

王浩田,刘佳,黄健,等. 透视引导下犬椎体成形术穿刺模型建立和评价 [J]. 中国实验动物学报, 2024, 32(3): 355-361.
WANG H T, LIU J, HUANG J, et al. Establishment and evaluation of a canine vertebral augmentation puncture model under fluoroscopic guidance [J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2024, 32(3): 355-361.
Doi:10.3969/j.issn.1005-4847.2024.03.009

透视引导下犬椎体成形术穿刺模型建立和评价

王浩田,刘佳,黄健,齐军强,许国华*

(海军军医大学第二附属医院脊柱外科,上海 200003)

【摘要】 目的 通过对犬脊柱解剖形态的测量及分析,建立透视下犬椎体成形术穿刺模型,并通过术后影像学分析,评估该模型建立方法的有效性和安全性。**方法** 测量 6 只 12 ~ 24 月龄犬腰椎标本形态及其参数:L1 ~ L7 椎体高度、椎体基底宽度、椎间盘上缘距椎体最狭部距离、脊椎乳突垂直线距椎间盘上缘距离、横突中点与椎间盘下缘垂直距离,以明确犬椎体解剖特点,确定骨水泥注射的最佳位置、注射方向以及注射深度后,对 6 只健康比格犬(体重 20 ~ 25 kg)L4、L5、L6 椎体建立椎体成形术用穿刺模型。术后 4 周处死后行影像学检查,主要观测指标包括:手术时间、术后植入骨水泥分布、椎管及椎体前缘完整性。**结果** 通过犬解剖观测,椎体高度从 L1 ~ L5 逐渐增大,从 L5 ~ L7 逐渐减小,椎体基底部宽度从 L1 ~ L7 逐渐增大。脊椎乳突垂直线距椎间盘上缘距离呈 L1 ~ L7 逐渐增加趋势(1.9 ~ 4.0 mm)。横突根部中点和椎间盘下缘的距离由 L1 ~ L5 逐渐增加(4.7 ~ 6.9 mm),L4、L5、L6 节段每只犬横突根部中点和椎间盘下缘的距离之间($P = 0.925$)无统计学意义。以脊椎横突根部中点为穿刺点,置入向和水平面呈 20° ~ 30°,头倾方向 5° ~ 15°,穿刺深度 1.2 ~ 1.5 cm。若向椎体尾侧穿刺,穿刺针尾的倾角度为 30° ~ 35°,进针深度为 1.5 ~ 1.8 cm,可以构建犬椎体穿刺手术模型。共成功制作 15 个犬椎体穿刺手术模型,单节段平均手术时间 22.7 ± 4.6 min (15 ~ 30 min)。术中 1 个椎体节段出现脊髓损伤导致下肢瘫痪、大小便失禁等症状,2 个椎体骨皮质破裂,未出现麻醉或感染导致死亡。术后 4 周的 Micro-CT 三维重建均显示骨水泥在犬椎体松质骨内分布,新生骨组织包裹植入材料,无渗漏,无椎管及椎体前壁破损等并发症。**结论** 在犬 L4 ~ L6 解剖基础上,以横突根部中点为骨性标志,可以成功建立一种安全可靠的犬椎体成形术用穿刺模型。

【关键词】 椎体成形术;椎体穿刺;动物模型;脊椎横突;穿刺入路

【中图分类号】 Q95-33 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1005-4847 (2024) 03-0355-07

Establishment and evaluation of a canine vertebral augmentation puncture model under fluoroscopic guidance

WANG Haotian, LIU Jia, HUANG Jian, QI Junqiang, XU Guohua*

(Department of Orthopedics, the Second Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200003, China)

Corresponding author: XU Guohua. E-mail: xuguohuamail@163.com

【Abstract】 Objective To establish a fluoroscopic percutaneous vertebral augmentation model in dogs by measuring and analyzing canine spinal anatomy. We also assessed the effectiveness and safety of this modeling method by postoperative radiological analysis. **Methods** Morphological measurements were taken in six dogs, aged approximately 12 ~ 24 months, and the following parameters of the lumbar vertebrae were determined: height of the L1 ~ L7 vertebrae, width of the vertebral base, distance from the upper edge of the intervertebral disc to the narrowest part of the vertebra, distance from the vertical line of the spinous process to the upper edge of the intervertebral disc, and vertical distance from the midpoint of the transverse process to the lower edge of the intervertebral disc. These measurements were obtained to clarify the

【基金项目】上海市 2020 年度“科技创新行动计划”实验动物研究领域项目(201409003700)。

Funded by Guidelines for Project Application in the Field of Laboratory Animal Research of Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan in 2020 (201409003700).

【作者简介】王浩田,男,硕士,研究方向:脊柱外科。Email:wht0709@126.com

【通信作者】许国华,男,教授,博士生导师,研究方向:脊柱微创、脊髓损伤、骨再生材料。Email:xuguohuamail@163.com

anatomical characteristics of the canine vertebrae and determine the optimal location, direction, and depth for bone-cement injection. A percutaneous vertebral augmentation model was subsequently established in the L4, L5, and L6 vertebrae of six healthy Beagle dogs, weighing 20 ~ 25 kg. The dogs were euthanized 4 weeks post-surgery and examined radiologically. Primary observations included the surgical duration, postoperative distribution of the implanted bone cement, and integrity of the vertebral canal and anterior edge of the vertebrae. **Results** Anatomical observation of the canine vertebrae revealed that the vertebral height increased gradually from L1 ~ L5 and then decreased from L5 ~ L7. The width of the vertebral base increased consistently from L1 ~ L7. The distance from the vertical line of the spinous process to the upper edge of the intervertebral disc showed an increasing trend from L1 ~ L7 (1.9 ~ 4.0 mm). The distance between the midpoint of the base of the transverse process and the lower edge of the intervertebral disc increased gradually from L1 ~ L5 (4.7 ~ 6.9 mm). There was no significant difference in the distance between the midpoint of the base of the transverse process and the lower edge of the intervertebral disc in the L4, L5, and L6 segments among the dogs ($P = 0.925$). The midpoint of the root of the transverse process of the spine was taken as the puncture point, and the insertion direction and horizontal plane were at an angle of $20^\circ \sim 30^\circ$, with a head tilt of $5^\circ \sim 15^\circ$ and a puncture depth of 1.2 ~ 1.5 cm. If the puncture was directed towards the caudal side of the vertebra, the angle of the needle tail was $30^\circ \sim 35^\circ$, with a penetration depth of 1.5 ~ 1.8 cm. This technique allowed the successful construction of a canine vertebral puncture surgical model. A total of 15 canine vertebral puncture surgical models were successfully created, with an average surgery time of 22.7 ± 4.6 min (15 ~ 30 min) per vertebral segment. During surgery, one vertebral segment experienced spinal cord injury resulting in paralysis of the hind limbs and bowel and bladder incontinence. Two vertebral cortical bones fractured, but there were no deaths due to anesthesia or infection. Four weeks post-surgery, micro-computed tomography-based three-dimensional reconstructions consistently showed bone cement distributed within the trabecular bone of the canine vertebrae, with newly formed bone tissue enveloping the implanted material. There was no leakage, and no complications such as damage to the vertebral canal or the anterior wall of the vertebrae. **Conclusions** A safe and reliable canine vertebral augmentation puncture model can be successfully established based on the anatomy of the canine lumbar vertebrae (L4 ~ L6) and using the midpoint of the base of the transverse process as a bony landmark.

[Keywords] vertebral augmentation; vertebral body puncture; animal model; transverse process of the spine; puncture approach

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 是在影像学引导下将骨水泥经皮注入因骨质破坏而脆弱的椎体内的一种脊柱微创手术。通过骨水泥的注入,填充了椎体内病理性空隙,以强化椎体及固定骨折椎体,能达到及时止痛改善症状的目的,具有近期疗效好的特点^[1]。常用的可注射骨水泥主要有 2 大类:聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 骨水泥和磷酸钙骨水泥 (calcium phosphate cement, CPC)。然而 PMMA 骨水泥存在缺乏抗菌活性、机械性能缺陷、大量放热、残余单体毒性等问题^[2-3], CPC 在机械性能和骨诱导性等方面存在缺陷^[4]。为改善这些缺陷,一些新型骨水泥被研究^[5],为验证植入材料的疗效和安全性,恰当的动物模型是生物实验研究的关键。建立一个可靠、有效、重复性好的动物模型,有助于新型骨水泥的研发以及基础研究的推进^[6]。比格犬性情温顺、来源稳定可靠,体型、体重在不同个体中差异小^[7],在骨骼方面更接近于人,且对手术的耐受

能力强。因此,本文对比格犬脊柱的解剖学特点进行分析后,探索透视引导下的犬椎体成形术穿刺入路,以期对相关研究提供可靠的动物模型。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物

普通级健康 12 ~ 24 月龄的比格犬 6 只 (体重 20 ~ 25 kg,雌雄各 3 只),购买于上海交大农生实验实习场有限公司【SCXK(沪)2022-0005】,经 X 线检查排除脊柱的先天性畸形和病犬及孕犬,动物饲养于上海交大农生实验实习场有限公司【SYXK(沪)2023-0014】,单笼喂养,室内温度 16°C 、湿度 60% ~ 90%,12 h 光照/12 h 无光照环境条件下适应性饲养 1 周,术前 12 h 禁食、6 h 禁水。手术器械进行高温高压消毒。本动物实验在上海交大农生实验实习场有限公司动物实验中心完成并经过审批 (IACUC20200601)。

1.1.2 主要试剂与仪器

丙烯酸树脂骨水泥 (Tecres 公司, 意大利), 手动电钻 (Medtronic 公司, 美国), 骨水泥穿刺针 (上海凯利泰医疗科技股份有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 观察动物解剖

仔细观察犬的大体解剖, 寻找最佳穿刺进针点。观察犬 L2 ~ L7 椎体的大小及形态特点, 归纳乳突、横突、椎间孔之间的关系。行 Micro-CT, 观察是否有可用于穿刺定位的明显骨性标志 (图 1)。

1.2.2 麻醉及椎体穿刺模型建立

在进行比格犬脊柱穿刺手术时, 严格遵循了手术前禁食 12 h、禁水 6 h 的操作规程, 选择犬前肢桡静脉, 根据动物体重给予 5% 戊巴比妥钠 4 mg/kg 麻醉, 手术区域脱毛以确保清洁。将犬置于 DR 台上, 利用定位板分别行俯卧位及左侧位定位成像。本研究利用 6 只比格犬 L4 ~ L6 椎体, 通过后外侧入路进行穿刺。

以 L6 穿刺为例, 定位板下 DR 正位先确定 L6 椎体形态、大小, 以及 L6 棘突、乳突、横突根部并进行标记, 侧位片确定 L6 横突根部背侧缘落于椎体的位置及距棘突的距离, 再次确认横突中点位置并与正位片进行比较调整, 分别对上述位置进行标记。犬俯卧位于操作台上, 常规消毒铺单, 根据正侧位提示用 10 cm 腰穿针行初步穿刺, 触碰到骨性结构时停止。行 DR 正侧位确认穿刺点、穿刺角度, 穿刺深度。效果满意后, 用 11 号尖刀做 2 mm 皮肤切口, 椎骨穿刺针沿确认的进针点、角度、深度进针

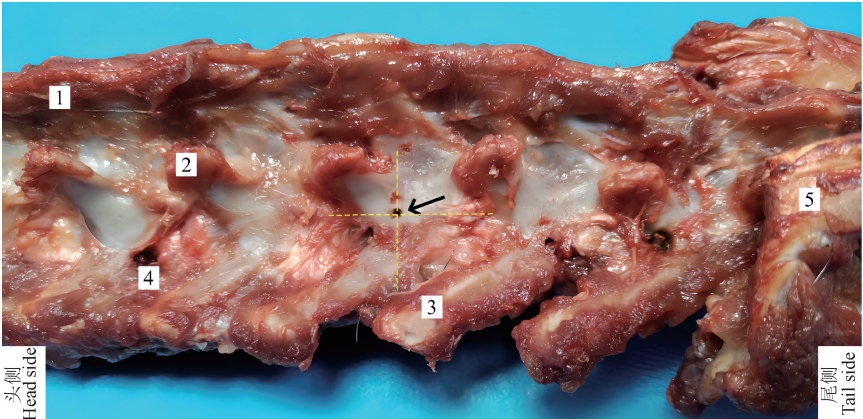
至骨性结构, 并少许突破骨皮质, 再次行 DR 正侧位确认进针点及角度, 并进行微调。将穿刺针敲入合适深度 (1.5 cm), 取出穿刺针针芯, 从穿刺针外管中置入引导针, 探查四壁完整后移除穿刺针外管。在引导针下插入工作套管并敲入骨皮质 2 mm, 使用手钻经工作通道钻入椎体内进行扩髓。钻头深度为 1.3 ~ 1.7 cm。再次探查四壁完整性, 骨水泥粉剂和液剂充分混合好后, 将骨水泥填充器内杆拔出, 把骨水泥装入注射器中, 连接填充器进行骨水泥装填。骨水泥呈“拉丝”状态时, 将骨水泥填充器经工作通道插入椎体内, 缓慢推入 0.5 mL 骨水泥, 同时关注犬呼吸、心率等情况。等待 5 ~ 10 min 待水泥固化, 取出所有器械。透视观察骨水泥位置满意后, 缝合切口 (图 2)。

1.2.3 术后处理

手术后, 将犬放回饲养笼, 术后即刻开始连用 3 d 抗生素 (青霉素钠每天 800 000 单位)。术后第 1 天禁食、禁水, 自第 2 天起开放食、水。观察实验动物进食及尿便情况, 手术切口情况, 肢体活动情况、死亡情况。若术后出现严重并发症 (大小便失禁、下肢瘫痪) 则使用空气栓塞法处死取材, 取得的比格犬椎体将被去除周围肌肉韧带后浸泡在 4% 多聚甲醛细胞固定液中。

1.2.4 主要观察指标

(1) 手术时间: 麻醉开始到缝合完毕。(2) 影像扫描: 进行 Micro-CT 扫描, 观察分析注射位置、椎体通道、骨水泥分布和剂量、椎管及椎体前缘完整性。(3) 术后是否出现严重并发症。

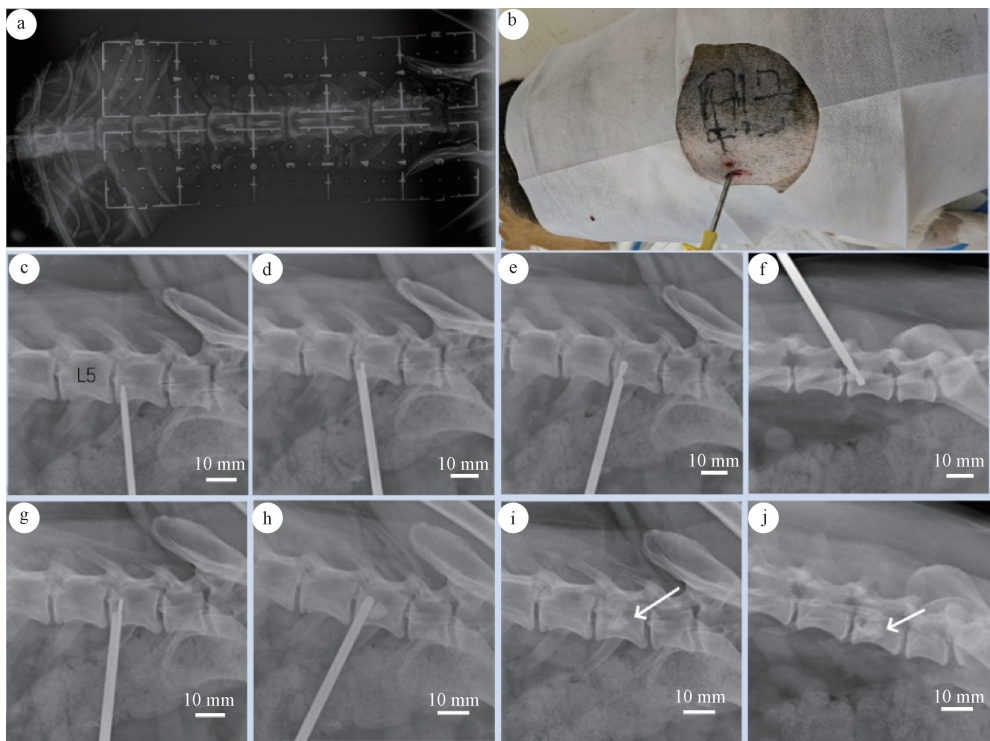


注: 1: 棘突; 2: 乳突; 3: 横突; 4: 椎间孔; 5: 髂骨; 黑色箭头为本研究使用的后外侧入路穿刺点。

图 1 犬椎体大体图

Note. 1. Spinous process. 2. Mastoid. 3. Transverse process. 4. Intervertebral foramen. 5. Ilium. Black arrow indicates the posterior lateral entry point used in this study for needle puncture.

Figure 1 Gross anatomy of a canine vertebra



注:a:定位板下正位透视,确定穿刺节段、椎体骨性标志、穿刺点;b:做好标记后消毒铺巾,开始穿刺;c:穿刺针进针,穿破椎体皮质骨;d:导丝探查,四壁完整;e:正位,扩髓器扩开松质骨达满意深度;f:侧位,扩髓器扩开松质骨;g:导丝再次探查,四壁完整;h:正位,置入导管,逐渐注射骨水泥(聚甲基丙烯酸甲酯),观察骨水泥的注入情况,防止进入椎管;i:正位,拔除导管,观察骨水泥的分布;j:侧位,观察骨水泥的分布;白色箭头:骨水泥。

图 2 犬椎体成形术操作过程

Note. a. Locating the intervertebral level, vertebral bone landmarks and puncture site under fluoroscopy. b. After disinfection and draping, needle puncture is performed. c. Needle advancement through the vertebral cortical bone. d. Guidewire placement and confirmation of intact walls. e. Midline, dilator opening of cancellous bone to a satisfactory depth. f. Lateral, dilator opening of cancellous bone. g. Guidewire re-confirmation of intact walls. h. Midline, placement of catheter and gradual injection of polymethylmethacrylate bone cement while monitoring distribution and preventing epidural spread. i. Midline, removal of catheter and observation of bone cement distribution. j. Lateral, observation of bone cement distribution. White arrows. Bone cement.

Figure 2 Procedure of vertebroplasty in dogs

1.3 统计学分析

数据以平均值 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,利用 SPSS 26.0 软件进行处理。单因素方差分析/LSD 多重比较分析差异显著性, $P < 0.05$ 表示具有统计学意义。

2 结果

2.1 犬的解剖

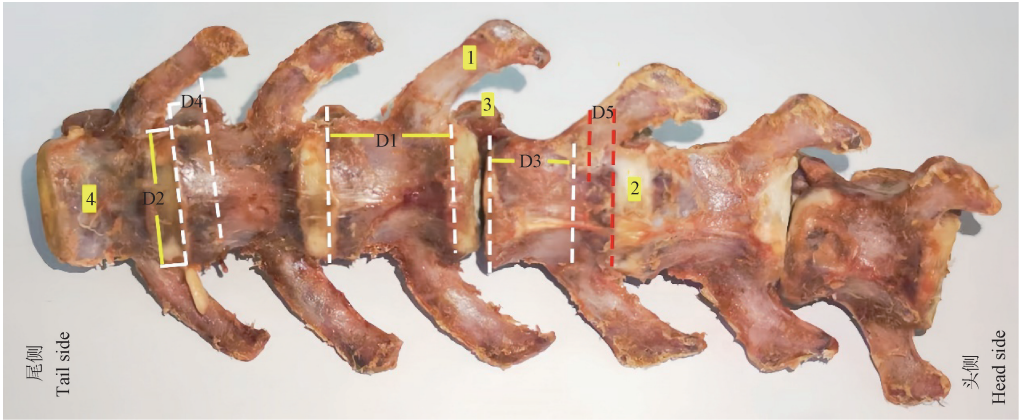
犬的腰椎共有 7 个,单个腰椎椎体宽度由两侧向中间凹陷处逐渐变窄,呈现出哑铃状的形态,其中椎间盘呈白色且凸出,横突向前向下生长。值得注意的是,犬的 L1 ~ L7 相似,但在高度上却存在一定的差异,其中 L7 节段最小且被骨盆覆盖,而 L5 节段则最大。腰椎整体的椎体高度呈现出“中间大两头小”的特征。6 只比格犬腰椎具体测量参数(图

3,表 1)。进一步行单个犬椎体 Micro-CT 发现,椎体两侧宽大且松质骨较多,中间狭部骨松质相对较少(图 4)。

进一步通过统计分析,6 只犬脊柱 L4 ~ L6 的 D5 无统计学意义($F = 0.078, P = 0.925$),即犬 L4 ~ L6 横突根部中点与椎间盘下缘垂直距离相对变化不大,个体差异小,因此犬 L4 ~ L6 横突根部中点可作为椎体穿刺的安全可靠的骨性标志。

2.2 手术结果

采用椎体高度和基底宽度均较大的 L4、L5、L6 节段椎体为模型节段。利用 6 只比格犬共成功制作 15 个犬椎体穿刺手术模型,单节段平均手术时间 22.7 ± 4.6 min (15 ~ 30 min)。穿刺定位点为横突根部中线与乳突根部和横突根部凹陷线的交点。穿刺角度为与水平呈 30°。向头的倾角度为 10°穿



注:1:横突;2:椎间盘;3:乳突;4:L7 椎体;D1:椎体高度;D2:椎体基底部宽度;D3:椎间盘上缘与椎体最狭部距离;D4:椎间盘上缘与脊椎乳突中点垂直线的距离;D5:横突根部中点与椎间盘下缘垂直距离。(下表同)

图 3 犬腰椎解剖图

Note. 1. Transverse process. 2. Intervertebral disc. 3. Mastoid. 4. L7 vertebral body. D1. Vertebral body height. D2. Width of vertebral body base. D3. Distance between the upper edge of intervertebral disc and the narrowest part of vertebral body. D4. Distance between the upper edge of intervertebral disc and the midpoint of vertical line through transverse process. D5. Vertical distance between midpoint of transverse process base and lower edge of intervertebral disc. (The same in the following tables)

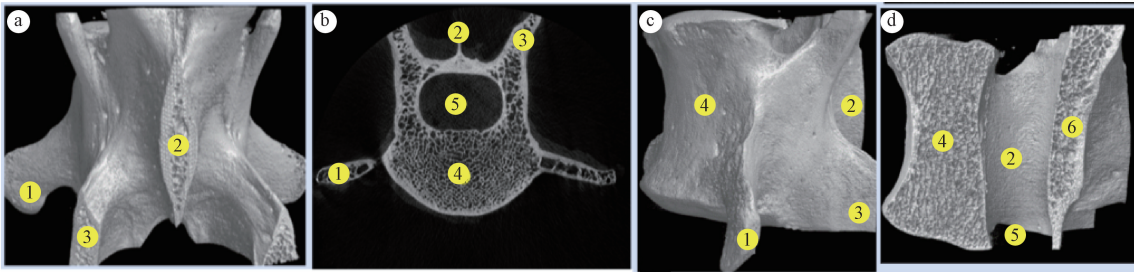
Figure 3 Anatomy of canine lumbar vertebrae

表 1 比格犬腰椎测量参数($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Measurement parameters of the lumbar spine in beagle dogs($\bar{x} \pm s$)

项目 Items	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
D1/mm	14.6 ± 0.7	15.0 ± 1.1	16.5 ± 1.3	17.4 ± 1.2	17.7 ± 1.5	15.8 ± 1.5	11.6 ± 1.2
D2/mm	16.2 ± 1.1	17.0 ± 0.9	17.7 ± 1.3	17.8 ± 1.6	18.0 ± 1.7	18.3 ± 1.2	18.1 ± 1.6
D3/mm	8.9 ± 0.7	9.2 ± 0.6	9.7 ± 0.9	9.4 ± 0.8	9.8 ± 0.8	8.1 ± 0.7	5.8 ± 0.8
D4/mm	1.9 ± 0.3	1.7 ± 0.3	1.9 ± 0.3	2.5 ± 0.2	2.3 ± 0.3	3.0 ± 0.4	4.0 ± 0.4
D5/mm	4.7 ± 0.2	5.1 ± 0.3	5.7 ± 0.2	6.8 ± 0.5	6.9 ± 0.3	6.8 ± 0.4	4.1 ± 0.3

注:L:腰椎。
Note. L. Lumbar vertebrae.



注:a:正位;b:横截面;c:侧位;d:矢状面;1:横突;2:棘突;3:乳突;4:椎体;5:椎管;6:椎板。

图 4 犬椎体 Micro-CT 结果

Note. a. Midline. b. Cross section. c. Lateral. d. Sagittal plane. 1. Transverse process. 2. Spinous process. 3. Mastoid. 4. Vertebral body. 5. Spinal canal. 6. Lamina.

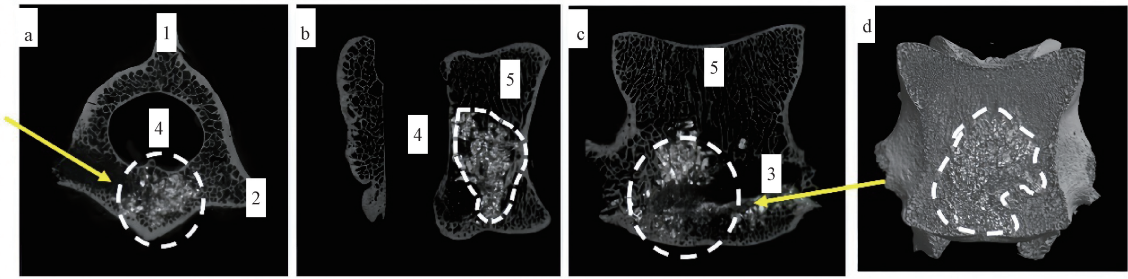
Figure 4 Micro-CT results of dog vertebral bodies

刺深度为 1.4 cm,注射骨水泥 0.6 mL。通过术后 Micro-CT 影像观察骨水泥分布(图 5),本研究采用的穿刺入路能够理想地将骨水泥注射到椎体目标位置,骨水泥在椎体内骨松质内弥散分布均匀,椎管前壁及椎体前缘完整性,无骨水泥渗漏。18 个椎体穿刺模型构建中,1 个椎体节段出现脊髓损伤导

致下肢瘫痪、大小便失禁等症状,2 个椎体骨皮质破裂,未出现麻醉或感染导致死亡。

2.3 技术要点

后外侧入路是将犬处于俯卧位,横突根部中点作为头尾定位线,乳突根部与横突根部中点凹陷处作为背腹定位线,两线相交的点即为穿刺定位点。



注:1:棘突;2:横突;3:穿刺路径;4:椎管;5:椎体;虚线内为骨水泥在椎体内的分布。

图 5 PMMA 注射后 Micro-CT 结果

Note. 1. Spinous process. 2. Transverse process. 3. Puncture path. 4. Spinal canal. 5. Vertebral body. Dashed line indicates the distribution of bone cement within the vertebral body.

Figure 5 Micro-CT results after PMMA injection in dogs

穿刺的最佳角度为与水平呈 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。如果向椎体侧头侧穿刺,穿刺针头的倾斜角度为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$,进针深度为 1.2 ~ 1.5 cm。如果向椎体尾侧穿刺,穿刺针尾的倾斜角度为 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$,进针深度为 1.5 ~ 1.8 cm。穿刺的深度受犬椎体大小的影响。此入路穿过皮下肌肉组织,提供更直接的手术路径,直接接近目标区域,减少了手术过程中损伤神经血管或者破坏更多骨质的风险,并且能够减少对周围组织的损伤,这有助于减少手术后的疼痛和恢复时间。最重要的是犬椎体穿刺后外侧入路可以提供更准确的穿刺定位点,使操作者能够清晰地在 DR 上观察和操作目标区域,并且安全角度阈值大,这有助于准确定位、精确操作和安全操作。该入路的缺点是学习曲线较长。

3 讨论

椎体成形术要求对通道置入位置和方向非常精确。至今已在大型动物(如羊、猪)中成功实施并进行了建模^[6,8]。然而手术过程复杂、价格昂贵,难以被广泛应用是大型动物椎体成形术实验的痛点。使用犬等中小型动物作为模型,可以有效降低成本。这种方法不仅能够缩短麻醉和手术时间,而且在需要进行大样本实验的椎体成形手术研究中非常实用。犬作为科学实验动物具有诸多优点,包括费用低廉、实验结果可靠等。与人类相比,犬的腰椎解剖结构相似,使得犬在研究脊柱相关问题时成为理想的实验动物。此外,犬的手术操作与外科临床实践基本相似,术后进食、抗感染等方面也相对容易控制。综合以上优点,犬在科学实验中可以作为一种比较理想的动物模型。因此,在相关文献报道中经常被用于骨科实验^[9-15]。然而,由于犬椎体

较小且中间狭窄,通过传统后路经椎弓根或侧路水平入路易造成骨皮质破裂而损伤周围重要神经和血管。既往有在超声引导下犬尸体腰丛不同入路的比较^[16],本研究先对犬大体标本进行测量,然后通过透视及 Micro-CT 分析建立最佳穿刺入路,最后采用比格犬活体而非尸体建模,其目的是验证穿刺后可注射骨水泥在椎体中的弥散。若穿刺损伤血管或破坏骨皮质造成骨水泥渗漏,在活体模型中可作为安全性评价指标。另外,在穿刺过程中,穿刺针接触骨皮质后需再次确定穿刺点位置,若穿刺点不满意需及时调整。调整中穿刺针是否对周围重要神经或血管造成损伤也在安全性范围之内。

有研究以犬为模型比较不同骨水泥的力学特性,方法是取 L4 和 L6 椎体为实验部位,于肋下缘腋前线处至腹股沟中点上方 2 cm 做长 8 cm 的左腹部斜切口,切开腹内、外斜肌、腹横筋膜,经腹膜外将腹膜连同腹腔脏器牵向右侧,到达腰椎椎体前方,用小骨刀在椎体凿出骨缺损,将实验材料填充植入^[17]。该方法虽不借助任何辅助设备,但开放手术创伤大,手术部位较深,在一定程度上影响骨水泥注射的部位、深度及弥散程度,手术感染风险高,恢复慢。另外,大量肌肉剥离和软组织损伤是否影响目标位置周围血供,进而影响实验效果有待进一步验证。尽管有其他关于犬椎体成形的相关研究,但都未对穿刺方法及要点进行描述^[18-19]。本研究构建的犬椎体穿刺模型能够精确定位到目标椎体,穿刺部位、角度、深度明确,对周围肌肉、血管、神经损伤小,术后感染风险低、恢复快,且可行相邻椎体穿刺,为研究可注射型骨植入材料提供了可靠的穿刺方法。为达到精确及微创要求,有在 CT 引导下进行 PVP 注射放疗药物的报道^[20],因此,本模型为犬

骨肿瘤穿刺活检及放疗药物实验也提供了安全有效的穿刺方法。

研究结果显示,成年犬椎体偏小,导致注射空间受限,因此 12 ~ 24 月龄比格犬进行骨水泥注射时需特别注意注射量不宜超过 0.8 mL。透视下通道注射骨水泥存在操作困难的风险,容易导致操作失败,需要谨慎对待。由于犬的横突根部更靠近于椎体的头侧,所以这种方法更适合向椎体头侧进行穿刺。如果穿过椎体中间的狭部并对椎体尾侧进行穿刺,容易造成椎体狭部骨皮质破裂和神经根的损伤。

本研究针对犬椎体成形术中核心环节“穿刺技术”进行了分析,明确比格犬 L4 ~ L6 椎体横突根部中点骨性结构,采用后外侧入路可以成功建立一种安全可靠的犬椎体成形术用穿刺模型。此模型减少了血管和神经的损伤,术中出血少,感染风险低,手术时间短,具有微创的优势。

参 考 文 献(References)

- [1] CLARK W, BIRD P, GONSKI P, et al. Safety and efficacy of vertebroplasty for acute painful osteoporotic fractures (VAPOUR): a multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial [J]. *Lancet*, 2016, 388(10052): 1408–1416.
- [2] SZCZĘŚNY G, KOPEC M, POLITIS D J, et al. A review on biomaterials for orthopaedic surgery and traumatology: from past to present [J]. *Materials*, 2022, 15(10): 3622.
- [3] DÍEZ-PASCUAL A M. PMMA-based nanocomposites for odontology applications: a state-of-the-art [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(18): 10288.
- [4] XU H, ZHU L, TIAN F, et al. *In vitro* and *in vivo* evaluation of injectable strontium-modified calcium phosphate cement for bone defect repair in rats [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 24(1): 568.
- [5] 向刚刚,童猛,曹鹏,等. 新型骨水泥研究进展[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2023, 31(6): 83–88.
- XIANG G G, TONG M, CAO P, et al. Advances in the research of novel bone marrow [J]. *J Tradit Chin Orthoped Traumat*, 2023, 31(6): 83–88.
- [6] SCHIMANDLE J H, BODEN S D. Spine update. Animal use in spinal research [J]. *Spine*, 1994, 19(21): 2474–2477.
- [7] 陈心培,张瑜,梁卓,等. 比格犬与杂种犬右心室快速起搏至房颤模型比较 [J]. *解放军医学院学报*, 2014, 35(6): 605–607, 633.
- CHEN X P, ZHANG Y, LIANG Z, et al. Beagle dog model and mongrel dog model of rapid right ventricle pacing induced-atrial fibrillation [J]. *Acad J Chin PLA Med Sch*, 2014, 35(6): 605–607, 633.
- [8] YANG D, YAN Y, LIU X, et al. Characterization of an α -calcium sulfate hemihydrates/ α -tricalcium phosphate combined injectable bone cement [J]. *ACS Appl Bio Mater*, 2018, 1(3): 768–776.
- [9] 肖文德,周初松,靳安民,等. 犬腰椎峡部裂模型的建立与

评价 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2006, 10(8): 126–128.

- XIAO W D, ZHOU C S, JIN A M, et al. Establishment and evaluation of a canine lumbar spondylolysis model [J]. *Chin J Tiss Engin Res Clin Rehab*, 2006, 10(8): 126–128.
- [10] GANEY T, HUTTON W C, MOSELEY T, et al. Intervertebral disc repair using adipose tissue-derived stem and regenerative cells: experiments in a canine model [J]. *Spine*, 2009, 34(21): 2297–2304.
- [11] SUZUKI K, KAWAUCHI A, NAKAMURA T, et al. Histologic and electrophysiological study of nerve regeneration using a polyglycolic acid-collagen nerve conduit filled with collagen sponge in canine model [J]. *Urology*, 2009, 74(4): 958–963.
- [12] ELDER B D, VIGNESWARAN K, ATHANASIOU K A, et al. Biomechanical, biochemical, and histological characterization of canine lumbar facet joint cartilage [J]. *J Neurosurg Spine*, 2009, 10(6): 623–628.
- [13] 李开南,汪学军,兰海,等. 聚-DL-乳酸生物降解腰椎融合器的设计及材料学特点 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2008, 12(32): 6300–6304.
- LI K N, WANG X J, LAN H, et al. Design and material characteristics of poly-DL-lactic acid biodegradable lumbar interbody fusion cage [J]. *Chin J Tiss Engin Res Clin Rehab*, 2008, 12(32): 6300–6304.
- [14] 王亮,罗卓荆,冯林杰,等. 椎弓根螺钉对幼犬腰椎发育的影响 [J]. *中华骨科杂志*, 2007, 27(5): 355–358.
- WANG L, LUO Z J, FENG L J, et al. The effect of pedicle screws on the development of lumbar vertebrae in young dogs [J]. *Chin J Orthopaed*, 2007, 27(5): 355–358.
- [15] 史国栋,贾连顺,袁文,等. 犬腰骶神经根慢性压迫模型的建立及分子生物学分析 [J]. *第二军医大学学报*, 2007, 28(11): 1205–1208.
- SHI G D, JIA L S, YUAN W, et al. Establishment and molecular biology analysis of chronic compression model of canine cauda equina nerve root [J]. *J Second Milit Med Univ*, 2007, 28(11): 1205–1208.
- [16] GRAFF S M, WILSON D V, GUIOT L P, et al. Comparison of three ultrasound guided approaches to the lumbar plexus in dogs: a cadaveric study [J]. *Vet Anaesth Analg*, 2015, 42(4): 394–404.
- [17] 赵苏鸣,戴瑞茹,黄健,等. 犬急性骨水泥肺栓塞的实验研究 [J]. *介入放射学杂志*, 2012, 21(1): 55–60.
- ZHAO S M, DAI R R, HUANG J, et al. Experimental study of acute bone cement pulmonary embolism in dogs [J]. *J Intervent Radiol*, 2012, 21(1): 55–60.
- [18] TENG H J, ZHOU Y, FAN L J, et al. Effects of vertebral augmentation on cardiopulmonary function in experimental dogs [J]. *Chin J Clin Rehabil*, 2004, 7(32): 7316–7317.
- [19] 缪冬缪,倪才方,沈玉英,等. 椎体成形术中聚甲基丙烯酸甲酯引起犬急性肺栓塞 [J]. *中国医学影像技术*, 2010, 26(1): 36–39.
- MIAO D L, NI C F, SHEN Y Y, et al. Acute pulmonary embolism in dogs caused by polymethyl methacrylate during vertebral augmentation surgery [J]. *Chin J Med Imag Technol*, 2010, 26(1): 36–39.
- [20] LU J, DENG J, ZHAO H, et al. Safety and feasibility of percutaneous vertebroplasty with radioactive ¹⁵³Sm PMMA in an animal model [J]. *Eur J Radiol*, 2011, 78(2): 296–301.