

基础研究

低温等离子体消融术对山羊胸椎前路松解的生物力学观察

张如意, 张永刚, 郑国权, 汪爱媛, 张巍

(解放军总医院骨科 100853 北京市)

【摘要】目的:比较低温等离子体消融术去除胸椎间盘和传统胸椎间盘切除术对山羊胸椎生物力学的影响, 评估低温等离子体消融术前路松解的可行性和有效性。**方法:**将 16 只 2~2.5 月龄的健康雌性山羊随机分为低温等离子体消融组(6 只)、传统胸椎间盘切除组(6 只)、空白对照组(4 只, 其椎间盘未做任何处理), 手术组动物均经前路处理中段 6 个胸椎间盘(T5~T11), 术后处死动物, 所有动物均取下完整的 T4~T12 胸段脊柱标本, 应用 TMT 858 型生物力学试验机测试标本柔韧度和运动范围(ROM), 包括中性区(NZ)和弹性区(EZ)。**结果:**松解后脊柱标本的柔韧度和 ROM 与对照组相比均有显著增加($P<0.05$); 消融组左、右侧弯和左、右旋转的柔韧度与传统组比较无显著性差异($P>0.05$), 但前屈、后伸时两组之间有显著性差异($P<0.05$); 消融组后伸、左侧弯和左、右旋转的 ROM 与传统组比较无显著性差异($P>0.05$), 前屈、右侧弯时两组之间有显著性差异($P<0.05$); 松解组后伸、左、右侧弯和左、右旋转的 NZ 与对照组比较有显著性差异($P<0.05$), 而消融组前屈、后伸、左侧弯和左、右旋转的 NZ 与传统组比较无显著性差异($P>0.05$), 消融组右侧弯的 NZ 与传统组比较有显著性差异($P<0.05$); 消融组后伸、传统组右侧旋转的 EZ 与对照组比较均有显著性差异($P<0.05$), 而消融组的 EZ 与传统组比较无显著性差异($P>0.05$)。**结论:**采用低温等离子体消融术去除胸椎间盘可以获得和传统胸椎间盘切除术对胸椎前路松解相似的效果。

【关键词】低温等离子体消融术; 前路松解; 脊柱; 生物力学

中图分类号: R318.01 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2008)-12-0920-05

Coblation techniques for anterior release of thoracic spine in goats: a biomechanical study/ZHANG Ruyi, ZHANG Yonggang, ZHENG Guoquan, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2008, 18 (12): 920~924

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility and efficacy of coblation techniques for anterior release of thoracic spine in goats and compare the biomechanics between coblation techniques and the traditional discectomy. **Method:** Sixteen immature female goats (age: ranged from 2 to 2.5 months) were divided randomly into coblation group ($n=6$), traditional discectomy group ($n=6$) and control group ($n=4$) with spine intact. In operated group, T5 to T11 spines were released anteriorly. All goats were killed after operation, after that, spines from T4 to T12 were harvested to test the flexibility and range of motion (ROM) in neutral zone and elastic zone under TMT 858 biomechanics machine. **Result:** The flexibility and ROM of the operated thoracic spine in coblation group increased significantly compare with that in control group ($P<0.05$). As for flexibility, there was no difference between coblation group and traditional discectomy group with respect to left and right bending, left and right rotation ($P>0.05$), but significant difference existed between coblation group and traditional group at flexion and extension movement ($P<0.05$). As for ROM, there was no difference between coblation group and traditional discectomy group in extension, left bending, left and right rotation ($P>0.05$), however significant difference existed at flexion and right bending ($P<0.05$). In neutral zone (NZ), there was significant difference between coblation group and control group in extension, left and right bending, left and right rotation ($P<0.05$), however no significant difference existed between coblation group and traditional group in flexion, extension,

基金项目: 科技部“863”专题课题(编号: 2006AA02Z4D6)

第一作者简介: 男(1979-), 硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)66938402 E-mail: zhaxidele301@hotmail.com

通讯作者: 张永刚

left bending, left and right rotation ($P>0.05$), and significant difference between coblation group and traditional discectomy group at right bending ($P<0.05$). In elastic zone (EZ), there were significant difference between coblation group and control group in extension, traditional group and control group in left and right rotation ($P<0.05$), however no significant difference existed between coblation group and traditional discectomy group at all direction ($P>0.05$). **Conclusion:** Coblation techniques can achieve the same effect with traditional discectomy in increasing spine flexibility.

[Key words] Coblation; Anterior release; Spine; Biomechanics

[Author's address] Department of Orthopaedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing, 100853, China

对于长节段僵硬性脊柱侧凸的外科矫治,很多学者^[1,2]建议采用前路松解联合后路固定的方法来完成。目前应用于前路松解的方法有 3 种:传统经胸前路松解术、胸腔镜下前路松解术、开放小切口前路松解术,但三者之间仅是在手术切口大小和暴露术野方式上不同,而在清除前纵韧带和椎间盘时,均采用机械的方法去除组织以达到松解的目的。低温等离子体消融术(Coblation)作为一种新的微创技术,已被应用于椎间盘突出症的微创治疗^[3],能否将其应用于脊柱前路松解,进而矫治脊柱侧凸,目前尚未见相关方面的动物实验研究报道。本研究采用健康雌性山羊作为实验对象,从生物力学方面比较低温等离子体消融术处理胸椎间盘和传统胸椎间盘切除术对增加动物胸椎柔韧度和运动范围的效果。

1 材料与方法

1.1 实验动物与分组

16 只健康雌性山羊(购自解放军总医院实验动物中心),年龄 2~2.5 个月,体重 10~12kg。随机分为低温等离子体消融组(6 只),传统胸椎间盘切除组(6 只),空白对照组(4 只)。

1.2 手术方法

术前山羊常规备皮,禁食水 24h。3%戊巴比妥钠 5~8ml(1~1.5mg/kg)脉麻醉,并建立静脉维持通路;行气管插管后接呼吸机,呼吸机参数:呼吸频率 17~18 次/min,潮气量 160~200ml,每分通气量 3.0~3.5L,呼吸比 1:2.3,吸氧浓度 40%~60%。术中根据情况追加戊巴比妥钠(总用量不超过 1.5mg/kg),同时动态监视动物的循环和呼吸状况。

1.2.1 低温等离子体消融组 首先准备低温等离子体消融设备,包括主机、射频刀头(K7001、K7100、AC4300、K7920)、射频连接线和脚踏踏

板。用无菌或者套无菌塑料套的射频线点对点连接好后接通电源备用。再连接无菌吸引器连接管和静脉灌注系统,3000ml 生理盐水加肾上腺素 1mg 备用。山羊取左侧卧位,据术中预显露平面,在左侧下方垫一肾桥,使动物胸椎右侧完全向上抬起,同时通过降低潮气量,增加呼吸频率以更好地暴露手术视野。据体表肋骨定位右侧第 8、9 肋间,常规经胸切口,经第 8 肋骨床入胸;湿纱布保护两侧肋骨缘后,胸廓牵开器缓慢牵开肋骨充分暴露胸腔,保护好膈肌和肺组织,并用 S 拉钩拉开,辨认出胸椎椎体和椎间盘;用针头穿刺最终确定操作椎间隙。首先选用 K7001 刀头(2~3 档位)在椎间盘右侧偏前部位实施消融,消融对象包括前纵韧带、纤维环和两侧的肋椎关节囊,可见纤维环和前纵韧带被顺利切开,并尽可能地向深部消融部分软骨终板组织;更换 K7100 刀头(1~2 档)对每个操作椎体上下缘附着的纤维环、肋椎关节囊和部分软骨终板消融,直至看到骨性终板为止;接 AC4300 刀头(2~3 档)对浅部的髓核和软骨终板组织实施消融,为下一步的髓核消融开路;换用 K7920 刀头(2~3 档),在胸椎后伸位下完成髓核消融。整个消融过程中予配有肾上腺素的生理盐水持续灌注和吸引,不纵行切开壁层胸膜,保留节段血管完整,经第 7、8 肋间切口消融 T5~T9 四个椎间盘。然后滑动皮肤和皮下组织在 T9~T10 肋间再次进胸,用上述方法完成 T9/10、T10/11 两个椎间盘的消融,整个消融过程结束后,椎间不作特殊处理。常规关胸,不放置胸腔闭式引流。

1.2.2 传统胸椎间盘切除组 体位和暴露方式同上,进入胸腔后,切开预松解节段(T5~T11)的壁层胸膜,用“花生米”钝性将壁层胸膜自胸椎体前侧完全分离下来,注意保留节段血管要完好无损。用小刀、自制的平面刮刀和三角刮刀按照传统前路松解方式切开前纵韧带,切除椎间盘。采用上述一

个皮肤切口、两个胸腔切口的方法完成 6 个椎间的松解;然后用配有肾上腺素的生理盐水冲洗椎间隙和胸腔,并在椎间填塞凝胶海绵止血,连续缝合壁层胸膜。关胸方法同上。

两组均要求尽可能完全切除椎间盘(即消融刀头和刮刀应处理肋椎关节前方的所有椎间盘)。

1.2.3 对照组 对照组动物不采取任何手术干预。

1.3 标本制备

实验组动物麻醉苏醒后,观察动物的自主活动情况以评价术中是否有脊髓和神经根损伤的表现,然后静脉注射 3%戊巴比妥钠 1ml 后,再推注 10%氯化钾和空气处死动物;对照组直接静脉注射 3%戊巴比妥钠 1ml 后,再推注 10%氯化钾和空气处死。所有动物解剖出 T4~T12 胸椎脊柱标本,剔除脊柱标本周围的椎旁肌肉和软组织,完整保留棘间韧带、后纵韧带、黄韧带、前纵韧带及相应的椎小关节囊、肋椎关节囊,在距肋椎关节 1~1.5cm 处剪去其余的肋骨,徒手比较松解后的胸段脊柱和邻近完整胸椎节段的柔韧度,以及松解组和对照组的柔韧度。用盐水湿纱布和双层塑料袋包装,放入-20℃的冰柜中保存。

将每份标本两端的 T4、T5 和 T11、T12 椎体放在实验专用卡具中,用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)包埋两端成圆柱形,包埋过程中保证脊柱标本处于中性位(两端位于水平面,各方向的应力为 0),然后标本置于-20℃冰柜中保存。力学实验开始前 24h 于室温下自然解冻。

1.4 生物力学测试

实验应用 TMT 858 型生物力学试验机,传感器型号为 spine fixture,608.30,4-DOF。将实验专用夹具用螺钉分别固定在传感器两端,并保证上下夹具的垂直中心轴在一条直线上,水平轴平行。将标本的两端放入上下夹具内,从前、后、左、右四个方向用螺丝钉固定,并保证标本两端包埋部分仅与夹具接触而不产生抵抗力。每次测试之前均通过计算机调整传感器的方向,确保夹具的正确位置,同时要将扭矩、角度和轴向载荷^[4]等原始数据归零。对山羊胸椎标本采用扭矩和角度两种控制方法(即上方或者下方的某一个传感器,达到扭矩和角度任何一个控制值,运动即停止,标本回到中性位),对 3 组脊柱标本(T5~T11 6 个节段)在前屈、后伸、左、右旋转、左、右侧屈共 6 个自由度

上进行柔韧度、运动范围、中性区和弹性区的测试。通过预实验测定,将上方和下方传感器的扭矩和角度控制值分别设定为前屈:±1.5Nm,±20°;后伸:±3Nm,±15°;左、右旋转±0.5Nm,±60°;左、右侧屈:±1.5Nm,±20°。由传感器将数据传出,计算机图像处理和分析系统测量并记录山羊 T5~T11 共 6 个节段的整体运动情况,每次测试重复 3 次加载/卸载循环,加载速度为 0.5%/s,第 2 次卸载后允许有 30s 的蠕变期,以消除韧带、关节囊等软组织粘弹性影响,在第 3 次加载和卸载时进行运动学测量,以减少标本的粘弹性影响,从而获得比较稳定的运动学数据。整个测试过程中注意保持标本的湿润以防止组织变性,影响测量结果。

力学测试过程中,通过计算机软件可以直接记录(每 0.5s 记录一次)到加载和卸载过程中角度和扭矩的对应值,并即刻(每 0.5s 记录一次)描绘出扭矩和角度之间的加载/卸载曲线(图 1)。以角度为横坐标,扭矩为纵坐标,生物力学测试机由上下两个传感器同时控制,故曲线由加载和卸载两部分组成,运动过程中只要其中任何一个传感器达到该自由度上角度或者扭矩的控制值,则加载停止,进入卸载部分;卸载结束后,标本回到中性位,满 30s 的蠕变期后重复加载/卸载循环。

根据上述方法得出的原始数据分别计算 6 个自由度的两种力学参数:柔韧度(flexibility),运动范围(range of motion,ROM)及其组成部分中性区(neutral zone,NZ)和弹性区(elastic zone,EZ)。柔韧度采用载荷角位移曲线弹性区内斜率倒数的平均值进行比较。

1.5 统计学分析

应用 SPSS 13.0 统计软件包,分别对两种力

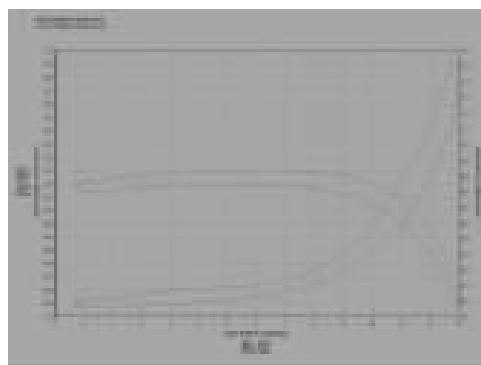


图 1 加载/卸载曲线

(1 代表上传感器,2 代表下传感器,1 的上方线为加载,下方线为卸载;2 则相反)

学参数进行完全随机设计的方差分析 (One-Way ANOVA) 和两两比较的 Post Hoc 检验法进行统计学处理, 统计学差异水平定为 0.05。

2 结果

松解组动物术后双后肢活动自如, 可自行站立行走。取材后徒手比较, 松解后的胸段脊柱的柔韧度较邻近完整节段均有所增加。

3 组柔韧度、运动范围、中性区和弹性区的测量结果见表 1~4。松解组 6 个自由度的柔韧度均较对照组有明显增加 ($P<0.05$); 在左、右侧屈和旋转四个自由度上, 消融组与传统组之间无统计学上的差异 ($P>0.05$), 消融组前屈、后伸的柔韧度与传统组比较有显著性差异 ($P<0.05$) (表 1)。

松解组六个自由度的 ROM 值均较对照组有所增加 ($P<0.05$)。消融组后伸、左侧屈、左、右旋转的 ROM 值和传统组比较无显著性差异 ($P>0.05$); 但消融组前屈和右侧屈的 ROM 值与传统组比较均有显著性差异 ($P<0.05$) (表 2)。

松解组六个自由度上 NZ 值均较对照组有所增加, 只有前屈的 NZ 值与对照组比较无显著性差异 ($P>0.05$), 其余 5 个自由度的 NZ 值与对照组比较均有显著性差异 ($P<0.05$); 而消融组与传统组比较, 除右侧弯的 NZ 值有显著性差异 ($P<0.05$) 外, 其余 5 个自由度的 NZ 值均无显著性差异 ($P>0.05$) (表 3)。

除消融组后伸的 EZ 值与对照组比较、传统组右侧旋转的 EZ 值与对照组比较有显著性差异 ($P<0.05$) 外, 在其余自由度上松解组和对照组、消融组与传统组之间的 EZ 值均无明显差别 ($P>0.05$) (表 4)。

3 讨论

对于严重、僵硬性短节段脊柱侧凸, 尤其是侧

表 1 3 组山羊脊柱标本的柔韧度 ($\bar{x}\pm s$, °/Nm)

	对照组 (n=4)	传统手术组 (n=6)	消融治疗组 (n=6)
前屈	12.74±3.88	31.63±4.17 ^①	21.93±2.93 ^{①②}
后伸	4.30±0.70	19.81±4.21 ^①	14.20±1.89 ^{①②}
左侧弯	13.36±1.94	29.05±5.63 ^①	23.40±4.06 ^①
右侧弯	18.55±1.92	30.34±2.77 ^①	29.14±1.61 ^①
左侧旋转	152.10±13.10	488.53±89.54 ^①	448.50±108.72 ^①
右侧旋转	187.80±24.74	473.32±69.05 ^①	461.10±91.01 ^①

注: ①与对照组比较 $P<0.05$; ②与传统组比较 $P<0.05$

表 2 3 组山羊脊柱标本的运动范围 (ROM) ($\bar{x}\pm s$, °)

	对照组 (n=4)	传统手术组 (n=6)	消融治疗组 (n=6)
前屈	20.32±1.40	26.02±3.07 ^①	22.19±1.34 ^{①②}
后伸	16.51±0.91	28.49±0.66 ^①	27.61±0.96 ^①
左侧弯	15.27±1.43	24.75±2.28 ^①	20.60±1.61 ^①
右侧弯	21.56±2.44	27.69±1.76 ^①	24.60±0.53 ^{①②}
左侧旋转	25.58±0.99	39.73±4.31 ^①	39.18±1.45 ^①
右侧旋转	25.61±1.71	51.28±1.73 ^①	51.84±3.63 ^①

注: ①与对照组比较 $P<0.05$; ②与传统组比较 $P<0.05$

表 3 3 组山羊脊柱标本的中性区 (NZ) ($\bar{x}\pm s$, °)

	对照组 (n=4)	传统手术组 (n=6)	消融治疗组 (n=6)
前屈	17.79±3.80	21.74±1.62	20.86±3.70
后伸	2.43±0.96	11.28±3.57 ^①	8.48±1.16 ^①
左侧弯	6.84±2.95	18.30±2.91 ^①	14.13±2.48 ^①
右侧弯	9.74±3.36	22.90±1.63 ^①	17.83±1.98 ^{①②}
左侧旋转	9.58±2.32	20.15±1.23 ^①	19.50±3.01 ^①
右侧旋转	7.67±0.87	24.53±3.53 ^①	28.57±2.20 ^①

注: ①与对照组比较 $P<0.05$; ②与传统组比较 $P<0.05$

表 4 3 组山羊脊柱标本的弹性区 (EZ) ($\bar{x}\pm s$, °)

	对照组 (n=4)	传统手术组 (n=6)	消融治疗组 (n=6)
前屈	2.53±3.03	4.28±4.25	1.33±2.77
后伸	14.08±1.35	17.21±3.17	19.13±0.36 ^①
左侧弯	8.43±2.15	6.45±2.58	6.46±2.05
右侧弯	11.83±4.90	4.79±3.04	6.77±1.95
左侧旋转	16.01±2.95	19.58±4.01	19.68±3.72
右侧旋转	17.94±2.11	26.75±4.97 ^①	23.27±3.89

注: ①与对照组比较 $P<0.05$

凸为锐角的患者, 目前采用单纯后路经椎弓根截骨或者扩大椎弓根截骨、钉棒固定, 可以达到良好的矫形效果^[5]。然而对于严重、僵硬性长节段的脊柱侧凸, 尤其是圆弧形侧凸, 常规选择前路松解联合后路松解内固定完成矫形, 对于这种侧凸类型的矫治, 常需要前路松解 3~6 个节段^[6]。常用的松解方式有传统经胸前路松解术、胸腔镜下前路松解术和开放小切口前路松解术, 但三者都是用机械的方法清除前纵韧带和椎间盘, 并发症较多。

低温等离子体消融术 (Coblation) 通过强射频电场 (100kHz) 使电解液变为低温等离子态, 在消融电极前端形成厚约 100 μ m 的等离子体薄层。强大的电场使等离子体薄层中的自由带电粒子获得足够的动能, 后者在强大的电梯度驱使下, 打断组织的有机分子键, 使靶组织以分子为单位解体、形

成元素分子和低分子气体。这些带电离子“轰击”靶组织后迅速失去动能,因而不会对周围的组织造成额外的热损伤,整个过程中温度不超过 53℃,保证在低温下完成对靶组织的切割、消融、皱缩和止血作用。Aryan 等^[7]对两组(每组 10 例)椎间融合患者分别采用 Coblation 和传统方法处理终板和椎间盘,分别随访了 4.1 年和 4.6 年,定期 X 线观察,两组椎间融合率和椎间高度无显著性差异,Coblation 组周围正常组织损伤小,显示出其终板处理的优势。同时在传统技术的协助下,缩短了手术时间,并增加了松解过程的安全性,尤其是在处理椎间孔和凹侧椎间盘组织时。但其松解效果如何尚不明确。

本研究选用年龄为 2~2.5 月龄的健康雌性山羊作为实验对象。实验过程中未干预两侧的肋椎关节,处理标本时也保留了完整的肋椎关节关节囊,并在距肋椎关节 1~1.5cm 处剪去其余的肋骨,重点评价了胸椎间盘松解后对胸椎稳定性的影响。

ROM 是评价脊柱稳定性的重要指标。而 NZ 是衡量整个标本关节的松弛程度的指标,代表椎间盘和周围韧带的低刚度值的非线性粘弹性变形范围。通常认为,ROM 的增加是由于 NZ 所导致的。本研究也得到了相同的结果,在六个自由度上,松解组脊柱标本的 ROM 均较对照组增大,且有显著性差异($P<0.05$);同样,松解组的 NZ 值在六个自由度上均有所增加,其中在后伸、左右侧弯、左右旋转五个自由度上松解组和对照组之间有显著性差异($P<0.05$);而松解组的 EZ 值在六个自由度上增幅不是很明显,除消融组后伸的 EZ 值与对照组、传统组右侧旋转的 EZ 值与对照组之间有显著性差异($P<0.05$)外,在其余自由度上三组之间的 EZ 值均无明显差别($P>0.05$)。即 ROM 的增加是由于 NZ 和 EZ 共同增加的结果,其中 NZ 在 ROM 增加中起了较大的作用,而 EZ 起到了相对较小的作用。所以在脊柱的生物力学

测试中,NZ 是反映脊柱松解后不稳定程度的最佳力学参数。

本研究没有专门用于动物实验的设备,操作方法、时间影响实验效果。由于力学测试时间长,标本反复冰冻、融解,导致标本退变、腐败而增加了脊柱的柔韧性。在本次实验中,由于样本数量少,统计分析受到一定的限制。

本研究结果显示,应用低温等离子体消融术对胸椎行前路松解,能达到和传统胸椎间盘切除术相似的松解效果。将低温等离子体消融术应用于侧凸脊柱的前路松解有一定的可行性。但松解固定后椎间的融合情况有待进一步的探讨。

4 参考文献

1. Lonner BS, Kondrachov D, Siddiqi F, et al. Thoracoscopic spinal fusion compared with posterior spinal fusion for the treatment of thoracic adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2006, 88(5):1022-1034.
2. 邱勇. 特发性胸椎侧凸前路矫形手术的入路选择和疗效比较[J]. 脊柱外科杂志, 2004, 2(5):314-315.
3. Mirzai H, Tekin I, Yaman O, et al. The results of nucleoplasty in patients with lumbar herniated disc: a prospective clinical study of 52 consecutive patients[J]. Spine J, 2007, 7(1):88-92.
4. Tawackoli W, Marco R, Liebschner MA. The effect of compressive axial preload on the flexibility of the thoracolumbar spine[J]. Spine, 2004, 29(9):988-993.
5. Oda I, Abumi K, Lu D, et al. Biomechanical role of the posterior elements, costovertebral joints, and rib cage in the stability of the thoracic spine[J]. Spine, 1996, 21(12):1423-1429.
6. 王岩, 张雪松, 张永刚, 等. 后路扩大蛋壳技术行畸形脊椎切除矫治重度成人先天性脊柱侧后凸[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(9):655-658.
7. Aryan HE, Ames CP, Szandera B, et al. Coblation of spinal endplates in preparation for interbody spinal fusion [J]. Clin Neurosci, 2006, 13(3):349-352.

(收稿日期:2008-07-18 修回日期:2008-09-19)

(英文编审 蒋欣)

(本文编辑 李伟霞)