

基础研究

快速交换球囊扩张导管技术制备
兔急性脊髓压迫损伤模型周 建^{1,2}, 艾力夏提¹, 车立新¹, 李 坤^{1,2}, 周圣泉³, 张 春⁴

(1 新疆维吾尔自治区人民医院脊柱外科 830001 乌鲁木齐市; 2 安徽医科大学附属新疆维吾尔自治区人民医院脊柱外科 830001 乌鲁木齐市; 3 武警江苏总队南京医院 210000 南京市; 4 新疆医科大学第一附属医院 830054 乌鲁木齐市)

【摘要】目的:探讨快速交换球囊扩张导管技术制备兔单纯脊髓压迫损伤模型的可行性。**方法:**将 24 只新西兰大白兔随机分为 3 组, 麻醉成功后备皮, 以 T10 为中心取背部正中切口, 长约 4cm, 显露 T8~T11, 假手术组(A 组)行 T8 一侧椎板切除, 不置入球囊; 对照组(B 组)将 T8 一侧椎板切除后置入球囊达 T10 水平, 不扩张球囊; 实验组(C 组)行 T8 一侧椎板切除后, 将球囊通过 T8 置入达 T10 水平, 将球囊快速充起, 占据椎管前后径约 30%, 术中采用 CT 平扫确定球囊位置并记录球囊扩张达到占位程度时的压强值并维持此压强值压迫 48h。术前和术后 48h 行体感诱发电位(SSEP)检查并记录图形和数值变化, 采用改良 Tarlov 评分记录各组术后 48h 动物后肢活动情况。同时记录各组兔术后 1d、2d 体重下降值和饮水量。术后 2d 各组随机选取 5 只实验兔取出以 T10 为中心脊髓组织进行病理学检查, 每组剩余 3 只均以 T8 为中心上下约 0.5cm 范围进行拆线, B、C 组将球囊内压力减为负压后将球囊轻轻抽出, 最后缝合切口, 继续观察并记录术后 4d、7d、14d 时体重下降值及饮水量。**结果:**C 组造模球囊扩张达到椎管前后径 30%占位程度时球囊内压强为 $67.23 \pm 22.34 \text{ kPa}$, 95%置信区间为 $(48.55 \sim 85.91) \text{ kPa}$ 。造模术后 C 组 SSEP 波幅显著性降低, 与 A、B 组术后及 C 组术前比较均有统计学差异 ($P < 0.05$), A 组与 B 组比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。造模后 48h 改良 Tarlov 评分 A 组 (6.00 ± 0.00 分) 与 B 组 (5.88 ± 0.35 分) 比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), A、B 组与 C 组 (1.13 ± 0.35 分) 比较差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。术后 1d、2d、4d、7d、14d 时 3 组兔体重下降值及饮水量均无统计学差异 ($P > 0.05$), 术后 14d 时体重恢复至正常体重, 术后 7d 时饮食恢复正常。**结论:**快速交换球囊扩张导管技术制备兔单纯脊髓压迫损伤模型可模拟临床急性脊髓压迫损伤的状态。

【关键词】脊髓损伤; 脊髓压迫症; 快速交换球囊扩张导管

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2016.11.10

中图分类号: R683.2, R-322 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2016)-11-1018-07

A rabbit model of acute spinal cord compression injury by rapid exchange balloon dilatation catheter/
ZHOU Jian, AI Lixiati, CHE Lixin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(11):
1018-1024

【Abstract】 Objectives: To investigate the operation process and effect of rapid exchange balloon dilatation catheter to induce the model of acute spinal cord compression injury(SCI). **Methods:** Spinal cord compression injury model was introduced in 24 New Zealand white rabbits. The models were randomly divided into 3 groups. A 4cm median incision was taken to expose T8 to T11 after narcosis, then a side of T8 vertebral plate was removed. Rabbits in group A only received the laminotomy without insertion of balloon; in group B, the balloons were surgically positioned in the T10 spinal canal but not inflated; in group C, the balloons were put through T8 into T10, and the spinal cords were compressed by inflating the balloon to reduce about 30% of anteroposterior vertebral canal diameter. Computed tomography(CT) was used to show the location of balloon and kept the record of all the pressure for 48h. The modified Tarlov motor function grade test and SSEP were applied to evaluate the motor function of hind limbs before and at 48h after surgery. Then the

第一作者简介: 男(1989-), 医师, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (0991)8563592 E-mail: 543220146@qq.com

通讯作者: 李坤 E-mail: likun1959@163.com

weight loss and dietary were recorded change every day. Finally, 5 rabbits from each group were randomly selected and spinal cord in the center of T10 was taken out to take the histological examination. The pressure in balloon was reduced to negative pressure before taking out the balloons in group B and group C, the other 3 cases in each group continued to be taken the weight loss and dietary change at 4d, 7d, 14d after operation. **Results:** The 95% confidence interval of pressure was 48.55–85.91kPa(mean, 67.23±22.34kPa) in group C. The SSEP showed that motor function was seriously damaged in group C. The SSEP in group C after surgery was significantly different from group A and B ($P<0.05$). However, the SSEP did not show statistically difference between group A and B ($P>0.05$). The differences of weight loss and dietary change at 1d, 2d, 4d, 7d, 14d after operation were not statistically significant among the 3 groups($P>0.05$). The weight recovered to normal at the 14th of day post-operation. The diet returned to normal at 7d of post-operation. While group C had lower modified Tarlov motor function grade than group A and B ($P<0.05$). The difference of modified Tarlov motor function grade was not statistically significant between group A and B ($P>0.05$). **Conclusions:** A model of acute spinal cord injury by using the compression with rapid exchange balloon dilatation catheter is successfully induced. It can well simulate the clinical situations of SCI.

[Key words] Spinal cord injuries; Spinal cord compression; Rapid exchange balloon dilatation catheter

[Author's address] The Xinjiang Uiger Municipal People's Hospital, Urumchi, 830001, China

脊柱严重骨折致脊髓损伤(SCI)的发生率呈上升趋势^[1],脊髓损伤常常导致神经功能永久性损害,损伤平面以下感觉和运动功能丧失^[2],给个人、家庭、社会带来严重影响。脊髓损伤后神经功能的恢复是生命科学研究的热点。而研究的基础则依赖于科学的动物模型建立。理想的动物模型应具备以下 6 个条件:模拟性强、重复性好、操作简单、材料便宜、可定量、适应性广^[3]。目前常用的 SCI 模型造模方法有重物撞击、横断、钳夹、球囊压迫等。球囊压迫被认为能客观反映脊柱骨折致脊髓压迫损伤的状态^[4]。快速交换球囊扩张导管通过压力注射器调节可实现气体、液体在球囊及压力注射器间快速交换。由于专家建议脊髓压迫损伤到脊髓减压时间不宜超过 72h,且临床上减压时间多数在损伤后 48h 内进行^[5]。本研究以免作为实验动物,在 T8 一侧椎板开窗将快速交换球囊扩张导管置入 T10 腹侧,通过压力注射器记录球囊扩张达到目的占位程度时的压强值,通过 CT 监测球囊扩张后占有容积及进一步确定球囊位置,对损伤节段脊髓持续压迫 48h,模拟脊髓压迫损伤到脊髓减压期间的过程,以期实现目标节段脊髓可控急性压迫性损伤,为 SCI 研究提供理想的动物模型。

1 材料与方法

1.1 实验动物、主要试剂及仪器

新西兰大白兔 24 只,体重 2.4~2.7kg (2.6±

0.5kg),由新疆医科大学实验动物中心提供。乳酸左氧氟沙星氯化钠注射液、吗啡、舒泰、速眠新 II、阿托品(中国药品技术监督检验所);伊丽莎白项圈(乌鲁木齐齐川江宠物用品有限公司);倒置相差显微镜(Observer A1,Zeiss);快速交换球囊扩张导管、压力注射器(北京博隆乾盛有限公司)。

1.2 模型制作

实验经新疆医科大学动物实验医学伦理委员会批准实施。24 只动物随机分为 3 组,每组 8 只。用舒泰+速眠新 II+阿托品均按 0.1ml/kg 肌注,麻醉成功后,俯卧位于手术台固定,定位,备皮。以 T10 为中心取背部正中皮肤切口,长约 4cm,显露 T8~T11,将 T8 一侧椎板切除,显露好硬脊膜。A 组仅切除一侧椎板,不放置球囊导管;B 组将一侧椎板切除后将球囊导管通过腹侧置入达 T10 水平后不充气,CT 扫描进一步确定位置;C 组在一侧椎板切除后将球囊通过腹侧置入达 T10 水平后将球囊快速充起,CT 扫描确定最终位置并使扩张球囊占据椎管前后径约 30%^[6],造成完全性瘫痪,记录此时压力注射器上压强值(图 1)。所有球囊均通过 T8 一侧向左前方置入达 T10 水平腹侧,通过 CT 引导旋转球囊,最终使球囊位于兔腹侧偏左的位置,球囊扩张均在 5min 内完成,造影剂选用碘海醇注射液。球囊导管保留在椎管内,分层缝合切口。

所有动物术后和球囊扩张前后接受 CT 检查,检查前给予舒泰+速眠新 II+阿托品(均按

0.1ml/kg)进行麻醉,选择 T10 椎体中点横断面影像测量球囊侵占率(CT 自带 Syngo A70A 软件)。C 组麻醉苏醒后双后肢有活动者认为造模不成功,予以排除。术后每只动物佩戴 6F 伊丽莎白项圈防止动物啃噬导管行为,佩戴后未发现影响动物饮食。术后 24h 内给予乳酸左氧氟沙星氯化钠注射液 20ml/只,静注,2 次/日;吗啡 0.1ml/kg,肌注,4 次/日。每日 3 次人工按摩膀胱排尿,至自主排尿恢复。

1.3 SSEP 评估

麻醉成功后于造模术前和术后 48h,采用 RiyiShi 研究小组建议的 SSEP 检测方法测定并记录兔脊髓 SSEP 数值,测量时充分保证测试场所

的抗噪音条件。

1.4 动物体重变化值及饮水量测定

三组实验动物手术后准确记录完成时间,术前称动物体重做记录,术后各时间点分别称重动物,与术前动物体重分别相减计算出每只兔不同时间体重下降值。每只兔笼每天将饮食槽装满食物,并称重记录,术后各时间点分别称重一次,相减计算出每日兔饮水量(每次称重前饮食槽仍剩余大量食物)。

1.5 动物行为学评分

术前及术后 48h 采用改良 Tarlov 评分评估动物的双后肢活动情况:0 分,完全瘫痪,针刺下肢无反应;1 分,完全瘫痪,针刺下肢有反应,但肢体

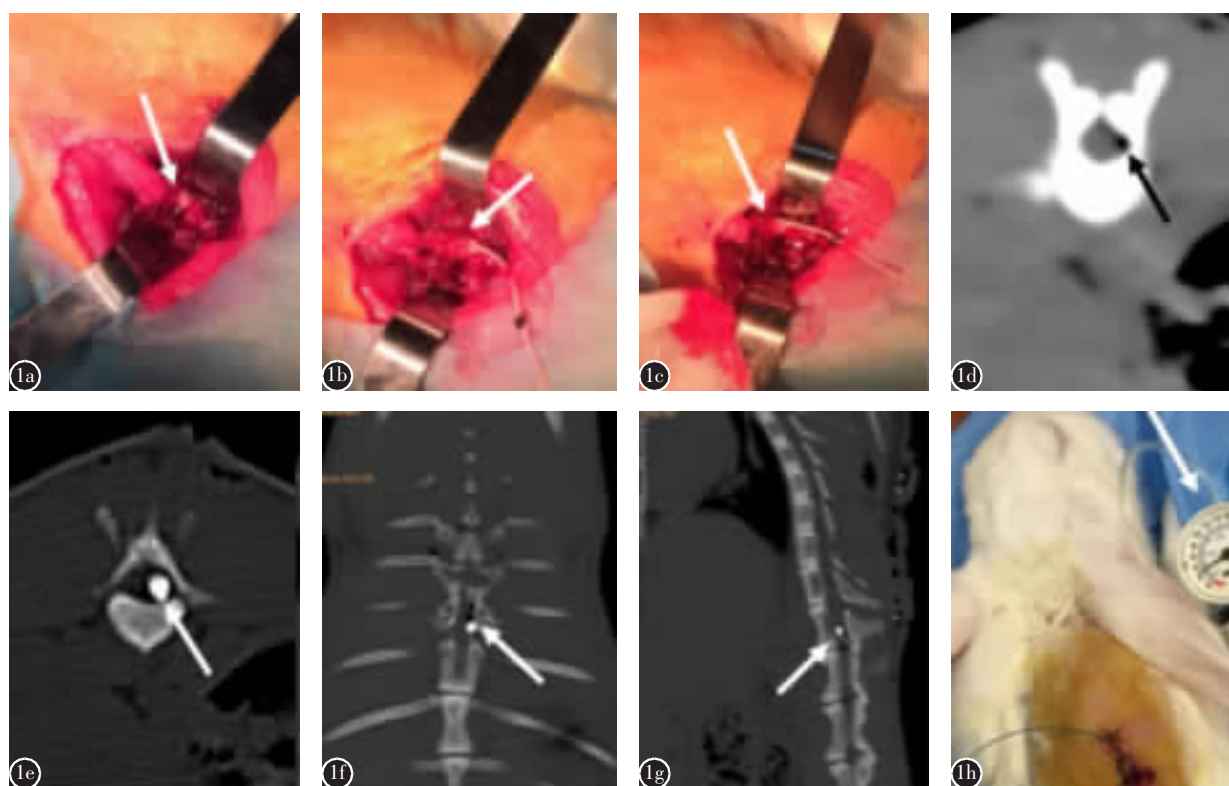


图 1 兔脊髓压迫损伤模型制备 **a** T8 左侧椎板开窗,显露硬脊膜 **b** 将球囊导管通过 T8 置入 **c** 将球囊导管通过 T8 置入达 T10 水平 **d** CT 平扫显示未扩张球囊导管位于椎管内腹侧偏左且脊髓未受压 **e** CT 平扫显示扩张球囊导管位于椎管内腹侧偏左并显示脊髓受压 **f** CT 冠状位重建显示球囊位于动物 T10 水平左侧 **g** CT 矢状位重建显示球囊位于兔 T10 水平并占据椎管前后径约 30% 时压迫情况 **h** 压力注射器表盘可显示压强

Figure 1 Model of spinal cord compression injury in rabbits **a** Remove left side of T8 vertebral plate to show the dura mater **b** The balloons were put through the left side of T8 **c** The balloons were put through T8 to T10 **d** The uninflated balloon was in the left side of ventral spinal canal and not compressed the spinal cord on CT **e** The inflated balloon was in the left side of ventral spinal canal and compressed the spinal cord on CT **f** The CT coronary reconstruction show that the balloon located in the left side of T10 **g** The CT sagittal reconstruction image display that the balloon lied in the T10 and the spinal cord was compressed by inflating the balloon to about 30% of anteroposterior diameter of vertebral canal **h** The pressure syringe show the pressure

不能活动;2分,肢体可活动,但不能站立或站立不稳;3分,可站立,但无法行走;4分,可行走数步,但不稳定;5分,能缓慢行走,但不灵活;6分,正常行走。观察者为非本组实验人员,评分者3人,各自独立进行,然后计算平均值。

1.6 病理学检查

术后48h每组随机选取5只实验兔肌注过量舒泰+速眠新Ⅱ(均按0.25ml/kg)施以安乐死。取T10为中心长约5cm的脊髓,固定后行常规石蜡包埋,取4 μ m横切片HE染色后光镜下观察,每组剩余3只继续观察并记录术后4d、7d、14d时动物体重和饮食槽重量。

1.7 统计学处理

采用Excel 2007建立数据库,SPSS 17.0统计软件(IBM,美国)进行统计分析,计算球囊内压强95%置信区间,体重变化值、饮食量、SSEP和Tarlov评分的多组间均数比较采用方差分析,所有实验数据的测定值均以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间均数比较采用SNK-q检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 动物一般情况

C组2只动物因麻醉苏醒后出现双后肢活动,Tarlov评分达2分,予以终止实验;1只动物术后消瘦、饮食差,于造模术后5d死亡,均另行补充,补充后所有实验动物均存活,精神状态良好。每组剩余3只动物均存活至16d,且未发生感染。B组、C组术中T8左侧椎板小开窗将球囊导管置入达T10水平,C组球囊导管到达T10水平后,在CT引导下进一步确定位置并注射碘海醇注射液,球囊占据椎管前后径约30%时球囊压强为

67.23 $\pm$ 22.34kPa,其95%置信区间为39.59~94.87kPa。

2.2 SSEP与改良Tarlov评分结果

三组动物术前和术后48h时的SSEP与改良Tarlov评分见表1和图2。三组术前SSEP和改良Tarlov评分无统计学差异($P>0.05$);A、B组术后48h与术前比较均无统计学差异($P>0.05$),两组间比较无统计学差异($P>0.05$);C组与术前比较的统计学差异($P<0.05$),与A、B组术后比较有统计学差异($P<0.05$)。

2.3 动物体重变化和饮食量测定

三组动物术后1d、2d、4d、7d、14d时体重下降值差异均无统计学意义($P>0.05$,表2),术后1d~7d出现持续性下降,术后14d时基本恢复至正常;三组动物术后1d、2d、4d、7d、14d饮食量差异均无统计学意义($P>0.05$,表3),术后1~7d不断增加,7d~14d时未再增加。

2.4 病理学检查结果

HE染色可见A组及B组T10水平脊髓组织神经细胞结构无明显异常;C组球囊压迫48h后均可见相应节段脊髓灰质水肿(细胞呈气球样变),神经细胞胞体缩小,数量减少,白质轻度脱髓鞘,部分呈空泡样变^[3](图3)。

3 讨论

科学的动物模型建立是进行实验研究的基础。目前脊髓损伤造模应用最广的是撞击伤模型和脊髓离断模型^[7]。但脊柱骨折致脊髓压迫性损伤多是由于相关节段椎体滑脱及骨折所致的损伤并伴有周围软组织损伤,且根据目前提倡的治疗方案从损伤到减压不宜超过72h^[8]。撞击伤模型采用手术切除目标节段椎板,暴露脊髓背侧,重物在

表1 3组动物造模前及造模术后48h的SSEP及Tarlov评分

($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 1 The SSEP and the modified Tarlov score pre- and 48h post- operation in the 3 groups

组别 Group	SSEP波幅(μ V)		改良 Tarlov 评分(分) The modified Tarlov score	
	造模术前 Pre-operation	造模术后 Post-operation	造模术前 Pre-operation	造模术后 Post-operation
A组 Group A	0.51 $\pm$ 0.11	0.51 $\pm$ 0.11 ^①	6.00 $\pm$ 0.00	6.00 $\pm$ 0.00 ^①
B组 Group B	0.60 $\pm$ 0.10	0.51 $\pm$ 0.11 ^①	6.00 $\pm$ 0.00	5.88 $\pm$ 0.35 ^①
C组 Group C	0.51 $\pm$ 0.11	0.21 $\pm$ 0.00 ^②	6.00 $\pm$ 0.00	1.13 $\pm$ 0.35 ^②
F值 F value	—	17.762	—	741.500
P值 P value	—	0.000	—	0.000

注:①与C组同时时间点比较 $P<0.05$;②与同组造模前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with group C, $P<0.05$; ②Compared with group C pre-operation, $P<0.05$

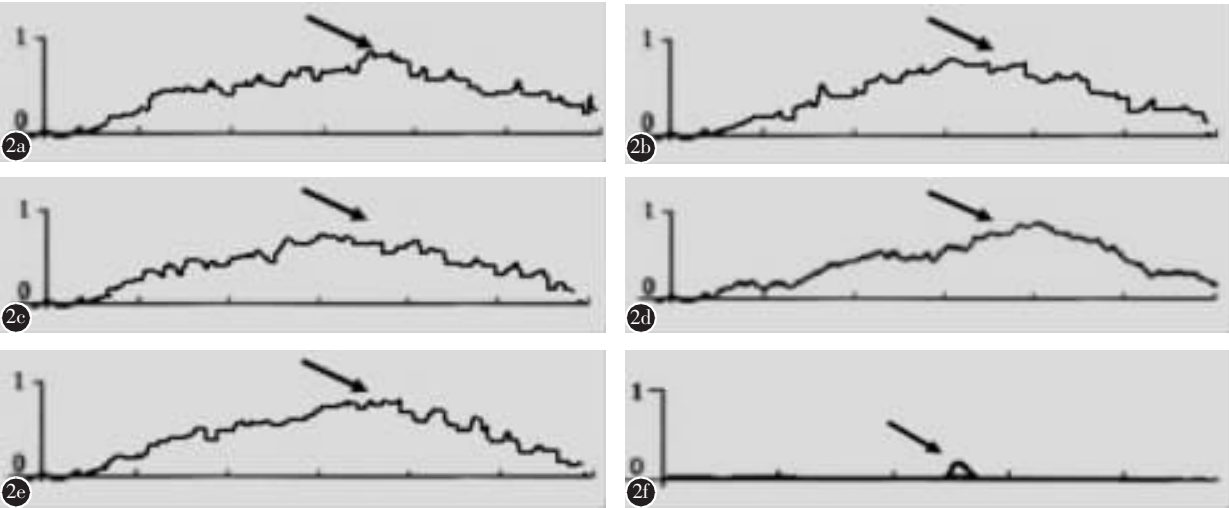


图 2 三组大鼠造模术前和术后 48h 的 SSEP **a** A 组造模术前 SSEP **b** A 组造模术后 SSEP 波幅无明显变化 **c** B 组造模术前 SSEP **d** B 组造模术后 SSEP 波幅无明显变化 **e** C 组造模术前 SSEP **f** C 组造模术后 SSEP 波幅明显降低

Figure 2 The F amplitude of SSEP in three groups at pre-operation and 48h after operation **a** SSEP in group A pre-operation **b** SSEP at 48h after operation in group A **c** SSEP in group B pre-operation **d** SSEP in group B at 48h after operation in group A **e** SSEP in group C pre-operation **f** The SSEP amplitude in group C after the operation

表 2 造模术后各时间点动物体重下降值 (kg, $\bar{x} \pm s$)

Table 2 The weight loss in different time after the operation					
组别 Group	术后 1d 1d after operation	术后 2d 2d after operation	术后 4d 4d after operation	术后 7d 7d after operation	术后 14d 14d after operation
A组 Group A	0.16±0.04	0.31±0.05	0.33±0.06	0.33±0.04	0.03±0.03
B组 Group B	0.17±0.04	0.32±0.05	0.36±0.05	0.37±0.06	0.03±0.02
C组 Group C	0.17±0.06	0.38±0.08	0.47±0.12	0.48±0.24	0.06±0.04
F值 F value	0.163	2.782	2.227	0.889	0.770
P值 P value	0.851	0.085	0.189	0.459	0.504

表 3 造模术后各时间点动物饮食量 (kg, $\bar{x} \pm s$)

Table 3 The dietary change in different time after the operation					
组别 Group	术后 1d 1d after operation	术后 2d 2d after operation	术后 4d 4d after operation	术后 7d 7d after operation	术后 14d 14d after operation
A组 Group A	0.08±0.03	0.11±0.03	0.10±0.02	0.12±0.03	0.13±0.02
B组 Group B	0.08±0.03	0.10±0.02	0.09±0.02	0.13±0.02	0.13±0.03
C组 Group C	0.07±0.02	0.09±0.03	0.09±0.04	0.13±0.03	0.16±0.03
F值 F value	0.359	1.258	0.176	0.060	0.019
P值 P value	0.703	0.305	0.842	0.942	0.981

一定高度下落撞击脊髓,使脊髓损伤。但椎板切除相当于对损伤节段进行减压,并且使脊髓正常生理环境发生改变,限制了研究的临床转化。脊髓离断模型的制备需要手术进行广泛的暴露,虽然可以在神经损伤及神经再生方面提供清晰的解剖轮廓,但广泛的暴露和椎板切除常常导致与脊髓损伤无关的并发症发生,也无法模拟脊柱骨折致大

多数脊髓受压的损伤模型^[6]。自从 Tarlov 等^[9]用球囊成功建立犬脊髓压迫损伤模型以来,许多学者对此项技术进行了不同的改进。基于早期液体球囊技术不易控制其形状和压迫程度, Vanicky 等^[10]应用血管成形术中的球囊导管通过微创技术成功对大鼠脊髓造成压迫损伤。Lim 等^[11]应用磨钻在犬 L4 椎板左侧开窗,透

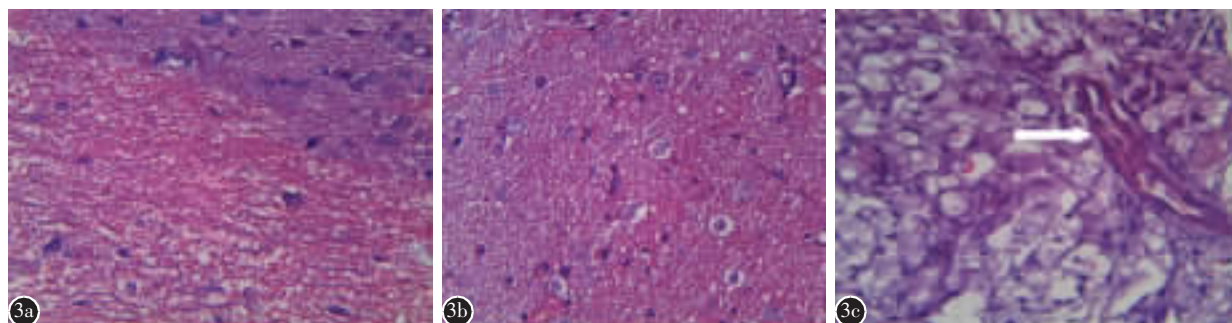


图3 三组兔造模后 48h, T10 节段脊髓组织学表现(HE 染色, $\times 200$) a、b 分别为 A 组和 B 组脊髓组织, 脊髓前角神经细胞和轴突结构未见明显异常 c C 组 脊髓组织可见中央管充血, 灰质内神经细胞变性, 白质弥漫性脱髓鞘改变伴散在点状出血灶

Figure 3 The pathology observation of spinal cord tissue with the center of T10 after 48h(HE, $\times 200$) a, b Represent the spinal cord in group A and B respectively and the anterior horn nerve cells and axon is normal c The central canal was hematose and nerve cells were degeneration in gray matter, the diffuse demyelination changes company with dotted hemorrhage was showed in white matter

视下将取栓导管置入 L1 水平, 扩张球囊对犬脊髓进行压迫造模。Cao 等^[7]和 Guízar-Sahagún 等^[12]采用类似的方法, 分别用山羊和猕猴通过微创建立了球囊压迫模型。Chung 等^[13]利用血管外科穿刺置管技术, 透视下经皮穿刺腰骶关节处, 成功将 2F Forgy 导管置入 T9 水平并对相应节段脊髓进行压迫。分别建立了完全经皮微创脊髓压迫损伤模型。然而, 完全经皮微创置管极易损伤神经及伴行血管; 导管在硬膜下腔长距离推进过程中容易损伤硬脊膜造成脑脊液漏, 影响正常脊髓生理状态。

本研究采用 T8 一侧椎板开窗将快速交换球囊扩张导管置入 T10 水平, 扩张球囊压迫相应节段脊髓, SSEP 评估结果显示, 造模后 48h 动物双后肢运动功能明显受损, 假手术组(A、B 组)双后肢功能正常; 造模后 48h 时三组动物体重下降及饮食量均无明显差异。Tarlov 评分中 A、B 两组未见明显差异且兔神经功能并未受到影响, 与 C 组相比均有显著性差异, 且 C 组兔神经功能明显受到影响。对比分析各组, 单纯椎板切除和单纯置入球囊不扩张不会对兔脊髓造成损伤, 而占据椎管前后径约 30% 的球囊造成了相应节段脊髓压迫损伤, 并造成损伤节段平面的神经功能障碍和病理学变化。表明脊髓损伤导致功能的丧失确实是由脊髓的物理性压迫损伤所致。体重 2.4~2.7kg 的新西兰大白兔椎管直径为 (8.32 ± 0.04) mm, 造模成功率较高。

本实验模型的建立与传统模型相比有以下优点: (1) 脊柱骨折致脊髓压迫常伴随损伤节段周围软组织损伤, 该手术会对相应节段软组织造成一定损伤, 但与传统手术广泛切开及暴露不同, 手术对骨性结构及软组织损伤保持在合理范围内; (2) 新西兰大白兔椎管较鼠大, 便于操作, 依从性好, 易于饲养及管理, 可进行大样本研究, 手术所用器材均较便宜, 容易获得; (3) 通过 T8 将负压状态的球囊置入达 T10 水平, 跨过的节段较少, 不容易造成脑脊液漏, 且避免了撞击伤模型相应节段椎板切除对压迫脊髓的影响。 (4) 与传统球囊扩张技术相比, 快速交换球囊扩张导管导丝更纤细、柔韧, 其直径约 0.6mm, 且球囊接近导丝直径, 操作更简单、快速, 球囊扩张后最大直径可达 5mm, 而体重在 2.4~2.7kg 新西兰大白兔椎管直径为 (8.32 ± 0.04) mm, 可满足压迫要求, 通过 CT 引导, 使压迫更具一致性, 精确度及可靠性较高; (5) 重复性好、可定量, 除材料容易获得外, 均可反复使用, 球囊连接压力注射器可在 CT 引导下定量操作, 不受动物个体差异影响。

本研究每组所剩 3 只动物均可存活较长时间(我们仅观察至 16d), 且精神状态较好, 这表明该模型在研究脊柱骨折致脊髓压迫损伤是比较恰当的^[14]。球囊技术还可任意控制压迫时间, 可进行长时间慢性压迫损伤, 通过控制球囊充盈压迫时间和程度研究脊髓减压时间和不同手术方案对神经功能恢复的影响, 可提供多种损伤模型^[15]。本研究

通过测量球囊压强,为后续研究提供参考,避免盲目迅速扩张球囊而造成球囊占据椎管前后径超过 30%,给实验带来更大误差。另外,本研究也证实 CT 在造模时监视球囊容积是一种有效方法,在引导球囊扩张和排除球囊盲目迅速扩张致球囊占据椎管前后径超过 30%具有独特优势,保证了压迫的一致性。另外,它除了可以提供快速和高质量的椎管图像外,由于成像原理和成像时间的限制,CT 的优势是 MRI 无法比拟的。Purdy 等^[16]认为采用 MRI 进行液态球囊压迫脊髓成像,因术中需搬运动物而导致脊髓额外损伤;而 CT 费用相对低廉,及应用的多功能性。但是,本研究也存在一些不足,首先,快速交换球囊扩张导管最大直径为 5mm,只能选择椎管相对较窄的小动物作为研究对象;其次,由于条件限制,未能对脊髓压迫损伤留观动物进行长时间跟踪观察;单独使用 Tarlov 评分受主观因素影响较大,在一定程度上影响了功能评估的准确性。

总之,从兔 T8 一侧椎板小开窗将快速交换球囊扩张导管置入达 T10 水平的造模技术是模拟脊柱骨折致单纯脊髓压迫损伤的一种简单、可行性较高的造模方法。通过改变球囊充盈时间和程度,球囊置入不同节段,为探讨不同手术方法及其治疗效果提供了科学的实验模型,为促进基础研究向临床转化提供了可能。

4 参考文献

1. DeVivo MJ. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications[J]. Spinal Cord, 2012, 50(5): 365-372.
2. Silva NA, Sousa N, Reis RL, et al. From basics to clinical: a comprehensive review on spinal cord injury[J]. Prog Neurobiol, 2014, 114: 25-57.
3. 黄轩, 陈智, 王琨, 等. 改良经皮球囊导管法建立山羊急性脊髓损伤模型[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(37): 2993-2996.
4. Nout YS, Rosenzweig ES, Brock JH, et al. Animal models of neurologic disorders: a nonhuman primate model of spinal cord injury[J]. Neurotherapeutics, 2012, 9(2): 380-392.
5. 周建, 车立新, 张元豫, 等. 损伤控制骨科在脊髓损伤中应用的研究进展[J]. 重庆医学, 2016, 45(20): 2856-2858.
6. 郑月焕, 方洲, 曹鹏, 等. 微创可扩张球囊技术制备活体山羊急性脊髓压迫损伤模型 [J]. 中华医学杂志, 2012, 92(23): 1591-1595.
7. Cao P, Zheng Y, Zheng T, et al. A model of acute compressive spinal cord injury with a minimally invasive balloon in goats[J]. J Neurological Sci, 2014, 337(1-2): 97-103.
8. Stahel PF, VanderHeiden T, Flierl MA, et al. The impact of a standardized "spine damage-control" protocol for unstable thoracic and lumbar spine fractures in severely injured patients: a prospective cohort study [J]. J Trauma Acute Care Surgery, 2013, 74(2): 590-596.
9. Tarlov IM, Klinger H, Vitale S. Spinal cord compression studies: experimental techniques to produce acute and gradual compression[J]. Arch Neurol Psychiat, 1953, 70 (6): 813-819.
10. Vanicky I, Urdzikova L, Saganova K, et al. A simple and reproducible model of spinal cord injury induced by epidural balloon inflation in the rat[J]. J Neurotrauma, 2001, 18(12): 1399-1407.
11. Lim JH, Jung CS, Bycon YE, et al. Establishment of a canine spinal cord injury model induced by epidural balloon compression[J]. J Vet Sci, 2007, 8(1): 89-94.
12. Guřzar-Sahagún G, Grijalva I, Hernández-Godínez B, et al. New approach for graded compression spinal cord injuries in Rhesus macaque: method feasibility and preliminary observations[J]. J Med Primatol, 2011, 40(6): 401-413.
13. Chung WH, Lee JH, Chung DJ, et al. Improved rat spinal cord injury model using spinal cord compression by percutaneous method[J]. J Vet Sci, 2013, 14(3): 329-335.
14. Vanický I, Urdzíkovi L, Saganová K, et al. A simple and reproducible model of spinal cord injury induced by epidural balloon inflation in the rat[J]. J Neurotrauma, 2001, 18(12): 1399-1407.
15. Lee JH, Choi CB, Chung DJ, et al. Development of an improved canine model of percutaneous spinal cord compression injury by balloon catheter[J]. J Neurosci Methods, 2008, 167(2): 310-316.
16. Purdy PD, Duong RT, White CL, et al. Percutaneous translumbar spinal cord compression injury in a dog model that uses angioplasty balloons: MR imaging and histopathologic findings[J]. Am J Neuroradiol, 2003, 24(2): 177-184.

(收稿日期:2016-08-10 末次修回日期:2016-10-31)

(英文编审 唐翔宇/贾丹彤)

(本文编辑 卢庆霞)