

本文引文格式:李子卓,刘红燕,刘鲁冰,等. 颈椎脱臼法和戊巴比妥钠麻醉对小鼠膜片钳记录的影响[J]. 右江民族医学院学报, 2026, 48(1): 18-22.

【论著与临床报道】

颈椎脱臼法和戊巴比妥钠麻醉对小鼠膜片钳记录的影响

李子卓¹, 刘红燕², 刘鲁冰², 冯月³

1. 山东中医药大学针灸推拿学院, 山东 济南 250355;
2. 山东中医药大学实验中心, 山东 济南 250355;
3. 苏州大学附属第一医院颈脑血管超声科, 江苏 苏州 215006)

摘要:目的 通过记录雄性 C57BL/6JNifdc 小鼠各项电生理指标的变化,探究不同前处理方式对脑片膜片钳实验的影响,为脑片膜片钳实验的结果分析提供参考依据。方法 选取 2~3 月龄的 C57BL/6JNifdc 小鼠,分为颈椎脱臼组和戊巴比妥钠组,每组各 5 只。记录其内侧前额叶皮层(mPFC)神经元的动作电位和自发性兴奋性突触电流(sEPSCs),分析动作电位的阈值、半幅宽、去极化程度、电流的幅度和频率。结果 与颈椎脱臼组相比,戊巴比妥钠组的动作电位的阈值明显降低($P < 0.05$),但半幅宽和去极化程度无差异($P > 0.05$);sEPSCs 的幅度明显增加($P < 0.05$),频率比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 在脑片膜片钳实验中,腹腔注射戊巴比妥钠的处理后小鼠 mPFC 神经元的动作电位的阈值降低,sEPSCs 幅度增大。这一结果说明麻醉药对膜片钳电生理记录信号产生重大影响,在相关实验结果分析中需要纳入考虑。

关键词:膜片钳技术;突触传递;小鼠;动作电位;脑片

中图分类号:R338 文献标识码:A 文章编号:1001-5817(2026)01-0018-05

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2026.01.004

Effects of cervical dislocation and Pentobarbital Sodium anesthesia on patch-clamp recordings in mice

LI Zizhuo¹, LIU Hongyan², LIU Lubing², FENG Yue³

1. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, Shandong, China;
2. Experimental Center, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, Shandong, China;
3. Department of Cervical and Cerebral Vascular Ultrasonography, the First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, Jiangsu, China)

Abstract: **Objective** To investigate the effects of different pretreatment methods on patch-clamp recordings from brain slices by monitoring changes in electrophysiological indices in male C57BL/6JNifdc mice, thereby providing a reference for analyzing results from such experiments. **Methods** C57BL/6JNifdc mice aged 2 to 3 months were selected and divided into a cervical dislocation group and a pentobarbital sodium group, with 5 mice in each group. Action potentials (APs) and spontaneous excitatory postsynaptic currents (sEPSCs) of neurons in the medial prefrontal cortex (mPFC) were recorded. The threshold, half-width, and depolarization amplitude of APs, as well as the amplitude and frequency of sEPSCs, were analyzed. **Results** Compared with the cervical dislocation group, the AP threshold in the pentobarbital sodium group was significantly lower ($P < 0.05$), while no significant differences were observed in AP half-width or depolarization amplitude ($P >$

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2023MH338);山东中医药大学大学生创新训练计划项目(2024084)

第一作者:李子卓,大学生,E-mail:13355343192@163.com

通讯作者:刘鲁冰,讲师,研究方向:实验教学与电生理学,E-mail:dzxyllb@163.com

0.05). The sEPSC amplitude was significantly increased ($P < 0.05$), while the frequency showed no statistical significance ($P > 0.05$). **Conclusion** In brain slice patch-clamp experiments, intraperitoneal injection of pentobarbital sodium reduces the AP threshold and increases the sEPSC amplitude in mPFC neurons of mice. These findings indicate that anesthetics significantly influence electrophysiological signals recorded via the patch-clamp technique, a factor that should be considered in the analysis of related experimental results.

Key words: patch-clamp technique; synaptic transmission; mice; action potential; brain slice

膜片钳技术是利用 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 直径玻璃电极对细胞表面进行吸附,形成高阻封接状态,随即给与负压打破细胞膜形成全细胞模式,在电极尖端和细胞膜表面仅有少量离子通道开放,以此记录细胞与细胞间的电信号传递的技术,是进行脑科学与神经科学、生理学研究的有效手段^[1-2]。在 50 年的发展间,膜片钳技术的样本扩大至啮齿动物的脑和脊髓组织、心脏组织、甚至是单细胞,其中大、小鼠的脑切片样本应用最为广泛。实验小鼠因与人类基因同源性高,繁殖率高等特点,成为疾病研究的动物。内侧前额叶皮层(medial frontal cortex, mPFC)的神经元具有个体较大、胞体清晰和容易辨识的特点,也是精神分裂症、抑郁症、自闭症的受累脑区^[3],也是脑科学研究应用膜片钳技术较多的脑区^[4]。脑片膜片钳记录的脑片需要对小鼠新鲜脑组织进行切片获得。实验中大多使用颈椎脱臼处死动物,使用各种麻醉剂以期降低实验动物的痛苦取出脑组织的方法也常用。虽然现有使用实验中的麻醉剂多样,但是其对脑片电信号的记录结果鲜有人关注。因此,本研究使用 2%戊巴比妥钠和颈椎脱臼方式分别处理小鼠,探究不同处理方式对小鼠电生理信号的影响,以提高实验效率,减少对实验动物的刺激,为膜片钳实验中电流和电压的记录提供指导。

1 材料与方 法

1.1 实验动物与材料 本次实验随机选取 SPF 级雄性 C57BL/6JNifdc 小鼠 10 只,2~3 月龄,体质量 22~30 g,购自北京维通利华实验动物技术有限公司[SYXK(京)2022-0052],质量合格证批号(NO.110011241105141858)。饲养于山东中医药大学实验动物中心[SYXK(鲁)20220009],温度 20~23 °C,相对湿度 40%~60%,12 h 明暗昼夜交替,自由进食普通饲料和饮水。实验严格遵循山东中医药大学对动物伦理要求,实验方案经山东中医药大学伦理委员会审批通过(伦理审批号:SDUTCM20240624004)。

1.2 实验分组及处理 10 只雄性小鼠在实验前均经过健康检查并进行编号,通过随机数字表法分为颈椎脱臼组和戊巴比妥钠组,每组 5 只。戊巴比妥钠组(浓度为 2%,50 mg/kg)采用腹腔注射,颈椎脱臼组小鼠脊髓与脑干脱离确认死亡后立即取出脑组织。

1.3 主要试剂及仪器 切片液(in mM):70 Sucrose,

80 NaCl, 2.5KCl, 26 NaHCO₃, 15 D-glucose, 7 MgCl₂, 1 CaCl₂, 1.25 NaH₂PO₄;人工脑脊液(Artificial cerebrospinal fluid, ACSF, in mM):125 NaCl, 2.5 KCl, 25 NaHCO₃, 1.25 NaH₂PO₄, 2 CaCl₂, 1 MgCl₂, 25 D-glucose;电极内液(in mM):141 K-gluconate, 4 KCl, 2MgCl₂, 2 Mg-ATP, 0.3 Na-GTP, 0.2 EGTA, 10 HEPES, KOH 调节至 pH7.25,均购自美国 SIGMA 公司生产的分析纯。戊巴比妥钠(货号:P3761201912),膜片钳系统放大器(Axon 700B,购自美国 Molecular Devices 公司),数据转换器(Axon 1550B,购自美国 Molecular Devices 公司),全自动振动切片机(Campden 7000smz-2,购自英国 Campden Instruments 公司),显微镜(Olympus BW50WI,购自日本奥林巴斯公司),微电极拉制仪(Sutter P-1000,购自美国 Sutter 公司)。切片机参数:Frequency 80Hz, Amplitude 1.00 mm,厚度 300 μm, advance 0.12 mm/s。

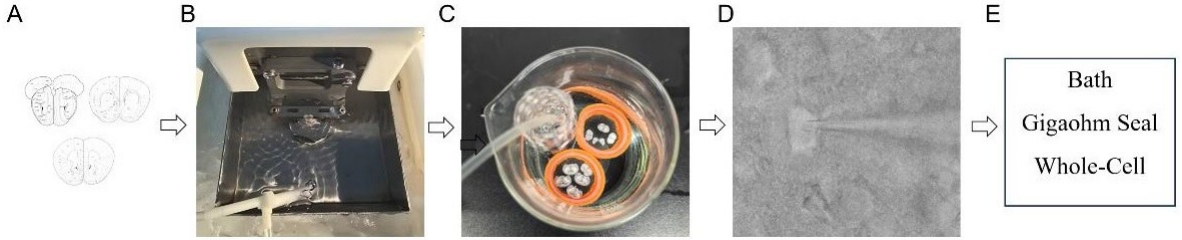
1.4 内侧前额叶皮层的定位 依据小鼠脑立体定位图谱标注的位置, mPFC 位于前囟前(AP) 1.34~3.08 mm,中线旁开(ML)±0.8mm,脑表面下(DV) 1~4 mm,切片厚度 300 μm,最多连续切 5 张脑片即可完全将此部位切下^[5]。

1.5 膜片钳实验程序的设置 兴奋性突触后电流的记录:细胞钳制在 -70 mV,在 GAP-Free 模式下记录 3 min。动作电位的记录:细胞钳制在 -70 mV, 20 mV 步阶,持续 500 ms。

1.6 膜片钳实验的检测 使用颈椎脱臼或 2%戊巴比妥钠 50 mg/kg 腹腔注射 C57BL/6JNifdc 小鼠,翻正反射消失,捏小鼠后肢无异动。打开小鼠腹腔,暴露心包,使用冰冻过的切片液进行心脏灌注,快速断头取脑,将完整脑组织置于切片液中约 30 s,切除嗅球及小脑以下部位,保留前额叶皮层区,样品托粘帖胶水,将鼠脑粘帖于样品托并置于切片液中,执行切片程序,将切下的脑片置于 33 °C ACSF 中恢复 30 min,再移置室温 30 min 以上,所有液体使用混合气体(95%的 O₂+5%CO₂)通氧。孵育结束后,使用 ACSF 进行恒流泵灌注,灌注速度保持在 1~2 mL/min。拉针仪执行程序使入液电阻保持在 4~6 MΩ,使用 1 mL 注射器给与玻璃电极 0.3 mL 左右的正压。选取边缘光滑、

透亮、有光泽的细胞,缓慢靠近目标细胞,直至细胞表面出现凹陷,此时记录软件伴随少量电极电阻上升,撤去正压,少量细胞会自动形成高阻封接(Gigaohm seal),大部分细胞需进行负压吸引,直至破膜,形成全细胞模式(whole-cell),进行细胞膜电容补偿和串联电

阻补偿。最后,电流钳模式下记录动作电位,电压钳模式下记录自发兴奋性突触电流(spontaneous excitatory postsynaptic currents, sEPSCs)。实验过程如图 1 所示。



注:A为脑立体图谱中内侧前额叶皮层代表图;B为将小鼠脑组织置于切片液中进行切片;C为将切好的脑组织置于人工脑脊液中孵育;D为膜片钳实验选中的细胞;E为记录软件记录信号的关键步骤。

图 1 实验操作过程示意图

1.7 统计与分析 采用 Clampfit10.7、Graphpad Prism 8.0 软件、SPSS 26.0 软件进行统计分析,使用 SPSS 软件进行正态性检验和方差齐性检验。正态分布计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示;两组之间比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 表示组间差异有统计学意义。

2 结果

2.1 实验动物状态观察 本实验过程顺利,实验前未出现实验动物死亡的情况,所有分组小鼠进食、饮水和排泄正常,均未观察到明显的体重下降或增长、异常粪便和尿液变化。

2.2 颈椎脱臼和戊巴比妥钠麻醉对小鼠 mPFC 动作电位的影响 分别使用颈椎脱臼和 2% 戊巴比妥钠腹腔注射处理小鼠后进行动作电位的记录,分析相关参数(见表 1),结果显示,与颈椎脱臼组相比,戊巴比妥钠组的细胞动作电位的阈值更低($P < 0.05$)。动作电位的半幅宽虽然增加,但差异无统计学意义($P > 0.05$),去极化程度增加,但差异无统计学意义($P > 0.05$)。

表 1 颈椎脱臼组和 2% 戊巴比妥钠组动作电位参数比较

| 分组 | 阈值/mv | 半幅宽/ms | Δ 去极化/mv |
|--------|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| 颈椎脱臼组 | -35.73 \pm 3.61 | 1.69 \pm 0.47 | 75.04 \pm 9.93 |
| 戊巴比妥钠组 | -41.29 \pm 4.99 ^a | 1.93 \pm 0.33 | 79.98 \pm 11.39 |

注:①表内计量资料数据以($\bar{x} \pm s$)表示;②与颈椎脱臼组相比,a: $P < 0.05$ 。

2.3 颈椎脱臼和戊巴比妥钠麻醉对小鼠 mPFC 兴奋性传递的影响 sEPSCs 是检测突触电流传递的常用参数,其指标通常为频率和幅度。分别使用颈椎脱臼和 2% 戊巴比妥钠腹腔注射处理小鼠,记录其 sEPSCs,分析相关参数(见表 2),结果显示,与颈椎脱臼组

相比,戊巴比妥钠组的细胞电流频率无变化($P > 0.05$),幅度相对增加($P < 0.05$)。

表 2 颈椎脱臼组和 2% 戊巴比妥钠组 sEPSCs 参数比较

| 分组 | 频率/HZ | 幅度/pA |
|--------|-----------------|------------------------------|
| 颈椎脱臼组 | 3.29 \pm 0.93 | 5.51 \pm 0.99 |
| 戊巴比妥钠组 | 3.00 \pm 2.62 | 9.62 \pm 3.85 ^a |

注:①表内计量资料数据以($\bar{x} \pm s$)表示;②与颈椎脱臼组相比,a: $P < 0.05$ 。

3 讨论

mPFC 与杏仁核、伏隔核、丘脑、海马等存在神经元联系,负责调控情绪、认知、记忆、社交等行为^[6-9]。它的功能异常被认为参与多种精神类疾病的发生和发展,因此记录其神经元的电活动成为破解这些疾病发病机制的一个关键。

脑片膜片钳实验是基础研究中使用频率较高的实验技术,应用于可兴奋细胞的突触可塑性、神经病理性疼痛、认知障碍等方面^[10-12]。样本多为大小鼠的脑组织或急性分离的神经细胞^[13],切片后的脑组织经人工脑脊液孵育后仍然具有生物活性,镜下细胞边缘透亮饱满,适合进行全细胞记录。膜片钳系统分为电压钳和电流钳,电流钳记录到的为电压信号,如动作电位,通过分析动作电位的阈值、频率、半幅宽等参数比较不同组间细胞兴奋性的不同,电压钳记录到的为电流信号,如兴奋性或抑制性突触电流,用于比较突触前后神经递质的传递情况。

进行膜片钳实验的实验动物需处于昏迷状态以保证神经元活性,但对实验动物的前处理通常会导致动物应激,进而影响电生理信号的获得。目前主要施行的动物处理方法有颈椎脱臼、戊巴比妥类药物注射等。

不同的安乐死方法对小鼠的生物信息影响不同。小鼠颈椎脱臼 5~10 s 后其脑电信号和视觉诱发电位明显下降^[14],但这种方法却有利于卵母细胞的提取^[15]。戊巴比妥钠和水合氯醛通过作用于 γ -氨基丁酸 (γ -aminobutyric acid, GABA) 受体降低神经系统兴奋性,水合氯醛对待动物不符合伦理要求弃用。本研究采用两种不同的前处理方法分析两者差异,发现戊巴比妥钠麻醉后的阈值更低,其他动作电位参数无显著差异,电流幅度也相对较大。阈值和电流差异的出现可能是由于样本数量过少,当样本量增加时,两组间的电生理特征可能会无差异。戊巴比妥钠是常用的镇静催眠剂,42 mg/kg 的剂量可诱发小鼠睡眠模型。市面上的镇静剂、麻醉剂发挥作用大多针对增加 GABA 受体的活性,GABA 受体由 19 个亚基组成。人类的食品中不乏具有助眠作用的,例如,莴苣提取物选择性作用于 GABA 受体的不同亚基使戊巴比妥钠注射小鼠的睡眠期延长^[16]。草药提取物缬草酸都能够延长戊巴比妥钠小鼠的睡眠时间,降低睡眠潜伏期,而缬草酸也作用于 GABA R2 受体^[17]。早在多年前人们利用机械分离的大鼠 CA3 神经元发现戊巴比妥钠通过多靶点调控抑制性与兴奋性突触传递。低浓度戊巴比妥钠 (3~10 μ M) 主要作用于突触前 GABA 受体,增加 GABA 能神经元的自发释放频率,不影响振幅,高浓度 (30~300 μ M) 则减少 GABA 自发释放频率,增加振幅,延长衰变时间,通过递质释放减少与突触后效应共同降低兴奋性。对于兴奋性突触传递,戊巴比妥钠表现出剂量依赖性,同时影响频率和振幅^[18],在本研究中,戊巴比妥钠通过腹腔注射,与直接作用于脑片上存在剂量上的差异,可能是造成本文中幅度变化的原因。因此戊巴比妥钠通过腹腔注射的形式发挥作用的方式是未知的,可通过抑制动作电位的产生和记录抑制性突触电流传递进行下一步的验证。

综上,本研究利用两种实验前处理方式,验证了不同处理方式对小鼠电生理信号的影响,缺点是使用的样本数量过少、未进行神经元种类的区分,推测当样本量足够时两组间的差异可能消失或者因记录的脑区部位的不同以及细胞接受到的药物浓度不同,实验结果可能产生差异。本研究认为在膜片钳实验中记录小鼠内侧前额叶皮层细胞时腹腔注射戊巴比妥钠的方式与直接颈椎脱臼相比细胞的兴奋性更高,自发兴奋性突触传递的电流幅度更大,因此,麻醉药的使用对膜片钳电生理记录信号将会产生影响,在实验过程中应予以考虑,可尝试从以下方法改进,孵育结束后利用人工脑脊液延长灌流时间洗脱麻醉剂的作用或者实验开始前 30 min 注射荷包牡丹碱等药物拮抗戊巴比妥钠对 GABA 受体的影响。另外,根据不同的实验目的选择

麻醉剂,设置麻醉剂处理的对照组观察麻醉剂对实验结果的影响,吸入式麻醉异氟烷对多巴胺能神经元突触前胞吐的抑制与钙通道有关,在对大鼠神经垂体的研究中,异氟烷表现出多靶点的作用效果,对钾钠钙等电压门控离子通道具有不同程度的抑制^[19-20],涉及此类研究应避免使用异氟烷麻醉。

参考文献:

- [1] 黄燕云,高洁,张利娜,等. 利用全细胞膜片钳技术记录大鼠脑片 NMDA 电流的研究[J]. 中国应用生理学杂志, 2021,37(5):459-462.
- [2] 于婷婷,丁懿宁,阎美卉,等. 基于膜片钳技术的丹红注射液对人诱导多能干细胞衍生心肌细胞电生理的影响研究[J]. 药物评价研究, 2024,47(5):1010-1016.
- [3] CHEN M, SHI J H, LIU T Y, et al. Astragaloside IV ameliorates autism-like behaviors in BTBR mice by modulating Camk2n2-dependent OXPHOS and neurotransmission in the mPFC[J]. J Adv Res, 2025,77:763-777.
- [4] LI X, XU X, FENG Q Y, et al. Glutamatergic pathways from medial prefrontal cortex to paraventricular nucleus of thalamus contribute to the methamphetamine-induced conditioned place preference without affecting wakefulness[J]. Theranostics, 2025,15(5):1822-1841.
- [5] LAN T, LI Y, CHEN X, et al. Exercise-activated mPFC tri-synaptic pathway ameliorates depression-like behaviors in mouse[J]. Adv Sci (Weinh), 2025,12(3):e2408618.
- [6] HUANG W C, ZUCCA A, LEVY J, et al. Social behavior is modulated by valence-encoding mPFC-amygdala sub-circuitry[J]. Cell Rep, 2020,32(2):107899.
- [7] CHEN H, XIONG X X, JIN S Y, et al. Dopamine D2 receptors in pyramidal neurons in the medial prefrontal cortex regulate social behavior[J]. Pharmacol Res, 2024,199:107042.
- [8] CHEN Z H, HAN Y C, MA Z, et al. A prefrontal-thalamic circuit encodes social information for social recognition[J]. Nat Commun, 2024,15(1):1036.
- [9] MAVRYCH V, RIYAS F, BOLGOVA O. The role of basolateral amygdala and medial prefrontal cortex in fear: a systematic review[J]. Cureus, 2025,17(1):e78198.
- [10] DOGRA S, AGUAYO C, XIANG Z X, et al. Activation of metabotropic glutamate receptor 3 modulates thalamo-accumbal transmission and rescues schizophrenia-like physiological and behavioral deficits[J]. Biol Psychiatry, 2024,96(3):230-242.
- [11] SPANAKI C, SIDIROPOULOU K, PETRAKI Z, et al. Glutamate-specific gene linked to human brain evolution enhances synaptic plasticity and cognitive processes[J]. iScience, 2024,27(2):108821.
- [12] ZHANG L G, CHENG J, AN M Q, et al. Safinamide alleviates hyperalgesia via inhibiting hyperexcitability of

- DRG neurons in a mouse model of Parkinson's disease [J]. *Behav Brain Res*, 2024, 459: 114787.
- [13] CHEN Y, LONG C, YANG L. Isolation and whole-cell patch-clamp recording of hippocampal microglia from adult mice[J]. *J Vis Exp*, 2024(211): e67315.
- [14] CARTNER S C, BARLOW S C, NESS T J. Loss of cortical function in mice after decapitation, cervical dislocation, potassium chloride injection, and CO₂ inhalation[J]. *Comp Med*, 2007, 57(6): 570-573.
- [15] ROUSTAN A, PERRIN J, BERTHELOT-RICOU A, et al. Evaluating methods of mouse euthanasia on the oocyte quality: cervical dislocation versus isoflurane inhalation[J]. *Lab Anim*, 2012, 46(2): 167-169.
- [16] LEE M, PARK J, CHO W, et al. *Lactuca sativa* L. extract enhances sleep duration through upregulation of adenosine A1 receptor and GABA(A) receptors subunits in pentobarbital-injected mice[J]. *J Med Food*, 2024, 27(7): 661-668.
- [17] SAHIN K, GENCOGLU H, KORKUSUZ A K, et al. Impact of a novel valerian extract on sleep quality, relaxation, and GABA/serotonin receptor activity in a murine model[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2024, 13(6): 657.
- [18] SHIN M C, WAKITA M, IWATA S, et al. Comparative effects of pentobarbital on spontaneous and evoked transmitter release from inhibitory and excitatory nerve terminals in rat CA3 neurons[J]. *Brain Res Bull*, 2013, 90: 10-18.
- [19] OUYANG W, HEMMINGS H C. Depression by isoflurane of the action potential and underlying voltage-gated ion currents in isolated rat neurohypophysial nerve terminals[J]. *J Pharmacol Exp Ther*, 2005, 312(2): 801-808.
- [20] TORTURO C L, ZHOU Z Y, RYAN T A, et al. Isoflurane inhibits dopaminergic synaptic vesicle exocytosis coupled to Ca(V)₂. 1 and Ca(V)₂. 2 in rat midbrain neurons[J]. *eNeuro*, 2019, 6(1): ENEURO. 0278-ENEURO. 0218. 2018.

收稿日期: 2025-06-19; 修回日期: 2025-08-10

(本文编辑 覃洪含)

(上接第 17 页)

- [24] QIN S G, XIAO W, ZHOU C M, et al. *Pseudomonas aeruginosa*: pathogenesis, virulence factors, antibiotic resistance, interaction with host, technology advances and emerging therapeutics[J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2022, 7(1): 199.
- [25] WOOD S J, KUZEL T M, SHAFIKHANI S H. *Pseudomonas aeruginosa*: infections, animal modeling, and therapeutics[J]. *Cells*, 2023, 12(1): 199.
- [26] 王林, 张再青, 陈方舟, 等. 高毒力且高耐药铜绿假单胞菌感染小鼠肺炎模型的构建与特征分析[J]. *军事医学*, 2024, 48(2): 101-107.
- [27] SU X, LOONEY M, ROBRIQUET L, et al. Direct visual instillation as a method for efficient delivery of fluid into the distal airspaces of anesthetized mice[J]. *Exp Lung Res*, 2004, 30(6): 479-493.
- [28] ABAVISANI M, FAZELI E, EBADPOUR N, et al. The road less traveled: unexplored targets in the quest for antibiotics against *Pseudomonas aeruginosa*[J]. *Biotechnol Adv*, 2025, 83: 108621.
- [29] SU X, JOHANSEN M, LOONEY M R, et al. CD47 deficiency protects mice from lipopolysaccharide-induced acute lung injury and *Escherichia coli* pneumonia[J]. *J Immunol*, 2008, 180(10): 6947-6953.
- [30] 邓书伟, 杜春静, 张玥, 等. 肺孢子菌肺炎小鼠模型建立及免疫学评价[J]. *中国实验动物学报*, 2023, 31(1): 20-26.
- [31] 赵玥, 周冬生, 杨文慧, 等. 耐甲氧西林金黄色葡萄球菌感染小鼠致肺炎的模型构建与特征分析[J]. *中国人兽共患病学报*, 2023, 39(5): 447-454.
- [32] 符顺丹, 符青, 符意雄. 连翘苷对肺炎克雷伯菌感染的肺炎小鼠的影响[J]. *中国临床药理学杂志*, 2021, 37(18): 2463-2467.

收稿日期: 2025-09-22; 修回日期: 2025-11-14

(本文编辑 钟琳)