

從酸痛信號到運動抽筋緩解攻略：TRPV1通道的深度解密

撰文／PulsarPump 科學團隊
最後更新／2025年4月22日

TRPV1(Transient Receptor Potential Vanilloid 1)是一種多功能離子通道，最初因其對辣椒素(capsaicin)和有害高溫的感知而被發現。David Julius和Ardem Patapoutian憑藉對TRPV1、TRPM8及Piezo離子通道的發現，榮獲2021年諾貝爾生理學或醫學獎，這一突破性發現揭示了人類如何感知溫度、疼痛和觸覺，並開啟了疼痛機制與感覺生物學的新領域^{[1][2][3][4]}。

TRPV1的發現不僅解釋了辣椒素引發燒灼感的分子基礎，還證明了這個受體是高溫(>43°C)和酸性環境等多種有害刺激的分子整合器。TRPV1的功能性研究促使了後續對溫度、疼痛及相關離子通道(如TRPM8、TRPA1等)的廣泛探索，對疼痛治療策略的設計產生了深遠影響^{[5][3][4]}。

TRPV1的多重調控功能

TRPV1是一種多模態受體，能被多種物理與化學刺激活化，包括：

- 高溫(>43°C)
- 酸性環境(低pH值)
- 辣椒素(capsaicin)
- 芥末油(allyl isothiocyanate)
- 內源性配體如anandamide等^{[6][7][8]}

TRPV1廣泛分布於外周及中樞神經系統的傷害性感覺神經元，也存在於T細胞、平滑肌、膀胱、胃腸道、血管及其他組織，參與多種生理與病理過程^{[6][9][10][8]}。其調控功能包括：

- 傳導與調節疼痛(包括炎症痛、神經病理痛、機械痛、瘙癢等)
- 調節體溫、能量代謝、肌肉生理、胃腸道運動、血壓與血管張力
- 參與神經可塑性、突觸傳遞、免疫調控及創傷癒合^{[5][6][11][9][12][10][8]}

TRPV1的敏感性可被多種信號分子調節，如蛋白激酶(PKC、PKA、Cdk5等)介導的磷酸化、鈣調蛋白、細胞骨架重塑、內吞作用等，這些調控機制使TRPV1能根據生理或病理狀態動態調節其活性^{[11][13]}。

TRPV1活化在緩解運動相關肌肉痙攣(EAMC)的原理

運動相關肌肉痙攣(Exercise-associated muscle cramps, EAMC)主要成因之一是 α 運動神經元過度興奮。近年研究發現, 口服TRPV1及TRPA1激動劑(如辣椒素、芥末油、醋酸等)能顯著減輕自發性或電刺激誘發的肌肉痙攣^{[14][15]}。

作用機制

- 強烈的感覺神經刺激: TRPV1/TRPA1活化後, 通過腸胃道感覺神經將強烈信號傳入脊髓, 增加脊髓內抑制性神經調節, 降低 α 運動神經元的興奮性, 從而抑制痙攣的發生^[15]。
- 臨床數據: 隨機、雙盲、安慰劑對照研究顯示, 口服TRPV1/TRPA1激動劑能使肌肉痙攣強度下降至對照組的三分之一, 且效果可持續6-8小時^[15]。另一項研究則發現, TRP激動劑可延長出現痙攣所需的肌肉收縮時間、減少痙攣時的肌電訊號強度及痙攣後的酸痛感^[14]。

低pH值與醋酸的角色

TRPV1對低pH值(酸性)高度敏感, 酸性環境可直接活化TRPV1通道, 促使鈉、鈣離子內流, 產生神經興奮^{[6][16][7]}。醋酸(acetic acid)作為一種弱酸, 能穿透細胞膜, 導致細胞內酸化, 進一步活化TRPV1及TRPA1, 產生明顯的感覺刺激^{[16][17]}。動物及細胞實驗證實, TRPV1的酸敏感性與其外部質子結合位點有關, 所有四個亞基的質子結合位點均需被佔據才能完全活化通道^[7]。

結論

TRPV1的發現徹底改變了我們對溫度、疼痛與感覺生物學的理解, 並因其在疼痛、炎症、代謝、免疫及肌肉生理等多領域的關鍵作用, 成為現代生物醫學的研究熱點。TRPV1活化(包括由低pH值或醋酸引發)能通過強化感覺神經輸入, 抑制脊髓運動神經元過度興奮, 有效緩解運動相關肌肉痙攣, 這一機制已獲臨床和基礎研究支持。未來針對TRPV1的調控, 將有望為疼痛、痙攣及多種疾病提供創新治療策略。

參考文獻

1. [Hermes. 2021 Nobel Prize: The Discovery of Temperature and Touch.](#)
2. [NanoCNR. On the 2021 Nobel Prize and TRPV1 and PIEZO receptors.](#)
3. [PMC8643385. Molecular Sensors of Temperature, Pressure, and Pain with Special ...](#)
4. [Wikipedia. TRPV1.](#)
5. [Frontiers in Molecular Neuroscience. TRPV1 in chronic pruritus and pain: Soft modulation as a therapeutic ...](#)

6. Xia & He Publishing. Role of TRPV1 in Health and Disease.
7. PMC5554746. Ingestion of TRP channel agonists attenuates exercise-induced ...
8. Neurology. Orally-administered TRPV1 and TRPA1 activators inhibit electrically ...
9. PMC2729567. TRPV1 Is Activated by Both Acidic and Basic pH.
10. PMC3105510. A TRPA1-dependent mechanism for the pungent sensation of weak ...
11. Nature. The pain receptor TRPV1 displays agonist-dependent activation ...
12. Nobel Prize official site. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2021 - Advanced ...
13. PMC8733883. TRPV1 and Piezo: the 2021 Nobel Prize in Physiology or Medicine.
14. PMC6556840. Multifunctional TRPV1 Ion Channels in Physiology and Pathology ...

**

-
1. <https://www.hermes.com.tw/en/2021-nobel-prize/>
 2. <https://www.nano.cnr.it/on-the-2021-nobel-prize-and-trpv1-and-piezo-receptors/>
 3. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2021/advanced-information/>
 4. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8733883/>
 5. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8643385/>
 6. <https://en.wikipedia.org/wiki/TRPV1>
 7. <https://www.nature.com/articles/srep12278>
 8. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6556840/>
 9. <https://www.xiahepublishing.com/2572-5505/JERP-2023-00013>
 10. <https://www.xiahepublishing.com/m/2572-5505/JERP-2023-00013>
 11. <https://www.frontiersin.org/journals/molecular-neuroscience/articles/10.3389/fnmol.2022.930964/full>
 12. <https://www.frontiersin.org/journals/molecular-neuroscience/articles/10.3389/fnmol.2024.1400118/full>
 13. <https://www.nature.com/articles/srep22007>
 14. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5554746/>

15. https://www.neurology.org/doi/10.1212/WNL.84.14_supplement.S17.003
16. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2729567/>
17. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3105510/>