

doi:10.3969/j.issn.1006-9852.2022.05.005

超声引导下隐神经脉冲射频联合关节注射治疗 膝骨关节炎的临床疗效观察 *

黄建军¹ 杜冬峰² 李瀛瀛^{2△}

(¹北京市房山区第一医院疼痛科, 北京 102400; ²北京中医药大学房山医院疼痛科, 北京 102400)

摘要 目的: 探讨彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节注射干预膝骨关节炎病人的临床疗效。**方法:** 选取 2019 年 3 月至 2021 年 3 月疼痛科收治的符合纳入标准的 62 例膝骨关节炎病人, 按随机数字表分为试验组和对照组, 每组 31 例, 试验组病人接受彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节注射治疗, 对照组给予局部痛点注射联合膝关节注射治疗。比较两组病人治疗前、治疗后 1 周、1 月、3 月、6 月视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分和 Lysholm 膝关节评分, 观察治疗后有无并发症。**结果:** 两组病人治疗后 Lysholm 评分高于同组治疗前, VAS 评分低于同组治疗前。治疗后 6 个月, 试验组 VAS 评分 (0.4 ± 0.3) 低于对照组 (1.1 ± 0.6), Lysholm 膝关节评分 (93.0 ± 2.8) 显著高于对照组 (80.7 ± 3.5), 说明两组治疗后膝关节疼痛均有不同程度的缓解, 膝关节功能有所改善, 且试验组治疗效果优于对照组, 两组病人治疗后均无并发症发生。**结论:** 彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节注射治疗, 可有效减轻膝关节疼痛, 改善其功能, 为临床以膝内侧痛为主的膝骨关节炎病人提供了新的路径。

关键词 膝骨关节炎; 脉冲射频; 彩超引导; 隐神经; 关节注射

Clinical curative effect observation of ultrasound-guided saphenous nerve pulse radiofrequency combined with joint injection for knee osteoarthritis *

HUANG Jianjun¹, DU Dongfeng², LI Yingying^{2△}

(¹Department of Pain Medicine, The First Hospital of Fangshan District, Beijing 102400; ²Department of Pain Medicine, Fangshan Hospital Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102400)

Abstract Objective: To investigate the efficacy and safety of ultrasound-guided saphenous nerve pulse radiofrequency combined with knee joint injection for knee osteoarthritis. **Methods:** Sixty-two patients with knee osteoarthritis who met the inclusion criteria were selected in the pain department from March 2019 to March 2021. They were randomly divided into the experimental group ($n = 31$) and the control group ($n = 31$). Patients of the experimental group were treated with ultrasound-guided saphenous nerve pulsed radiofrequency combined with knee joint injection while patients of the control group were treated with trigger point injection combined with knee joint injection. The VAS score and Lysholm score of the two groups before treatment, 1 week, 1 month, 3 months and 6 months after treatment were recorded. The complications after treatment were observed. **Results:** The Lysholm scores of the two groups after treatment were higher than those before treatment. The VAS scores after treatment were lower than those in the same group. Six months after treatment, the VAS score of the experimental group was (0.4 ± 0.3), which was significantly lower than that of the control group (1.1 ± 0.6), and the Lysholm score of (93.0 ± 2.8) was obviously higher than that of the control group (80.7 ± 3.5). The pain of knee joint in the two groups after treatment was relieved to varying degrees, and the function was improved. The efficacy of the experimental group was better than that of the control group. No complications occurred. **Conclusion:** The application of ultrasound-guided saphenous nerve pulsed radiofrequency combined with knee joint injection for knee

* 基金项目: 北京中医药大学新教师启动基金项目 (2020-BUCMXJKY008)

△ 通信作者 李瀛瀛



osteoarthritis not only significantly alleviate pain, but also improve the function of knee. It provides a new path for patients with knee osteoarthritis mainly caused by medial knee pain.

Keywords knee osteoarthritis; pulsed radiofrequency; ultrasound-guided; saphenous nerve; intra-articular injection

膝骨关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 是中老年人常见病、多发病, 是对中老年人生活质量影响最大的一种骨关节病^[1], 具有发病率高, 病变范围广和晚期行动不便等特点。主要表现为膝关节疼痛, 且多数 KOA 病人有膝内翻畸形, 行走时疼痛多集中于膝内侧区域, 结合 2018 年《骨关节炎诊疗指南》, 推荐采用金字塔形阶梯化分级诊疗策略^[2]; 非手术治疗有口服非甾体消炎镇痛药、物理治疗、局部筋膜组织内阻滞疗法等, 但这些治疗并不能持久缓解膝关节疼痛症状。外科手术治疗 (如膝关节置换、截骨矫形等) 的并发症及手术风险也缩小了 KOA 病人选择治疗方法的范围。膝关节腔内注射药物可有效缓解疼痛, 改善膝关节功能, 近年来, 羧甲基壳多糖 (几丁糖) 关节腔注射在我国广泛应用于软骨保护和骨关节炎治疗等临床实践中, 多项研究报道了关节腔注射医用几丁糖治疗 KOA 取得了良好的效果^[3-5]。医用几丁糖可促进软骨细胞外基质的合成, 降低炎症反应, 调节软骨细胞代谢, 延缓关节炎进展^[6], 但其缓解疼痛的作用较为缓慢, 临床中发现病人行关节腔注射医用几丁糖后, 膝内侧仍有不同程度的疼痛。脉冲射频是目前治疗慢性疼痛安全有效、并发症少且可重复性强的方法, 现已广泛用于关节疼痛及神经病理性疼痛。研究表明, 脉冲射频具有缓解疼痛程度显著、见效快、治疗时间短等优点^[7]。因此, 我科采用彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节注射医用几丁糖, 不仅可以快速减轻病人膝关节疼痛, 而且可以延缓关节退变, 在治疗以膝关节内侧痛为主的 KOA 取得了较好的疗效。

方 法

1. 一般资料

本研究已通过北京中医药大学房山医院医学伦理委员会审核 (FZYLK-2019-014)。选取 2019 年 3 月至 2021 年 3 月疼痛科收治的符合纳入标准的 62 例 KOA 病人, 按就诊先后顺序, 采用随机数字表将病人随机分为试验组和对照组。试验组 31 例, 男 13 例, 女 18 例, 年龄 46~72 岁, 病程 2~38 月; 对照组 31 例, 男 11 例, 女 20 例, 年龄 50~74 岁,

病程 4~42 月。两组年龄、性别、病程比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$, 见表 1)。

纳入标准: ①符合中华医学会骨科学分会关节外科学组《骨关节炎诊治指南 (2018 版)》KOA 的诊断标准; ②膝关节疼痛以膝内侧为主, 且 Kellgren Lawrence 分级为 II-III 级; ③经休息、口服药物无明显缓解, 暂不愿行关节镜手术治疗; ④与病人及家属沟通后签署知情同意书, 配合治疗, 治疗期间未私自接受其他治疗。

排除标准: ①晚期关节间隙显著狭窄或关节间形成骨桥连接; ②膝关节变形, 明显膝内外翻畸形者; ③有严重凝血功能障碍; ④重度肝、肾功能不全者; ⑤膝关节骨折、肿瘤、结核、化脓、感染等; ⑥妊娠、哺乳期妇女; ⑦中途退出者。

2. 治疗方法

试验组: 行彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节腔内注射。医用几丁糖 (规格: 2 ml, 生产企业: 上海其胜生物制剂有限公司); 射频治疗仪 (美国 COSMAN); PRK 射频电极; 22G 射频套针 (长 10 cm, 针尖 5 mm)。治疗过程: 病人仰卧位, 患侧膝关节稍屈, 腘窝垫一薄枕, 下肢轻度外旋, 暴露大腿中下部, 常规消毒铺巾, 使用高频线阵探头 (6~13 MHz), 超声探头套无菌保护套, 将超声探头横切置于大腿中下部 (髌骨上方 15 cm) 内侧, 先确定缝匠肌和股动脉位置, 隐神经一般位于缝匠肌的下方, 沿大腿长轴继续向下移动探头, 直到股动脉呈跳水状, 这个区域是内收肌间隙, 从此处向近端移动 2~3 cm 找到收肌管远端, 1% 利多卡因 2 ml 作局部麻醉, 利用平面内穿刺技术, 针尖经过皮肤、皮下组织、缝匠肌周围组织, 到达并穿刺进入隐神经周围, 到达预定位置后 (见图 1), 连接射频治疗仪, 行脉冲射频治疗 42℃ 360 s。射频治疗结束后, 退出射频导管, 无菌棉球覆盖穿刺点, 胶布固定。关节腔内注射医用几丁糖 2 ml, 每 2 周注射 1 次, 共 3 次。所有病人均不服用其他镇痛药物。

对照组: 行医用几丁糖关节腔内注射 + 局部痛点注射治疗, 膝关节周围痛点注射 1% 利多卡因注射液 2 ml 和复方倍他米松注射液 0.3 ml 的混悬液消炎镇痛, 膝关节周围痛点注射每 2 周 1 次, 共 3 次,

表 1 两组病人一般资料 ($\bar{x} \pm SD$)
Table 1 Demographics characteristics of patients in two groups ($\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	例数 <i>n</i>	性别 (男/女) Sex (Male/Female)	年龄 (岁) Age (Years)	病程 (月) Course of disease (Months)
试验组 Experimental group	31	13/18	57.2±7.2	22.1±9.9
对照组 Control group	31	11/20	61.6±6.6	22.9±10.6
统计值 Statistic		$\chi^2 = 0.34$	$t = -1.32$	$t = -0.33$
<i>P</i> 值 <i>P</i> value		0.65	0.19	0.74

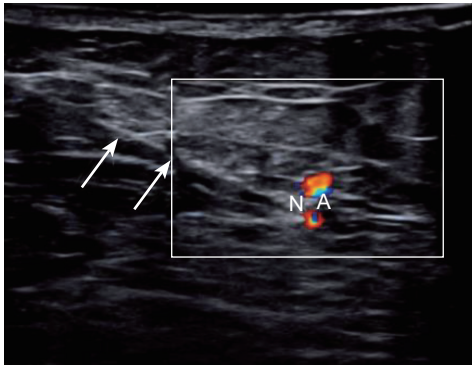


图 1 彩超引导下射频针穿刺影像
箭头所指方向为穿刺针 N: 隐神经; A: 股动脉
Fig. 1 Ultrasound-guided radiofrequency needle puncture image
Puncture needle (at the arrowhead) N: Saphenous nerve; A: Femoral artery

关节腔注射医用几丁糖 2 ml, 每 2 周注射 1 次, 共 3 次。所有病人均不服用其他镇痛药物。

3. 疗效评估指标

随访时间为治疗后 1 周至 6 个月, 评估时间分别为治疗前、治疗后 1 周、1 月、3 月、6 月。疼痛程度采用视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分 (0 为无痛, 10 为无法忍受的剧烈疼痛)。采用 Lysholm 膝关节评分评价临床疗效, 从跛行、支撑、交锁、疼痛、不稳定、肿胀、上楼梯和下蹲 8 项条目对患膝功能进行评估, 分值 0~100 分, 分值越高代表膝功能越好。不良反应包括出血、肿痛、感染。

4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件统计, 计量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示, 两组间年龄、病程比较符合正态分布, 采用两独立样本 *t* 检验, 两组病人性别比较采用卡方检验, 两组间各时间点的 VAS 评分和 Lysholm 评分比较采用独立样本 *t* 检验, 组内各时间点 VAS 评分和 Lysholm 评分比较采用方差分析, 并进行事后多重比较 (Bonferroni 校正), $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

两组病人治疗前后 VAS 评分和 Lysholm 评分比较: 试验组有 1 例病人中途退出, 对照组有 1 例病人在治疗期间因自服非甾体消炎镇痛药对症治疗而退出本研究, 其余 60 例病人均完成治疗。两组病人治疗后 VAS 评分较治疗前显著下降, 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 见表 2), 结果表明治疗后两组病人的疼痛症状均得到显著缓解。两组病人均随时间延长 Lysholm 膝关节评分显著增加, 不同时间点比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$, 见表 3), 结果表明随治疗后时间延长, 两组病人的膝关节功能均得到改善。治疗前两组间 VAS 评分和 Lysholm 评分比较差异无统计学意义; 治疗后 1 周、1 月, 试验组 VAS 评分低于对照组 ($P < 0.05$), 结果表明试验组缓解疼痛的效果优于对照组, 试验组的 Lysholm 评分高于对照组 ($P < 0.05$), 表明试验组较对照组膝关节功能改善明显。治疗后 3 月、6 月, 试验组 VAS 评分显著低于对照组, 试验组的 Lysholm 评分显著高于对照组 ($P < 0.01$), 结果表明与对照组相比, 试验组膝关节疼痛明显减轻, 功能显著改善。两组病人治疗后均无并发症出现。

讨 论

膝关节骨关节炎 (KOA) 是以膝关节软骨的变性、破坏及骨质增生为特征的慢性关节病, 中老年病人发病率高, 主要表现为膝关节疼痛、活动受限, 晚期有膝关节畸形。与正常关节相比, KOA 病人的关节弹性和关节液黏性明显降低^[8], 对膝关节的润滑和减震能力明显减弱, 通过向关节腔内注射医用几丁糖, 可帮助恢复滑液及关节组织基质的黏弹性, 缓解滑膜炎, 减轻软骨的破坏和促进受损软骨的修复^[9]。本研究结果显示, 两组病人经向患侧膝关节注射医用几丁糖后, VAS 评分降低, Lysholm 评分较治疗前明显升高, 疼痛程度明显减轻, 膝关节

表 2 两组病人治疗前后 VAS 评分比较 ($\bar{x} \pm SD$)

Table 2 Comparison of VAS scores between the two groups before and after treatment ($\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	治疗前 Before treatment	治疗后 1 周 1 w after treatment	治疗后 1 月 1 m after treatment	治疗后 3 月 3 m after treatment	治疗后 6 月 6 m after treatment
试验组 ($n = 30$) Experimental group ($n = 30$)	5.7 ± 1.1	3.4 ± 1.0 ^{**}	1.2 ± 0.5 ^{**}	0.7 ± 0.4 ^{***}	0.4 ± 0.3 ^{***}
对照组 ($n = 30$) Control group ($n = 30$)	5.5 ± 1.2	4.9 ± 1.2 ^{**}	2.9 ± 0.6 ^{**}	1.5 ± 0.5 ^{***}	1.1 ± 0.6 ^{***}

* $P < 0.05$, 治疗前和治疗后不同时间点相比; ^{**} $P < 0.05$, 两组间治疗后 1 周和 1 月相比; ^{***} $P < 0.01$, 两组间治疗后 3 月和 6 月相比
* $P < 0.05$, compared with pre-treatment and different time points after treatment; ^{**} $P < 0.05$, compared between two groups at 1 w and 1 m after treatment; ^{***} $P < 0.01$, compared between two groups at 1 m and 6 m after treatment.

表 3 两组病人治疗前后 Lysholm 评分比较 ($\bar{x} \pm SD$)

Table 3 Lysholm scales before and after treatment in two groups ($\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	治疗前 Before treatment	治疗后 1 周 1 w after treatment	治疗后 1 月 1 m after treatment	治疗后 3 月 3 m after treatment	治疗后 6 月 6 m after treatment
试验组 ($n = 30$) Experimental group ($n = 30$)	50.2 ± 6.7	78.3 ± 3.4 ^{△#}	85.7 ± 3.7 ^{△#}	87.9 ± 2.6 ^{△##}	92.9 ± 2.8 ^{△##}
对照组 ($n = 30$) Control group ($n = 30$)	51.9 ± 6.6	73.7 ± 4.6 ^{△#}	75.3 ± 5.6 ^{△#}	80.3 ± 2.8 ^{△##}	80.7 ± 3.5 ^{△##}

[△] $P < 0.05$, 治疗前和治疗后不同时间点相比; [#] $P < 0.05$, 两组间治疗后 1 周和 1 月相比; ^{##} $P < 0.01$, 两组间治疗后 3 月和 6 月相比
[△] $P < 0.05$, compared with pre-treatment and different time points after treatment; [#] $P < 0.05$, compared between two groups at 1 w and 1 m after treatment; ^{##} $P < 0.01$, compared between two groups at 1 m and 6 m after treatment.

功能改善明显,进一步证实了膝关节内注射医用几丁糖对 KOA 的有效性。但在临床工作中有多数病人经膝关节注射治疗后,膝关节内侧仍有疼痛,影响其功能。

隐神经是股神经的末端分支,为单纯感觉神经^[10]。在股三角区近端离开股管,在缝匠肌深面与股动脉伴行,一起进入收肌管,在收肌管内,隐神经先伴行在股动脉外侧,在接近大收肌末端水平,从股动脉前方跨过,行至股动脉前内侧,之后股动脉离开收肌管前向深部走行,与缝匠肌逐渐分离,在收肌腱裂孔处股动脉向后移行为腓动脉,正是这种在深度上的突然改变成为收肌管末端界限的重要标志,是临床上隐神经收肌管阻滞的理想位置^[11]。出收肌管后隐神经与膝降动脉一起在缝匠肌深面沿膝内侧垂直下行,行至缝匠肌肌腱附近,即胫骨内侧髁水平时,在缝匠肌和股薄肌肌腱之间,隐神经穿过深筋膜进入皮下组织,隐神经在膝关节内侧穿过深筋膜后分出腓下皮支和小腿内侧皮支^[12]。目前隐神经阻滞和脉冲射频主要用于膝关节镜手术和全膝关节置换术后的早期镇痛治疗^[13,14],目的是减轻术后疼痛,让病人尽早下床活动,降低静脉血栓风险,使病人尽早康复。

多数学者认为膝前内侧疼痛与隐神经卡压有关^[15-17]。从解剖上看,在中老年病人的膝前内侧,隐神经腓下支及其分支和深筋膜紧密相连且被纵横

交错的纤维组织所包裹,该处皮下脂肪,缓冲能力差,极易因劳损、外伤等因素导致局部炎性渗出粘连,加之老年病人肌肉退化,纤维组织相对增多,极易对隐神经造成机械性卡压或炎性损害而导致疼痛^[8,18],临床上表现为内侧髁皮肤浅感觉减退、膝内侧酸痛或胀痛等。

本研究发现脉冲射频治疗膝内侧疼痛具有良好效果,治疗后病人疼痛即有改善,半年疗效仍得到维持,表明该方法具有明显的短期和中期疗效。其原因和脉冲射频的镇痛作用有关。脉冲射频是由射频仪间断发出的脉冲式电流至针尖,脉冲频率 2 Hz,波宽 20 ms,在神经组织周围形成高电压,但针尖温度不超过 42℃^[19-21]。采用脉冲射频治疗镇痛效果显著,术后不会出现感觉异常,安全性较高。但关于脉冲射频技术的镇痛机制尚不明确^[22]。总结其镇痛效果主要有两个方面:①通过无线电波抑制 C 纤维减少痛觉向中枢传递;通过大鼠试验研究^[23],它可使脊髓后角、后神经根与脑组织中 β 内啡肽等局部镇痛因子浓度升高,抑制大鼠背角 C 纤维诱发电位反应。有研究提示^[24],它可针对性破坏痛觉纤维的传导分支,阻止信号向上级中枢传导,使上级中枢无法接收疼痛信号,起到镇痛效果;②免疫调节作用,在脉冲射频高频电场的作用下,减少了炎症介质或致炎因子(如 IL-1β、TNF-α、IL-6)释放,从而产生镇痛作用^[25,26]。

既往隐神经阻滞和射频主要靠解剖标志、体表触诊定位,成功率较低,尤其肥胖病人,常在注射部位出现疼痛和局部血肿。后来采用神经刺激仪辅助,通过电流刺激隐神经,但隐神经缺乏运动成分,只会产生麻木感,不会出现肌肉抽搐。近年来,随着超声技术的发展,通过超声可直观的显示神经、血管、肌肉。本研究在超声引导下能清楚的观察到目标区域的解剖结构^[27],包括股骨、股内侧肌、缝匠肌、股动脉、隐神经,可准确的到达进针目标位置行射频治疗,避免损伤神经、血管,比局部痛点注射治疗准确、有效。

本研究中试验组的结果显示,在彩超引导下隐神经脉冲射频联合膝关节注射治疗后1周、1月、3月、6月,病人VAS评分及Lysholm评分与治疗前相比有显著性差异,说明膝关节隐神经脉冲射频治疗以膝关节内侧痛为主的KOA效果明显,能有效缓解KOA引起的关节周围疼痛,在一定程度上避免了长期口服非甾体消炎镇痛药引起的不良反应。近年来,针对KOA,外用非甾体消炎镇痛药逐步得到重视,其通过改变用药途径,在不降低镇痛效果的同时,可显著减少药物不良反应,提高用药安全性,被广泛用于骨关节系统疾病所致的急、慢性疼痛治疗。因此,隐神经射频治疗后,若还有轻、中度疼痛,可联合外用非甾体消炎镇痛药物治疗。

在治疗后1周、1月时,通过两组Lysholm评分和VAS评分比较,试验组病人在膝关节疼痛减轻、功能改善方面优于对照组,且治疗后3个月及6个月的随访数据显示两组之间的治疗效果差距更明显。结果表明,隐神经脉冲射频能有效的缓解以膝内侧痛为主的KOA病人的疼痛,3个月及6个月的随访表明,该治疗方法作用更持久,较局部痛点注射治疗效果好。

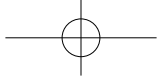
由于条件所限,本研究存在一些局限性:①样本量较少,且仅在本医院收集病例,结果可能存在偏倚,今后需要开展多中心、大样本的随机对照研究,进一步探讨隐神经脉冲射频缓解KOA病人膝关节内侧疼痛的机制;②随访时间较短,本研究仅收集了半年内的治疗效果,对于长期疗效乃至更长期的疗效有待进一步观察和评估。

综上所述,彩超引导下隐神经脉冲射频定位精准,联合膝关节注射医用几丁糖可润滑保护膝关节,对膝骨关节炎病人疼痛治疗效果持久,见效快,且操作简单、易行、创伤小、安全性高,为膝骨关节炎病人提供了一种新的治疗方法。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] 王林,宋磊,韩伟峰.全膝关节置换术中后交叉韧带保留与切除与否的对比研究[J].首都医科大学学报,2017,38(6):915-918.
- [2] 骨关节炎诊疗指南(2018年版)[J].中华骨科杂志,2018,38(12):705-715.
- [3] 邵娜,胡丽波.关节腔内注射医用几丁糖治疗膝骨关节炎的效果分析[J].中国实用医药,2020,15(8):129-131.
- [4] 石晓兵,支晓丞,吴小建,等.医用几丁糖分期治疗膝骨性关节炎的临床研究[J].中国中医骨伤科杂志,2018,26(6):48-50,55.
- [5] 李尚娥,范海涛,张斌.膝关节腔内注射医用几丁糖治疗膝骨性关节炎的效果观察[J].中国医学前沿杂志,2016,8(11):84-87.
- [6] Oprenyeszk F, Sanchez C, Dubuc JE, *et al.* Chitosan enriched three-dimensional matrix reduces inflammatory and catabolic mediators production by human chondrocytes[J]. PLoS One, 2015, 10(5):1-17.
- [7] 李婷,李亦梅.关节腔内脉冲射频调节与玻璃酸钠注射治疗膝骨性关节炎的疗效比较[J].重庆医学,2016,45(24):3425-3427.
- [8] Han L, Xu N, Lv S, *et al.* Enhanced in vitro and in vivo efficacy of alginate/silk protein/hyaluronic acid with polypeptide microsphere delivery for tissue regeneration of articular cartilage[J]. JBN, 2021, 17(5):901-909.
- [9] 毛鹏,张毅,杨利英,等.细银质针导热联合羧甲基壳多糖关节内注射治疗膝骨性关节炎[J].中国疼痛医学杂志,2018,24(11):847-850.
- [10] 侯宁,孙长蛟,齐峥嵘,等.股神经阻滞和收肌管阻滞在全膝关节置换中疗效对比的Meta分析[J].中国骨与关节杂志,2019,8(4):282-294.
- [11] 邓铭锋,车志新,何松蓬,等.超声引导下连续收肌管阻滞对老年患者全膝关节置换术后镇痛及炎症反应的影响[J].重庆医学,2020,49(4):586-590.
- [12] 张钰,张洁,刘功俭,等.隐神经阻滞的临床研究进展[J].临床麻醉学杂志,2017,33(2):196-198.
- [13] 牟童,刘丹彦.收肌管阻滞在全膝关节置换术后镇痛中的应用研究进展[J].山东医药,2021,61(21):91-95.
- [14] 诸源江,张兰,张宇,等.收肌管阻滞在膝关节镜术后早期镇痛中的临床应用[J].中国内镜杂志,2020,26(3):1-6.
- [15] Lam HYJ, Tang YHB, Wong HL, *et al.* Similar early functional recovery after total knee replacement comparing single shot versus continuous saphenous nerve block: a randomised, double-blind trial[J]. JOS, 2020, 28(2):1-6.
- [16] 王刚,吴蔚,杨坤,等.射频热凝术治疗隐神经膝下支卡压征临床研究[J].中国康复,2017,32(1):63-64.



- [17] 张欣, 李开平. 针刀松解腓肌结合隐神经阻滞治疗膝骨性关节炎屈伸功能受限的临床效果 [J]. 中国医药导报, 2020, 17(18):177-180.
- [18] 吕艳丽. 隐神经射频热凝技术在膝关节疼痛治疗中的应用 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2015.
- [19] 陈黔, 郑拥军, 等. 选择性颈脊神经根阻滞疗法中国专家共识 (2021 版) [J]. 中华疼痛学杂志, 2021, 17(4):344-356.
- [20] Chua N, Vissers KC, Sluijter ME. Pulsed radiofrequency treatment in interventional pain management: mechanisms and potential indications-a review[J]. Acta Neurochir, 2011, 153(4):763-771.
- [21] 孙运中, 郭晓丽, 王晓川, 等. CT 引导下弯针法脉冲射频治疗三叉神经第 I 支带状疱疹的临床研究 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(7):545-549.
- [22] 郑留柱. 背根神经节双极脉冲射频联合交感神经毁损治疗带状疱疹后神经痛的效果 [J]. 临床医学, 2021, 41(5):30-32.
- [23] 王灵, 吴英平. 神经根脉冲射频治疗带状疱疹后遗神经痛的疗效 [J]. 广东医学, 2013, 34(14):2218-2219.
- [24] 陈永国, 陈晶晶, 宋英. 神经根脉冲射频对带状疱疹后神经痛的干预效果观察 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2019, 25(5):368-373.
- [25] Katarzyna PB, Joanna M. Targeting the microglial signaling pathways: new insights in the modulation of neuropathic pain[J]. Curr Med Chem, 2016, 23(26):2908-2928.
- [26] Maretto F, Vennik M, Albers KI, *et al.* TNF- α secretion of monocytes exposed to pulsed radiofrequency treatment: a possible working mechanism of PRF chronic pain management[J]. Pain Pract, 2014, 14(5):399-404.
- [27] 林巧璇, 刘晶, 修忠标. 膝骨关节炎精准评估和治疗: 超声可视化技术 [J]. 风湿病与关节炎, 2021, 10(8): 60-63.

• 国际译文 •

PIEZO 通道将物理机械力转化为生物电信号的机制

作为 2021 年诺贝尔生理或医学奖的明星分子, PIEZO 通道是机械敏感性阳离子通道的孔道蛋白, 在触觉和本体觉等传导过程中发挥重要作用。以往研究表明, PIEZO 形成三聚体三叶螺旋桨状离子通道, 中心是负责离子通透的孔道部分, 外周是三个负责机械力感知的桨叶部分。PIEZO 通道如何将物理机械力转化成生物电信号? 仍然是 PIEZO 诺奖研究的未解之谜。清华大学药学院肖百龙/生命科学学院李雪明团队首次建立了膜上受力结构解析体系, 揭示 PIEZO1 在脂膜上的张力感受机制。主要结果如下: (1) 在静息状态时, PIEZO1 桨叶高度弯曲, 并带动所在的细胞膜形成“纳米碗”结构 (nano-bowl); (2) 膜张力改变时, 膜带动 PIEZO1 蛋白一起展平; (3) 展平的桨叶引起帽子的旋转运动, 加上桨叶的展平运动, 共同使得孔道区上半段的疏水阀门打开, 离子由帽子下的空隙, 侧向进入孔道; (4) 展平的桨叶带动胞内侧的横梁 (Beam) 发生杠杆运动, 把形变传递到孔道区胞内侧, 打开三个侧向出口塞子, 使离子流入细胞。因此, 该研究揭示了 PIEZO1 蛋白介导机械力感知的分子机制, 为解析机械信号在感觉神经系统的传递及机械感知异常相关疾病提供了理论支撑。

(Yang XZ, Lin C, Chen XD, *et al.* Structure deformation and curvature sensing of PIEZO1 in lipid membranes. Nature, 2022, 604(7905): 377-383. 北京大学神经科学研究所, 刘风雨 译)