

大鼠星状神经节阻滞方法的综述

胡 可, 张炳东*

(广西医科大学第一附属医院, 南宁 530000)

【摘要】 星状神经节(stellate ganglion, SG)在功能上属于交感神经节,星状神经节阻滞(stellate ganglion block, SGB)是指通过各种方法使星状神经节所支配区域——头、面、颈、上肢及上胸部交感神经阻滞的方法,且已证实其在全身多个系统产生治疗或保护作用,但具体机制尚未阐明;大鼠SG的解剖和功能与人类类似,是模仿人类SGB的理想模型,大鼠SGB模型的建立将为研究SGB的分子生物学种种机制提供基础。当前对大鼠星状神经节阻滞的方法鲜有描述,大多作为实验操作部分简单带过,尚未有文献对其进行相关总结,故在此就大鼠SGB模型建立方法进行综述。

【关键词】 星状神经节;交感神经系统;神经阻滞;大鼠

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2018) 09-0115-05

doi: 10. 3969/j. issn. 1671 - 7856. 2018. 09. 021

A review of rat stellate ganglion block

HU Ke, ZHANG Bingdong*

(First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530000, China)

【Abstract】 The stellate ganglion (SG) is functionally a sympathetic ganglion. Stellate ganglion block (SGB) refers to a variety of methods for sympathetic blockade of the head, face, neck, upper limbs, and upper chest, which are innervated by stellate ganglia. SGB has been demonstrated to produce therapeutic or protective effects in multiple systems throughout the body, but the exact mechanism involved has not yet been elucidated. Rat SG resembles the anatomy and function of the equivalent system in human, so rat is an ideal model for mimicking human SGB and can provide a basis for researching the molecular biological mechanism behind the effects of SGB. At present, the methods of rat SGB have rarely been described and mostly have been simply mentioned as part of the experimental operation, and there is no literature to summarize the approaches used. Therefore, the method for establishing the rat SGB model is reviewed here.

【Keywords】 stellate ganglion; sympathetic nervous system; nerve block; rat

几乎所有(99.6% ~ 100%)的颈部交感神经节后神经元都存在于星状神经节(stellate ganglion, SG)中^[1],所以星状神经节阻滞(stellate ganglion block, SGB)能很好地产生支配区域的交感神经抑制效应。目前,对于SGB的实验研究已涉及各个系统,颈胸区、同侧上肢/头面部的慢性疼痛、创伤后

应激障碍、中枢神经系统、心血管系统,消化系统、潮热的治疗、内分泌系统等,并有报道在皮炎、乳腺癌淋巴水肿、破伤风、痛经的治疗方面有所疗效。SGB作为一项越来越常用的医疗手段,对于交感神经活动过度或者研究调节自主神经系统稳态的作用、疼痛治疗等相关方向的研究有着很大的前景,

【基金项目】 广西重点研发计划(桂科 AB16380240)。

【作者简介】 胡可(1992—),女,硕士研究生,研究方向:心胸麻醉及体外循环。E-mail: Shirehu@163.com

【通信作者】 张炳东(1962—),男,主任医师,硕士研究生,研究方向:心胸麻醉及体外循环。E-mail: Zbdong2007@126.com

其适应症逐渐增多,涉及全身系统。现在关于 SGB 的动物模型虽也有犬、兔等^[2-3],但绝大多数还是大鼠模型。大鼠 SG 的解剖学与人类非常类似。在人体,颈下神经节位于第七颈椎椎骨的横突上,第一胸神经节位于第一肋骨颈部的前方。在约 80% 的人中,它们融合在一起形成 SG(C6 ~ T1)^[4]。它是一个椭圆形结构,与脊髓长轴平行,通常位于 C7 ~ T1 水平椎骨骨性结构前方 0.5 cm。其前方是锁骨下动脉和椎动脉,后方是 C7 横突基底部、第一肋骨颈和椎前筋膜,内后侧为颈长肌,外侧是斜角肌群,前下方是胸膜顶和肺尖^[5];在大鼠中,SG 多由颈下神经节和前 3 个胸交感神经节(C6 ~ T3)融合在一起,位于颈总动脉的背侧,前 2 个胸椎的水平^[6]。以第七颈椎为标志,位于横突的外上方^[7];以胸锁关节为标志,位于锁骨后方,胸锁关节外侧约 0.3 cm 处,其下为粗大的臂丛神经^[8]。功能方面,人类和大鼠 SG 的神经支配类似。SGB 在人体的效应能在大鼠身上得到同样的验证。SG 可调节所支配区域的功能与感觉传导以及通过去甲肾上腺素能通路调节血流、出汗、毛发直立和内脏动态平衡^[9]。SGB 在心血管系统应用广泛,由于正常的生理反馈与其他自主神经的共同调节,SGB 对正常人和大鼠的血流动力学均无明显影响^[10-11]。但可控制高血压患者的血压,并能适度扩张局部狭窄血管^[12-13],对于高血压大鼠亦是如此,并延缓心室重塑^[14],扩张冠脉减少大鼠心肌梗面积^[15]。SGB 常常被用于治疗各类疼痛^[16],但是对于大鼠疼痛模型痛阈的影响研究尚未见报道,考虑与痛觉具有一定的主观性有关,有较好的研究前景;SG 与下丘脑、杏仁核、岛叶和腹内侧颞叶皮层区域有广泛的神经元连接^[17],对于正常人与正常大鼠 SGB 均表现出相对镇静的效果^[18-19];SGB 已被证明可维持自主神经系统的稳定性并影响神经内分泌系统,在临床用于抑郁症的辅助治疗^[20];近期的研究结果显示 SGB 可以减轻慢性压力引起的大鼠抑郁样行为,并且这些保护作用机制与 HPA 轴的作用有关^[21],而这又与 SGB 能降低人体儿茶酚胺含量的结果相一致^[22],从而得以探究 SGB 抗抑郁的分子学机制。以上,在解剖与功能上,大鼠 SGB 都能很好地映射人类 SGB。因此,大鼠是模拟人类 SGB 的合适模型,而且操作方便、价格相对低廉。当前相应的动物实验则主要在研究神经系统^[21, 23]、心血管系统^[24-25],还有更多的系统尚未涉及。为了揭示 SGB 更多的机制,使其更安

全、成熟地应用于临床,动物实验需要持续跟进。当前对于大鼠 SGB 造模方法的报道鲜有几篇,作为实验操作步骤的描述也在相关文献中几句带过,笔者在此总结了文献中 SGB 的各类方法,并探究更多的 SGB 可行方案。

1 有创法

SGB 是指通过各种方法,可逆或者不可逆性阻滞 SG 节前节后纤维的神经传导,使其所支配区域产生交感抑制状态。目前的方法主要有:手术暴露法和经皮注射法。手术暴露法:颈正中做切口,手术暴露 SG,行神经干离断或者注入局麻药;经皮注射法:根据 SG 的体表解剖标志,将局部麻醉药经皮注射在包裹 SG 的疏松结缔组织内,局麻药对神经细胞膜上电压门控钠通道的阻断作用,使神经膜电位难以达到动作电位阈值,产生完全和可逆性的神经冲动和传导的阻断效应^[26]。相关实验的局麻药选择多为 0.25% 布比卡因,单次 0.12 ~ 0.2 mL。布比卡因属于长效局麻药,局部浸润效果好、价格便宜。Malmqvist 等^[27]建议成功的颈部交感神经阻滞应满足五个标准,包括 300 s 内霍纳综合征、皮肤温度升高、血流量增加、阻滞侧皮肤阻力反应消失等。可使用激光多普勒血流计测量头面部血流量,热成像测量头面部温度^[28]。但是往往受限于仪器,更方便的判断指标是观察体征——霍纳综合征:眼睑下垂、瞳孔缩小等^[7, 29]。以不知情的第三者评价效果。

1.1 手术暴露法

常规麻醉大鼠后,沿颈正中线切开皮肤,钝性分离皮下肌肉及胸锁乳突肌,于食管气管旁暴露颈动脉鞘,可见颈总动脉及其伴行神经。于食管往头端寻找,在颈总动脉分叉处的背侧,可见一较大的团状神经节,为颈上神经节(superior cervical ganglion, SCG)^[30];沿神经往尾端寻找,在椎动脉及锁骨下动脉起始处找到 1 ~ 2 mm 梭形或星形的黄色神经团即 SG。两神经节之间为颈交感神经干(cervical sympathetic trunk, CST)。

1.1.1 颈交感神经干离断

颈交感神经干离断(transection of cervical sympathetic trunk, TCST)后出现的持续眼裂狭小与 SGB 后的眼睑下垂相一致,长期反复的 SGB 与颈交感神经干离断为同样的效果^[31]。无菌操作下暴露颈上神经节后,在距其下 3 mm 处离断颈交感神经干,并将断端结扎,缝合切口。

1.1.2 SG 旁置管

无菌操作下暴露 SG, 选择粗细适宜的导管(如 PE10、PE20 或 PE50 管), 一端开口置于 SG 处, 另一端从颈部背后皮肤穿出以便连续推药, 用丝线将导管分别固定在肌肉上与皮肤上^[14]。这种方法可产生长期反复的 SGB 效果, 避免多次有创操作; 而且以后是清醒状态下 SGB 而非常规麻醉, 接近于临床患者的局麻下 SGB。但置管后有发生管道移位与脱落、污染的风险, 影响实验结果的准确性^[8]。

1.1.3 直视下注药

无菌操作下暴露 SG, 于 SG 处注射适量局麻药。在颈交感神经干处注入局麻药^[32], 也能产生 SGB 的效果。然后缝合切口。该法为直视下 SG 阻滞, 效果确切, 但也仅为单次阻滞, 不易重复。

1.2 经皮注射法

给予常规麻醉剂量约 2/3 的麻醉药腹腔注射, 或给予低浓度异氟烷, 使大鼠轻度麻醉, 便于观察眼睑下垂^[21]。对照组可注入等量的生理盐水。Abdi 等^[7]的实验显示生理盐水注射对照并不会产生眼睑下垂等 SGB 体征。该法操作简单, 低痛苦, 可重复, 但是因为盲打, 成功率因人而异。实验者需要清楚了解大鼠 SG 的解剖位置, 并多次练习。注射时建议先提起穿刺部位的皮肤, 待针尖穿刺至皮下肌层, 固定皮肤再次定位后继续向下穿刺, 避免用力过大导致穿刺损伤, 或针尖位置在皮下的改变。

1.2.1 后入路法

大鼠俯卧位。以 C7 棘突的软骨作为标识, 它位于两个肩胛骨之间, 距离周围组织高约 0.5 cm。依靠这个解剖标志找到第六、七颈椎横突, SG 在横突之间紧贴脊柱的位置^[33]。触摸该结构, 将 1 mL 注射器插入到 C7 棘突旁开 2 mm, 从 C6 ~ C7 横突间穿过, 沿着 C7 椎体侧缘矢状位向前推进。当针尖失去与椎体的接触(表明它已经到达椎体的前面), 后退约 0.5 mm, 回抽无血和脑脊液, 将局部麻醉药注入。

1.2.2 外侧入路法

大鼠侧卧位, 左手第一和第三手指用来固定住大鼠颈椎, 同时用第二手指触摸 C7, 右手持胰岛素注射器从大鼠侧面横向插向椎体前端表面, 碰到椎体后回抽无血无脑脊液, 注入麻醉药。由于两个手指对脊椎的固定与控制, 与其他法相比, 该法可更快出现上睑下垂^[34]。亦可从 C7 横突的方向略向前朝脊髓方向进针, 遇骨质后不动, 回抽无血、无脑脊液后注入麻醉药^[33]。

1.2.3 前入路法

大鼠仰卧位。以胸锁关节为体表标识, 使用 4.5 号注射器(1 mL)针头以胸锁关节外侧方 0.3 cm 处作为穿刺点垂直进针穿刺(穿刺时紧贴锁骨下缘)。SG 下约 0.3 cm 为粗大的臂丛神经, 穿刺针尖触及臂丛神经后大鼠可表现为对应侧的上肢颤动, 此可作为穿刺成功的标志, 但不一定都会出现。注入适量麻醉药。穿刺时针头尽量不要偏向外侧和尾侧, 并且针尖斜面朝上有利于增加阻滞成功的概率^[8]。

当前大鼠 SGB 的方法绝大部分为上述的有创法。其中手术法的优点是直视下操作, 准确率得以保证; 缺点是操作较为复杂, 创伤较大, 术后有感染的风险。神经离断法、单次给药、置管后连续给药的阻滞效果是否在程度上有统计学差异未经考证, 比如与需要间歇性局部给药的 SGB 相比, 颈上交感神经节切除持续阻断了交感神经系统, 导致下颌角血流持续增加, 颈上神经节阻滞(superior cervical ganglion block, SCGB)对神经再生的影响要大于 SGB^[28], 同时该法也是临床上星状神经节阻滞无法模拟的操作。经皮注射法创伤轻微, 其中: 后路注射法以大鼠 C7 的棘突为定位点, 针尖紧贴椎骨侧缘、从 C6 ~ C7 横突间穿过, 但在实际操作中大鼠的横突很难触及到, 若穿刺位点错位有可能引起椎旁阻滞^[8, 34], 因此较前路法有稍高的死亡率; 侧路注射法药物更容易到达 SG, 其针尖穿过区域多为肌肉, 并发症更少; 前入路法中, 胸锁关节容易定位, 操作简单, 成功率高, 并发症少, 可能引起臂丛神经阻滞, 穿刺到锁骨下静脉会引起大小约为(0.4 ± 0.1) cm 的局部小血肿, 对实验进展一般无影响^[8]。

2 物理模式方法

除了以上方法外, 微创或无创技术的发展也为大鼠 SGB 提供了启发。物理替代模式(physical agent modalities)进行的无创性 SGB 在临床上可以作为常规侵入性 SGB 的替代方法。没有潜在的并发症, 方便实施, 患者耐受性好。

2.1 超声

超声(ultrasound, US)技术在动物模型中的应用已屡见不鲜, 大鼠体型较小, 超声应用相对困难, 相关报道多在如血流量、肿瘤^[35-36]等方面。de Lange 等^[37]用超声来引导大鼠右颈动脉插管; 除了超声引导外, 治疗性超声通过直接刺激神经可达到神经阻滞效果。高强度聚焦超声(high-intensity focused ultrasound, HIFU)引导下神经传导阻滞已经在正常

大鼠模型中应用^[38], Lee 等^[39]证实其在低强度 (390 W/cm², 5 s, 5.7 MHz) 下, 可安全可逆地抑制糖尿病大鼠的坐骨神经传导。该法主要是对超声探头有更高的要求。

2.2 光照法/光疗法

研究证明, 光照法照射星状神经节, 能在疼痛缓解、周围血流量和皮肤温度的增加、正常心率变异性的恢复以及维持神经性疼痛综合征患者体内平衡方面表现出临床疗效, 是交感神经阻滞方面的临床证据^[40], 因此被认为是注射禁忌症患者的替代方案。低强度激光治疗 (low-level light therapy, LLLT) 照射 SG 区域, 会产生类似于常规 SGB 的有益效果, 眼动脉和视网膜中央动脉的血流量显著增加, 是传统 SGB 法增加球后血流的有效替代方法^[41], 但还没有报道会导致 Horner 综合征的表现^[42]。Momota 等^[43]曾用直线偏振近红外光 (0.6 ~ 1.6 μm) 的高功率脉冲照射 SG 来治疗交感神经活动过度的灼口综合征, 并能缓解各种慢性疼痛^[44]。疝气光疗装置产生的疝光, 波长接近红外区域。它的优点是通过使用脉冲宽度短于热扩散所需时间的脉冲波, 在抑制热能的聚集同时提高光能量, 增强治疗效果, 极少产生灼伤; 同时被水、黑色素和血红蛋白吸收率很小, 具有优良的穿透性^[45]。大鼠体积较小, 光疗照射范围、强度、深度相对更难控制, 需要更小的光疗装置。同时合适的光疗参数也需实验重新探索。

2.3 光遗传学

光遗传学方法^[46]的发展, 为神经阻滞模型建立的精准化和可控化提供了更为有力的方案。建立在前述基础上, 向特定神经节注射载体病毒、转染含激动子或者抑制子的光敏蛋白 (视蛋白); 同时置入发光二极管, 固定于体外; 再用相应的激光通过发光二极管照射该部位, 从而沉默或增强该基因靶向神经元的活性^[47]。Yu 等^[48]通过在犬的 SG 神经元注射含抑制性光敏视蛋白 ArchT 载体的病毒, 4 周后用瞬时发光二极管照明该处, 产生了 SGB 的效应。其机制为诱发了神经元的超极化^[49]。该法可以按照实验要求随时控制 SG 的活性, 但技术操作复杂, 需要制备光敏蛋白重组病毒、转染至相应神经元, 并且在相应部位植入光纤, 耗时较长。

当前的实验技术基本能满足大鼠 SGB 模型的建立, 需要在了解解剖的基础上, 多加练习。随着未来无创技术的发展, 大鼠等小型动物的 SGB 会更加方便、精确、可控。

参考文献:

- [1] Baron R, Jänig W, With H. Sympathetic and afferent neurones projecting into forelimb and trunk nerves and the anatomical organization of the thoracic sympathetic outflow of the rat [J]. *J Auton Nerv Syst*, 1995, 53(2-3): 205-214.
- [2] Liu Y, Tao T, Li W, et al. Regulating autonomic nervous system homeostasis improves pulmonary function in rabbits with acute lung injury [J]. *BMC Pulm Med*, 2017, 17(1): 98.
- [3] 周祁娜, 姜涛, 季萌, 等. 星状神经节电刺激建立交感神经介导的急性房颤犬模型 [J]. *中国实验动物学报*, 2013, 21(1): 5-10.
- [4] Elias M. Cervical sympathetic and stellate ganglion blocks [J]. *Pain Physician*, 2000, 3(3): 294-304.
- [5] 卢光, 易晓斌, 陶蔚, 等. 星状神经节阻滞技术的临床应用 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2015, 21(1): 56-59.
- [6] Hedger JH, Webber RH. Anatomical study of the cervical sympathetic trunk and ganglia in the albino rat (*Mus norvegicus albinus*) [J]. *Acta Anat (Basel)*, 1976, 96(2): 206-217.
- [7] Abdi S, Yang Z. A novel technique for experimental stellate ganglion block in rats [J]. *Anesth Analg*, 2005, 101(2): 561-565, table of contents.
- [8] 董林林. 大鼠星状神经节位置解剖与新型阻滞途径 [J]. *新乡医学院学报*, 2015, 32(12): 1078-1080.
- [9] Maki PM, Rubin LH, Savarese A, et al. Stellate ganglion blockade and verbal memory in midlife women: evidence from a randomized trial [J]. *Maturitas*, 2016, 92: 123-129.
- [10] Puente de la Vega Costa K, Gómez Perez MA, Roqueta C, et al. Effects on hemodynamic variables and echocardiographic parameters after a stellate ganglion block in 15 healthy volunteers [J]. *Auton Neurosci*, 2016, 197: 46-55.
- [11] Yoshimoto M, Wehrwein EA, Novotny M, et al. Effect of stellate ganglionectomy on basal cardiovascular function and responses to β_1 -adrenoceptor blockade in the rat [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2008, 295(6): H2447-H2454.
- [12] 刘维刚, 王利, 关怀, 等. 星状神经节阻滞治疗原发性高血压效果的临床研究 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2006, 12(6): 368-369.
- [13] 梁佩玲, 魏爱生, 古柱亮. 针刺星状神经节对早期糖尿病下肢动脉粥样硬化的影响 [J]. *中国针灸*, 2016, 36(5): 476-480.
- [14] 陈永权, 胡光祥, 付群, 等. 星状神经节阻滞对自发性高血压大鼠血压的影响 [J]. *浙江大学学报 (医学版)*, 2012, 41(1): 65-68.
- [15] Gulcu-Bulut N, Gonca E, Kocoglu H, et al. Pretreatment with stellate ganglion blockade before ischemia reduces infarct size in rat hearts [J]. *Saudi Med J*, 2010, 31(2): 148-152.
- [16] Sinofsky A, Sharma T, Wright T. Stellate ganglion block for debilitating photophobia secondary to trigeminal, postherpetic neuralgia [J]. *Pain Pract*, 2016, 16(7): E99-E102.
- [17] Westerhaus MJ, Loewy AD. Central representation of the sympathetic nervous system in the cerebral cortex [J]. *Brain Res*, 2001, 903(1-2): 117-127.

- [18] Yeo J, Jeon Y. Effects of stellate ganglion block on sedation as assessed by bispectral index in normal healthy volunteers [J]. *Pain Physician*, 2015, 18(2): 173–178.
- [19] Jeong S, Jeon Y, Yeo J, et al. The effects of stellate ganglion block on the electroencephalogram in rats [J]. *J Anesth*, 2014, 28(4): 601–605.
- [20] 史继红, 张敬悬. 抗抑郁药物联合星状神经节阻滞治疗躯体形式障碍临床评价 [J]. *精神医学杂志*, 2015, 28(5): 354–357.
- [21] Wang W, Shi W, Qian H, et al. Stellate ganglion block attenuates chronic stress induced depression in rats [J]. *PLoS One*, 2017, 12(8): e0183995.
- [22] Chen YQ, Xie YY, Wang B, et al. Effect of stellate ganglion block on hemodynamics and stress responses during CO₂-pneumoperitoneum in elderly patients [J]. *J Clin Anesth*, 2017, 37: 149–153.
- [23] 毕燕琳, 王彬, 尹曾, 等. 星状神经节阻滞对老龄大鼠术后海马神经元腺苷酸活化蛋白激酶和星形胶质细胞的影响 [J]. *中华医学杂志*, 2014, 94(28): 2222–2226.
- [24] Hao W, Yang R, Yang Y, et al. Stellate ganglion block ameliorates vascular calcification by inhibiting endoplasmic reticulum stress [J]. *Life Sci*, 2018, 193: 1–8.
- [25] Wei N, Chi M, Deng L, et al. Antioxidation role of different lateral stellate ganglion block in isoproterenol-induced acute myocardial ischemia in rats [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2017, 42(5): 588–599.
- [26] 顾永伟, 王晔, 唐艳红, 等. 星状神经节阻滞对家兔心肌梗死后心室肌电生理特性的影响 [J]. *中华心律失常学杂志*, 2009, 13(6): 454–457.
- [27] Malmqvist EL, Bengtsson M, Sörensen J. Efficacy of stellate ganglion block: a clinical study with bupivacaine [J]. *Reg Anesth*, 1992, 17(6): 340–347.
- [28] Kubota K, Sunada K. Changes in blood flow at the mandibular angle and Horner syndrome in a rat model of superior cervical ganglion block [J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2018, 18(2): 105–110.
- [29] Cavallotti C, Frati A, Sagnelli P, et al. Re-evaluation and quantification of the different sources of nerve fibres supplying the rat eye [J]. *J Anat*, 2010, 206(3): 217–224.
- [30] 郎海丽, 胡小兰, 陈勇, 等. 星状神经节阻滞对糖尿病大鼠细胞免疫功能的影响 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2016, 36(5): 584–587.
- [31] Iwama H. Can superior cervical ganglionectomy be an experimental model of stellate ganglion block? [J]. *Masui*, 1997, 46(4): 565–567.
- [32] 陈勇, 杜晓红, 金夏, 等. 星状神经节阻滞对老龄大鼠血清 S100 β 蛋白、NSE 及术后认知功能的影响 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2013, 29(10): 1020–1023.
- [33] 龚兴瑞, 张炳东, 陈燕桦, 等. 局部注射法建立大鼠星状神经节阻滞模型的探讨 [J]. *微创医学*, 2010, 5(1): 4–5.
- [34] Gulcu N, Gonca E, Kocoglu H. A lateral percutaneous technique for stellate ganglion blockade in rats [J]. *Anesth Analg*, 2009, 108(5): 1701–1704.
- [35] Faustino-Rocha AI, Gama A, Oliveira PA, et al. A contrast-enhanced ultrasonographic study about the impact of long-term exercise training on mammary tumor vascularization [J]. *J Ultrasound Med*, 2017, 36(12): 2459–2466.
- [36] Liang Y, Chen J, Zheng X, et al. Ultrasound-mediated kallidinogenase-loaded microbubble targeted therapy for acute cerebral infarction [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(3): 686–696.
- [37] de Lange F, Yoshitani K, Podgoreanu MV, et al. A novel survival model of cardioplegic arrest and cardiopulmonary bypass in rats: a methodology paper [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2008, 3: 51.
- [38] Foley JL, Little JW, Vaezy S. Effects of high-intensity focused ultrasound on nerve conduction [J]. *Muscle Nerve*, 2008, 37(2): 241–250.
- [39] Lee YF, Lin CC, Cheng JS, et al. Nerve conduction block in diabetic rats using high-intensity focused ultrasound for analgesic applications [J]. *Br J Anaesth*, 2015, 114(5): 840–846.
- [40] Liao CD, Tsao JY, Chen HC, et al. Efficacy of stellate ganglion blockade applied with light irradiation: a systemic review and meta-analysis [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2017, 96(6): e97–e110.
- [41] Saeki S. Equipment for low reactive level laser therapy including that for light therapy [J]. *Masui*, 2006, 55(9): 1104–1111.
- [42] Mii S, Kim C, Matsui H, et al. Increases in central retinal artery blood flow in humans following carotid artery and stellate ganglion irradiation with 0.6 to 1.6 microm irradiation [J]. *J Nippon Med Sch*, 2007, 74(1): 23–29.
- [43] Momota Y, Kani K, Takano H, et al. High-wattage pulsed irradiation of linearly polarized near-infrared light to stellate ganglion area for burning mouth syndrome [J]. *Case Rep Dent*, 2014, 2014: 171657.
- [44] Liao CD, Rau CL, Liou TH, et al. Effects of linearly polarized near-infrared irradiation near the stellate ganglion region on pain and heart rate variability in patients with neuropathic pain [J]. *Pain Med*, 2017, 18(3): 488–503.
- [45] Nakajima F, Komoda A, Aratani S, et al. Effects of xenon irradiation of the stellate ganglion region on fibromyalgia [J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(1): 209–212.
- [46] Boyden ES, Zhang F, Bamberg E, et al. Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity [J]. *Nat Neurosci*, 2005, 8(9): 1263–1268.
- [47] Deisseroth K. Optogenetics [J]. *Nat Methods*, 2011, 8(1): 26–29.
- [48] Yu L, Zhou L, Cao G, et al. Optogenetic modulation of cardiac sympathetic nerve activity to prevent ventricular arrhythmias [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(22): 2778–2790.
- [49] Tsunematsu T, Tabuchi S, Tanaka KF, et al. Long-lasting silencing of orexin/hypocretin neurons using archaerhodopsin induces slow-wave sleep in mice [J]. *Behav Brain Res*, 2013, 255: 64–74.