetic alopecia

DAI Chenlei, LIU Jun, SUN Xiaoming, YANG Jinghui, MA Jiang,
WANG Yuxuan, CHEN Juping

(Department of Dermatology and Venereal Diseases, the Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, 225000)

Abstract: **Objective** To investigate the efficacy of red and blue lights combined with Yufa Shengfa solution and 5% minoxidil solution in treating Ludwig type I female androgenetic alopecia. **Methods** A total of 160 patients with Ludwig type I female androgenetic alopecia were randomly divided into group A (Yufa Shengfa solution combined with 5% minoxidil solution), group B (red and blue lights therapy combined with Yufa Shengfa solution), group C (red and blue lights therapy combined with 5% minoxidil solution) and group D (red and blue lights therapy combined with Yufa Shengfa solution and 5% minoxidil solution), with 40 cases in each group. All the patients orally took compound glycyrrhizin tablets and Centrum multivitamins, and the therapeutic period was 3 months. Differences in hair diameter, hair density, and the number of hair follicles with multiple hairs were compared before and after treatment. **Results** The hair density, hair diameter, and the number of hair follicles with multiple hairs improved significantly in 4 groups compared with those before treatment, and group D showed the best improvement in these parameters, with significant between-group differences ($P < 0.001$). There were no serious adverse events or side effects during treatment in all the patients. **Conclusion** Red and blue lights therapy combined with Yufa Shengfa solution and 5% minoxidil solution is an effective non-surgical treatment for Ludwig type I female androgenetic alopecia.

Key words: female androgenetic alopecia; red light; blue light; minoxidil solution; Yufa Shengfa solution

全球约有70%的男性和50%的女性患有不同程度的脱发疾病,其中以雄激素性秃发(AGA)最为常见^[1]。AGA在男女中均可发病,但因AGA在不同群体中的发病机制及表现形式等有一定的差异,目前学术界更倾向于将女性群体的AGA命名为女性型脱发(FPHL)^[2]。目前FPHL的治疗主要以综合治疗方式为主,其中包括非手术治疗和手术治疗。非手术治疗中常见的有口服雄激素受体拮抗剂(螺内酯、醋酸环丙孕酮)、局部外用米诺地尔以及低能量激光疗法(LLLT)、富血小板血浆(PRP)和中医药疗法等治疗方式。

LLLT是一种波段在400~1100 nm的能量较低的激光疗法,目前市面上的LLLT设备的治疗参数波长大多为650~670 nm。LLLT可通过光解离作用将结合在线粒体中的细胞色素C氧化酶(CCO)上的一氧化氮(NO)解离出来,同时产生细胞活动所需的三磷酸腺苷(ATP)和改善组织氧合的活性氧(ROS),促使局部血管舒张、细胞增殖及迁移,使处于休眠期的毛囊向生长期转化,促进毛发生长。研究^[3-4]表明,LLLT与PRP在治疗FPHL方面安全有效。红光波长为(633±10) nm,蓝光波长为(415±10) nm,红光波长与LLLT接近。既往研究^[5]显示,LED光源可以达到与激光源相同的组织生物调节效果水平。本研究探讨红光与蓝光治疗FPHL的疗效,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2020年10月—2022年12月在扬州大学附属医院皮肤科门诊就诊的160例Ludwig分型I型的FPHL患者为研究对象。Ludwig分型标准:I型为头顶部毛发弥漫性稀少,毛发变细,稍有头皮暴露;II型为头顶部及前头部毛发稀少,头发变细,头皮暴露更明显;III型为头顶部及前头部毛发几乎完全脱落,头皮几乎完全暴露,但仍保留前额发际线。160例患者通过随机抽签法分为4组,即A组(域发生发液联合5%米诺地尔酊)、B组(红光和蓝光照射联合域发生发液)、C组(红光和蓝光照射联合5%米诺地尔酊)、D组(红光和蓝光照射联合域发生发液和5%米诺地尔酊),每组40例。每组患者均联合口服复方甘草酸苷片、善存成年女性复合维生素片治疗。本研究经扬州大学附属医院伦理委员会审查批准(意见号:2022-YKL07-15-002),所有患者签署书

面知情同意书。

纳入标准:①患者年龄18~45岁,身体健康;②符合FPHL的临床表现,拉发实验阴性,毛发镜检查支持FPHL诊断;③Ludwig分型I型。排除标准:①受试前6个月内使用局部或全身药物而影响毛发生长的患者;②有植发、头皮再造、编发或头皮纹身者;③头皮上使用过脱毛剂、激光脱毛或蜂蜡者;④患有除FPHL以外的头发疾病或可能影响结果的全身性疾病者;⑤头皮和头发颜色对比不明显的患者,如浅色皮肤或白色头发;⑥有其他疾病及服用其他药物的患者;⑦有其他严重的系统性疾病、神经或精神疾病者。

1.2 治疗方法

红光波长(633±10) nm,治疗强度70 mW/cm²;蓝光波长(415±5) nm,治疗强度150 mW/cm²;红光先照射7 min,蓝光再照射3 min,每周治疗2次(不得连续治疗2 d)。5%米诺地尔酊1次/d,仅限头皮外用,使用前保持头皮干燥,每次将1 mL药物(约7喷)涂抹于头皮患处,并用手按摩3~5 min;完成后清洗双手,避免药物接触身体其他部位;使用药物后至少2 h方可清洗头发。使用域发生发液前保持头皮干燥,将域发生发液均匀喷涂于患处头皮,2次/d,每次2 mL,喷涂后按摩头皮2~3 min使之充分吸收。外用药物使用无先后顺序的区分,不同药物至少间隔2 h使用。复方甘草酸苷片口服,2次/d,每次2片(50 mg),饭后服药。善存成年女性复合维生素片口服,1次/d,每次1片(1.74 g)。共治3个月。

1.3 评价指标

1.3.1 毛发镜:放大倍率20倍,疗效指标包括毛发密度、毛发直径、多根毛发毛囊单位数量和毛发镜下局部征象(毛发直径差异>20%、蜂窝状色素沉着、褐色毛周征、白色毛周征、黄点征、白点征)。每例患者取眉心向上12 cm(额点)、眉心向上15 cm(顶点)共2个点,对每个点周围2 cm×2 cm的头皮进行毛发密度(根/cm²)检测;测量每例患者毛发镜下10根较粗毛发直径和10根较细毛发直径,分别取平均值(μm);对患者顶点处含多根毛发的毛囊单位数量进行测量;检测每例患者毛发镜下局部征象。

1.3.2 照片:拍摄前1 d清洗头发,不可染发、烫发,保证每次检测的头发基础条件近似。拍摄前,要求受试者充分暴露头皮正中中线,整理头发,从前

额至头顶多角度拍照。

1.3.3 不良反应：治疗期间随时记录不良反应，包括红光与蓝光治疗有无色素沉着、灼伤、刺痛、瘙痒、红斑、水疱等症状；外用药物有无瘙痒、干燥、过敏等症状；口服药物有无皮肤过敏、恶心、呕吐、腹泻及其他系统损害等症状。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。使用 K-S 检验分析数据是否符合正态分布，符合正态分布的计量资料采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，组内比较采用配对样本 t 检验，组间比较采用方差分析；非正态分布的计量资料采用中位数(四分位间距) $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验，多组间比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验；计数资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 4 组患者基本资料

治疗 3 个月后,160 例 FPHL 脱发患者全部完成最终随访, A 组、B 组、C 组、D 组年龄平均值依次为 (28.43 ± 4.65) 、 (28.63 ± 4.62) 、 (28.60 ± 5.80) 、 (28.33 ± 6.02) 岁,年龄中位数值依次为 $27.5(19.0, 42.0)$ 、 $28.0(18.0, 44.0)$ 、 $27.5(18.0, 43.0)$ 、 $27.5(18.0, 43.0)$ 岁,差异均无统计学意义($P > 0.05$),即人口学特征对本研究结果无明显影响。

2.2 各组治疗前后毛发密度比较

治疗 3 个月后,使用毛发镜对受试者距眉心 12 cm 处(额点)、15 cm 处(顶点)的头皮进行毛发密度检测,结果显示 4 组患者额点、顶点处的头发密度均改善,差异有统计学意义($P < 0.01$)。见表 1。

表 1 各组治疗前后毛发密度比较 $(\bar{x} \pm s)$ 根/cm²

组别	时点	额点	顶点
A 组(n=40)	基线	93.34 ± 4.11	82.77 ± 4.50
	治疗 3 个月	108.07 ± 3.65**	103.63 ± 4.34**
B 组(n=40)	基线	93.42 ± 4.04	83.66 ± 4.90
	治疗 3 个月	104.15 ± 3.95**	99.59 ± 4.16**
C 组(n=40)	基线	93.77 ± 3.66	83.67 ± 4.78
	治疗 3 个月	108.20 ± 5.06**	102.65 ± 5.44**
D 组(n=40)	基线	93.81 ± 4.74	83.49 ± 5.41
	治疗 3 个月	118.17 ± 5.45**	114.00 ± 5.79**

与基线比较, ** $P < 0.01$ 。

2.3 各组治疗前后毛发直径比较

治疗 3 个月后,使用毛发镜对受试者头皮进

行毛发直径检测,结果显示 4 组患者较粗毛发直径和较细毛发直径均有改善,差异有统计学意义($P < 0.01$)。见表 2。

2.4 各组治疗前后顶点处多根毛发毛囊单位数量比较

治疗 3 个月后,使用毛发镜对患者顶点处头皮多根毛发毛囊单位数量进行检测,结果显示 4 组患者多根毛发毛囊单位数量均有增加,差异有统计学意义($P < 0.01$)。见表 3。

2.5 各组组间额点与顶点处毛发密度改善值比较

采用单因素方差分析对各组治疗前后距眉心 12 cm 处(额点)和距眉心 15 cm 处(顶点)毛发密度改善值,结果显示除 A 组和 C 组的差异无统计学意义外($P_{\text{额点}} = 0.802, P_{\text{顶点}} = 0.503$),其他组别之间差异均有统计学意义($P < 0.01$),其中 D 组疗效最佳。见表 4。

表 2 各组治疗前后毛发直径比较 $(\bar{x} \pm s)$ μm

组别	时点	较粗毛发直径	较细毛发直径
A 组(n=40)	基线	81.16 ± 4.27	35.95 ± 5.21
	治疗 3 个月	82.53 ± 4.00**	42.99 ± 3.63**
B 组(n=40)	基线	81.85 ± 4.85	36.60 ± 4.46
	治疗 3 个月	85.18 ± 4.49**	48.24 ± 3.80**
C 组(n=40)	基线	81.31 ± 4.19	36.11 ± 4.95
	治疗 3 个月	84.51 ± 3.41**	47.78 ± 3.78**
D 组(n=40)	基线	81.24 ± 4.89	36.09 ± 4.41
	治疗 3 个月	85.62 ± 3.84**	50.18 ± 3.20**

与基线比较, ** $P < 0.01$ 。

表 3 各组治疗前后多根毛发毛囊单位数量比较 $(\bar{x} \pm s)$

组别	时点	多根毛发毛囊单位密度/个
A 组(n=40)	基线	9.03 ± 1.98
	治疗 3 个月	21.97 ± 2.32**
B 组(n=40)	基线	9.08 ± 2.40
	治疗 3 个月	16.60 ± 2.33**
C 组(n=40)	基线	9.22 ± 2.25
	治疗 3 个月	21.16 ± 2.18**
D 组(n=40)	基线	9.16 ± 1.79
	治疗 3 个月	25.71 ± 2.43**

与基线比较, ** $P < 0.01$ 。

表 4 各组组间额点与顶点处毛发密度改善值

组别	比较 $(\bar{x} \pm s)$		根/cm ²
	额点	顶点	
A 组(n=40)	14.73 ± 5.46	19.86 ± 5.51	
B 组(n=40)	10.73 ± 4.64	15.94 ± 6.34	
C 组(n=40)	14.43 ± 4.87	18.98 ± 6.12	
D 组(n=40)	24.36 ± 5.80	30.51 ± 6.01	
F	48.964	44.757	
P	<0.001	<0.001	

2.6 各组组间较粗毛发直径和较细毛发直径改善值比较

采用单因素方差分析对4组治疗前后较粗毛发直径和较细毛发直径的改善值进行比较,除B组和C组改善值差异无统计学意义外($P_{\text{较粗毛发直径}}=0.883$, $P_{\text{较细毛发直径}}=0.979$),其他组别之间差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中D组疗效最佳。见表5。

2.7 各组组间多根毛发毛囊单位数量改善值比较

通过单因素方差分析对4组多根毛发毛囊单位数量改善值进行比较,除A组和C组差异无统计学意义外($P=0.135$),其他组别之间差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中D组疗效最佳。见表6。

表5 各组组间较粗毛发直径与较细毛发直径改善值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	改善值比较($\bar{x} \pm s$)	
	较粗毛发直径	较细毛发直径
A组($n=40$)	1.36 ± 0.95	7.03 ± 4.37
B组($n=40$)	3.12 ± 2.45	11.64 ± 4.82
C组($n=40$)	3.20 ± 2.24	11.67 ± 4.25
D组($n=40$)	4.38 ± 2.96	14.09 ± 5.20
F	11.947	15.922
P	< 0.001	< 0.001

表6 各组组间多根毛发毛囊单位数量改善值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	多根毛发毛囊单位数量/个
A组($n=40$)	12.93 ± 4.37
B组($n=40$)	7.52 ± 2.60
C组($n=40$)	11.94 ± 3.28
D组($n=40$)	16.56 ± 2.41
F	73.677
P	< 0.001

2.8 不良反应

治疗3个月后,肉眼下可见患者毛发密度得到改善,毛发镜下可见多数新生毛发,毛发直径差异缩小,单发毛囊比例减少,其他征象如蜂窝状色素沉着、褐色毛周征、白色毛周征、白色鳞屑、黄点征、白点征也得到了一定程度的改善。3组患者治疗期间均未出现严重不良反应,A组、B组、C组、D组发生不良反应例数依次为3、2、4、5例,差异无统计学意义($P=0.787$);其中,B组2例、C组3例、D组3例患者诉红光和蓝光照射期间有较为明显的灼热感,照射结束后消失,A组3例患者有刺激但能耐受。

3 讨论

红光与LLLT波长接近,有着相似的光化学作用,如光解离出CCO中结合的NO。红光还能改变局部皮肤的血液流变学性质,促进血管增生,还能降低全血黏度而使红细胞变形能力增强以调整机体免疫状态,改善秃发区血液循环与微循环,促进毛发生长。研究^[6]表明,655 nm波长的红光可以激活Wnt/ β -catenin信号通路,Wnt信号是毛囊生长发育中的关键信号之一,其通路异常在雄激素性秃发的发病中起重要作用。蓝光可在铜离子介导下使皮肤表面的亚硝酸盐光解生成NO^[7]。NO作为一种组织结合氧的竞争性抑制剂,其光解离可引起活性氧的流入,从而驱动电子传输链产生细胞活动所需的能量ATP,改善组织的氧合。蓝光可通过与表皮和生长期毛囊中光感受器OPN2和OPN3的相互作用,延长离体毛囊的生长期^[8]。OPN3还是黑色素细胞中的关键传感器,经蓝光刺激后可激活小眼畸形相关转录因子(MITF),从而增加色素基因表达,引起黑色素生成酶聚集,使毛发增黑增粗^[9]。蓝光还能将毛囊皮脂腺单位中的细菌代谢物内源性卟啉(主要为粪卟啉III)激活为高能量的不稳定卟啉,再与三态氧结合形成不稳定的单态氧,后者与细胞膜上的化合物结合后损伤细胞膜导致细菌死亡,从而起到抗炎作用^[10],改善头皮环境。

米诺地尔是唯一获得FDA批准的用于治疗脱发的药物^[11]。米诺地尔可通过开放毛囊中的ATP敏感性钾离子通道、扩张毛囊周围血管而改善毛囊环境,促进毛发生长^[12]。米诺地尔可以通过激活毛囊生长期相关的信号通路发挥促进毛发生长的作用^[13];米诺地尔还可以抑制雄激素受体,延缓毛囊微小化的进程,其安全性与疗效可靠^[14]。虽然2%米诺地尔溶液与5%浓度的米诺地尔溶液均已获得批准可用于女性群体,但目前仍以5%米诺地尔溶液应用较多。复方甘草酸酞片是一种甘草提取物,有抗炎、抗过敏、免疫调节等作用。研究^[15]报道,复方甘草酸酞片在治疗脱发疾病方面安全有效。D族维生素与B族维生素的缺乏也是引起脱发的重要原因之一,可补充适量D族维生素与B族维生素以改善脱发状况^[16]。域发生发液是一种富含多种中药及其他营养成分的复合溶液,包括人参、锯棕榈、獐牙菜等中药提取物及多种氨基酸和微量元素,可以扩

张皮肤毛细血管、改善局部微循环,为毛发生长提供营养,改善脱发症状^[17]。

本研究中无患者出现严重不良反应,这与嘱咐患者与光源保持一定距离而避免因红蓝光的热作用被灼伤有关。米诺地尔引起的瘙痒具有自限性,通常会在 2 周内自行缓解,治疗过程中可以让患者从小剂量开始逐渐加大至常规剂量来减轻米诺地尔对头皮的刺激。

综上所述,红光和蓝光疗法是一种有效的 FPHL 的非手术治疗方式,联合域发生发液及 5% 米诺地尔酊治疗效果更佳。

参考文献

[1] CHEN S, XIE X H, ZHANG G Q, *et al.* Comorbidities in androgenetic alopecia: a comprehensive review[J]. *Dermatol Ther*, 2022, 12(10): 2233 - 2247.

[2] BERTOLI M J, SADOUGHIFAR R, SCHWARTZ R A, *et al.* Female pattern hair loss: a comprehensive review[J]. *Dermatol Ther*, 2020, 33(6): e14055.

[3] LIU Y, JIANG L L, LIU F, *et al.* Comparison of low-level light therapy and combination therapy of 5% minoxidil in the treatment of female pattern hair loss [J]. *Lasers Med Sci*, 2021, 36(5): 1085 - 1093.

[4] MOFTHAH N H, TAHA N E, ALHABIBI A M, *et al.* Different platelet-rich plasma preparation protocols in Female pattern hair loss; does it affect the outcome? A pilot study[J]. *J Cosmet Dermatol*, 2022, 21(8): 3316 - 3326.

[5] LODI G, SANNINO M, CANNAROZZO G, *et al.* Blue light-emitting diodes in hair regrowth: the first prospective study[J]. *Lasers Med Sci*, 2021, 36(8): 1719 - 1723.

[6] LIU Q M, TANG Y L, HUANG Y, *et al.* Insights into male androgenetic alopecia using comparative transcriptome profiling: hypoxia-inducible factor-1 and Wnt/ β -catenin signalling pathways[J]. *Br J Dermatol*, 2022, 187(6): 936 - 947.

[7] MORINAGA H, MOHRI Y, GRACHTCHOUK M, *et al.* Obesity accelerates hair thinning by stem cell-centric converging

mechanisms[J]. *Nature*, 2021, 595(7866): 266 - 271.

[8] HAO J Q, JIN R, ZENG J, *et al.* Consumption of fish oil high-fat diet induces murine hair loss via epidermal fatty acid binding protein in skin macrophages[J]. *Cell Rep*, 2022, 41(11): 111804.

[9] DOHERTY R, MADIGAN S, WARRINGTON G, *et al.* Sleep and nutrition interactions: implications for athletes [J]. *Nutrients*, 2019, 11(4): 822.

[10] LIAMSOMBUT S, POMSOONG C, KOSITKULJORN C, *et al.* Sleep quality in men with androgenetic alopecia[J]. *Schlaf Atmung*, 2023, 27(4): 371 - 378.

[11] 陈玉文, 陆志方, 张胜方, 等. 自体毛囊干细胞移植生发技术的临床应用研究[J]. *实用临床医药杂志*, 2024, 28(20): 32 - 38.

[12] RAMOS P M, SINCLAIR R D, KASPRZAK M, *et al.* Minoxidil 1mg oral versus minoxidil 5% topical solution for the treatment of female-pattern hair loss: a randomized clinical trial[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2020, 82(1): 252 - 253.

[13] GHONEMY S, ALARAWI A, BESSAR H. Efficacy and safety of a new 10% topical minoxidil versus 5% topical minoxidil and placebo in the treatment of male androgenetic alopecia: a trichoscopic evaluation[J]. *J Dermatolog Treat*, 2021, 32(2): 236 - 241.

[14] HOSSEIN MOSTAFA D, SAMADI A, NIKNAM S, *et al.* Efficacy of cetirizine 1% versus minoxidil 5% topical solution in the treatment of male alopecia; a randomized, single-blind controlled study[J]. *J Pharm Pharm Sci*, 2021, 24: 191 - 199.

[15] CONIC R R Z, PILIANG M, BERGFELD W, *et al.* Vitamin D status in scarring and nonscarring alopecia[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2021, 85(2): 478 - 480.

[16] ALMOHANNA H M, AHMED A A, TSATALIS J P, *et al.* The role of vitamins and minerals in hair loss: a review[J]. *Dermatol Ther*, 2019, 9(1): 51 - 70.

[17] 罗云玲, 梅期钰. 中西医结合治疗斑秃 30 例临床疗效观察[J]. *皮肤病与性病*, 2020, 42(3): 414 - 415.

(本文编辑:梁琬 钱锋;校对:周娟)

(上接第 9 面)

[14] LIM J W L, CHENG Y L. A single-needle puncture technique to perform sciatic and adductor canal blocks for below-knee surgery [J]. *Anaesth Rep*, 2023, 11(1): e12211.

[15] HUGHEY S, CAMPBELL D, RAPP-SANTOS K, *et al.* Refining the rat sciatic nerve block: a novel ultrasound-guided technique[J]. *Lab Anim*, 2022, 56(2): 191 - 195.

[16] COUDRAY A, CHOQUET O, SWISSER F, *et al.* Combination of real-time needle-tip pressure sensing and minimal intensity stimulation limits unintentional intraneural injection during an ultrasound-guided peripheral nerve block procedure: a randomized, parallel group, controlled trial[J]. *J Clin Anesth*, 2021, 74: 110420.

[17] KIM H Y, AHN J S, PARK S, *et al.* Comparison of catheter-over-needle and catheter-through-needle methods in ultra-

sound-guided continuous femoral nerve block: a prospective, randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2021, 100(26): e26519.

[18] LIAO S W, SU F W, TING C K, *et al.* Intercostal Nerve Block Using an Innovative Intra-needle Ultrasound Transducer: a Proof-of-Concept study [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2021, 47(7): 1881 - 1892.

[19] 高帆, 宋清华, 吕宗凯, 等. 医用穿刺针表面特性对穿刺过程的影响研究[J]. *机械工程学报*, 2021, 57(11): 44 - 51.

[20] 张帆, 何彦霖, 周康鹏, 等. 穿刺手术柔性针路径规划技术现状和展望[J]. *电子测量与仪器学报*, 2023, 37(6): 1 - 13.

(本文编辑:周娟 钱锋;校对:陆文娟)