

# 面瘫动物模型制作及神经再生评价的研究现状

刘仲桔, 夏德林\*, 刘 杰\*

重庆医科大学附属第二医院整形与颌面外科, 重庆

收稿日期: 2026年2月5日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月9日

## 摘要

面瘫是面神经损伤引发的面肌运动障碍, 可致面部对称性丧失、眨眼困难及社交焦虑, 显著降低生活质量。尽管病毒、缺血、免疫等假说不断提出, 其系统发病与修复机制仍未阐明, 限制了个体化治疗。构建涵盖急性损伤、慢性损伤的标准化动物模型, 已成为破解瓶颈、验证新疗法的迫切需求。本文检索了近年啮齿类、兔、猪等物种的横断、压榨、结扎、撞击、病毒和缺血造模方法, 并比较触须运动、瞬目反射和耳朵运动分析等功能评价技术, 为后续面神经损伤与功能评价研究提供参考。

## 关键词

面瘫, 面神经损伤, 动物模型

# Current Research Status of Animal Model Development and Nerve Regeneration Assessment in Facial Paralysis

Zhongju Liu, Delin Xia\*, Jie Liu\*

Department of Plastic and Maxillofacial Surgery, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: February 5, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 9, 2026

## Abstract

Facial paralysis denotes a loss of voluntary facial motion secondary to facial-nerve injury, leading to disfigurement, incomplete eye closure, and psychosocial distress that markedly impair quality of life. Despite evolving hypotheses involving viral, ischemic, and autoimmune insults, the systematic

\*共同通讯作者。

文章引用: 刘仲桔, 夏德林, 刘杰. 面瘫动物模型制作及神经再生评价的研究现状[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 1510-1518. DOI: 10.12677/acm.2026.163933

pathogenesis and endogenous repair cascades remain elusive, precluding patient-tailored therapies. Consequently, the establishment of standardized animal models that recapitulate both acute and chronic phases of injury has become an urgent prerequisite for mechanistic dissection and therapeutic validation. Here we review the most recent methodologies—transection, crush, ligation, impact, viral infection, and ischemia—applied in rodents, rabbits, and miniature pigs, and critically compare functional read-outs including whisker kinetics, blink reflex, and ear-movement analysis, thereby providing an evidence-based reference for future investigations of facial-nerve injury and recovery.

## Keywords

Facial Paralysis, Facial Nerve Damage, Animal Models

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

面神经,即第7对脑神经,是骨管中最长的脑神经。而周围性面瘫是指面神经的下运动神经元病变,可能由感染、外伤、恶性肿瘤、自身免疫问题引起[1],在全球每年每10万例中发生5~50例[2],其中最常见的是贝尔面瘫,最早是由 Charles Bell 于 1821 年发现,由于面神经是混合神经,包含运动纤维、感觉纤维和副交感纤维,因而损伤后表现为额纹消失,鼻唇沟变浅变平,口角歪斜、说话漏风,常伴有耳周疼痛、味觉障碍、听觉过敏和因泪水减少引起的眼干[3],长期并发症包括共动现象,即某一面部肌肉群的非自主运动,并尝试对特定面部肌群进行自主收缩。眼口同步运动是异常再生中最常见的,作为面神经损伤的后遗症,会导致功能障碍、尴尬、自尊心下降和生活质量下降[4]。借助动物实验模拟面神经损伤,并据此探究其致病机理与干预手段,是现代研究常用的手段。面神经损伤研究能否顺利向临床转化,首要瓶颈在于模型构建的“可比性”与“可重复性”。本文将从动物的选择、造模方式、面神经功能评价三个方面展开综述,以期为后续研究提供规范、稳定的面瘫动物模型遴选依据。

## 2. 动物选择

### 2.1. 啮齿动物

1986年, Kreutzberg 把大鼠面神经横切模型确立为研究周围神经再生与退变的经典术式[5];国内早期关于面神经大鼠模型的单篇报道,见于1999年王杰等选择性阻塞颌内动脉造成大鼠缺血性面瘫,验证了血管因素在 Bell 麻痹中的作用[6]。啮齿类动物面神经模型也因其独特的解剖优势被迅速采纳并沿用至今:损伤位点(出茎乳孔处)与脑干运动核之间存在一定的距离,既避开直接面神经核的直接创伤,又保持血脑屏障完整,不会因血液成分涌入而对神经核产生影响[7];同时,面神经颅外段位置表浅,仅需微小切口即可造模,手术简便、创伤轻微。更关键的是,左右核团对称分布,一侧手术、一侧天然对照,可在单个动物内完成配对比较,显著减少样本量与个体误差,因此,啮齿类动物也成了周围性面瘫研究最常用的实验对象之一[8]。

#### 2.1.1. 大鼠

大鼠面神经自茎乳孔出颅后走行固定,经耳后入路可在体视显微镜下迅速定位主干,手术时间短;

大鼠品系繁殖周期短、单笼饲养费用低,利于扩大样本量并进行纵向观测。其触须摆动轨迹、瞬目反射潜伏期及鼻尖偏斜角度等行为指标已建立量化标准,可与复合肌肉动作电位(CMAP)同步采集,实现功能-电生理双重验证[9]。此外,大鼠免疫与分子生物学试剂完备,便于开展神经炎症及轴突再生机制研究。然而,该物种面神经较小,对显微操作精度要求极高;面肌运动单位数量有限,难以重现人类表情肌的精细协同运动,为其应用局限。Daniel Martinez Saez用血管钳夹大鼠面神经30 s,探究人未成熟牙髓干细胞与面神经再生的关系[10]。Wang使用蚊氏钳钳夹面神经60 s,构建面神经损伤的动物模型,证明BMSCs来源的Hypo-Exos刺激SCs的增殖、迁移以及副分泌功能,通过circRNA\_Nkd2/miR-214-3p/MED19轴加速面神经再生[11]。

### 2.1.2. 小鼠

小鼠面神经解剖学定位与大鼠类似,与大鼠不同的是小鼠转基因/敲除品系丰富,可构建特定的动物模型,通过注射HSV-1构建bell面瘫模型[12]小鼠的饲养密度更高,用药量小,适合高通量药物筛选,但它的神经更细,手术一致性差;小鼠单根神经质量较小,难以满足Western blot、LC-MS/MS等多组学需求,需合并多根神经方可获得可检测丰度,客观上增加了生物学重复成本。

## 2.2. 新西兰大白兔

新西兰兔面神经较粗,可在常规手术显微镜下完成端-端吻合、套管或组织工程桥接,广泛用于神经修复材料的即时缝合完整性与再生效果评估[13];其神经干较长,亦利于长距离再生过程的动态观察[14]。然而,兔饲养与麻醉维持成本显著高于啮齿类,术后躁动剧烈,需专用防拔固定装置;个体应激阈值差异大,加之兔源抗体试剂匮乏,限制机制深度解析。

## 2.3. 猪

在转化医学阶段,大型动物模型可承载高场强MRI、多层CT及复合组织工程支架,为创新术式提供验证平台。猪面神经颅外走行、分支模式及束径比例与人类高度同源,是理想的大型动物备选[15]。Petrov等选用成年Yorkshire swine,锐性横断其面神经干,建立急性周围性面瘫模型,并进一步采用聚乙二醇(PEG)水凝胶介导轴突融合术,评估瞬时重建对运动传导恢复的贡献[16]。

## 3. 面瘫模型制作方法

### 3.1. 面神经横切法

面神经横断术通过在茎乳孔远端或其主要分支处锐性离断神经干,可在实验动物体内复制完全性或部分性周围性面瘫,是目前模拟外伤或医源性神经缺损最常用的造模方式。该模型可精确控制损伤部位与缺损长度,用于研究急性轴突变性、瓦勒变性时程及再髓鞘化规律;定量观察失神经面肌的萎缩、纤维型转化与运动终板退化[17];并可在同一动物体内评估端-端吻合[18]、套管、自体/异体神经移植[19]以及组织工程桥接[20]等显微修复策略的再生效果。其优势在于术式成熟、重复性好;然而,面神经吻合技术对显微外科技术依赖度极高,术者经验不足易引入机械误差,导致功能恢复评价偏移。

### 3.2. 面神经压榨/结扎法

面神经压榨术于茎乳孔远端或其主干分支处施加定量机械压迫(或联合结扎[21]),可在实验动物体内建立可逆性轴突损伤模型,复制完全或部分性周围性面瘫,用于模拟颅底骨折、腮腺肿瘤对神经的慢性压迫损伤。该模型能序贯呈现脱髓鞘、轴突肿胀及瓦勒变性等病理演变,并可通过电镜形态计量学精确测定髓鞘厚度及轴突直径[22],为压迫性神经病变机制研究提供定量依据。其技术优势在于操作简易、无

需显微缝合，且可通过调节压榨时间或钳口压力实现轻、中、重度分级损伤；然而，不同型号血管钳的闭合压力、钳齿形状及表面粗糙度差异显著，易在压迫之外附加切割伤，导致损伤深度与范围难以标准化，模型批间变异增大，重复性受限(见表 1)。

**Table 1.** Clamping methods and behavioral scoring

**表 1.** 钳夹方式及行为学评分

模型动物	钳夹工具	钳夹方式	钳夹时间	面神经行为学评分
Wistars 大鼠	小号血管钳[23]	钳夹面神经主干 3 次	每次持续 10 s, 间隔 10 s	术后 day 1: $4.52 \pm 1.04$ 术后 30 day: $3.71 \pm 1.32$
SD 大鼠	血管蚊氏钳(宁波医用器械有限公司)[24]	暴露茎乳孔后方颅骨，以磨钻缓慢仔细磨开颅骨，直径约 5 mm，暴露面神经颅内段主干并钳夹	钳夹 10 s	术后 day 1: 4 术后 28 day: $3.47 \pm 0.65$
SD 大鼠	12.5 cm 弯头微血管钳[25]	将腮腺翻开后暴露及分离其后上方深面的面神经主干至出茎乳孔处，分离出面神经主干约 5 mm 并钳夹	钳夹 10 min	术后 day 1: $5 \pm 0$ 术后 day 28: $4.25 \pm 0.50$
SD 大鼠	血管钳闭合 1 齿 [26]	在面神经出茎乳孔 1 mm 处夹持神经主干	钳夹 1 min	术后 day 7: $3.67 \pm 0.82$ 术后 day 21: $0.83 \pm 0.41$
SD 大鼠	周围神经定量损伤镊 50 g [27]	在距离茎乳孔 0.5 cm 处钳夹面神经主干	钳夹 1 min 30 s	术后 day 3: $5 \pm 0$ 术后 day 20: $3.1 \pm 0.7$

### 3.3. 撞击法

撞击法采用 DS-50 型射钉枪改装的可控撞击器[28]，对面神经干实施单次定量冲击，可模拟颌面部钝器伤或颞骨骨折合并的急性面神经功能障碍[29]。该造模方法造成神经 Sunderland II 度损伤，光镜及电镜表现与挤压伤类似，但特征性病理改变为神经外膜及邻近微血管弥漫性血栓形成；血管再通时相与面神经功能恢复同步，提示局部微循环重建是再生关键事件。模型优势在于参数设置简便、成型周期短，无需显微操作即可完成批量复制。其主要局限在于撞击瞬间动能可经颞骨传导至颅腔，可能并发脑挫裂伤及急性颅内出血，增加动物围手术期死亡率。

### 3.4. 接种病毒法

1995 年, Sugita [30]等率先构建 HSV-1 相关性急性可逆性面瘫小鼠模型：以 KOS 株 HSV-1 ( $25 \mu\text{L}$ ,  $1.13 \times 10^5$  PFU)划痕接种于耳廓后壁, 104 只小鼠中 59 只(56.7%)于接种后第 6~9 天出现同侧面神经麻痹, 持续 3~7 d 后完全恢复；患侧面神经在骨管内显著肿胀, 神经/骨管面积比升高, 运动核、膝状神经节及近脑干段可见炎性浸润、空泡变性及 HSV 抗原表达, 而轴突大多保持完整。该模型完整再现了病毒潜伏一再激活一面神经脱髓鞘的病理变化, 为阐明病毒复制动力学、宿主免疫炎症与轴突变性 - 再生平衡提供了可控的体内研究平台, 已成为 Bell 麻痹机制解析及抗病毒药物高通量筛选的经典工具[31]。

### 3.5. 阻断血管法

王杰等(1999)采用经颈外动脉途径建立大鼠急性面神经缺血模型：切除部分舌骨以显露颈外动脉主干, 在手术显微镜下依次结扎舌动脉、面动脉、颞浅动脉并近端封闭颈外动脉, 随后将导管选择性插入颌内动脉, 注入 0.15~2 mL 栓塞剂, 瞬时阻断面神经营养血管, 模拟临床因栓塞或误扎引起的急性血管源性面瘫[6]。Setsuko Takeda 等(2008)则通过颅底显微外科途径构建豚鼠缺血性面瘫模型：沿耳廓前上缘

切开, 开放上鼓室, 暴露迷路段及膝状神经节区, 用微型钻头广泛磨除岩骨前嵴以彻底中断岩动脉及其侧支血流, 造成面神经局部急性缺血[32]。适用于研究血管受压、栓塞或术中误扎导致的缺血性面神经麻痹, 并可在体观察血管再通与神经功能恢复的时间耦合关系, 为阐明微血管性面瘫的发病机制及干预策略提供动物模型。

## 4. 面神经再生评分指标

### 4.1. 胡须运动[33]

大鼠借助面部触须(包括长触须与短触须)主动探测环境, 该行为由面神经精确支配, 触须的前伸与回缩分别由内在肌与外在肌主动交替收缩完成[34]; 当面神经损伤后, 其触须活动能力及活动次数减弱或消失, 胡须位置则从向前竖起变为倒向尾侧。现有测量方法可归为两类: 一是视频-手动法, Simone 等建立 5 级量表, 对无运动至健侧对称前伸进行半定量评分[35], Tomov 等仅保留 C 行两根大须, 以 50 Hz 高速摄像结合 PEAK Motus 2000 手动追踪须干两点, 计算前伸角、振幅、频率及角速度/加速度, 实现功能恢复的精细化评估, 但大鼠头部未固定, 导致标准化困难[36]; 二是激光微测法, Hadlock 等采用钛合金头固定装置, 使双侧 C1 须穿过激光幕帘, 以 1 kHz 采样连续 5 min 记录, 软件自动识别 $\geq 15^\circ$ 的触须摆动周期并输出振幅、速度、加速度, 同时经 10 s 香气刺激诱发高频摆动以测定最大运动能力, 结果客观可重复, 但植入装置易松动且需较长适应期, 观察周期较长[37]。

### 4.2. 瞬目反射[38]

**Table 2.** Behavioral scoring  
**表 2.** 行为学评分

Eye Blinking	Vibrissae Movement and Position
1—Absence of eye blinking and closure	1—Absence of movement and posterior position of the vibrissae
2—Presence of orbicular muscle contraction, without blinking reflex	2—Slight shivering and posterior position
3—50% of eye closure through blinking reflex	3—Greater shivering and posterior position
4—75% of closure	4—Normal movement with posterior position
5—Presence of complete eye closure and blinking reflex	5—Symmetrical movement of the vibrissae, with anterior position

闭眼动作由面神经支配眼轮匝肌完成主动眼睑闭合, 面神经损伤后自发眨眼和角膜反射消失, 成为眨眼模型基础; 但在以闭眼评估面神经再生时必须警惕“非面神经机制”——眼球后退肌(retractor bulbi)可在面神经损伤后代偿性收缩使眼球内陷、眼睑被动合拢, 造成几乎完全闭眼的假象, 从而高估恢复程度[39]。测量方法有三类: 一、视频-气流刺激法, 用连有 26 G 针头的 10 mL 注射器, 在距角膜 2 cm 处快速推注 5 mL 空气, 以数字相机实时录像, 逐帧分析眼睑闭合程度[40], 但如果没有头部固定, 气流可能会引发头部运动, 使标准化变得困难。二、红外反射法, 该研究采用红外反射式光电传感器(QRB1114), 固定于距角膜约 3.5~4 mm 处, 通过检测眼睑覆盖角膜时红外反射信号的增强来实时记录闭眼行为; 以 20 ms、38 PSI 的气流刺激角膜诱发反射性眨眼, 并以 1 kHz 采样连续电压信号, 结合阈值与斜率判定眨眼事件, 实现非接触、高时间分辨率的眼睑运动监测。但难以区分主动收缩与眼球后退导致的被动闭眼[41]植入式固定装置随着时间推移可能会变得松动和较长的适应时间, 而且准确测量眼睑闭合需要对大鼠相对于光电子传感器的精确定位和固定; 三、主观评分法: Rahul Seth 采用人工盲法评分系

统评估面神经损伤后的眨眼功能恢复,每4天评定一次,持续8周;评分标准将眨眼程度分为5级:1分为无眨眼或闭眼,2分为可见眼轮匝肌收缩但无眨眼反射,3分为眨眼致约50%眼睑闭合,4分为约75%闭合,5分为完全眨眼反射并伴眼睑完全闭合,所有评分均以未手术的右侧为正常对照,并与慢动作视频记录的胡须运动频率相互印证,确保评估结果的一致性与可靠性。见表2[42]而因量表差异导致研究之间缺乏可比性。

### 4.3. 耳朵运动

Leckenby 利用耳部唯一运动肌:耳间肌(interscutularis)仅受面神经后耳支(PAN)单独支配的解剖特点,建立了一种非侵入、活体、连续的耳运动评估系统:将小鼠放入定制透明圆笼,笼顶45 cm处固定高清单色USB相机(1024×768,45 fps)俯视拍摄;笼壁伸出饮水嘴,嘴周铜环与笼底铜板构成“舔水即导通”的触发回路,电脑自动保存舔水前10s至后30s的30s缓冲视频,并以巧克力奶提高舔水频率。术后第1、10、20、30天各采集≥10次饮水片段,用Photoshop在冻结帧上绘制“内眦线”和双侧“后耳线”,测量像素距离,以健侧为对照计算伤侧耳后移幅度恢复比(EMR),无需头部固定即可灵敏追踪后耳支功能变化,缺点在于需手工逐帧测量[43]。

## 5. 小结与展望

啮齿类(大鼠、小鼠)因解剖表浅、试剂完备,仍是急性变性-慢性再生机制研究与药效评价的首选;新西兰兔神经干粗长,便于缝合与材料学验证,却受高成本、抗体匮乏制约。猪的面神经走向、管径与人类高度同源,兼容高阶影像与支架植入,是转化医学末端验证的优选大型模型。可以根据不同的科研目的选择不同的动物模型。

鉴于压榨法在机械性损伤中应用最广、操作最简单却可重复性最低,已成为制约实验结果横向比较的核心瓶颈,当务之急是在实验动物端率先建立“工具-力度-时间”三维闭环的规范化模型:①工具维度,须以同一批次、材质、齿形及表面粗糙度均已标定的钳夹工具来替代市售血管钳,从源头消除器械差异;②力度维度,可用压阻式传感器,测量钳夹力度;③时间维度,通过改变钳夹时间模拟不同程度的面神经损伤情况。

横断、压榨、撞击、病毒、缺血五类方法中,前三种侧重机械性损伤,可模拟医源性切断或颅底骨折;病毒法再现Bell麻痹的脱髓鞘过程;缺血法复制血管源性面瘫。临床仍有部分病例归因于自身免疫或妊娠相关,如妊娠及产褥期Bell麻痹发生率较非孕育龄女性升高2~4倍,且多发生在妊娠晚期或产后10天内[44]。其病理生理被认为与雌二醇、孕酮和hCG峰值诱导的生理性免疫抑制有关,但缺少相关模型。

触须运动、瞬目反射与耳运动三类指标分别对应面神经不同分支,可同时用于一只动物的行为学评估。激光微测触须运动和红外反射检测瞬目反射具有客观、高时间分辨率的特点,但需固定适应;视频法或评分法设备简单、通量高,却易受主观与代偿干扰。建议实验前根据动物种类、损伤方式及观测周期,优先选择可量化、可重复且与电生理互补的指标组合,并在同一研究内固定评估者与评分标准,以提高横向可比性。

期待未来在机制研究的驱动下,周围性面瘫动物模型的造模范式持续迭代,最终形成客观、精准且可通用的实施标准,为周围性面瘫实验提供坚实的方法学基石。

## 参考文献

[1] Kim, S.J. and Lee, H.Y. (2020) Acute Peripheral Facial Palsy: Recent Guidelines and a Systematic Review of the

- Literature. *Journal of Korean Medical Science*, **35**, e245. <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e245>
- [2] Kim, J.Y., Kim, M.S., Kim, M.H., *et al.* (2019) Bell Palsy and the Risk of Cardio-Cerebrovascular Disease: A Population-based Follow-Up Study. *The Laryngoscope*, **129**, 2371-2377. <https://doi.org/10.1002/lary.27802>
- [3] Neckel, N., Nahles, S., Heiland, M., Audebert, H., Zdunczyk, A., Guntinas-Lichius, O., *et al.* (2025) Risk Factors Associated with Bell's Palsy: A Real-World Analysis of 281,600 Patients. *European Journal of Neurology*, **32**, e70336. <https://doi.org/10.1111/ene.70336>
- [4] Coulson, S.E., O'Dwyer, N.J., Adams, R.D. and Croxson, G.R. (2004) Expression of Emotion and Quality of Life after Facial Nerve Paralysis. *Otology & Neurotology*, **25**, 1014-1019. <https://doi.org/10.1097/00129492-200411000-00026>
- [5] Kreutzberg, G.W. (1986) Neurobiology of Regeneration and Degeneration. In: *The Facial Nerve*, Thieme Medical Publishers Inc, 75-83.
- [6] 王杰, 戴春富, 赵晖, 黄新生. 大鼠缺血性面神经瘫痪动物模型的建立[J]. 临床耳鼻咽喉科杂志, 1999(10): 30-31.
- [7] Streit, W.J. and Kreutzberg, G.W. (1988) Response of Endogenous Glial Cells to Motor Neuron Degeneration Induced by Toxic Ricin. *Journal of Comparative Neurology*, **268**, 248-263. <https://doi.org/10.1002/cne.902680209>
- [8] Graeber, M.B., López-Redondo, F., Ikoma, E., Ishikawa, M., Imai, Y., Nakajima, K., *et al.* (1998) The Microglia/Macrophage Response in the Neonatal Rat Facial Nucleus Following Axotomy. *Brain Research*, **813**, 241-253. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(98\)00859-2](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(98)00859-2)
- [9] Xue, R., Xie, M., Wu, Z., Wang, S., Zhang, Y., Han, Z., *et al.* (2024) Mesenchymal Stem Cell-Derived Exosomes Promote Recovery of the Facial Nerve Injury through Regulating Macrophage M1 and M2 Polarization by Targeting the P38 MAPK/NF- $\kappa$ B Pathway. *Aging and Disease*, **15**, 851-868. <https://doi.org/10.14336/ad.2023.0719-1>
- [10] Saez, D.M., Sasaki, R.T., Martins, D.D.O., Chacur, M., Kerkis, I. and da Silva, M.C.P. (2019) Rat Facial Nerve Regeneration with Human Immature Dental Pulp Stem Cells. *Cell Transplantation*, **28**, 1573-1584. <https://doi.org/10.1177/0963689719854446>
- [11] Wang, H., Zhao, H., Chen, Z., Cai, X., Wang, X., Zhou, P., *et al.* (2024) Hypoxic Bone Mesenchymal Stem Cell-Derived Exosomes Direct Schwann Cells Proliferation, Migration, and Paracrine to Accelerate Facial Nerve Regeneration via CircRNA\_Nkd2/miR-214-3p/MED19 Axis. *International Journal of Nanomedicine*, **19**, 1409-1429. <https://doi.org/10.2147/ijn.s443036>
- [12] Mu, H., Liu, J., Mao, Y., Han, Y., Xu, L., Zhang, D., *et al.* (2022) The Alterations and Significance of Intercellular Adhesion Molecule-1 in Mouse Brainstem during Herpes Simplex Virus Type 1-Induced Facial Palsy. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **194**, 3483-3493. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03837-4>
- [13] Yang, X., Hou, Z., Wang, K., Li, J., Shang, W., Wang, L., *et al.* (2025) Efficacy and Mechanisms of Concentrated Growth Factor on Facial Nerve Rehabilitation in a Rabbit Model. *Biomaterials Science*, **13**, 1059-1074. <https://doi.org/10.1039/d4bm01454e>
- [14] Hu, M., Zhang, L., Niu, Y., Xiao, H., Tang, P. and Wang, Y. (2010) Repair of Whole Rabbit Facial Nerve Defects Using Facial Nerve Allografts. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **68**, 2196-2206. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.11.012>
- [15] Millesi, E., Suchyta, M., Lachman, N., Wang, H. and Mardini, S. (2023) Detailed Anatomical Study of the Peripheral Motor Branches of the Facial Nerve in the Swine Model: A Novel Investigative Approach for Facial Paralysis Research. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **83**, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.04.076>
- [16] Petrov, D., Burrell, J.C., Browne, K.D., Laimo, F.A., Roberts, S.E., Ali, Z.S., *et al.* (2022) Neuroorrhaphy in Presence of Polyethylene Glycol Enables Immediate Electrophysiological Conduction in Porcine Model of Facial Nerve Injury. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 811544. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.811544>
- [17] Watanabe, S., Ochiai, H., Sakuma, H., Mori, T., Yazawa, M., Oka, A., *et al.* (2022) Muscle Fiber Composition Changes after Selective Nerve Innervation. *International Journal of Molecular Sciences*, **23**, Article 7856. <https://doi.org/10.3390/ijms23147856>
- [18] Chen, P., Song, J., Luo, L., Zhong, G., Xiao, H. and Gong, S. (2009) Abnormal Motor Reflexes and Dormant Facial Motor Neurons in Rats with Facial-Facial Anastomosis. *Journal of International Medical Research*, **37**, 705-716. <https://doi.org/10.1177/147323000903700314>
- [19] Hashimoto, K., Matsumine, H., Osaki, H., Ueta, Y., Kamei, W., Shimizu, M., *et al.* (2021) Prevention of Denervated Muscle Atrophy with Accelerated Nerve-Regeneration by Babysitter Procedure in Rat Facial Nerve Paralysis Model. *Microsurgery*, **41**, 61-69. <https://doi.org/10.1002/micr.30580>
- [20] Matsumine, H., Takeuchi, Y., Sasaki, R., Kazama, T., Kano, K., Matsumoto, T., *et al.* (2014) Adipocyte-Derived and Dedifferentiated Fat Cells Promoting Facial Nerve Regeneration in a Rat Model. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **134**, 686-697. <https://doi.org/10.1097/prs.0000000000000537>
- [21] Shichinohe, R., Furukawa, H., Sekido, M., Saito, A., Hayashi, T., Funayama, E., *et al.* (2012) Direction of Innervation

- after Interpositional Nerve Graft between Facial and Hypoglossal Nerves in Individuals with or without Facial Palsy: A Rat Model for Treating Incomplete Facial Palsy. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **65**, 763-770. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2011.12.009>
- [22] Fei, J., Chen, S., Song, X., Liang, Y., Duan, K., Peng, X., *et al.* (2023) Exogenous GDNF Promotes Peripheral Facial Nerve Regeneration in Rats through the PI3K/Akt/mTOR Signaling Pathway. *The FASEB Journal*, **38**, e23340. <https://doi.org/10.1096/fj.202301664r>
- [23] 李立恒. 富血小板血浆和溴莫尼定在面神经夹挫伤的实验研究和机制探讨[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2021.
- [24] 李牧, 李东朋, 宋迪, 等. 人脐带沃顿胶薄片对大鼠面神经损伤后髓鞘的修复作用[J]. 郑州大学学报(医学版), 2019, 54(3): 367-372.
- [25] 倪萍, 费静, 肖阳, 等. 靶肌肉注射胶质细胞源性神经营养因子对面神经损伤修复的作用[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2024, 30(1): 77-83.
- [26] 李红琴, 曹利民, 金满意, 等. 牵正散不同剂型改善大鼠面神经损伤作用研究[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2023, 28(6): 617-623.
- [27] 唐寅达, 赵华, 袁艳, 应婷婷, 朱晋, 王旭辉, 李世亭. 尼莫地平对大鼠面神经损伤后髓鞘修复的作用及机制研究[J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2016, 15(3): 217-220.
- [28] 王琛, 周树夏, 金岩, 赵宇, 胡开进. 家兔面神经撞击伤后的组织病理学改变[J]. 实用口腔医学杂志, 1999, 15(3): 210-212.
- [29] Chang, C.Y. and Cass, S.P. (1999) Management of Facial Nerve Injury Due to Temporal Bone Trauma. *American Journal of Otolaryngology*, **20**, 96-114.
- [30] Sugita, T., Fujiwara, Y., Murakami, S., Hirata, Y., Yanagihara, N. and Kurata, T. (1995) Facial Nerve Paralysis Induced by Herpes Simplex Virus in Mice: An Animal Model of Acute and Transient Facial Paralysis. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, **104**, 574-581. <https://doi.org/10.1177/000348949510400713>
- [31] Murakami, S., Mizobuchi, M., Nakashiro, Y., Doi, T., Hato, N. and Yanagihara, N. (1996) Bell Palsy and Herpes Simplex Virus: Identification of Viral DNA in Endoneurial Fluid and Muscle. *Annals of Internal Medicine*, **124**, 27-30. [https://doi.org/10.7326/0003-4819-124-1\\_part\\_1-199601010-00005](https://doi.org/10.7326/0003-4819-124-1_part_1-199601010-00005)
- [32] Takeda, S., Takeda, T., Okada, T., *et al.* (2008) An Animal Model of Ischemic Facial Palsy. Behavioral Facial Nerve Function and Ultrastructural Changes of the Facial Nerve. *ORL*, **70**, 215-223.
- [33] Attiah, M.A., de Vries, J., Richardson, A.G. and Lucas, T.H. (2017) A Rodent Model of Dynamic Facial Reanimation Using Functional Electrical Stimulation. *Frontiers in Neuroscience*, **11**, Article 193. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00193>
- [34] Berg, R.W. and Kleinfeld, D. (2003) Rhythmic Whisking by Rat: Retraction as Well as Protraction of the Vibrissae Is under Active Muscular Control. *Journal of Neurophysiology*, **89**, 104-117. <https://doi.org/10.1152/jn.00600.2002>
- [35] de Faria, S.D., Testa, J.R.G., Borin, A. and Toledo, R.N. (2006) Standardization of Techniques Used in Facial Nerve Section and Facial Movement Evaluation in Rats. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, **72**, 341-347. [https://doi.org/10.1016/s1808-8694\(15\)30966-6](https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30966-6)
- [36] Tomov, T.L., Guntinas-Lichius, O., Grosheva, M., *et al.* (2002) An Example of Neural Plasticity Evoked by Putative Behavioral Demand and Early Use of Vibrissal Hairs after Facial Nerve Transection. *Experimental Neurology*, **178**, 207-218.
- [37] Hadlock, T., Kowaleski, J., Lo, D., *et al.* (2008) Functional Assessments of the Rodent Facial Nerve: A Synkinesis Model. *The Laryngoscope*, **118**, 1744-1749.
- [38] Bischoff, A., Grosheva, M., Irintchev, A., Skouras, E., Kaidoglou, K., Michael, J., *et al.* (2008) Manual Stimulation of the Orbicularis Oculi Muscle Improves Eyelid Closure after Facial Nerve Injury in Adult Rats. *Muscle & Nerve*, **39**, 197-205. <https://doi.org/10.1002/mus.21126>
- [39] Heaton, J.T., Kowaleski, J., Edwards, C., Smitson, C. and Hadlock, T.A. (2010) Evidence for Facial Nerve-Independent Mechanisms of Blinking in the Rat. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **51**, 179-182. <https://doi.org/10.1167/iovs.08-3371>
- [40] Wang, H., Fang, F., Yi, J., *et al.* (2012) Establishment and Assessment of the Perinatal Mouse Facial Nerve Axotomy Model via a Subauricular Incision Approach. *Experimental Biology and Medicine (Maywood, NJ)*, **237**, 1249-1255.
- [41] Heaton, J.T., Kowaleski, J.M., Bermejo, R., *et al.* (2008) A System for Studying Facial Nerve Function in Rats through Simultaneous Bilateral Monitoring of Eyelid and Whisker Movements. *Journal of Neuroscience Methods*, **171**, 197-206.
- [42] Seth, R., Revenaugh, P.C., Kaltenbach, J.A., Rajasekaran, K., Meltzer, N.E., Ghosh, D., *et al.* (2012) Facial Nerve Neurohaphy and the Effects of Glucocorticoids in a Rat Model. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, **147**, 832-840.

<https://doi.org/10.1177/0194599812451551>

- [43] Leckenby, J.I., Chacon, M.A., Rolfe, K., *et al.* (2019) Development of the Interscutularis Model as an Outcome Measure for Facial Nerve Surgery. *Annals of Anatomy*, **223**, 127-135.
- [44] Evangelista, V., Gooding, M.S. and Pereira, L. (2019) Bell's Palsy in Pregnancy. *Obstetrical & Gynecological Survey*, **74**, 674-678.