

## 浅析针刺物理信号在穴区的启动和转导

吕伟<sup>1</sup>, 康丽娟<sup>1</sup>, 陈肖峰<sup>1</sup>, 林小伟<sup>1</sup>, 郭永明<sup>1,2</sup>, 郭义<sup>1,2</sup>, 刘阳阳<sup>1,2</sup>

(1. 天津中医药大学, 天津 301617; 2. 国家中医针灸临床医学研究中心, 天津 300381)

**【摘要】** 针刺是一种物理刺激, 作用于穴位产生的是物理信号, 而机体内的各种变化、反应、信息传递主要是化学信号过程, 针刺的物理信号在穴位局部是如何启动针刺信息传递, 如何与机体的化学信号进行转换传导的。该文通过搜集和分析相关文献, 从穴位的组织结构、针刺物理信号的启动、物理信号向化学信号的转导以及化学信号启动 4 个方面阐释了针刺信号在穴位的启动和转导过程。

**【关键词】** 针刺疗法; 穴位; 启动; 转导; 物理过程; 化学过程

**【中图分类号】** R245 **【文献标志码】** A

DOI: 10. 13460/j. issn. 1005-0957. 2022. 07. 0737

针刺是中医治疗方法, 属于物理疗法范畴, 它通过刺激体表的穴位以激发机体的整体调节能力, 从而达到防治疾病的目的。从中医学角度来看, 针刺入穴位后, 通过提插或捻转等刺激, 使穴位局部产生酸、麻、重、胀等“得气”感, 得气感沿着经络传导, 到达相应脏腑组织以发挥调节效应。从现代医学角度来看, 针刺入穴位后, 可以激活穴区的各种细胞、感受器, 引起针刺信号的级联放大, 进而调节机体功能发挥治疗效应。由此看来, 针刺对穴区局部的刺激是激发针刺效应的关键环节。针刺引起穴位局部相关物质或细胞变化, 构成了针效的穴位启动环节<sup>[1]</sup>, 是针刺作用原理的重要部分。

针刺的提插、捻转操作对于机体而言是一种物理刺激, 作用于穴位产生的是物理信号, 但机体内的各种变化、反应、信息传递主要是化学信号过程。针刺物理信号是如何转变成化学信号从而传递针刺信息的, 物理信号是否能直接启动针刺信息的传递, 与穴位的哪些组织结构相关, 信号的转导有怎样的特点, 与哪些因素相关, 这些都是非常复杂的问题。本文从穴位的组织结构、针刺物理信号的启动、物理信号向化学信号转导、化学信号启动 4 个方面对针刺信号在穴位的启动和转导过程进行梳理和浅析, 并总结出针刺信号启动与转导的时序特点, 以期能更好地理解针刺效应的启动过程。

### 1 穴位的组织结构

穴位的组织结构是针刺信号启动和转导的基础。研究表明, 穴位是由皮肤、皮下组织、肌肉、肌腱、神经、血管、淋巴、筋膜等多种组织构成的立体构筑结构<sup>[2]</sup>。皮肤的表皮层形成机体的外部屏障, 同时也有一定的免疫功能。真皮位于表皮下方, 由结缔组织构成, 主要有成纤维细胞、肥大细胞、巨噬细胞、树突状细胞、朗格汉斯细胞等, 并存在多种感受器, 包括游离神经末梢、环层小体、麦斯纳氏小体等, 是皮肤感受刺激的主要部位, 也是免疫反应的发生部位。皮下组织, 常被称为浅筋膜, 主要成分是疏松结缔组织和脂肪组织, 也含有神经、血管、淋巴管等<sup>[3]</sup>。肌肉、肌腱被认为是得气产生的重要部位<sup>[4]</sup>。针刺信号的穴位启动和转导与这些穴位结构密切相关。

### 2 针刺物理信号的启动

针刺刺入穴位后通过提插、捻转等手法操作, 针体与周围组织可产生压力、摩擦力和牵张力的作用<sup>[5]</sup>, 即形成为力的物理信号。穴位处皮肤、皮下组织和肌肉含有丰富的感受器, 其中就包含感受力学刺激的机械感受器, 如肌梭、触觉小体、环层小体等。针刺的物理刺激可以直接激活这些机械敏感型感受器, 引起神经兴奋。用提插、捻转等手法进行针刺, 可在大鼠坐骨神

**基金项目:** 国家重点研发计划项目 (2019YFC1709003); 国家自然科学基金重点项目 (82030125)

**作者简介:** 吕伟 (1995—), 女, 2019 级硕士生, Email: 13253498956@163. com

**通信作者:** 刘阳阳 (1983—), 女, 高级实验师, Email: lyy02211@163. com

经分支、脊髓背根神经记录到针刺所诱发的神经电信号<sup>[6-7]</sup>,这些诱发的电信号与针刺刺激频率基本一致,说明是针刺的机械作用力信号直接诱发了神经放电。对诱发放电的神经纤维进行分析,显示主要为II类纤维,II类纤维相当于A $\beta$ 纤维,主要传递触、压觉。早期研究通过分析针刺猫内关和承山穴的神经放电,发现其感受器主要为肌梭,肌梭是分布于骨骼肌中感受牵张刺激的本体感受器,属于机械感受器<sup>[8-10]</sup>。此外,董泉声等<sup>[11]</sup>观察了手针对I型触体——梅克尔氏小盘(由梅克尔氏细胞与有髓鞘神经纤维末梢构成,感受触觉刺激)的影响,发现手针刺刺激触体的头、尾部各测试点,可引起神经放电,损毁触体后再予以同样强度针刺刺激,各测试点均不再出现反应,表明手针可以通过直接刺激I型触体引起神经放电。赵晏等<sup>[12]</sup>发现手针刺刺激猫的内膝眼穴,可以在内膝眼穴内侧背根神经细束处记录到神经放电,其感受器主要为环层小体,环层小体的主要功能是感受压力、振动和张觉。这些研究都表明针刺通过提插、捻转的物理信号作用于机械感受器,直接诱发神经放电,从而启动针刺信号的传递。

### 3 针刺物理信号向化学信号的转导

针刺不仅可以通过物理刺激直接作用于机械感受器启动针刺信号的神经传递,提插、捻转还可以使穴区处的结缔组织产生形变,活化组织间隙的细胞,诱发细胞内化学物质的释放,引起针刺物理信号向化学信号的转换传导。LANGEVIN H M等<sup>[13]</sup>采用捻转手法刺激大鼠的离体腹壁组织,发现针刺可使穴区结缔组织发生缠绕,缠绕后针体的牵拉力显著增高,并进一步发现缠绕的结缔组织在针体运动时可带动结缔组织的胶原纤维网产生形变位移,进而对组织周围的细胞,如成纤维细胞产生力学刺激,推测可通过细胞表面的整合素,引起细胞的生物化学反应。成纤维细胞广泛分布于皮肤的真皮和结缔组织层,主要功能包括细胞外基质的合成与重造、调节上皮细胞的分化、组织损伤的修复以及炎症调节等过程<sup>[14]</sup>。正常组织的成纤维细胞存在“活化”的表型,组织炎症可以产生多种刺激物质而使成纤维细胞活化<sup>[15]</sup>。活化的成纤维细胞可以释放多种免疫因子,包括白介素-6(interleukin, IL)-6、IL-8、肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF)- $\alpha$ 、 $\gamma$ -干扰素(interferon- $\gamma$ , IFN- $\gamma$ )等<sup>[16-17]</sup>。炎症可以促使成纤维细胞活化,释放免疫因子,那么针刺是否能引

起成纤维细胞的功能变化呢?陈波等<sup>[18]</sup>对足三里穴区筋膜结缔组织的成纤维细胞进行了体外培养,并在细胞表面放置气压传导压力加载装置,以模拟针刺对组织细胞的压力作用,发现成纤维细胞合成分泌前列腺素(prostaglandin, PG)E<sub>2</sub>和IL-6都显著增多。QU F等<sup>[17]</sup>也观察了不同压力刺激对足三里穴区筋膜组织中成纤维细胞的增殖活化,发现机械压力可以激活成纤维细胞上的丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)信号通路,促进成纤维细胞的增殖活化,提高了下游免疫因子TNF- $\alpha$ 、INF- $\gamma$ 的释放。刘峰等<sup>[19-20]</sup>研究证实了不同压力、张力和摩擦力刺激可使成纤维细胞力学感应整合素 $\beta$ 1(recombinant integrin  $\beta$ 1, ITG $\beta$ 1)明显增多,细胞骨架的微丝结构发生显著改变。以上研究为成纤维细胞介导的针刺物理信号向化学信号转换传导提供了一定的实验依据,但这些研究大部分是细胞实验,用压力装置模拟针刺的机械力作用,尚缺乏针刺对穴位局部成纤维细胞增殖活化的直接证据,此外调控成纤维细胞功能是否会引起针刺效应的改变,这些内容也有待进一步研究。

除了成纤维细胞外,肥大细胞也可能参与了针刺物理信号向化学信号转导过程。肥大细胞在穴位处多存在于疏松结缔组织,沿经脉线上的小血管、神经囊等分布<sup>[21]</sup>,大量研究表明针刺可以促进肥大细胞的聚集和脱颗粒<sup>[22-23]</sup>,其脱颗粒释放的化学物质,包括组织胺(histamine, HA)、5-羟色胺(5-Hydroxytryptamine, 5-HT)和P物质(Substance P, SP)等,这些物质参与了针刺效应的发挥,是穴区针刺信号的启动与转导的关键物质<sup>[24-26]</sup>。肥大细胞的脱颗粒是如何被激活的?有研究认为针刺可使穴区钙离子(Ca<sup>2+</sup>)含量增高, Ca<sup>2+</sup>可促使肥大细胞脱颗粒<sup>[27]</sup>。余晓佳等<sup>[28]</sup>研究表明,针刺足三里穴实施提插、捻转刺激,可使穴区胶原纤维发生形变,继而引起肥大细胞的激活。当注射I型胶原酶对穴位胶原纤维组织结构进行破坏,肥大细胞的脱粒率显著降低,针刺效应减弱,说明胶原纤维的形变诱发了肥大细胞脱颗粒。朱海宁等<sup>[29]</sup>对人的皮下肥大细胞进行体外培养,通过膜片钳的记录电极对肥大细胞进行负压刺激,发现细胞膜上的机械敏感型通道TRPV2被激活,促使肥大细胞脱颗粒,进一步运用钙成像技术,发现胞内Ca<sup>2+</sup>浓度增加,并引起了HA分泌释放,HA可以进一步作用于血管、神经末梢,从而传导针刺信号。HUANG M等<sup>[30]</sup>采用提插、捻转手针刺刺激小鼠足三里穴,也证实了

机械刺激可以作用于肥大细胞上的 TRPV2 通道,促进肥大细胞脱颗粒,当 TRPV2 敲除,肥大细胞脱颗粒作用明显减弱,针刺镇痛效应明显减弱。以上研究表明针刺的提插、捻转可以使穴区处的结缔组织产生形变,激活组织间隙的细胞,包括成纤维细胞、肥大细胞,诱发细胞内化学物质(HA,还包括 SP、5-HT、免疫因子等)的释放,引起针刺的物理信号向化学信号的转换,这些化学物质又可作用于邻近的细胞、血管和神经末梢,使得针刺信号级联放大,从而进一步传导针刺信息。

#### 4 针刺化学信号的启动

针刺作为一种有创的机械性的物理刺激,反复刺激可引起局部组织的适度损伤,从而可直接启动化学信号以传导针刺信息。有研究者发现针刺后针尖部位附着有胶原纤维、弹性纤维、成纤维细胞、脂肪细胞和肥大细胞组成的受损筋膜<sup>[31]</sup>。陈静霞等<sup>[32]</sup>针刺大鼠足三里穴,发现针刺可以引起穴区肌纤维的断裂和毛细血管的破裂,在针后 6 h 穴区组织内有大量的中性粒细胞浸润,这些研究表明了针刺是一种创伤性刺激。研究发现,针刺后确实有大量的损伤相关分子的释放,包括腺苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)、腺苷二磷酸(adenosine diphosphate, ADP)、腺苷一磷酸(adenosine monophosphate, AMP)、腺苷、高迁移率族蛋白 1(high mobility group box 1 protein, HMGB1)<sup>[33-34]</sup>,这些损伤相关分子是在组织损伤时由坏死细胞被动释放和(或)激活的免疫细胞主动分泌至细胞外,可作为内源性危险信号参与局部或全身炎症反应<sup>[35]</sup>。针刺引起细胞损伤时,皮肤中的角质形成细胞、成纤维细胞、肥大细胞和其他细胞中的 ATP 会被大量释放出来<sup>[36-37]</sup>,ATP 的代谢产物 ADP、AMP、腺苷在针刺后也是升高的<sup>[38-39]</sup>。针刺引起组织损伤造成的化学物质释放可以直接启动针刺信号,传导针刺信息,发挥针刺效应。例如针刺引起穴区的腺苷含量增高,腺苷可与神经末梢上的 A1 受体结合,产生镇痛作用,将 A1 受体阻断后,针刺则不能发挥镇痛作用<sup>[40-41]</sup>,这说明腺苷在穴位局部启动了针刺效应。此外,QU F 等<sup>[17]</sup>取大鼠足三里穴的皮下组织,在显微镜下分离筋膜结缔组织,用胰蛋白酶分离获得原代成纤维细胞,发现给予腺苷 A3 受体可以激活成纤维细胞膜上的 MAPK 信号通路,诱导成纤维细胞增殖活化,这提示腺苷与 A3 受体结合使成纤维细胞增殖活化可能也是腺苷传递针刺信号的途径

之一。席强等<sup>[42]</sup>通过针刺大鼠足三里穴发现针刺后 HMGB1 浓度升高,高永辉等<sup>[43]</sup>在针刺干预足三里穴治疗慢性压迫性损伤大鼠的坐骨神经,发现 HMGB1 可通过其受体 CD24 上调 $\beta$ -内啡肽的水平而参与针刺引起的外周免疫调节,从而产生镇痛效果。这些研究表明,针刺的创伤性刺激,引起损伤相关分子的释放可直接启动化学信号,这些物质可诱发穴区局部免疫反应,在局部形成一种适度的炎症反应,使得针刺信号级联放大,一方面作用于周围的血管、细胞产生局部效应;另一方面作用于邻近神经末梢,将针刺信息传递至脊髓、进一步传递至大脑,通过各级中枢的整合调制发挥针刺对病灶靶组织的调节作用。

#### 5 讨论

通过上述浅析可知针刺物理刺激作用于穴位时,存在多种信号启动和转导方式。穴位处的感受器即有感受机械刺激的,也有感受化学刺激的,且一些感受器还是多觉型感受器<sup>[44]</sup>;穴区处的细胞也可以被多种刺激和多种物质所激活<sup>[45]</sup>,这些因素决定了针刺信号在穴位处的启动与转导是一个多物质、多细胞互相关联的复杂网络过程。然而目前的研究多是点、线的形式,缺乏面、网的整体研究。因此这个过程的起承转合经过是什么,又是如何交互影响的并不清楚,也缺乏相关研究。根据针刺操作过程和感受器的作用特点,笔者分析这一过程可能存在一定的时序关系。在最初进行针刺时,提插、捻转刺激会率先激活穴区的机械感受器,将针刺机械力信号转变为神经电信号传向中枢,即物理信号启动。这是因为机械敏感通道蛋白介导的机械力传导过程是迄今已知的生物体内最快速的传导体系,可在毫秒内将机械刺激转化为电信号<sup>[46]</sup>,针刺时的得气感产生主要就是机械感受器感受刺激,经神经传导被大脑感知的<sup>[47]</sup>。随着提插、捻转将穴区胶原纤维、肌纤维缠绕在针身,针刺的机械力作用通过整合素-细胞骨架传递给邻近细胞,并促进 MAPK、TRPV2 等信号通路的激活,引起细胞增殖、活化,促进了免疫因子等化学物质的释放,即物理信号向化学信号转导,这些化学物质可作用于血管和神经进一步传递针刺信息。针刺过程中穴位局部可出现潮红现象,可能就与局部化学物质释放,如 HA、5-HT 等作用于周围血管引起血管扩张相关。当针刺反复刺激时,可引起局部组织损伤,释放损伤相关分子、炎症因子等,直接启动化学信号。

针刺后遗留的针感,以及穴区局部的形态色泽变化,可能主要与化学信号的持续刺激相关。这一时序关系研究有助于更清晰地阐释针刺穴位效应的启动-转导过程,对相关环节进行调控,将有助于调控针刺效应,但还需进一步开展科学研究进行论证。

此外,针刺信号的启动和转导方式可能与针刺刺激量存在一定的相关性。由于不同感受器,兴奋/激活的阈值不一样,针刺刺激量存在强弱差异。较弱的提插、捻转刺激可能激活的是低阈值感受器,如  $A\alpha$ 、 $A\beta$  神经纤维末梢,以物理信号启动为主;而中、强度的提插捻转刺激,以及长时间的刺激,通过结缔组织形变激活邻近的功能细胞,或者直接引起了局部组织的适度损伤,可能以物理-化学信号转导,以及化学信号的直接启动为主。以上所述有待进一步从针刺的时间因素、刺激量因素等角度进行深入研究和论证。穴区信号的不同传导方式如何进一步影响中枢乃至机体的整体调节,对针刺效应有着怎样的贡献都有待进一步探究。

综上,针刺作为一种物理刺激可以直接启动针刺信息的传递,或转换成化学信号后进行信息传导;针刺也是一种有创的机械性刺激,能引起穴位局部损伤相关分子等化学物质释放,通过化学信号启动针刺信息传导。研究针刺信号启动与转导方式,并探讨与针刺时间因素、刺激量因素的关系,以及与针刺疗效的关系,有助于从针刺穴位源头调控针刺效应,促进针刺基础研究的临床转化应用。

### 参考文献

- [1] 白杨,郭义. 针刺效应/信号调节网络初探[J]. 针刺研究, 2013, 38(4): 330-333.
- [2] 郭义. 实验针灸学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2008: 136.
- [3] 原林,白宇,黄泳,等. 经络的解剖学发现—筋膜学新理论[C]//中国针灸学会经络分会. 中国针灸学会经络分会第十届学术会议论文集. 2009: 152-157.
- [4] 王淑娟,艾群. 试论肌肉跳动得气[J]. 辽宁中医杂志, 2001, 28(2): 118.
- [5] 刘峰. 体外不同力学刺激对经脉相关筋膜成纤维细胞整合素—细胞骨架信号传导通路影响的研究[D]. 贵阳: 贵阳中医学院, 2013.
- [6] 李为民,陈颖波,王晓艳,等. 针刺大鼠不同穴位诱发的后三里区域外周传入神经信号特征研究[J]. 上海针灸杂志, 2008, 27(3): 39-42.
- [7] 朋立超,蒋克泉,吴贵龙,等. 针刺麻醉对甲状腺手术区域镇痛的机制[J]. 中国针灸, 2008, 28(12): 910-912.
- [8] 针刺猫“内关”区所兴奋的深部感受器及其传入纤维类别[J]. 针刺研究, 1977, 2(Z1): 26-27.
- [9] 针刺猫腓肠肌区域所兴奋的深部感受器及其传入纤维类别[J]. 针刺研究, 1977, 2(Z1): 28.
- [10] 侯宗濂. 穴位针感感受器及其传入纤维类别[J]. 针刺研究, 1989, 14(Z1): 127-128.
- [11] 董泉声,董新民,李海明,等. 电针对皮肤感受器活动影响的观察[J]. 四川中医, 2002, 20(2): 9-12.
- [12] 赵晏,史文春,侯宗濂. 传统针刺手法对内膝眼穴针刺反应感受器放电的影响[J]. 西安医科大学学报(中文版), 1998, (1): 57.
- [13] LANGEVIN H M, CHURCHILL D L, Cipolla M J. Mechanical signaling through connective tissue: a mechanism for the therapeutic effect of acupuncture[J]. *FASEB J*, 2001, 15(12): 2275-2282.
- [14] 毛志刚,青春,陆树良. 细胞外基质成分及空间形态结构对成纤维细胞生物学行为的影响[J]. 中华烧伤杂志, 2005, 21(3): 238-240.
- [15] CLAYTON A, EVANS R A, PETTIT E, et al. Cellular activation through the ligation of intercellular adhesion molecule-1[J]. *J Cell Sci*, 1998, 111(4): 443-453.
- [16] 郑声星,金胜威,连庆泉. 成纤维细胞参与炎症发生和消退[J]. 生命的化学, 2010, 30(3): 350-353.
- [17] QU F, CUI Y, ZENG J, et al. Acupuncture induces adenosine in fibroblasts through energy metabolism and promotes proliferation by activating MAPK signaling pathway via adenosine3 receptor[J]. *J Cell Physiol*, 2020, 235(3): 2441-2451.
- [18] 陈波,罗永芬,崔瑾,等. 静态压力刺激对大鼠“足三里”穴区及穴旁区域成纤维细胞PGE<sub>2</sub>和IL-6释放影响的比较研究[J]. 中国针灸, 2007, 27(2): 135-140.
- [19] 刘峰,胡铁汉,罗明鸿,等. 体外不同压力刺激对筋膜成纤维细胞整合素 $\beta$ 1亚基和微丝表达的影响[J]. 贵阳中医学院学报, 2016, 38(1): 6-10.
- [20] 熊江艳,陈波,刘峰,等. 张力刺激对经脉筋膜成纤维细胞整合素 $\beta$ 1亚基影响的体外研究[J]. 江西中医药, 2015, 46(10): 31-33.
- [21] 穴位组织中肥大细胞的初步观察[J]. 辽宁中医杂志, 1980, (3): 26-28.

- [22] HERMES B, WELKER P, FELDMANN-BÖDDEKER I, *et al.* Expression of mast cell growth modulating and chemotactic factors and their receptors in human cutaneous scars[J]. *J Invest Dermatol*, 2001, 116(3): 387-393.
- [23] 张迪, 丁光宏, 沈雪勇, 等. 肥大细胞功能对针刺大鼠“足三里”镇痛效应的影响[J]. 针刺研究, 2007, 32(3): 147-152.
- [24] YAO W, YANG H, YIN N, *et al.* Mast cell-nerve cell interaction at acupoint: modeling mechanotransduction pathway induced by acupuncture[J]. *Int J Biol Sci*, 2014, 10(5): 511-519.
- [25] ZHANG D, DING G, SHEN X, *et al.* Role of mast cells in acupuncture effect: a pilot study[J]. *Explore (NY)*, 2008, 4(3): 170-177.
- [26] THEOHARIDES T C. Neuroendocrinology of mast cells: Challenges and controversies[J]. *Experimental Dermatology*, 2017, 26(9): 751-759.
- [27] 裴莹, 赵雪, 李忠正, 等. 钙离子与肥大细胞在针刺效应产生中作用的研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16(12): 1145-1148.
- [28] 余晓佳, 丁光宏, 姚伟, 等. 穴位处胶原纤维在针刺大鼠“足三里”镇痛过程中的作用[J]. 中国针灸, 2008, 28(3): 207-213.
- [29] 朱海宁, 张迪, 黄猛, 等. 肥大细胞对针灸治疗过程中的物理刺激的敏感性机制研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2013, 52(5): 681-687, 711.
- [30] HUANG M, WANG X, XIN B, *et al.* Critical roles of TRPV2 channels, histamine H1 and adenosine A1 receptors in the initiation of acupoint signals for acupuncture analgesia[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 6523.
- [31] KIMURA M, TOHYA K, KUROIWA K, *et al.* Electron microscopical and immunohistochemical studies on the induction of “Qi” employing needling manipulation[J]. *Am J Chin Med*, 1992, 20(1): 25-35.
- [32] 陈静霞, 肖淑华, 郭义, 等. 针刺健康大鼠足三里穴对其穴位组织形态学及部分炎性细胞因子含量影响的实验研究[C]//中国针灸学会经络分会. 中国针灸学会经络分会第十二届全国针灸经络学术研讨会论文集. 2012: 42-46.
- [33] MATZINGER P. The danger model: a renewed sense of self[J]. *Science*, 2002, 296(5566): 301-305.
- [34] BIANCHI M E. DAMPs, PAMPs and alarmins: all we need to know about danger[J]. *J Leukoc Biol*, 2007, 81(1): 1-5.
- [35] 栗春梅, 俞晓飞. 高迁移率族蛋白B1在脑出血炎症损伤和修复中的作用研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(13): 2075-2078.
- [36] 卢筱潇. 针刺镇痛时间特征的穴区嘌呤信号响应机理研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2015.
- [37] WANG L, SIKORA J, HU L, *et al.* ATP release from mast cells by physical stimulation: a putative early step in activation of acupuncture points[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 350949.
- [38] 刘泓, 于晓刚. 针刺对急性脑缺血大鼠脑缺血损伤及能量代谢的影响[J]. 四川中医, 2018, 36(11): 55-57.
- [39] 黄伟. 超早期针刺对急性脑缺血大鼠能量代谢的影响及其机制研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2010.
- [40] YU S, HOU D, CHEN P, *et al.* Adenosine induces apoptosis through TNFR1/RIPK1/P38 axis in colon cancer cells[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2015, 460(3): 759-765.
- [41] GOLDMAN N, CHEN M, FUJITA T, *et al.* Adenosine A1 receptors mediate local anti-nociceptive effects of acupuncture[J]. *Nat Neurosci*, 2010, 13(7): 883-888.
- [42] 席强, 崔瑞, 金光, 等. 穴位局部TLR4在针刺后穴位局部炎症反应中作用的初步研究[J]. 天津中医药, 2015, 32(2): 88-92.
- [43] 高永辉, 王俊英, 谭连红, 等. 电针对慢性神经痛大鼠穴位高迁移率族蛋白1及其受体CD24表达的影响[J]. 针刺研究, 2018, 43(9): 537-542.
- [44] DELMAS P. Polycystins: polymodal receptor/ion-channel cellular sensors[J]. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 2005, 451(1): 264-276.
- [45] KIM H S, KAWAKAMI Y, KASAKURA K, *et al.* Recent advances in mast cell activation and regulation[J]. *F1000Res*, 2020, 9: F1000.
- [46] 李娟, 陈珊, 李婧影, 等. 杨黄浩机械敏感通道蛋白的研究进展[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2019, 47(5): 707-713.
- [47] 郭义. 实验针灸学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2016: 92.