



- [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, 在触感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)