

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2022.21.009
文章编号: 1005-8982 (2022) 21-0052-05

综述

根性神经痛动物模型的研究进展*

黄军凯¹, 陈祁青², 赵继荣¹, 马东¹, 杨云云¹

(1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省中医院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 根性神经痛是脊神经根由于各种原因受到伤害性刺激而引起的疼痛, 其发病机制和预防治疗一直是国内外的研究热点。动物模型在阐明根性神经痛的发病机制、测试新药物和治疗方式的研究中起到了非常重要的作用。近年来, 国内外研究者在根性神经痛的临床治疗和基础研究中取得了很大的进展, 更多实用的根性神经痛动物模型被相继提出。该文通过对常见根性神经痛动物模型的种类及模型复制方法进行综述, 以期为根性神经痛的动物实验研究提供参考。

关键词: 根性神经痛; 动物模型; 研究进展

中图分类号: R745.4

文献标识码: A

Research progress on animal models of radicular neuralgia*

Jun-kai Huang¹, Qi-qing Chen², Ji-rong Zhao¹, Dong Ma¹, Yun-yun Yang¹

(1. Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730050, China)

Abstract: Radicular pain is the pain caused by the injurious stimulation of the spinal nerve root for various reasons, its pathogenesis and prophylaxis have always been a popular research topic in our country as well as abroad. Animal models play a very important role in elucidating the pathogenesis of radicular pain, testing new drugs and treatment methods. In recent years, domestic and foreign researchers have made great progress in the clinical treatment and basic research of radicular pain, and more practical animal models of radicular pain have been proposed successively. This article reviews the types and modeling methods of common animal models of radicular pain in order to provide reference for the animal experimental study of radicular pain.

Keywords: radicular neuralgia; models, animal; research progress

根性神经痛是指脊神经根由于机械压迫、炎症、免疫、神经毒性、肿瘤、血供不足、代谢性疾病等因素或其他原因受到伤害性刺激而引起神经根或背根节的异位放电导致的疼痛, 是椎间盘突出、椎管狭窄和椎体退行性改变最常见的症状之一, 也是近年来临床研究的热点^[1-3]。动物模型的复制在根性神经痛的研究中占重要地位, 通过复制动物模型, 能够模拟根性神经性疼痛,

其中大部分是通过通过对脊神经、脊神经根和背神经节等进行操作产生, 不同点在于对脊神经操作的强度、位置和方式不同, 同时由于动物无法用语言表达所受到的伤害性刺激, 因此观察操作后动物各种异常行为的表现也是动物模型制备成功的关键。本文就根性神经痛动物模型的研究进展综述如下。

收稿日期: 2022-05-11

*基金项目: 国家自然科学基金委员会地区科学基金项目(No: 81760877); 甘肃省创新基地和人才计划-自然科学基金(No: 17JR5RA051); 甘肃省中医院博士启动基金项目(No: 2018-1); 国家中医药管理局中药标准化项目(No: GZY-FJS-2020-213)

[通信作者] 陈祁青, E-mail: 15294181975@163.com; Tel: 18093158796

1 根性神经痛模型动物的选择及异常行为观测指标

人类对疼痛的感知过程非常复杂,需要多个水平的神经系统组件共同参与。当前对根性神经痛的发生机制及药理作用等基础研究依赖于动物模型,选择一个合适的动物模型并合理利用实验动物自身特性(解剖、器官、结构、反应性等),不仅能够减少实验误差、降低操作难度,而且可以有效地提高研究质量^[4]。当前用于神经痛模型的动物包含了鼠、兔、羊、猪、猴及狒狒等。虽然灵长类的猴、狒狒等动物与人类在解剖、生理及病理特征上更为接近,制作出的模型更理想且具有实际意义,但由于动物实验伦理和价格昂贵等的限制,且模型的重复性差、实验周期长,难以广泛普及应用。因此,目前临床最广泛应用的还是以鼠、兔等廉价而易操作和获取的动物为主,如SD大鼠、Wistar大鼠、新西兰白兔等^[5-6]。

模型动物在受到有害刺激时可以感受到和人类疼痛相似的感觉并做出反应,但由于动物无法用言语表达疼痛的程度且无法直接测量疼痛程度,因此对神经损伤引起的各种神经行为学异常的观察及正确分析成为动物模型成功和研究根性神经痛的关键。其主要观测指标分为刺激诱发性和非刺激诱发性两种^[7]。刺激诱发性伤害感受观测指标:①机械性痛觉过敏:在动物的尾巴或后爪上施加伤害性机械刺激(常用 von Frey 或 Semmes-Weinstein 系统压迫,测试后退收缩次数),观测动物缩脚、逃跑、嘶叫和攻击性行为等;②热刺激痛觉过敏:应用辐射、红外线等发热源照射动物脚底或运用热探针、热浸泡方式作用于动物脚底产生伤害性刺激,观测咬、舔或畏缩四肢等行为(回缩潜伏期);③冷刺激痛觉过敏:和热刺激观测指标相同,其方法是将动物放置在制冷金属板上或运用冷浸泡、丙酮作用于动物脚底产生伤害性刺激^[8-11]。非刺激诱发性伤害感受观测指标:①自噬或自切行为(动物咬除由于损伤造成神经感觉缺失的身体部分);②自发性保护性行为(躲避、蜷缩、形态异常等);③鬼脸行为(眼眶收紧、鼻子隆起、脸颊隆起、耳朵位置和胡须位置变化等);④步态行为:跛行、拖腿和不使用肢体等行为(常使用步态分析系统进行观测分析);⑤其他行为(舔咬、退缩、搔抓、嘶叫等)^[12-13]。

2 根性神经痛动物模型种类及模型复制方法

现代医学研究发现,根性神经痛的发生机制主要有机械压迫、神经根炎症反应和神经体液反应3种。创建一种理想化的动物模型对于研究这些机制具有重要意义,同时也为探索临床各种治疗方案和新药物测试,以及基础实验研究提供了良好的实验载体。以下概述常用的根性神经痛动物模型种类及模型复制方法。

2.1 L₅/L₆脊神经根结扎损伤模型

L₅/L₆脊神经根结扎损伤模型(spinal nerve ligation, SNL)由KIM和CHUNG^[14]提出,其模型复制方法是运用戊巴比妥钠麻醉大鼠,无菌条件下取俯卧位,在腰椎单侧L₅~S₁左侧切开约5mm的纵向切口,打开背腰筋膜,钝性分离筋膜和椎旁肌肉组织,去除横突后暴露L₅、L₆神经根,在远离背根神经节的位置用6-0的丝线对L₅/L₆脊神经紧密结扎,止血后逐层缝合皮肤。SNL模型使大鼠长期出现机械系异常疼痛、痛觉过敏和持续性疼痛等,这与根性神经痛的病理表现相近,同时该模型也为研究根性神经痛的机制、病理和解剖提供了有力的实验基础^[15-16]。HUANG等^[17]运用SNL大鼠模型研究保留椎旁肌的重要性,通过比较保留和切除椎旁肌两种模型导致的神经病变行为、肌肉损伤和炎症的生化标志物水平,发现保留椎旁肌的SNL大鼠模型术后会产生较少的肌肉损伤和炎症反应,再次证明该模型是一种具有较高可重复性、易于获取且侵入性小的神经性疼痛模型。SNL模型能够较好地定位区分神经根节段且易对其进行损伤操作,有利于研究神经根在根性神经痛机制中的作用,但结扎的松紧度和固定位置不易控制,会产生一定的个体差异,存在一定局限性。

2.2 脊神经根压迫模型

脊神经根压迫模型(chronic spinal nerve root compression model, CNRC)由王拥军等^[18]提出。其模型复制方法是通过腹膜内注射氯胺酮麻醉大鼠,无菌条件下以L₄、L₅椎体间隙为中心取正中切口,逐层切开皮肤,钝性分离肌肉组织后到达椎板,于L₄/L₅处对右侧椎板、棘突和部分小关节进行切除,在手术显微镜下充分暴露右侧L₅神经根后使用硅胶管片放置在神经根周围对其进行压迫,局

部固定后消毒缝合。研究发现, CNRC 模型中硅胶管对脊神经根的慢性压迫会对神经根造成可修复的损伤, 从而在脊髓中激活可修复的小胶质细胞, 激活的胶质细胞可以释放疼痛通路中神经元的可溶性因子导致痛觉过敏和异常性疼痛, 这与腰椎管狭窄症和腰椎间盘突出症的临床表现及病理变化一致, 为研究根性神经痛提供了较理想的模型^[19]。CNRC 模型通过硅胶片对脊神经根进行操作, 较符合脊神经根慢性受压的病理学解剖基础且方便调控损伤的位置和程度, 具有较高的可调控性, 但硅胶管存在移位、脱落风险, 会对实验结果产生一定的影响。

2.3 慢性压迫背根神经节模型

慢性压迫背根神经节模型(chronic compression of dorsal root ganglia, CCD)由第四军医大学胡三觉教授团队^[20]提出。其模型复制方法是运用戊巴比妥钠麻醉大鼠, 无菌条件下取俯卧位, 在腰椎左侧 L₄ ~ L₆ 间垂直切开皮肤, 逐层切开分离皮下肌肉组织后并充分暴露左侧 L₅ 椎间孔, 然后先用一个钝性 L 型细针倾斜 30° 插入 L₅ 椎间孔约 4 mm, 若出现术侧下肢大腿肌肉轻微、短暂的抽搐则表明到达背根神经节, 最后拔出 L 型针并将一根长 4 mm、直径 0.5 ~ 0.8 mm 的不锈钢棒沿原路径插入 L₅ 椎间孔, 出现上述表现后提示模型复制成功, 最后逐层缝合皮肤并使用抗生素预防感染。有研究^[21]发现钢棒的内植会导致神经元体细胞过度兴奋, 出现与痛觉过敏、自发性疼痛和机械异常性疼痛相关的自发动作电位, 同时会保留外周传递的功能, 出现炎症因子的累积和神经胶质细胞的激活, 这与椎间盘突出和椎间孔狭窄引起根性神经疼痛的机制相契合。CCD 模型操作简单便捷、创伤小、且无须打开椎管暴露脊神经根, 大大降低了感染风险, 大鼠成活率高。但由于不同体型大鼠需定制不同大小钢棒器械, 费用较高且存在移位、脱落风险, 存在一定局限性^[22]。

2.4 脊神经根移位模型

该模型由 FINSKAS 等^[23]提出, 又称注射针神经根移位模型。其模型复制方法是采用蒸发异氟烷麻醉大鼠, 无菌条件下在大鼠的左侧 L₃、L₄ 行小关节和椎板切除术后暴露椎间盘和 L₄ 神经根, 然后通过切口针(直径 0.4 mm) 切开 L₃/L₄ 椎间盘, 利

用穿刺针穿刺椎间盘后将 L₄ 神经根侧向移位以达到损伤神经根的效果, 最后将穿刺针头固定在椎体下的骨骼中以产生持久的神经根移位。虽然在针刺过程中容易损伤其他组织器官, 但该模型大鼠神经根损伤比单纯的髓核突出和背根神经节损伤会产生更多的疼痛行为变化(仅限于术侧后爪行为), 是更贴近于临床研究神经根性疼痛的模型之一。有研究^[24]发现椎间盘穿刺的深度能够影响结构性椎间盘退变的速度和严重程度, 且疼痛行为与椎间盘高度降低和炎症状态有关, 而由于背根神经节敏感性增强可能导致促炎细胞因子在疼痛水平中起更重要的作用, 这有助于研究疼痛的机制和治疗方法。

2.5 髓核移植压迫/非压迫(刺激)神经根模型

SHAMJI 等^[25]和 KIM 等^[26]均利用大鼠自体髓核移植压迫神经。模型复制方法是腹膜内注射戊巴比妥麻醉大鼠, 在近端尾部背侧做一切口(约 1 cm), 横向收缩分离肌腱后暴露尾部椎间盘, 然后穿刺该椎间盘并将髓核收集到刮匙后缝合; 取背中线切口, 在 L₅ 棘突左侧切开胸腰筋膜, 侧向牵开椎旁肌, 暴露小关节和椎板间隙, 然后进行部分单侧椎板切开术和内侧小关节切除术, 露出左侧 L₅ 背根神经节, 将取出的自体髓核组织放置在暴露的 L₅ 背根神经节并压迫, 逐层缝合伤口。随着现代医学的进步, 有研究^[27]发现在无机械压迫的情况下, 髓核组织也能够诱导神经根发生炎症反应引发疼痛。CHO 等^[28]采用同样的模型复制方法将大鼠自体髓核组织放置到 L₅ 神经根旁但不对其压迫, 术后通过对大鼠进行机械疼痛阈值观测, 显示大鼠术侧后爪疼痛机械退缩阈值明显降低, 在疼痛行为学方面有稳定表现, 证明了髓核本身也能够引起神经根炎症反应引发疼痛。此类模型利用大鼠自身组织进行操作, 产生的伤害小, 大大降低了操作难度和费用, 可以较好地模拟神经根受压和炎症反应的病理状态, 但该模型只对压迫物大小进行了量化, 未考虑到个体对移植髓核组织的免疫吸收反应, 可能会对标准化的研究产生影响。

2.6 化学神经根炎症模型

该模型由赵彩萍等^[29]提出。其模型复制方法是对大鼠腹腔注射水合氯醛进行麻醉, 无菌条件下以双侧髂前上棘连线的中点为中心取正中切口

(约 2 cm), 顺着棘突方向逐层切开皮肤、皮下组织, 切开深筋膜后钝性分离椎旁肌暴露横突, 用咬骨钳去除横突后暴露 L₄、L₅ 神经根, 将体积分数 4% 甲醛浸泡的无菌滤纸块 (约 0.4 cm × 0.6 cm) 放置在 L₄/L₅ 神经旁边并适当包绕, 固定后逐层缝合。传统观点认为, 机械压迫是引发根性神经痛的主要因素, 但随着分子生物学的深入研究发现, 某些化学性因素的作用导致纤维环破裂髓核漏出, 漏出的髓核内容物的化学刺激和免疫反应能够引起神经根的炎症状态引发神经根性疼痛^[30]。该模型在无机械压力条件下利用一定浓度的甲醛溶液浸泡滤纸后置于大鼠神经根旁, 模拟炎症状态, 引发神经根损害产生根性神经痛, 是一种可行的模型复制方法。但由于不同种类和浓度的化学物质会产生较大的实验差异, 因此需要结合大量的对照实验进行验证。

3 展望

疼痛是一种多维度体验, 需要多种行为学结果研究其发生发展机制^[31]。运用动物作为载体进行实验较临床试验的优点在于, 动物个体之间的差异不明显, 实验组间产生的差异较小。因此用于根性神经痛的理想模型动物也应具有与人类解剖有着较高的相似性和可比拟性, 还应具有重复性高、可控性高和标准化的特征。本文所概述的模型是通过手术对大鼠进行操作, 采用结扎、钢棒、硅胶片、注射针、自体组织以及滤纸等工具对脊神经或背根神经节操作诱发不同程度的损伤、卡压及炎症反应, 这能够较好地模拟不同情况下根性神经疼痛的发生。但仍需对以下问题进行改进: 在压迫模型中, 外部器械(钢棒、硅胶片、注射针等)及移植的自体髓核组织可能会随着动物的不断运动而松动移位甚至掉落, 从而影响实验结果, 因此应当探索不易脱落的固定方式; 在结扎模型中, 结扎的松紧度和位置不易控制, 对不同位置的神经根和松紧度操作可能会导致不同程度的神经纤维损伤, 产生较大的实验差异从而影响实验结果, 因此也应探求一种既保证结扎位置相同, 又保证结扎程度一致且不对神经根产生过量伤害的手段; 在化学诱导神经根炎症模型中, 采用不同种类和浓度的化学物质会在不同研究中产生较大的差异, 对此应当寻求一种安全稳定且浓度合适的化学物

质统一使用。

当前, 根性神经痛模型动物主要以鼠或兔为主, 且大多是对 L₅ 脊神经根进行操作, 其原因是 L₅ 脊神经是最易模拟发生损伤的部位且与人类脊神经位置符合; 而 L₄ 脊神经根损伤容易导致动物自主行为的运动障碍, L₆ 脊神经根较人体解剖结构位置偏低, 操作起来相对困难, 这都会影响疼痛行为的观察和测量, 应用较少。此外, 近年来也有一部分研究者采用离断^[32]、夹子^[33]、外固定架^[34]以及遗传学工具^[35]等对大鼠的脊神经根进行操作, 以此来模拟神经性疼痛, 虽然取得了一定的成果, 但是这些方式操作过程较为复杂、手术范围较大、成功率低且不易推广, 目前使用较少。

迄今为止, 国内外众多研究者通过动物模型从不同角度对根性神经痛进行模拟、复制。运用手术物理损伤和化学炎症诱导等方式复制模型, 为根性神经痛的研究提供了不同的参考模型, 但根性神经痛的发生机制仍不明晰。因此, 在未来的研究中, 应改良和创新诱发根性神经痛的模型复制方法, 增强动物模型临床可操作性, 以及减少动物模型与人类解剖和生理结构的差异, 开发一种可调控性高、重复性好、操作简便、投入小, 能够真实模拟人类生理解剖结构, 产生与人类高度统一的根性神经痛症状和感觉变化且能引起可靠的行为学和功能学疼痛表现的理想模型。相信随着根性神经痛动物模型的不断发展, 更理想的模型终将被开发出来, 未来人们终将解决疼痛相关的未知问题。

参 考 文 献 :

- [1] 温爽, 孙涛. 根性神经痛免疫学研究进展[J]. 中国疼痛医学杂志, 2019, 25(7): 483-487.
- [2] 余伟杰, 刘继华, 秦毅, 等. 扩散张量成像在腰骶部根性神经痛中的应用进展[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(2): 393-397.
- [3] PATEL E A, PERLOFF M D. Radicular pain syndromes: cervical, lumbar, and spinal stenosis[J]. Semin Neurol, 2018, 38(6): 634-639.
- [4] MOGIL J S, DAVIS K D, DERBYSHIRE S W. The necessity of animal models in pain research[J]. Pain, 2010, 151(1): 12-17.
- [5] 马晟, 贾育松, 孙旗. 体内腰椎间盘退变动物模型的研究与进展[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(11): 1790-1797.
- [6] 张天龙, 赵继荣, 陈祁青, 等. 杜仲腰痛丸对腰椎间盘突出慢性下肢痛模型大鼠疼痛行为学影响[J]. 辽宁中医药大学学报, 2022, 24(2): 20-24.

- [7] YAM M F, LOH Y C, OO C W, et al. Overview of neurological mechanism of pain profile used for animal "pain-like" behavioral study with proposed analgesic pathways[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(12): 4355.
- [8] BRADMAN M J G, FERRINI F, SALIO C, et al. Practical mechanical threshold estimation in rodents using von Frey hairs/Semmes-Weinstein monofilaments: towards a rational method[J]. *J Neurosci Methods*, 2015, 255: 92-103.
- [9] SAKUMA T, KAMODA H, MIYAGI M, et al. Comparison of CatWalk analysis and von Frey testing for pain assessment in a rat model of nerve crush plus inflammation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(15): E919-E924.
- [10] DEUIS J R, VETTER I. The thermal probe test: a novel behavioral assay to quantify thermal paw withdrawal thresholds in mice[J]. *Temperature (Austin)*, 2016, 3(2): 199-207.
- [11] ALLCHORNE A J, BROOM D C, WOOLF C J. Detection of cold pain, cold allodynia and cold hyperalgesia in freely behaving rats[J]. *Mol Pain*, 2005, 1: 36.
- [12] AKINTOLA T, RAVER C, STUHLACK P, et al. The grimace scale reliably assesses chronic pain in a rodent model of trigeminal neuropathic pain[J]. *Neurobiol Pain*, 2017, 2: 13-17.
- [13] LAKES E H, ALLEN K D. Gait analysis methods for rodent models of arthritic disorders: reviews and recommendations[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2016, 24(11): 1837-1849.
- [14] HO KIM S, MO CHUNG J. An experimental model for peripheral neuropathy produced by segmental spinal nerve ligation in the rat[J]. *Pain*, 1992, 50(3): 355-363.
- [15] 王江栓, 李变锋. 大鼠脊神经选择性结扎镜像痛模型的筛选建立[J]. *中国医学创新*, 2014, 11(18): 30-32.
- [16] CHUNG J M, KIM H K, CHUNG K. Segmental spinal nerve ligation model of neuropathic pain[J]. *Methods Mol Med*, 2004, 99: 35-45.
- [17] HUANG Y G, ZHANG Q, WU H, et al. A comparison of surgical invasions for spinal nerve ligation with or without paraspinous muscle removal in a rat neuropathic pain model[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 6741295.
- [18] 王拥军, 万超, 沈培芝, 等. 实验性腰神经根压迫模型的建立[J]. *中国中医骨伤科*, 1999, 7(1): 9-12.
- [19] XUE F, WEI Y Z, CHEN Y Q, et al. A rat model for chronic spinal nerve root compression[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(2): 435-446.
- [20] HU S J, XING J L. An experimental model for chronic compression of dorsal root ganglion produced by intervertebral foramen stenosis in the rat[J]. *Pain*, 1998, 77(1): 15-23.
- [21] ZHANG Y, ZHAO D, LI X T, et al. The Wnt/ β -catenin pathway regulated cytokines for pathological neuropathic pain in chronic compression of dorsal root ganglion model[J]. *Neural Plast*, 2021, 2021: 6680192.
- [22] 林志刚, 蒋诗超, 程艳彬, 等. 推拿对腰椎间盘突出症大鼠DRG神经元P2X₃受体影响的实验研究[J]. *中华中医药学刊*, 2017, 35(10): 2475-2479.
- [23] FINSKAS O, BLIXT A, FUJIOKA Y, et al. New, clinically more relevant model for nerve root injury in the rat[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(20): 1744-1748.
- [24] LAI A, MOON A, PURMESSUR D, et al. Annular puncture with tumor necrosis factor-alpha injection enhances painful behavior with disc degeneration *in vivo*[J]. *Spine J*, 2016, 16(3): 420-431.
- [25] SHAMJI M F, ALLEN K D, SO S, et al. Gait abnormalities and inflammatory cytokines in an autologous nucleus pulposus model of radiculopathy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(7): 648-654.
- [26] KIM S J, PARK S M, CHO Y W, et al. Changes in expression of mRNA for interleukin-8 and effects of interleukin-8 receptor inhibitor in the spinal dorsal horn in a rat model of lumbar disc herniation[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(25): 2139-2146.
- [27] ZHANG J J, SONG W, LUO W Y, et al. Autologous nucleus pulposus transplantation to lumbar 5 dorsal root ganglion after epineurium dissection in rats: a modified model of non-compressive lumbar herniated intervertebral disc[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2011, 124(13): 2009-2014.
- [28] CHO H K, AHN S H, KIM S Y, et al. Changes in the expressions of Iba1 and calcitonin gene-related peptide in adjacent lumbar spinal segments after lumbar disc herniation in a rat model[J]. *J Korean Med Sci*, 2015, 30(12): 1902-1910.
- [29] 赵彩萍, 朱美玲, 王婷婷, 等. 化学神经根炎症模型大鼠的制备及评价[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(7): 1030-1034.
- [30] 杜盛阳, 曹雷. 疼痛椎间盘的纤维环破裂与患者下肢放射痛的关系及化学性神经根炎的病理机制分析[J]. *颈腰痛杂志*, 2018, 39(5): 674-675.
- [31] SEGELCKE D, PRADIER B, REICHL S, et al. Investigating the role of Ly6G⁺ neutrophils in incisional and inflammatory pain by multidimensional pain-related behavioral assessments: bridging the translational gap[J]. *Front Pain Res (Lausanne)*, 2021, 2: 735838.
- [32] 褚海辰, 王世端, 江岩, 等. 腰4脊神经切断大鼠慢性神经病理性疼痛模型的建立[J]. *中华麻醉学杂志*, 2006, 26(2): 170-172.
- [33] IGARASHI T, YABUKI S, KIKUCHI S, et al. Effect of acute nerve root compression on endoneurial fluid pressure and blood flow in rat dorsal root ganglia[J]. *J Orthop Res*, 2005, 23(2): 420-424.
- [34] 孔令军, 房敏, 詹红生, 等. 大鼠腰椎亚脱位模型刚度及其脊髓前角尼氏小体变化研究[J]. *中华中医药杂志*, 2012, 27(12): 3234-3237.
- [35] SAKAI D, NISHIMURA K, TANAKA M, et al. Migration of bone marrow - derived cells for endogenous repair in a new tail-looping disc degeneration model in the mouse: a pilot study[J]. *Spine J*, 2015, 15(6): 1356-1365.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 黄军凯, 陈祁青, 赵继荣, 等. 根性神经痛动物模型的研究进展[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(21): 52-56.

Cite this article as: HUANG J K, CHEN Q Q, ZHAO J R, et al. Research progress on animal models of radicular neuralgia[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2022, 32(21): 52-56.