

# 3D 打印技术建立山羊腰椎融合模型及实验围手术期管理

张峰<sup>1,2</sup>, 刘俭涛<sup>2</sup>, 王瑞<sup>2</sup>, 卢腾<sup>2</sup>, 牛斌斌<sup>2</sup>, 秦杰<sup>2</sup>, 蔡璇<sup>2</sup>, 张廷<sup>2</sup>, 欧阳鹏荣<sup>2</sup>, 贺西京<sup>2</sup>

(1. 西安市第四医院骨科, 陕西 西安 710004; 2. 西安交通大学第二附属医院骨科, 陕西 西安 710004)

**【摘要】** 目的: 探讨个体化 3D 打印技术建立山羊腰椎融合模型的可行性及围手术期管理的注意事项。方法: 根据 10 只雄性 1~2 岁、体重 35~45 kg 波尔山羊腰椎术前 X 线片及 CT 三维重建数据, 术前确定理论撑开高度, 再根据理论进钉点确定钢板长度、弧度、放置位置及上下位螺钉长度等参考值, 设计并进行 3D 打印腰椎侧前路接骨板。全麻下切除山羊腰椎椎体及相邻椎间盘, 将植骨后的钛笼植入山羊体内, 使用 3D 打印侧路接骨板进行固定。术后进行饲养、补液、抗感染及术后并发症处理、呼吸消化围手术期管理等。**结果:** 成功建模, 10 只山羊术后 X 线片及 CT 三维重建显示钛笼及接骨板位置较好, 固定可靠。术后 3 个月山羊行腰椎 CT 三维重建及显微 CT, 观察脊柱融合情况。影像学检查显示, 侧路接骨板固定钛笼植骨融合均在钛笼两端与椎体间形成致密的骨小梁。**结论:** 该 3D 打印技术建立山羊腰椎融合模型, 是一种有效, 成功率高, 融合可靠稳定的方法, 围手术期管理其方法科学、实用, 且更加人性化, 对确保腰椎侧前方钉板内固定系统成功置入, 并降低手术并发症的发生具有较强的指导意义。

**【关键词】** 山羊; 打印, 三维; 腰椎; 脊柱融合术; 围手术期医护

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.05.012

**Eestablishment of the model of goat lumbar spinal fusion by 3D printing technology and experimental perioperative management** ZHANG Feng, LIU Jian-tao, WANG Rui, LU Teng, NIU Bin-bin, QIE Jie, CAI Xuan, ZHANG Ting, OUYANG Peng-rong, and HE Xi-jing\*. \*Department of Orthopaedics, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shannxi, China

**ABSTRACT Objective:** To explore the feasibility and the attention of perioperative management of goat lumbar fusion model for individualized 3D printing technology. **Methods:** According to preoperative X-ray and CT three dimensional reconstruction data of 10 males Boer goat's lumbar (1-2 years old, weight 35-45 kg), the preoperative open height were determined, meanwhile, according to the theoretical entry point of nails, the length of steel plate, arc, and setting position, screw length for reference were determined, the lumbar lateral anterior plate was designed and 3D-printed. Goats lied on the right side, under the general anesthesia, the lumbar vertebrae of the goats and the adjacent intervertebral disc were resected, and the titanium cage after the bone graft was implanted into the goat, the 3D-print lateral bone plate was fixed. After operation, feeding, fluid infusion, anti infection, postoperative complications management, respiratory digestion perioperative management were performed. **Results:** The 10 models for goats were successful in results. Postoperative X-ray film and three-dimensional reconstruction of CT showed that titanium cage and bone plate were in good position and reliable. Three months after the operation, CT 3D reconstruction and micro-CT of the goat were observed, and the fusion of the spine was observed. Imaging studies showed that the fusion of the lateral bone plate fixation titanium cage was both at the end of the titanium cage and the dense bone trabecular formation between the vertebral bodies. **Conclusion:** The 3D printing technology sets up the goat lumbar spinal fusion model successfully, which is a kind of effective, more successful, reliable and stable method, perioperative management. The method is scientific, practical, and more humanized, to ensure that lumbar lateral successfully implanted the nail plate of lateral anterior internal fixation system, with reduction of occurrence of surgical complications.

**KEYWORDS** Goats; Printing, three-dimensional; Lumbar vertebrae; Spinal fusion; Perioperative care

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(5):458-464 www.zggszz.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81571209)

Fund program: National Natural Science Foundation of China (No. 81571209)

通讯作者: 贺西京 E-mail: xijing\_h@vip.tom.com

Corresponding author: HE Xi-jing E-mail: xijing\_h@vip.tom.com

近些年来, 随着脊柱外科的发展及内固定器械的升级, 脊柱融合内固定技术在脊柱创伤、退变及脊柱肿瘤等手术中得到广泛应用, 脊柱融合的成功率也明显提高, 同时辅以内固定的脊柱融合率也高达 95%<sup>[1]</sup>。虽然目前动物脊柱融合模型种类较多, 但方

式方法各有不同,其中主要以小动物融合模型如大鼠、兔等应用较多,大型动物脊柱融合模型的建立相对来说难度较大,而且术后脊柱融合的效果和手术的并发症多种多样。应用山羊作为脊柱融合实验模型目前比较常见,但仍多限于颈椎融合<sup>[2]</sup>,腰椎切除融合的动物模型建立报道较少。本实验旨在探索一种个体化且有效的山羊腰椎切除内固定融合模型及总结其围手术期的管理。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物及准备

**1.1.1 实验动物** 实验选用 10 只健康雄性波尔山羊(由西安交通大学医学部动物实验中心提供),体重 35~45 kg,年龄 1~2 岁,术前 5~7 d 将山羊放入羊舍内,进行过渡性饲养。使其适应新环境和饲草饲料。羊舍温度一般控制在 10~22 ℃。动物实验环境为清洁级。

**1.1.2 主要仪器及设备** 静脉留置针(河南飘安集团),医用钛笼及螺钉(天津正天医疗器械有限公司),X 线机(德国 SIEMENS),64 排 128 层螺旋 CT(德国 SIEMENS),显微 CT 扫描设备(德国 YXLON)。

**1.1.3 主要应用药物** 异丙酚注射液(50 ml,每支 500 mg,国药准字 H20110278,北京费森尤斯卡比医药有限公司),实验用戊巴比妥钠(每瓶 5 g,上海华蓝化学科技有限公司),硫酸阿托品注射液(1 ml,每支 0.5 mg,国药准字 H41021257,遂成药业股份有限公司),注射用头孢唑林钠(每支 0.5 g,国药准字 H13021636,石药集团中诺药业有限公司),乳酸钠林格氏注射液(每瓶 500 ml,国药准字 H20023278,山东齐都药业有限公司),5%葡萄糖注射液(每瓶 250 ml,国药准字 H34023600,安徽双鹤药业有限责任公司),羟乙基淀粉 40 氯化钠注射液(每瓶 500 ml,国药准字 H20033773,山东齐都药业有限公司),地塞米松注射液(1 ml,每支 5 mg,国药准字 H42020598,山西晋新双鹤药业有限公司),盐酸曲马多注射液(2 ml,每支 100 mg,国药准字 H10950222,辽宁天龙药业有限公司),肝素钠注射液(2 ml,每支 12 500 单位,国药准字 H20043156,山东鲁抗辰欣药业有限公司),注射用氨茶碱(2 ml,每支 0.25 g,国药准字 H14022404,山西晋新双鹤药业有限公司)。

**1.1.4 接骨板设计制作与实验准备** 实验山羊禁饮食 24 h,麻醉后进行腰椎的 X 线片,腰椎 CT,腰椎 MRI,排除腰椎及脊髓病变。根据影像学数据,术前确定理论撑开高度,再根据理论进钉点确定钢板长度、弧度、放置位置及上下位螺钉长度等参考值,自主设计腰椎侧前路接骨板,并委托陕西东望科技有

限公司使用医用钛合金(Ti6Al4V)进行 3D 打印制作(图 1)。术前禁食 24 h,禁饮 8 h。左耳背侧耳中静脉留置针穿刺并固定。



图 1 3D 打印山羊腰椎侧前路接骨板

Fig.1 Goat lumbar lateral anterior plate of goathy 3D-print

### 1.2 麻醉方式

使用异丙酚注射液 4 mg/kg 对山羊进行静脉注射,实施麻醉诱导,山羊自行卧倒,同时注意保护以防出现突然倒地,导致骨折或颅脑损伤,若出现舌外露、口流涎、眼睑反射消失则表示给药量达到最佳状态。此时诱导成功,观察呼吸平稳 5 min 方可搬动,随后进行气管插管并应用充气气囊行辅助呼吸。术中应用戊巴比妥(30 mg/kg)<sup>[3]</sup>静脉注射进行维持麻醉状态。

### 1.3 动物体位及手术方式

剪去背中部和左肋部毛发,山羊右侧卧位,四肢固定于手术台上,无痛状态下,术前 30 min 给予皮下注射硫酸阿托品注射液(0.02 mg/kg)<sup>[3]</sup>,静脉滴注头孢唑林钠针剂(25 mg/kg)。安置脊髓神经监测设备,监测脊髓体感诱发电位、运动诱发电位及双下肢肌电图,安尔碘消毒,铺巾,根据术前腰椎 X 线片,髂嵴平山羊 L<sub>6</sub> 水平,以最末节肋骨定位,向尾端逐一触摸山羊腰椎横突进行定位,取左侧腰椎腹膜后入路,自脊柱中线旁开 3 cm,以 L<sub>4</sub> 椎体为中心做长约 15 cm 纵行手术切口,切开皮肤,皮下组织,分离后显露腰椎横突,紧贴横突将横突腹侧的腰大肌分离,并牵向腹侧,保护椎体侧方神经根,游离神经根,用皮片牵开,防止损伤,同时电灼腰横动静脉,防止切除椎体时造成误伤,造成严重的出血,切开 L<sub>4</sub> 椎体上下椎间盘的纤维环,髓核钳摘除椎间盘髓核,切除纤维环,使用磨钻、骨凿及咬骨钳切除 L<sub>4</sub> 椎体,腹侧至前纵韧带,保留 L<sub>4</sub> 椎体右侧部分骨皮质及椎体后侧部分骨皮质,神经剥离子探查后,见骨皮质处松软,充分止血,均部分刮除 L<sub>3</sub> 下位终板及 L<sub>5</sub> 上位

终板,用无菌量规测量局部椎体缺损区长度及深度,双氧水、生理盐水反复冲洗伤口,选择适当的钛笼,将碎骨屑置入钛笼内,打压充实,将钛笼置入椎体骨缺损,将术前 3D 打印的钛合金接骨板置于腰椎外侧,接骨板与腰椎贴合满意,逐一钻孔,测深,攻丝,置入松质骨螺钉(图 2),再次复查脊髓体感诱发电位、运动诱发电位及双下肢肌电图,神经电生理信号均未见异常。双氧水、生理盐水冲洗,止血,逐层缝合伤口,消毒,包扎。

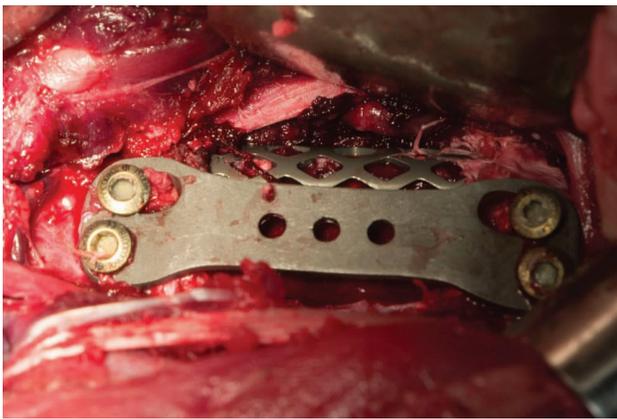


图 2 术中置入钛笼及接骨板

Fig2 Implanting Titanium cage and plate during operation

#### 1.4 术后处理

山羊清醒后即可正常进食,自由活动。当日给予静脉滴注乳酸钠林格、5%葡萄糖注射液、羟乙基淀粉 40 氯化钠注射液等液体补充血容量。术后给予静脉推注地塞米松 10 mg,每天 1 次,头孢唑啉钠针剂 (25 mg/kg),同时盐酸曲马多注射液 (2 mg/kg) 肌注每天 2 次,均连续 3 d。每日伤口局部安尔碘消毒液换药处理、给予相应的补液处理、留置针进行肝素注射液封管以便多次使用。术后 7~10 d,病情稳定,放入饲养中心进行饲养。术后 3 个月复查影像学检查,观察腰椎植骨融合情况。山羊术后尽量分开饲养,恢复快的山羊采食速度快,可能会导致体弱的山羊吃不饱,半饥饿状态。形成恶性循环,体制下降,抵抗力减弱。

#### 1.5 观察项目与方法

观察山羊手术时间,出血量,补液量及术后并发症。术后对山羊进行腰椎正侧位 X 线片检查,以便观察钛笼的位置情况。术后 3 个月后进行山羊腰椎进行多层螺旋 CT 扫描,扫描层厚 0.625 mm,并通过腰椎矢状位及冠状位二维及三维重建,观察植骨融合情况。并进行显微 CT 检查,共同判断融合情况。采用 Magin 等<sup>[4]</sup>方法评价椎体间融合:0 级,无骨痂形成;

1 级,少量骨痂形成;2 级,中等量骨痂形成;3 级,较多骨痂形成;4 级,大量骨痂形成。

## 2 结果

10 只山羊实验,手术时间 1.5~3 h,平均 2.26 h。清醒后即可正常进食,术中出血量 450~740 ml,平均 576.5 ml。术中给予静滴羟乙基淀粉 40 氯化钠注射液 500 ml。术后 1 只山羊出现左后肢肌力减退,考虑术中牵拉神经根,导致神经麻痹所致,术后第 5 天后肢肌力恢复正常。术后行腰椎 X 线检查,示钛笼位置及接骨板固定良好(图 3)。有 3 只山羊出现不同程度的咳嗽咳痰,其中 1 只伴有流粘液样鼻涕,胸部听诊,可闻及细小湿性罗音,胸部 CT 显示:肺部存在炎症改变(图 4)。考虑实验季节寒冷,由于手术失血,术后山羊体质弱,抵抗力差,出现咳嗽咳痰症状,诊断为肺炎,经头孢唑啉钠针剂 (25 mg/kg)<sup>[5]</sup> 静脉注射 (每天 2 次),同时给予氨茶碱 (3 mg/kg) 静滴 (每天 2 次),主要以抗感染,祛痰止咳为主,当症状消失,停药(图 5)。本实验有 1 例手术中,山羊瘤胃臌气严重,冲破后腹膜,故给予瘤胃穿刺排气,解除臌气,还纳瘤胃,并加强缝合后腹膜(图 6)。术后观察山羊排便情况,以防出现肠梗阻。1 只山羊因虽术前禁食 24 h,但术后胃内容物反流误吸,导致死亡(图 7),解剖见支气管内有稀糊状胃内容物残留,解剖山羊的胃,见瘤胃内仍有大量的草料残存。后给予补充山羊进行再次手术,余山羊均手术顺利完成。术后 3 个月,处死实验山羊后对进行腰椎 CT 及 Micro-CT 检查可见钛笼与上下椎体融合,有较多的骨痂形成,均达 Magin 3 级融合(图 8)。

## 3 讨论

### 3.1 3D 技术个体化山羊腰椎融合模型的建立

Cripton 等<sup>[6]</sup>在实验中分析了腰椎后路内固定系统的载荷分享作用,认为严重前柱损伤时后路内固定系统发生破坏的危险性很大。多数意见认为,对于胸腰椎损伤患者椎体骨折、椎管狭窄及后凸畸形程度较严重时,应选择前路手术,反之应选择后路手术。

腰椎前路融合内固定手术,一般前路接骨板大都安放在腰椎的侧方,接骨板位于腰椎轴向力线外,处于偏心位置,脊柱上下传来的力量并不沿接骨板轴线传导,而是直接作用在螺钉之上,此时对接骨板产生较大的折弯力,其结果导致螺钉与接骨板连接处应力最为集中,若接骨板与相邻椎体不能紧密的贴附,就更容易发生疲劳性断裂。

笔者术前根据山羊腰椎的大小对侧路接骨板进行精细的设计,并对侧路接骨板进行个体化 3D 打印,使接骨板与依据不同的椎体形状进行设计打印,其接骨板根据椎体形态做弧形设计与椎体侧方表面

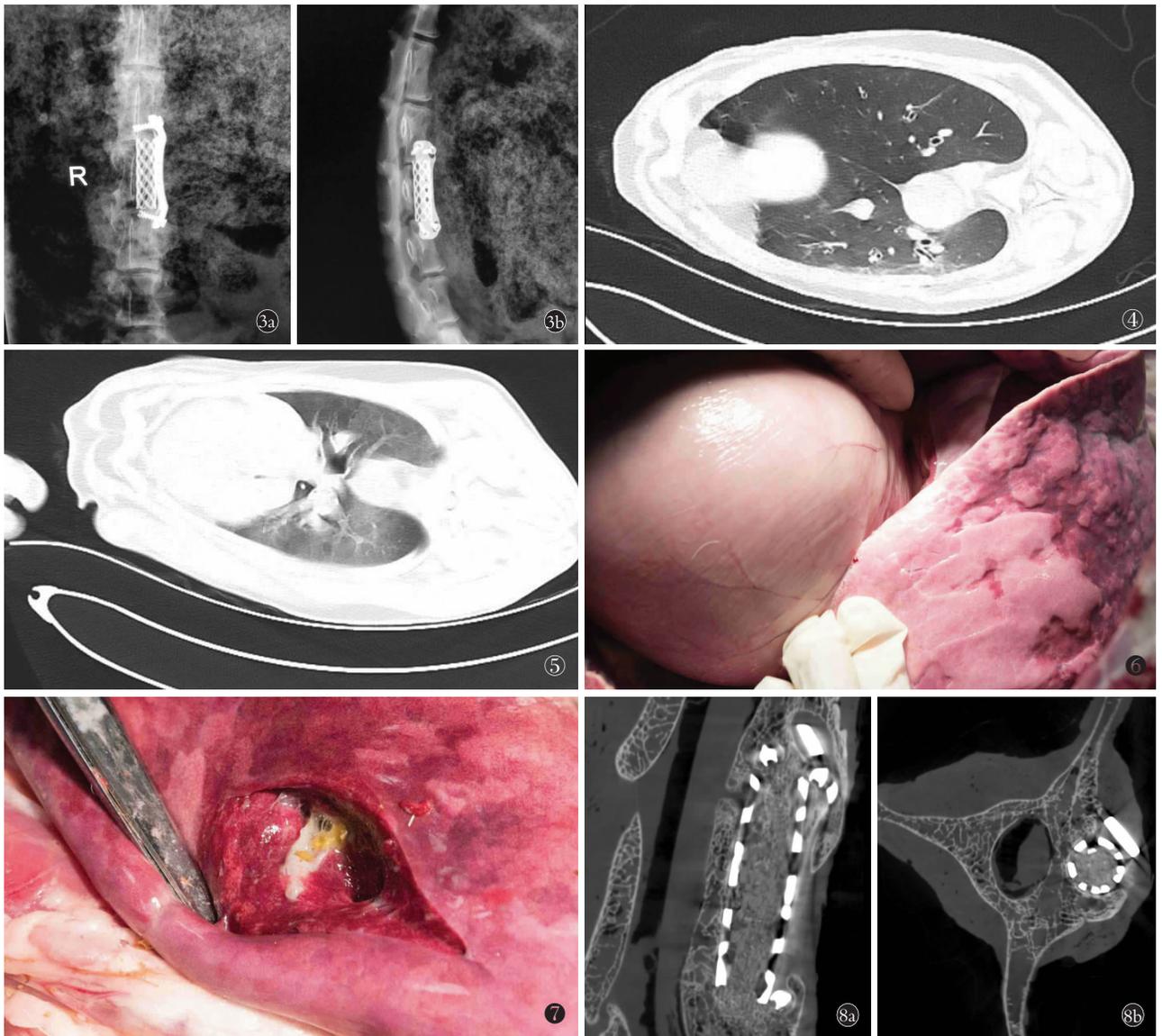


图 3 术后山羊腰椎 X 线片示钛笼位置及接骨板固定良好 3a. 正位片 3b. 侧位片 图 4 右肺纹理增粗, 支气管扩张 图 5 治疗后右肺纹理变细, 支气管正常 图 6 瘤胃鼓胀, 肺脏淤血 图 7 支气管内有稀糊状胃内容物 图 8 术后 3 个月山羊腰椎 Micro-CT 可见钛笼与上下椎体融合, 有较多的骨痂形成 8a. 矢状位 8b. 水平位

Fig.3 X-ray film of goat lumbar vertebrae after operation showed the titanium cage and the plate were fixed well 3a. AP X-ray 3b. Lateral X-ray Fig.4 CT scan showed thickening of right lung texture and bronchiectasis Fig.5 CT scan showed that the right lung texture was thinner after treatment and the bronchial tube was normal Fig.6 Goat appear rumen bulge and pulmonary congestion Fig.7 A thin paste stomach contents in the bronchial tube of goat Fig.8 Micro-CT scan of goat lumbar vertebrae 3 months after operation showed that the titanium cage was fused with the upper and lower vertebral body with more callus formation 8a. Sagittal position 8b. Horizontal position

紧密贴附, 接骨板的周缘圆钝, 不易损伤周围软组织, 接骨板的长度匹配度高, 方便术中选择。既能纠正腰椎后凸畸形, 又能对钛笼进行加压, 以达到防止植骨区松动移位及不愈合的情况。3D 打印的接骨板及选用配套螺钉均为钛合金材质, 其具有良好的生物组织相容性及耐腐蚀性, 针对术后 CT、MRI 的检查, 均不会产生影响。

对于一种新型的骨替代材料、内固定材料和新技术在骨科临床领域应用之前, 首先都需建立相应

的动物模型, 对脊柱融合后的各类指标进行测试和进一步研究, 只有当实验确定安全, 不会对动物造成伤害后, 才可能进一步施行临床实验研究。羊椎体形状、大小及数目与人椎体比较相近<sup>[2]</sup>。应用羊动物模型在脊柱融合实验中已较为常用, 但多用于颈椎疾病的研究, 而腰椎疾病方面应用较少。所以, 将个体化设计的 3D 打印接骨板在应用临床患者之前, 先进行动物实验。此实验研究难点在于手术操作复杂, 手术及麻醉时间较长, 出血量较多, 输血困难, 术后

并发症多,围手术期处理困难。有报道应用新西兰白兔做动物脊柱融合模型死亡率和并发症达到 20%以上<sup>[7]</sup>,应用大型动物做脊柱融合模型更为复杂。

### 3.2 围手术期管理

山羊脊柱手术与人体脊柱手术过程差异不大,但是围手术期的管理,与临床围手术期管理相差甚远,由于与实验动物无法进行交流,且实验中其配合度差,山羊在围手术期所产生的各种活动状态及症状,都需要实验者仔细分析判断,并提早的进行干预,从而减少实验动物的死亡及残疾。一旦出现,实验动物死亡或后遗症,将会影响实验数据的采集及实验结果。对于实验山羊习性、饮食、活动状态等等,对于临床医生来说,确实是个盲区,用临床知识的判断和决策,很有可能导致实验动物死亡、实验研究拖沓冗长或实验终止。笔者查阅了大量的资料,对于山羊脊柱手术围手术期详细的管理,报道极少,术后山羊死亡或者截瘫、感染、肢体无力等,究其原因,很大程度上与围手术期处理不当或不完善有关,笔者将围手术期实验管理总结如下,希望能参考借鉴,以减少大家在实验中动物不必要的损失,减少我们在实验过程中经历及时间的浪费。

**3.2.1 术前实验山羊的管理** 实验前当山羊被提供给实验者时,也应注意观察辨别山羊的健康程度,以防山羊在术后因为疾病出现死亡或残疾,影响实验数据的采集及实验效果。

**3.2.2 分泌物的管理** 反刍动物在麻醉诱导后会持续分泌唾液,由于意识丧失,吞咽功能受到抑制<sup>[8-9]</sup>,唾液无法重吸收,可导致渐进性代谢性酸中毒。本组山羊手术过程中唾液分泌 360~860 ml,根据手术时间的不同,平均每小时会丧失大约 253.3 ml 的唾液,如果手术时间>2 h,应通过静滴碳酸氢钠溶液防止代谢性酸中毒的产生。术前针对手术山羊,皮下注射硫酸阿托品注射液,防止其腺体分泌物过多。同时,术中体位应抬高颈部,可以避免麻醉山羊唾液及反刍食物的反流<sup>[10]</sup>。

**3.2.3 补液管理及注射技术的注意事项** 在麻醉前,由于山羊禁食超过 24 h,为了保证体内水电解质平衡,所以在术中及术后对实验动物进行补液是非常必要的。

虽然动物的补液量由丢失量和维持量组成,实验动物的体重为 35~45 kg,按照 24 h 需要液体量为 50 ml/kg,其维持补液量为 1 750~2 250 ml,实验动物术后清醒,由于伤口的疼痛,躁动,寒战,静脉输液难以维持,故本实验山羊的输液量为 900~2 000 ml,术后 3~8 h 后就无法进行输液。所以根据实验情况,应补充山羊的丢失量,术后山羊完全清醒后,补充充

足的饲料,自由饮水,即可纠正脱水现象。

术后如有科研条件及实力,进行输血处理,对供血山羊及受血山羊进行术前交叉配血,以防止出现输血反应。由于实验条件有限,无法进行血液回输和交叉配血,故术中采用羟乙基淀粉 500 ml 结合乳酸钠林格氏液,葡萄糖注射液补充血容量。

术后山羊饮食差,故对山羊固定后进行术后 2~3 d 的补液治疗,静脉输注维持补液量的 50%~60% 即可,山羊活动量大,长时间的补液,固定山羊,使其无法活动,导致山羊的精神、进食功能的低下,反而会导致山羊恢复较慢,术后观察山羊的活动,精神,采食,排尿情况,若山羊精神良好,采食正常,排尿正常,即可停止补液。每日通过静脉留置针,静脉推注 50 ml 抗生素 2 次。

山羊多在颈静脉的上 1/3 与中 1/3 的交界处进行穿刺输液,但输液针在输液后无法长时间固定,由于波尔山羊耳部较大,静脉表浅,容易穿刺,并也容易留置针固定,故我们采用耳中静脉。采用在山羊耳中静脉置入 18 G 留置针,每日进行药物的静脉推注,方便安全,有效,且实验动物不会因为疼痛,产生躁动。在输液或静脉注射的过程中,应注意随时观察山羊的表情、行为,若发生骚动、出汗、流涎、气喘、肌肉震颤等异常行为,应停止给药,更换为生理盐水,慢速静滴,保留液体通道。因为山羊在输液中可能会摆动头颈部,导致输液管打折或缠绕,影响输液速度,发现后,应给予妥善固定。在输液过程中出现针头阻塞,可以用生理盐水或者肝素生理盐水推注,若仍无法贯通针头,则需重新穿刺。每次在输液结束后,应用 3~5 ml 肝素生理盐水对留置针进行封管,以备下次使用。

**3.2.4 围手术期山羊呼吸系统的管理** 全麻插管会出现并发症为肺部感染,尤其在寒冷季节尤为多见,上呼吸道感染可能诱发肺炎,应引起大家重视。

对于山羊出现咳嗽,咳痰或有黏液样的鼻汁,应注意观察,以防出现严重的肺部感染,导致死亡。本组实验中,有山羊术后出现肺炎,给予抗感染,祛痰止咳处理,均症状消失。笔者认为,全麻插管这种机械性刺激,破坏了呼吸道的屏障机能,直接损伤呼吸道黏膜,引起炎症或招致细菌感染。同时,各种外来刺激进入呼吸道后,在一定的条件下能引起黏膜中的杯状细胞及粘液腺增生,时粘液分泌增多,积滞的黏液使纤毛倒状或使其运动能力降低,局部黏液积滞,给细菌的大量繁殖创造条件。

肺炎初期可闻及干性啰音,后期可闻及湿性啰音,精神不振,采食差。若山羊出现窒息危险,需立即行气管切开处理。对于术后山羊的管理,应防寒保

暖,防止感冒,免受寒冷,注意通风,保持空气新鲜清洁,提高抵抗力。

术后山羊因麻醉没有完全清醒时, 吞咽呛咳反射未完全恢复, 容易导致胃内容物的反流及误吸, 造成呼吸道阻塞。结果导致肺水肿和肺不张。所以, 用沙袋或者一卷毛巾垫高颈部, 使头部降低, 同时降低瘤胃及腹部其他脏器的主动活动, 可防止吸入性肺炎和气道阻塞的发生。

术前禁饮食是非常必要的, 一般实验禁食 24 h 禁饮 8 h, 但在实验中发现术前常规禁饮食, 手术时山羊体内仍会触及胃内有大量的草料残留, 故术前注意触诊山羊腹部, 拿捏山羊胃内草料情况, 若山羊腹部满胀, 草料过多, 仍要求禁食 12 h, 以尽量促进胃排空。但是完全的胃排空, 会导致术后山羊虚弱, 进食差, 出现山羊的死亡或康复较慢, 这个问题也值得我们重视。

**3.2.5 围手术期消化系统的管理** 虽然术前禁食能够减少反刍动物体内食物发酵引起的瘤胃臌气<sup>[11]</sup>, 但是瘤胃臌气仍然会出现。故本实验术前 3~5 d 内禁止喂食含水量较多的青草、水草, 采食堆积发热的青草、霉败的草料, 或者经与淋的、水浸渍、霜冻的饲料等而防止产生非泡沫性瘤胃臌气, 这样可以明显降低瘤胃臌气的发生。

反刍动物瘤胃内容物发酵产生大量的气体, 麻醉中瘤胃运动性下降, 反刍及暖气停止或减弱, 气体在瘤胃内蓄积, 就可导致瘤胃内臌气。手术创伤导致应激反应, 而发生瘤胃迟缓, 而出现瘤胃内臌气。

如果瘤胃臌气严重, 将抑制呼吸, 影响血流, 导致低氧血症和休克, 于此同时腹部臌气, 导致手术中操作视野明显减小, 需要助手将臌气的瘤胃及周围软组织强行牵入对侧, 明显增加了手术时间及手术操作难度。术中可将山羊前高后低, 适当进行呼吸换气, 可以降低臌气的危险。

**3.2.6 术后拔管时机及术后镇痛管理** 全身麻醉手术结束后, 直至山羊的咳嗽和吞咽反射恢复, 才可将气管插管拔除<sup>[10]</sup>, 像其他的反刍兽一样, 应使山羊保持俯卧位, 以便在复苏期间顺利暖气, 并有专人进行看护, 以确保山羊不会因滑至侧卧位而引起臌气。如果在拔管后出现异常的呼吸音, 这表明有可能是喉头水肿或上呼吸道阻塞引起的, 应立即检查其原因, 并进一步处理。

麻醉镇痛在动物实验中是一项重要的问题, 可以避免疼痛, 保护动物福利, 对实验动物的术后生理功能影响减低到最低程度, 从而可以充分保证实验结果的可靠性及稳定性, 减少对实验结果的干扰<sup>[12-14]</sup>。与其他动物一样, 山羊也需要护理, 以缓解

术后疼痛, 由于它们感到疼痛时并不会异常的举动, 所以经常错误地认为感觉正常, 而实际上疼痛可能非常剧烈。本实验术后选择使用每日盐酸曲马多注射液 50 mg 肌注 2 次, 连用 3 d, 在镇痛处理后, 也发现山羊在行为上的差异改变极为显著。

**3.2.7 术后椎体融合评估** 术后对于脊柱融合模型, 研究表明, 仅仅使用 X 线片去判定脊柱融合情况是不准确的<sup>[15]</sup>。采用 X 线片及普通 CT 检查进行评估及融合率, 仍存在很大的误差。Zinreich 等<sup>[16]</sup>认为二维及三维重建 CT 比普通 CT 扫描提供更多关于脊柱融合的信息, 且三维重建比二维重建提供的信息更多, 薄层扫描可提高空间分辨率及重建图像质量。术后 3 个月进行山羊腰椎三维 CT 及显微 CT 的检查, 观察腰椎融合情况。根据 Magin 方法对融合腰椎进行融合情况的评价, 10 只山羊腰椎均达到融合标准。

本组实验研究通过最新的 3D 打印技术, 进行个体化的设计打印制作侧路接骨板的实验方法成功地建立了山羊腰椎体融合模型, 接骨板设计更加精确。通过山羊围手术期的精细管理, 使得实验物在实验中成活率更高, 并发症更小, 手术操更加方便, 术后痛苦更小, 融合率高, 从而增加了实验的成功率。此实验也为今后脊柱融合技术的研究提供了一种有效的方法。

#### 参考文献

- [1] Eck JC, Humphreys SC, Lim TH, et al. Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent-level intradiscal pressure and segmental motion[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27(22): 2431-2434.
- [2] Wilke HJ, Kettler A, Wenger KH, et al. Anatomy of the sheep spine and its comparison to the human spine[J]. Anat Rec, 1997, 247(4): 542-555.
- [3] Dong J, Lu M, Liang B, et al. Anterior cervical corpectomy non-fusion model produced by a novel implant[J]. Med Sci Monit, 2016, 22: 1131-1145.
- [4] Magin MN, Delling G. Improved lumbar venobal interbody fusion using rhOP-1: a comparison of autogenous bone graft, bovine hydroxylapatite (Bio-Oss), and BMP-7 (rhoP-1) in sheep[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(5): 469-478.
- [5] Qin J, Zhao C, Wang D, et al. An in vivo comparison study in goats for a novel motion-preserving cervical joint system[J]. PLoS One, 2017, 12(6): e0178775.
- [6] Cripton PA, Jain GM, Wittenberg RH, et al. Load-sharing characteristics of stabilized lumbar spine segments[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(2): 170-179.
- [7] Grauer JN, Erulkar JS. A ward winner evaluation of OP-1 as a graft substitute for intertransverse process lumbar fusion[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(2): 127-133.
- [8] Somers M. Comparison of the salivary secretion of both parotid glands in a sheep[J]. Nature, 1958, 182(4632): 400.
- [9] Kay RN. The rate of flow and composition of various salivary secre-

tion in sheep and calves[J]. J Physiol, 1960, 150:515-537.

[10] Gavier D, Kittleson MD, Fowler ME, et al. Evaluation of a combination of xylazine, ketamine, and halothane for anesthesia in llamas[J]. Am J Vet Res, 1988, 49(12):2047-2055.

[11] Steffey EP. Some characteristics of ruminants and swine that complicate management of general anesthesia[J]. Vet Clin North Am Food Anim Pract, 1986, 2(3):507-516.

[12] Atmoustadi WA, Lee TW, Klein J, et al. The effect of total spinal anesthesia on cardiac function in a large animal model of brain death[J]. Can J Physiol Pharmacol, 2012, 90(9):1287-1293.

[13] Ouchi K, Sekine J, Koga Y, et al. Establishment of an animal model of sedation using epidural anesthesia that uses the tail-flick test for evaluating local anesthetic effects in rats[J]. Exp Anim, 2013, 62(2):137-144.

[14] Favetts P, Degoute CS, Perdrix JP, et al. Propofol metabolites in man following propofol induction and maintenance[J]. Br J Anaesth, 2002, 88(5):653-658.

[15] 段兴威, 武汉, 谷长跃, 等. rhBMP-2 在老年兔后外侧脊柱融合中作用的实验研究[J]. 中国骨伤, 2010, 23(1):28-32. DUAN XW, WU H, GU CY, et al. Experiment of rhBMP-2 in posterolateral spinal fusion in aged rabbits[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2010, 23(1):28-32. Chinese with abstract in English.

[16] Zinreich SJ, Long DM, Davis R, et al. Three-dimensional CT imaging in postsurgical "failed back" syndrome[J]. J Comput Assist Tomogr, 1990, 14(4):574-580.

(收稿日期:2017-12-20 本文编辑:王玉蔓)

·读者·作者·编者·

### 本刊关于参考文献著录的要求

按 GB/T 7714-2015《信息与文献 文后参考文献著录规则》采用顺序编码著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字标出,并将序号置于方括号中,排列于文后。中文参考文献要求用英汉双语著录;用汉语拼音书写的人名,姓全大写,其名缩写,取每个汉字拼音的首字母;刊名用汉语拼音拼写。参考文献中的作者,1-3 名全部列出,3 名以上只列前 3 名,后加“等”。外文期刊名称用缩写,以 Index Medicus 中的格式为准。每条参考文献均须著录起止页。①期刊:[序号]作者.题名[J].刊名,年,卷(期):起止页码。②专著:[序号]著者.书名[M].版次.出版地:出版者,出版年:起止页码。③专著中析出文献:[序号]作者.题名[M]//编者.书名.版次.出版地:出版者,出版年:起止页码。

《中国骨伤》杂志社