

· 基础研究 ·

## 离体动物肺段切除术模型的建立

许洪磊,张望,陈亮,闻伟,王俊,徐心峰,朱全\*

南京医科大学第一附属医院胸外科,江苏 南京 210029

**[摘要]** 目的:探索建立肺段切除术离体动物模型的可行性。方法:使用离体猪肺建立肺段切除术的动物模型。通过使用电刀分离6种不同的肺段,并分离完整的段间交界面。对不同肺段模型的漏气程度及建模时间进行综合评估与分析。结果:本研究明确了正常猪肺的肺段解剖结构。离体猪肺6种不同的肺段切除术模型均能顺利建立,对段间交界面的分辨、裁剪有较好的模拟效果。6种肺段离体模型漏气程度的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。离体模型的建模时间比较,右肺顶叶a段的离体模型建模用时[(880±83)s]比其他5个肺段更短[右肺顶叶b段(1 531±79)s,左肺顶叶a段(1 384±75)s,左肺顶叶b段(1 207±56)s,左肺尾叶左a段(1 273±94)s,左肺尾叶右a段(1 179±108)s],建模时间的差异具有统计学意义( $P < 0.01$ ),且右肺顶叶a段的样本剔除率(11.11%)低于平均值(26.24%)。结论:离体猪肺的右肺顶叶a段切除可作为较为理想的肺段切除术模型。

**[关键词]** 肺段切除术;解剖;动物模型;段间交界面;肺漏气

**[中图分类号]** R655

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2020)06-826-06

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20200610

### Establishment of segmentectomy model in *ex vivo* animals

XU Honglei, ZHANG Wang, CHEN Liang, WEN Wei, WANG Jun, XU Xinfeng, ZHU Quan\*

Department of Thoracic Surgery, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

**[Abstract]** **Objective:** This work aimed to explore the feasibility of establishing *ex vivo* animal model of segmentectomy. **Methods:** The animal model of segmentectomy was established by *ex vivo* porcine lungs. Six different segments were separated by electrotome, and their intersegmental planes were completely removed in order to evaluate and analyze the degree of air leakage and modeling time between different segmentectomy. **Results:** We identified the normal anatomy of segments of pig lungs firstly, and all animal models of segmentectomy were successfully established, which could achieve a satisfying effect of the identification and separation of intersegmental plane. There was no significant difference in the level of air leakage among the six various segments ( $P > 0.05$ ). The modeling time of the a segment of right cranial lobe (RS<sup>1</sup>a) segment [(880±83)s] was shorter than other segments [the b segment of right cranial lobe (RS<sup>1</sup>b): (1 531±79)s, the a segment of left cranial lobe (LS<sup>1</sup>a): (1 384±75)s, the b segment of left cranial lobe (LS<sup>1</sup>b): (1 207±56)s, the levo-a segment of left caudal lobe (LS<sup>2</sup>La): (1 273±94)s, the dextro-a segment of left caudal lobe (LS<sup>2</sup>Da): (1 179±108)s], and there were significant differences among them ( $P < 0.01$ ), and RS<sup>1</sup>a also got a lower sample rejection rate (11.11%) compared to the average level (26.24%). **Conclusion:** The RS<sup>1</sup>a in *ex vivo* porcine lung can be utilized as an ideal model of segmentectomy for experiments.

**[Key words]** segmentectomy; anatomy; animal model; intersegmental plane; pulmonary air leakage

[J Nanjing Med Univ, 2020, 40(06): 826-831]

肺癌是目前发病率、病死率最高的恶性肿瘤,非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC)在

**[基金项目]** 江苏省科技厅重点研发计划(社会发展)项目(BE2016790)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: zhuquan@njmu.edu.cn

肺癌中占主要部分<sup>[1]</sup>。外科手术在目前仍是早期NSCLC首选的治疗方法<sup>[2]</sup>。相比传统的肺叶切除术,肺段切除术能保存更多的有效肺容积,患者的肺功能损失少、术后恢复快<sup>[3-5]</sup>。因此,肺段切除术被越来越多地应用于早期NSCLC的外科手术治疗中。

建立合适的肺段切除术动物模型,有助于研究肺段切除术中段间交界面的识别、裁剪以及创面漏气的评估。通过对动物模型的研究与分析,能为临床实践提供更多经验,从而更好地优化手术流程,降低术中风险,减少术后并发症的发生。既往研究中多选用离体猪肺的左肺尾叶左a段(the levo-a segment of left caudal lobe, LS<sup>2</sup>La)作为肺段切除术的研究模型,并且取得了较理想的实验结果<sup>[6-7]</sup>。但目前尚无其他肺段离体模型的研究。因此,本实验针对离体猪肺模型的获取、筛选及不同肺段模型的构建等方面进行了探索与研究,为进一步开展动物模拟肺段切除术提供研究基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

86对离体猪肺,取自当日屠宰的6~8月龄体重(100±25)kg的健康家猪。全肺取出后立即经肺动脉注入含100 U/L肝素钠的生理盐水冲洗肺血管,随即将全肺浸没于4~6℃的生理盐水中,尽快运送至实验地点。为减少肺泡上皮表面活性物质的丢失,应避免进行支气管肺泡灌洗。为尽可能保持猪肺的生理状态,所有实验均在离体后6h内完成<sup>[8]</sup>。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 预处理与筛选

所有猪肺均经仔细检查,若存在明显肺大疱、严重淤血、感染、难以修补的破损或影响操作的解剖学变异时,不应将该肺纳入实验。随后使用吸痰管连接电动负压装置,对猪肺进行初步吸痰处理,使用气管插管连接猪的主气管,在微量测压计(深圳聚茂源科技有限公司,GM520,±35 kPa,±0.3%)的检测下进行充气,观察猪肺能否完全膨胀,若不能,则检查是否存在漏气并尝试结扎修补,若漏气严重无法修补时,需剔除该肺;若能完全膨胀,则再次检查,是否存在其他可能影响实验的因素,将符合要求的肺保留并进行下一步操作。所有实验使用及剔除的不合格猪肺均经无害化处理。

#### 1.2.2 支气管充气法确认段间交界面

使用20对符合实验要求的正常离体猪肺,手术刀片锐性离断气管隆突,由于右顶叶支气管开口于主气管,故需将右顶叶支气管单独离断,完整分离左右两肺。对靶段支气管进一步吸痰后,将软性导管插入支气管中,并使用丝线从外部结扎或止血钳钳夹保证气密性。连接充气装置与微量测压计,对靶段肺缓慢加压充气。为避免过度充气导致的肺

泡结构损伤,充气全程处于微量测压计监测下,控制压力低于20 cmH<sub>2</sub>O。可见靶段肺明显膨胀,与周围未充气肺组织存在稳定的段间交界面,使用记号笔进行标记。通过对不同肺段支气管的辨别与插管通气,明确正常猪肺的大部分肺段解剖结构。重复测试,以明确猪肺的肺段解剖变异情况。

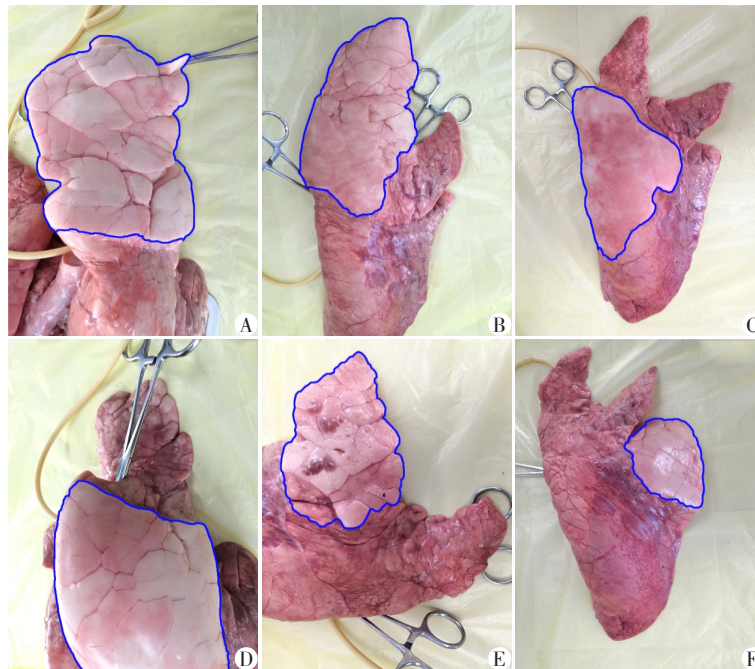
#### 1.2.3 分离靶段肺及建模时间的记录

使用66对离体猪肺,采用随机数表法从中选出48对进行分组(每组8对猪肺,共6组),其余猪肺编入备用组。对所有猪肺进行预处理与筛选。若因猪肺原有病变、人为损伤、操作错误等导致实验肺被剔除出组时,从备用组随机抽取猪肺作为补充,保证每组的实验样本数等于8。根据猪肺的解剖结构<sup>[9]</sup>及支气管充气法得出的段间交界面分布情况,对猪肺的6种不同肺段进行实验(图1)。右肺顶叶(right cranial lobe, RS<sup>1</sup>):右肺顶叶a段(the a segment of right cranial lobe, RS<sup>1</sup>a)、右肺顶叶b段(the b segment of right cranial lobe, RS<sup>1</sup>b);左肺顶叶(left cranial lobe, LS<sup>1</sup>):左肺顶叶a段(the a segment of left cranial lobe, LS<sup>1</sup>a)、左肺顶叶b段(the b segment of left cranial lobe, LS<sup>1</sup>b);左肺尾叶(left caudal lobe, LS<sup>2</sup>):LS<sup>2</sup>La、左肺尾叶右a段(the dextro-a segment of left caudal lobe, LS<sup>2</sup>Da)。

分离段间交界面时,采用效果确切的高频电刀(常州延陵电子设备有限公司,POWER-420B)作为能量器械<sup>[10]</sup>(电凝模式,功率40 W)。分离过程中仔细分辨段间交界面的位置,避免误操作,若出现错误分割时弃用该肺。当确认所有肺组织均已分割后,使用锐性器械离断肺门缔结组织、血管,最后离断靶段支气管,完成离体模型的建立。记录从充气膨胀确定段间交界面到分割完成期间的耗时,作为建模时间并记录。

#### 1.2.4 漏气程度的评估

将所分离出的肺段使用软性导管连接支气管残端,并使用丝线结扎支气管残端保证气密性,连接微量测压计及呼吸球囊,将整个肺段浸入(38.0±0.5)℃的恒温水槽中,并确保全部肺组织处于水面以下,使用呼吸球囊缓慢向肺段充气。两名实验者独立观测段间交界面的状态,当出现第1个气泡从分割的段间交界面逸出时,立即记录测压计所读出的数值,为最小漏气压力值(minimum air leakage pressure, MALP),以cmH<sub>2</sub>O为计量单位。对两名实验者所记录的数据进行比对,若偏差>3 cmH<sub>2</sub>O,则重新测试并读取数值,再次出现偏差>3 cmH<sub>2</sub>O时,弃用



蓝色轮廓为靶段肺。A:右肺顶叶a段(RS'a);B:右肺顶叶b段(RS'b);C:左肺顶叶a段(LS'a);D:左肺顶叶b段(LS'b);E:左肺尾叶右a段(LS²Da);F:左肺尾叶左a段(LS²La)。

图1 离体猪肺6种不同肺段的位置

Figure 1 The location of 6 different segments in *ex vivo* pig lungs

该肺模型。取平均值作为最终结果。

### 1.3 统计学方法

各组测得的数据以均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,使用单因素方差分析进行多组间数据的比较,使用Turkey 检验进行组间的两两比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。使用GraphPad 软件(GraphPad Prism 8.0.1, GraphPad 软件公司,美国)进行数据处理及图像合成。

## 2 结果

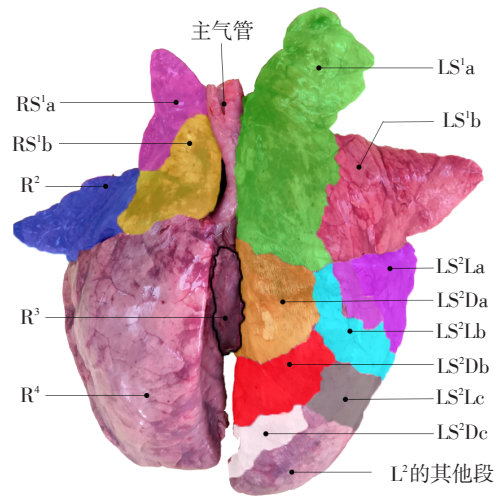
### 2.1 猪肺肺段的正常解剖结构

实验基于20对离体猪肺的解剖结果,对正常猪肺的肺段位置进行了描述(图2)。采用支气管充气法对猪肺的各个段支气管插管通气测试,明确了正常猪肺大部分肺段的解剖位置,因为右肺尾叶与左肺尾叶的解剖结构基本对称,故在图2中未详细标注。

### 2.2 6种不同肺段切除模型的建模误差情况分析

建模实验共使用了66对离体猪肺,除去由于人为损坏、测量误差过大、分割错误剔除的18对离体猪肺,总共建立了6种不同肺段共48个离体猪肺肺段切除术模型。

剔除原因根据损伤/错误的发生时间与类型,分为入组前损伤与入组后错误:①入组前损伤,包括



左肺:绿色,左肺顶叶a段(LS'a);浅红色,左肺顶叶b段(LS'b);橙色,左肺尾叶右a段(LS²Da);紫色,左肺尾叶左a段(LS²La);浅蓝色,左肺尾叶左b段(LS²Lb);深红色,左肺尾叶右b段(LS²Db);灰色,左肺尾叶左c段(LS²Lc);白色,左肺尾叶右c段(LS²Dc);未染色,左肺尾叶其他肺段(Other segments of L²)。右肺:粉色,右肺顶叶a段(RS'a);黄色,右肺顶叶b段(RS'b);深蓝色,右肺中叶(R²);黑色轮廓,右肺副叶(R³);未染色,右肺尾叶(R⁴)。

图2 猪肺肺段的正常解剖结构

Figure 2 Anatomy of segments of normal pig lungs

人为损坏(取材过程中牵拉、撕扯导致的肺组织撕裂伤及支气管裂伤)与肺组织的原有病变(严重淤



血、肺大疱、肺占位性病变以及其他猪的肺部疾病),但不包括修复后可继续入组的轻微损伤与不影响实验的轻度肺部病变;②入组后错误,包括测试误差过大(指测量MALP时,两名观测员读出的值相差 $>3\text{ cmH}_2\text{O}$ ,再次测试的读出数值相差仍 $>3\text{ cmH}_2\text{O}$ )与分割错误(段间界面及近端肺门结缔组织的错误切割)。

RS<sup>1</sup>a的样本剔除率[(入组前损伤数+入组后错误数)/总使用数 $\times 100\%$ ]为11.11%,要明显低于其他肺段(RS<sup>1</sup>b: 38.46%; LS<sup>1</sup>a: 33.33%; LS<sup>1</sup>b: 27.27%; LS<sup>2</sup>La: 20.00%; LS<sup>2</sup>Da: 27.27%),且低于平均样本剔除率(26.24%,表1)。

### 2.3 不同肺段切除模型段间交界面的MALP

实验顺利建立了6种不同肺段的肺段切除术模

表1 6种不同肺段切除模型的建模误差情况

Table 1 The modeling errors of 6 different segmentectomy models

肺段	入组前损伤(e1)			入组后错误(e2)			合计 (e1+e2)	总使用数 <sup>a</sup> (m)	样本剔除率 (%)
	人为损坏	原有病变	小计	测量误差过大	分割错误	小计			
RS <sup>1</sup> a	1	0	1	0	0	0	1	9	11.11
RS <sup>1</sup> b	0	1	1	1	3	4	5	13	38.46
LS <sup>1</sup> a	2	0	2	1	1	2	4	12	33.33
LS <sup>1</sup> b	2	0	2	1	0	1	3	11	27.27
LS <sup>2</sup> La	0	0	0	0	2	2	2	10	20.00
LS <sup>2</sup> Da	0	1	1	1	1	2	3	11	27.27
总计	5	2	7	4	7	11	18	66	26.24 <sup>b</sup>

a:总使用数包括随机数表法分入各组的猪肺与剔除后由备用组补充入组的猪肺,即满足 $m=n+e1+e2$ ( $n$ 为各组最终获得的有效模型数目,本实验中 $n$ 为固定值)。b:为平均剔除率。

型(共48个),这些肺段模型测定的MALP如下:RS<sup>1</sup>a ( $17.1 \pm 1.1$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ , RS<sup>1</sup>b ( $17.4 \pm 0.7$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ , LS<sup>1</sup>a ( $17.0 \pm 1.1$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ , LS<sup>1</sup>b ( $16.6 \pm 1.0$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ , LS<sup>2</sup>La ( $17.6 \pm 0.7$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ , LS<sup>2</sup>Da ( $17.0 \pm 0.9$ )  $\text{cmH}_2\text{O}$ 。6组模型之间的漏气程度差异不具有统计学意义( $F=1.20$ ,  $P=0.33$ ,图3)。

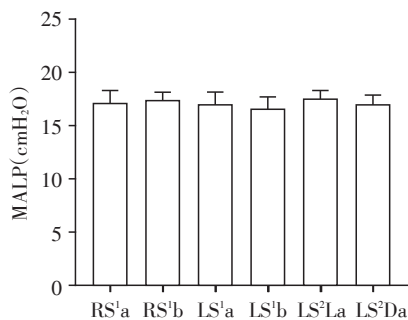
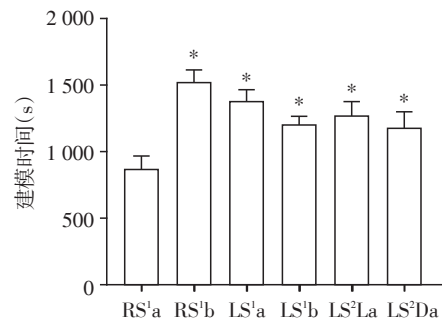


图3 6种不同肺段切除模型段间交界面的MALP比较  
Figure 3 Comparison of MALP of intersegmental planes in 6 different segmentectomy models

### 2.4 不同肺段切除模型的平均建模时间

不同肺段切除模型的平均建模时间如下:RS<sup>1</sup>a ( $880 \pm 83$ )s, RS<sup>1</sup>b ( $1\ 531 \pm 79$ )s, LS<sup>1</sup>a ( $1\ 384 \pm 75$ )s, LS<sup>1</sup>b ( $1\ 207 \pm 56$ )s, LS<sup>2</sup>La ( $1\ 273 \pm 94$ )s, LS<sup>2</sup>Da ( $1\ 179 \pm 108$ )s。可见RS<sup>1</sup>a的建模时间最短,RS<sup>1</sup>b建模时间最长。各组建模时间比较,差异有统计学意义( $F=47.59$ ,

$P < 0.01$ ,图4)。



与RS<sup>1</sup>a组比较,\* $P < 0.01$ 。

图4 6种不同肺段切除模型建模时间的比较

Figure 4 Comparison of modeling time of 6 different segmentectomy models

## 3 讨论

本研究在猪肺正常解剖的基础上进行了进一步探索。猪的肺叶结构与人类略有差异,猪肺的右肺有4个肺叶,分别是顶叶(right cranial lobe, R<sup>1</sup>,也可译作颅叶)、中叶(right middle lobe, R<sup>2</sup>)、副叶(right accessory lobe, R<sup>3</sup>)与尾叶(right caudal lobe, R<sup>4</sup>)。左肺仅有2个肺叶:左肺顶叶(left cranial lobe, L<sup>1</sup>)与左肺尾叶(left caudal lobe, L<sup>2</sup>)。其中顶叶支气管直接与主气管相连而独立于右支气管主干以外,其他肺叶的支气管均源自隆突下的左右主支气管<sup>[9]</sup>。

我们以英文字母“a、b、c…”对猪肺的肺段(segment, S)进行命名。根据支气管充气法确定段间交界面位置的实验结果,猪肺的左右肺顶叶分别有2个肺段,右肺副叶与右肺中叶仅有1个肺段,左、右尾叶的分段情况较为复杂。左、右尾叶的叶支气管树与有机化学中提及的“手性分子”有类似之处<sup>[11]</sup>:左、右尾叶的尾叶支气管干结构以前正中轴为轴,近似镜面对称,但同侧肺的尾叶支气管干下级分支——开口于支气管干左、右侧的段支气管,在结构上不完全对称。根据手性分子的命名习惯,我们将开口于尾叶支气管干左侧的段支气管及对应的肺段冠以“左(levo-, L-)”、开口于尾叶支气管干右侧的段支气管及对应的肺段冠以“右(dextro-, D-)”加以区分。尾叶支气管干由于解剖变异等因素的影响,分叉数可能为3对、4对甚至更多,因此尾叶肺段的结构、数目变异程度较大,往往存在着段间交界面重叠、交错等情况。在对肺段支气管进行进一步解剖时,我们发现猪肺也存在着从属于肺段的肺亚段、肺亚段支气管,甚至次亚段的结构。如RS<sup>1</sup>a的段支气管主干粗短,向段门深入约0.5 cm即可见其分叉为两个次级支气管,对两支次级支气管分别通气,可见不同的膨胀-萎陷界面出现,说明该肺段至少存在着RS<sup>1</sup>a-i、RS<sup>1</sup>a-ii两个亚段。根据人类肺亚段、次亚段结构的解剖情况<sup>[12]</sup>,我们推测猪肺亚段结构解剖变异的出现率较肺段更高,其数目、位置与结构的变异程度会更大。由于实验条件限制,我们并未对猪肺的亚段、次亚段结构进行深入研究。

肺漏气作为肺叶切除术与肺段切除术共同的主要术后并发症<sup>[13]</sup>,会影响患者术后肺复张,导致支气管上皮分泌物难以排出体外,成为术后胸腔积液、肺部感染的危险因素<sup>[14]</sup>。实验中不同肺段模型漏气的差异不具有统计学意义,说明在构建肺段切除术的离体模型时,不同肺段的选择对实验结果影响较小。但是,这与人类肺段切除术中的情况存在差异:人类肺段手术中,上叶手术发生漏气的概率与程度要略高于下叶<sup>[15]</sup>。考虑原因为:①猪肺的段间界限发育良好,而人肺的段间界限大多发育不良,甚至存在着段间肺组织的重叠,故人的肺段分离时更容易出现损伤;②人类与猪的生活习性差异:人类的下叶肺手术后,因为重力的作用及膈肌上抬,创面会同时受到上叶肺组织与膈肌的挤压包裹,而较少发生漏气;反之,在上叶肺手术后,可为段间创面提供覆盖的肺组织少,故漏气发生率及程度均偏高。对于使用四肢行走的猪而言,顶叶与尾叶(相

当于人类肺的上叶与下叶)受重力影响的差异较小,而且实验测漏时肺均浸入水,基本可排除重力的影响。

LS<sup>2</sup>La肺段因为人为损伤少、体积较大而作为研究肺段切除术常用的模型肺段<sup>[6-7]</sup>。为比较LS<sup>2</sup>La与其他肺段建模效果的优劣,我们选择了包括LS<sup>2</sup>La在内的6种肺段进行研究。RS<sup>1</sup>a具有较少的人为损伤,且建模耗时最短,建模时间(880±83)s。猪肺右肺顶叶支气管由主气管单独发出,有两支次级支气管(RB<sup>1</sup>a、RB<sup>1</sup>b)<sup>[9]</sup>,根据支气管的结构可将右肺顶叶分为a段(RS<sup>1</sup>a)与b段(RS<sup>1</sup>b)。RS<sup>1</sup>a仅与RS<sup>1</sup>b存在段间交界,较少见人为损伤。RS<sup>1</sup>b与RS<sup>1</sup>a、R<sup>2</sup>、R<sup>4</sup>均存在段/叶间交界,结构相对复杂,分离难度较大[建模时间为(1 531±79)s]。位于左肺顶叶的LS<sup>1</sup>a、LS<sup>1</sup>b也存在与其他两个或以上肺段交界的情况,分离的段间交界面较大,耗时较长,建模时间分别为(1 384±75)s、(1 207±56)s,而且两个肺段均存在着凸出于肺轮廓以外的锥形突起,人为损伤概率大且修复困难。位于尾叶的LS<sup>2</sup>La与LS<sup>2</sup>Da虽然更少见人为损伤,但与下叶结合紧密,段间交界面的面积较大,故分离耗时长,建模时间分别为(1 273±94)s、(1 179±108)s,因出错导致样本被剔除的概率较高,而且靶段支气管位置偏深,在缺乏纤维支气管镜引导时,插管存在一定难度。根据实验结果可认为,RS<sup>1</sup>a相比LS<sup>2</sup>La,具有更短的建模时间、更小的样本剔除率与更低的操作难度,且模拟效果相当,但人为损伤略多于LS<sup>2</sup>La。

采用支气管充气法测得的段间交界与临床实际操作中采用改良膨胀-萎陷法<sup>[16]</sup>测得的段间交界相比,维持时间更长,界限更稳定,少见向周围未充气的肺组织弥散。考虑原因为:离体猪肺无血供,充入的气体无法与肺循环中的血液进行气体交换,即只存在肺通气而无肺换气(类似于“无效腔通气”<sup>[17]</sup>)。气体的排出主要依赖肺泡囊-大气压力梯度差,经支气管原路排出,少部分通过肺泡上皮细胞间的Kohn孔弥散入临近未充气的肺泡囊<sup>[18]</sup>,但由于离体猪肺的肺泡上皮细胞因缺血缺氧而死亡变性,Kohn孔的功能随离体时间的延长而趋于丧失。因此我们认为,气-血交换的缺乏与Kohn孔功能的丧失是离体猪肺段间交界面能较长时间保持形态的主要原因。

本研究使用室温下生理盐水浸泡的方法对离体肺进行保存及运输。但在临床工作中,更倾向于使用器官保存液如低钾右旋糖苷(LPD)液、University of Wisconsin(UW)液及Euro-Collins(EC)液等对

离体肺进行低温灌注保存<sup>[19]</sup>。考虑本研究主要与肺通气相关,而肺血液循环、肺泡-支气管上皮细胞的活性等因素与实验的关联较小,故未采用以上方案。当模型研究涉及到肺循环、气-血交换、缺血-再灌注损伤或移植等目的时,仍应按照器官移植中的要求进行离体肺的采集与保存。

综上所述,离体猪RS<sup>1a</sup>肺段具有易获取、建模快、失误少、操作简便等优势,可作为较为理想的肺段切除术动物模型,用于肺漏气的机制研究与改进措施的探索。但离体模型也存在局限性,如组织失活、缺乏血供等,并不能完全模拟人体肺的生理状态。研究者可根据具体研究的需要合理选择动物模型。

#### [参考文献]

- [1] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6):394-424
- [2] MIETTINEN O S, YANKELEVITZ D F, HENSCHKE C. Screening for lung cancer[J]. *Cancer*, 2015, 38(3):479-486
- [3] 陈亮,王俊,吴卫兵,等.胸腔镜精准肺段切除术技术流程和质量控制[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2019, 26(1):21-28
- [4] CHARLOUX A, QUOIX E. Lungsegmentectomy: does it offer a real functional benefit over lobectomy? [J]. *Eur Respir Rev*, 2017, 26(146):170079
- [5] 詹必成,刘建,陈剑,等.胸腔镜解剖性肺段切除术39例报告[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(11):1673-1675
- [6] ASAKURA K, IZUMI Y, KOHNO M, et al. Effect of cutting technique at the intersegmental plane during segmentectomy on expansion of the preserved segment: comparison between staplers and scissors in *ex vivo* pig lung[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2011, 40(1):e34-e38
- [7] NOMORI H, ABE M, SUGIMURA H, et al. Triple-layer sealing with absorptive mesh and fibrin glue is effective in preventing air leakage after segmentectomy: results from experiments and clinical study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 45(5):910-913
- [8] 昌盛.中国心脏死亡捐献供肾器官的维护[J]. *临床外科杂志*, 2016, 24(10):744-746
- [9] JUDGE E P, HUGHES J M, EGAN J J, et al. Anatomy and bronchoscopy of the porcine lung. A model for translational respiratory medicine [J]. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 2014, 51(3):334-343
- [10] MATSUMOTO M, SHIRAHASHI K, YAMAMOTO H, et al. Division of the intersegmental plane using electrocautery for segmentectomy in clinical stage I non-small cell lung cancer [J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(S10):S1215-S1221
- [11] 陆阳.有机化学[M]. 9版.北京:人民卫生出版社, 2018:1-14
- [12] 陈亮,朱全.全胸腔镜解剖性肺段切除手术图谱[M].南京:东南大学出版社,东南大学电子音像出版社,2015:1-12
- [13] SUZUKI K, SAJI H, AOKAGE K, et al. Comparison of pulmonary segmentectomy and lobectomy: Safety results of a randomized trial[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(3):895-907
- [14] ATTAAR A, WINGER D G, LUKETICH J D, et al. A clinical prediction model for prolonged air leak after pulmonary resection [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(3):690-699
- [15] AARON R C, LUCA B, LIBERATO C, et al. Pathophysiological mechanism of post-lobectomy air leaks[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(6):3689-3700
- [16] 翟荣,徐心峰,王 俊,等.肺段切除术中改良膨胀萎陷法影响因素研究[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(8):1136-1139
- [17] 朱大年.生理学[M]. 9版.北京:人民卫生出版社,2018:147-159
- [18] ZUO Y, LI L, LIU S. Kohn's pores are not responsible for collateral ventilation between inflated and deflated segments: a microscopic study of pulmonary intersegmental septa in the human lung[J]. *J Anat*, 2015, 226(4):381-385
- [19] KACHROO P, JY R, BRIBRIESCO A C, et al. Cardiothoracic organ procurement for transplantation: how I teach it[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(4):1042-1045

[收稿日期] 2019-12-27