



- 国中西医结合影像学杂志, 2018, 16(1):89-91.
- [16] 宁敏, 么甲超, 杨培金, 等. 超声和 MRI 诊断梨状肌综合征的价值研究 [J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(8):178-180.
- [17] 李守超, 曹军英, 高越, 等. 高频超声诊断梨状肌综合征价值研究 [J]. 临床军医杂志, 2021, 49(12):1323-1326.
- [18] 贾子普, 任浩, 李倩, 等. 脉冲射频对 CCI 大鼠坐骨神经组织学及脊髓 GDNF 表达的影响 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2016, 22(5):342-348.
- [19] 李多依, 孙异临, 曲宝清, 等. 脉冲射频对坐骨神经慢性缩窄大鼠坐骨神经超微结构的影响 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2012, 18(8):464-467.
- [20] 马建云, 韩文, 郭晓丽, 等. 内热针肌筋膜松解对下肢血液循环的影响 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(12):951-955.
- [21] 宋奕, 方梅, 钱斌, 等. 基于红外热成像技术评估细银质针治疗膝关节骨性关节炎的疗效 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(9):717-718.
- [22] 梁欢, 薛朝霞, 康博闻, 等. 红外热成像技术在冲击波治疗跖筋膜炎中的作用 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2024, 30(2):151-156.

• 国际译文 •

轴突和小动脉平滑肌细胞间“类突触样传递”驱动脑部神经血管偶联

神经血管偶联 (neurovascular coupling, NVC) 对脑功能很重要, 其功能障碍导致很多神经系统疾病。虽然在 NVC 中可能存在不同类型的细胞, 但是大脑中神经元如何将信息主动传递给对应的小动脉还知之甚少。本研究证明, 轴突和小动脉平滑肌细胞间“类突触样传递”驱动脑部 NVC。结果: (1) 首先识别出“类突触”的结构和特性。通过对小鼠躯体感觉皮质中一段长约 450 μm 的穿支动脉血管的三维重构, 发现其上存在许多星形胶质细胞的终足不连续区。血管周围神经元的一些轴突小结穿过这些不连续区, 插入小动脉平滑肌细胞 (arteriolar smooth muscle cell, aSMC) 外围的基底膜, 与 aSMC 形成“类突触”, 这一结构被定义为神经-小动脉平滑肌细胞偶联 (neural-arteriolar smooth muscle cell junction, NsMJ)。在 NG2DsRed 小鼠 (毛细血管周细胞表达红色荧光蛋白) 的桶状皮层内注射 AAV2/9-hSyn-EGFP 病毒, 发现绿色荧光与 CaMKII α 和 vGAT1 共标, 说明存在大量谷氨酸能神经元, 又通过成像技术确认了谷氨酸轴突 NsMJ (Glu-NsMJ) 的存在。离体共培养神经元与 aSMCs, 发现神经元倾向与 aSMC 形成 NsMJs。(2) 证明 aSMC 具有接受神经递质的 NMDA 受体。RNA 测序发现, aSMC 表达谷氨酸受体的 mRNA, 其中表达最多的是 NMDA 受体亚单位 *Grin1* 和 *Grin2d*。进一步研究证实, aSMC 中存在 *Grin1*mRNA 和 GluN1 蛋白。(3) Glu-NsMJ 传递在介导 NVC 中的重要性。在离体的神经元和 aSMC 共培养的环境中, 通过光遗传激活神经元后, aSMC 出现钙信号, 并且这种钙信号可以被谷氨酸受体阻断剂 D-AP5 抑制。单个轴突的光遗传学来激活穿通小动脉周围的轴突, 发现血管直径增加。运用激光散斑对比成像技术 (laser speckle contrast imaging, LSCI), 通过对麻醉小鼠进行胡须刺激, 发现只有 aSMC 中 *Grin1* 基因未敲除的小鼠才出现脑血流的增加。说明 Glu-NsMJs 对于其靶向的血管舒张非常重要。(4) 不同剂量的谷氨酸, 对 aSMC 的作用不同。在离体培养的 aSMC 中, 外源施加低剂量谷氨酸倾向于诱导出非扩散火花样动力学, 而施加高浓度谷氨酸倾向于诱导出钙离子波。正常生理条件下刺激谷氨酸神经递质的释放会引起 aSMC 的舒张, 而通过光遗传诱导出谷氨酸能神经元的扩散去极化 (spreading depolarization, SD) 会使 aSMC 出现窄缩, 说明 aSMC 对谷氨酸的反应具有剂量依赖性, 并且显示出不同的舒张收缩特性。(5) 减少 aSMC 特异性 NMDA 受体减少血管收缩, 改善缺血性卒中后结局。减少 aSMCs 中 GluN1 亚基, 通过防止缺血诱导的 SD 引起的小动脉收缩期间 aSMC 中的 Ca^{2+} 过载, 减少了脑缺血后的脑萎缩。这些结果表明预防 NMDA 受体依赖性小动脉收缩有益于卒中后的大脑和行为恢复。结论: 本研究发现神经元与动脉血管平滑肌细胞之间存在一种“类突触”结构, 可调节大脑血管收缩和舒张, 为缺血性脑卒中的治疗拓展新思路。

(Zhang D, Ruan J, Peng S, et al. Synaptic-like transmission between neural axons and arteriolar smooth muscle cells drives cerebral neurovascular coupling. Nat Neurosci, 2024, 27(2):232-248. 北京大学神经科学研究所, 杨海龙译, 刘风雨校)