

一个标准的动物肺叶切除模型——猪肺的基本解剖

陈立如¹ 李志刚² 李春光²

【摘要】 目的 通过猪肺实地解剖展示猪各个肺叶的支气管、肺动脉和肺静脉的解剖特征，为猪肺叶切除术的动物实验提供参考。**方法** 取1例心肺连体的成年猪心肺器官，观察猪肺叶，进一步在肺叶水平对该猪肺进行实地解剖，观察肺叶水平的支气管、肺动脉和肺静脉的解剖特征。**结果** 猪肺分为左肺和右肺。猪左肺有3叶，分别为尖叶、心叶和膈叶，其中左尖叶和左心叶叶间裂融合，形成类似于人左肺上叶和左肺下叶的2肺叶构成方式；猪右肺有4叶，分别为尖叶、心叶、膈叶和副叶。每个肺叶均有独立的支气管、肺动脉和肺静脉；左尖叶和左心叶支气管共干，该共干类似于人左肺上叶支气管；左肺尖叶有2支肺动脉分支入肺，左膈叶和右肺各叶均只有一支肺动脉入肺；右副叶有2支肺静脉，其中一支副叶肺静脉与膈叶肺静脉根部汇合后进入心包内，其余肺叶均只有一支肺静脉。**结论** 猪肺的肺叶解剖标识清晰，支气管、肺动脉和肺静脉的解剖特征与人体肺叶解剖具有相似性，可作为肺叶切除术的动物模型，熟悉猪肺解剖有助于顺利开展相关实验和研究。

【关键词】 猪肺；解剖；肺叶切除术；动物实验

A standard animal model of lobectomy—basic anatomy of swine lung Chen Liru¹, Li Zhigang², Li Chunguang². ¹Department of Thoracic Surgery, Jiangxi Provincial People's Hospital (the First Affiliated Hospital of Nanchang Medical College), Nanchang 330006, China; ²Department of Thoracic Surgery, Shanghai Chest Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China

Corresponding author: Li Chunguang, Email: dr_lichunguang@sina.com

【Abstract】 Objective To display the anatomy of swine lung lobes, especially the characteristics of bronchus, pulmonary arteries and pulmonary veins of each lung lobe, in order to provide reference for animal experiments of lobectomy. **Methods** The heart and lung organs of an adult pig were extracted to observe the structure of the lung lobes. Further, the lung of the pig was dissected at the level of lung lobes to observe the anatomical characteristics of the bronchus, pulmonary arteries and pulmonary veins. **Results** Swine lungs are divided into left and right lungs. The left lung has 3 lobes, namely apical lobe, cardial lobe and diaphragmatic lobe, in which the left apical lobe and left cardial lobe are fused. The right lung has 4 lobes, namely apical lobe, cardial lobe, diaphragmatic lobe and accessory lobe. Each lobe has independent bronchus, pulmonary artery and pulmonary vein. The left apical lobe and left cardial lobe bronchus are co-stem, which is similar to the human left upper lobe bronchus. Two pulmonary arteries branch into the left apical lobe, and only one pulmonary artery branch into the left diaphragmatic lobe and each lobe of the right lung. There are two pulmonary veins in the right accessory lobe. One of the accessory pulmonary veins joins at the root of the pulmonary veins in the diaphragmatic lobe and enters the pericardium, while any of other pulmonary lobes has only one pulmonary vein. **Conclusions** The anatomical characteristics of bronchus, pulmonary arteries and pulmonary veins of swine lung are similar to those of human lung, and can be used as an animal model for lobectomy. Familiarity with the anatomy of swine lung is helpful to carry out relevant experiments and studies.

【Key words】 Swine lung; Anatomy; Lobectomy; Animal experiment

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-8773.2024.01.02

基金项目: 江西省卫生健康委科技计划 (202310160); 江西省中医药管理局科技计划 (2020B0209)

作者单位: 330006 南昌, 江西省人民医院 (南昌医学院第一附属医院) 胸外科¹; 200030 上海, 上海交通大学医学院附属胸科医院胸外科²

通讯作者: 李春光, Email: dr_lichunguang@sina.com

猪肺作为人肺的替代器官被广泛用于医学研究。如猪肺作为主要的肺段切除术动物实验模型被用于研究,促进了近年来以肺段切除术为代表的亚肺叶切除术的快速发展^[1-2];机器人手术系统等新的手术设备和各种新的手术器械的应用也可通过猪肺手术来进行活体验证^[3];此外,猪肺还被用于新术式的探索性研究和肺移植手术团队的肺获取训练等^[4-6]。肺叶切除术是肺部疾病外科治疗最主要的术式。然而,猪肺叶切除的操作较为困难,主要原因有以下2点:一是猪肺较人体肺组织更为稚嫩,容易受到损伤;二是猪的胸腔前后径大于左右径,使得胸腔更为狭长,操作更为困难。此外,既往文献虽然有关于猪肺动静脉的应用解剖报道,但这些文献缺少以肺叶切除为目的的解剖分析。鉴于此,本研究通过对1例猪肺实地解剖来展示猪各个肺叶的支气管、肺动脉和肺静脉的解剖特点,为猪肺叶切除术的动物实验以及相关研究提供参考。

材料与方法

一、实验材料

取一对离体的猪肺,与猪心脏一起获取,取自当日屠宰的健康成年家猪。心肺连体器官取出后立即放入准备好的放有干冰的器官保存箱内,尽快运送至实验地点。为尽可能保持猪肺的原生状态,解剖观察和操作在离体后6 h内完成。

二、实验器械和用品

解剖剪刀,线剪,血管钳,持针器,缝线等,解剖台及无菌垫单、纱布、一次性手套等。

三、实验步骤

1. 猪肺叶构成的大体观察:从腹面观、背面观和侧面观3个角度观察猪肺的大体构成情况,识别各个猪肺叶。

2. 解剖猪肺肺叶

(1) 首先解剖左肺:左肺尖叶和心叶融合,因此视为一整体,类似于人左肺上叶;将尖叶和心叶轻轻提起,腹面观,暴露左肺尖叶和心叶的肺静脉;然后将尖叶和心叶向前牵拉,改为背面观,适当游离肺门结缔组织,暴露左肺动脉干,继续向远端游离,显露尖叶和心叶的肺动脉分支,接着离断尖叶和心叶的肺静脉和肺动脉,显

露被肺动静脉包绕的尖叶和心叶支气管干(类似于人左肺上叶支气管)并离断;进一步解剖和暴露左肺膈叶的肺动脉、肺静脉和支气管。

(2) 然后解剖右肺:由尖叶、心叶、膈叶和副叶的顺序依次解剖,游离暴露出上述右肺各叶肺动脉、肺静脉和支气管,必要时离断部分结构,以便于显露和观察。

结 果

一、猪肺的大体解剖

本文猪肺的分叶方法按熊本海等编著的《猪实体解剖学图谱》^[7],将猪肺分为左肺和右肺,其中左肺分为尖叶、心叶和膈叶,右肺分为尖叶、心叶、膈叶和副叶。本例猪左肺尖叶和心叶融合,相当于左肺上叶。外观上从腹面观、背面观和侧面观3个角度观察猪肺构成情况(图1)。

二、猪肺叶支气管、肺动脉和肺静脉特点

1. 左肺

(1) 左肺尖叶:本例猪肺的左肺尖叶与左肺心叶融合,但肺动脉、肺静脉和支气管结构相对独立;左肺动脉干发出2支尖叶分支,尖叶肺静脉由一支单独的尖叶肺静脉构成;左肺尖叶支气管与左肺心叶支气管根部共干,相当于人左肺上叶支气管。

(2) 左肺心叶:本例左肺尖叶与左肺心叶融合,但肺动脉、肺静脉和支气管结构相对独立;左肺动脉干在叶间裂深面发出一支心叶肺动脉分支;心叶肺静脉由一支单独的心叶肺静脉构成;左肺心叶支气管与左肺尖叶支气管根部共干,相当于人左肺上叶支气管。

本例左肺尖叶和心叶融合,相当于人左肺上叶,故本例在解剖时将它们作为一整体进行解剖。上叶支气管被肺动静脉包绕,将尖叶和心叶的肺动静脉离断后即可暴露之。为便于观察左肺膈叶,本例解剖时已将上叶支气管离断,图示可见其残端。

左肺尖叶和心叶支气管、肺动脉和肺静脉解剖特点见图2所示。

(3) 左肺膈叶:本例左肺膈叶支气管和肺静脉均为单支,而左膈叶肺动脉有背段动脉和基底干动脉2支。

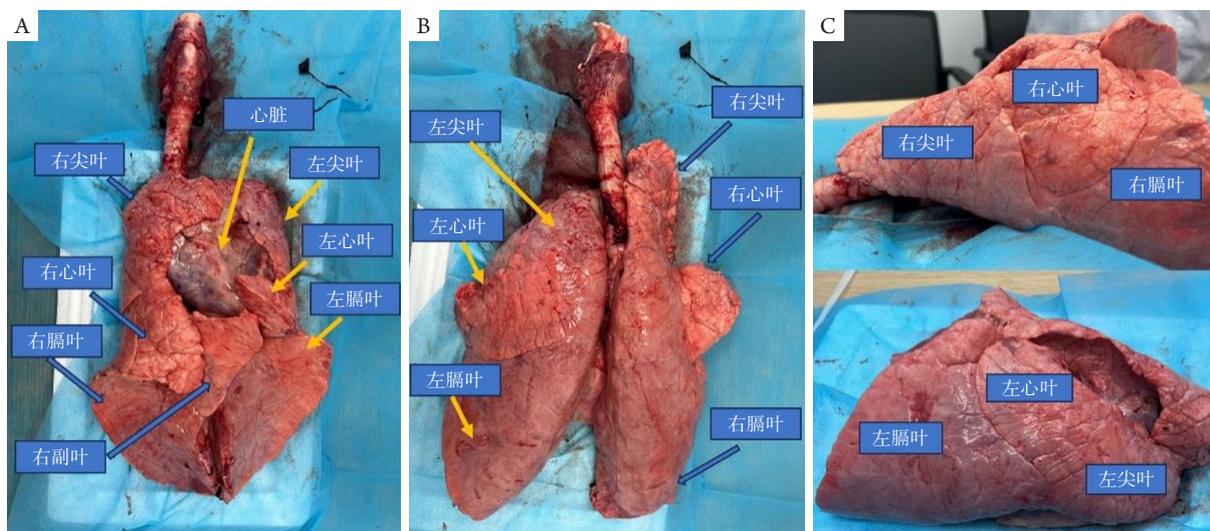


图1 猪肺的大体观察。A: 腹面观; B: 背面观; C: 侧面观

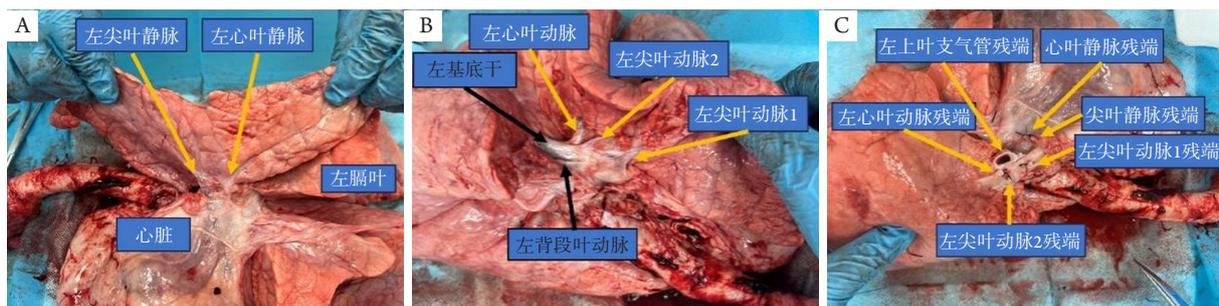


图2 左肺尖叶和心叶肺静脉、肺动脉和支气管。A: 静脉(侧面观); B: 动脉(背面观); C: 支气管(左尖叶和心叶已切除, 侧面观)

左肺膈叶支气管、肺动脉和肺静脉解剖特点见图3所示。

2. 右肺

(1) 右肺尖叶: 由前向背侧看, 右尖叶支气管、肺动脉和肺静脉的层次关系为肺静脉——肺动脉——支气管; 由头侧向尾侧看, 该关系为支气管——肺动脉——肺静脉。右肺尖叶有2支肺动脉分支入肺, 并在近右肺动脉干发出处合为一干; 尖叶肺静脉为一支, 且最靠前方, 离断后即可显露尖叶动脉干; 尖叶支气管最靠近头侧, 紧邻肺动脉后上方。

(2) 右肺心叶: 本例右肺心叶动脉和静脉各有一支, 心叶支气管位于相对于心叶肺动脉和肺静脉的尾侧。

右肺尖叶和心叶的支气管、肺动脉和肺静脉解剖特点见图4所示。

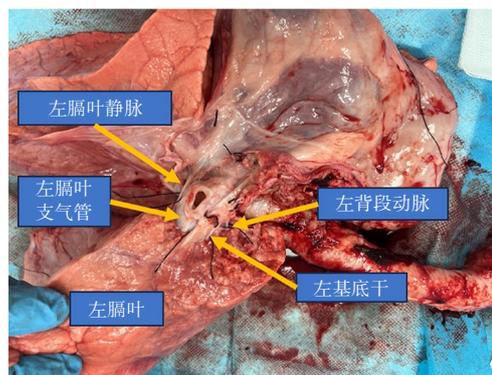


图3 左肺膈叶支气管、肺动脉和肺静脉(左尖叶和心叶已切除, 侧面观)

(3) 右肺膈叶: 本例膈叶有一支肺动脉干入肺, 该肺动脉干位于膈叶支气管前面, 将肺动脉向后推开并用血管钳将支气管挑起可暴露之; 右肺膈叶静脉有1支, 由2支静脉汇合而成, 并在进

入心包之前再收纳一支副叶肺静脉。

(4) 右肺副叶：本例右肺副叶有2支独立的肺静脉，其中靠近背侧的副叶肺静脉回流入膈叶肺静脉后入心包内，另一支副叶肺静脉靠近心缘，直接进入心包内；副叶肺动脉由肺动脉干发出，

并绕过膈叶支气管前方入肺；副叶支气管位于副叶动脉深面，将副叶肺动脉向后下方推开并用血管钳在支气管后方挑起可清楚显露之。

右肺膈叶和副叶的支气管、肺动脉和肺静脉解剖特点见图5所示。

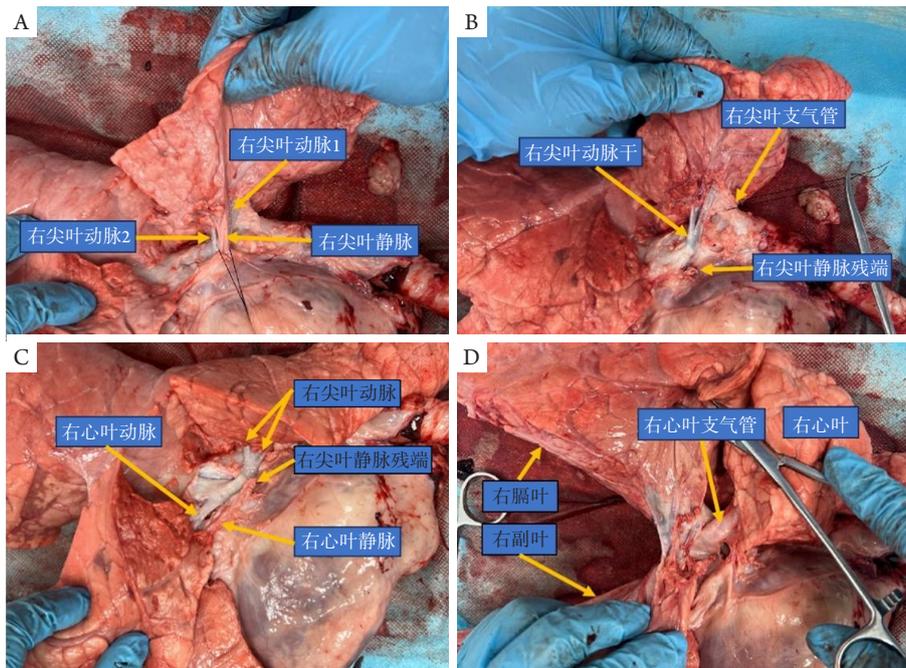


图4 右肺尖叶和心叶支气管、肺动脉和肺静脉（腹面观）。A：尖叶动静脉；B：尖叶动脉及支气管（静脉离断后）；C：心叶动静脉；D：心叶支气管

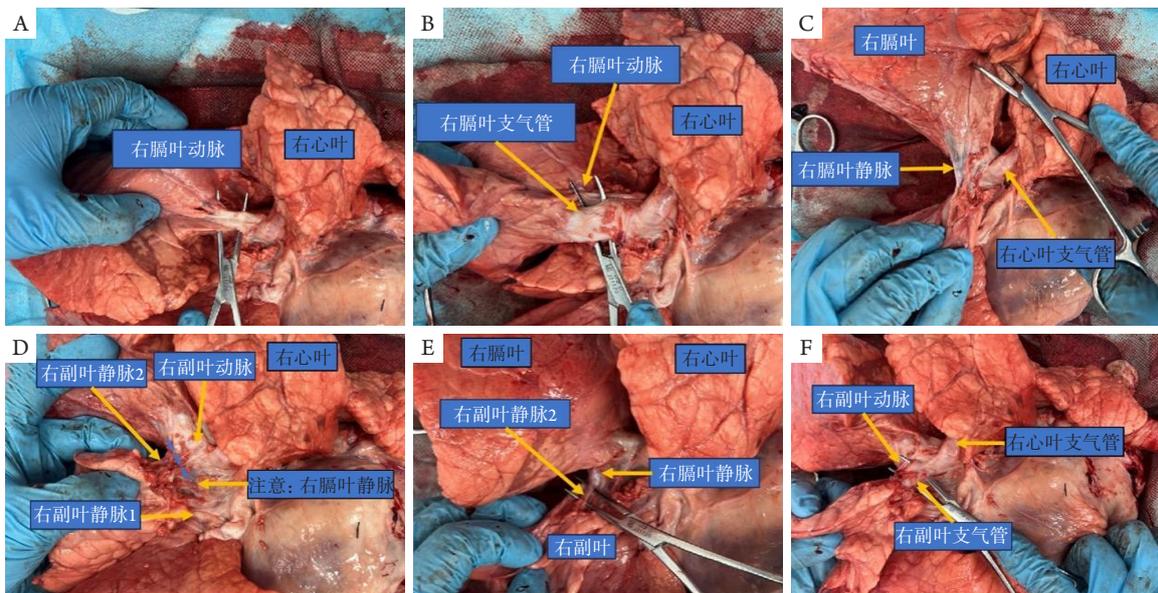


图5 右肺膈叶和副叶的支气管、肺动脉和肺静脉（腹面观）。A：膈叶动脉；B：膈叶支气管；C：膈叶静脉；D：副叶动静脉；E：副叶静脉2；F：副叶支气管

讨 论

猪肺被广泛用于手术学研究或者手术训练^[1,4-5], 以及临床设备或者器械的离体或者活体研究等^[3,6]。尽管目前有关于猪肺用于肺段切除术的手术相关研究^[1-2]和关于猪肺解剖学的书籍^[7]可供参考, 但以肺叶切除为基础的关于猪各个肺叶的支气管、肺动脉和肺静脉的解剖学特点的资料仍然较为缺乏。熟悉猪肺叶水平的解剖学特点有助于开展相关动物实验, 以及为进行相关研究提供参考。

目前普遍认可的是猪右肺由4个肺叶组成, 而左肺可由3个或者2个肺叶组成。关于猪肺分叶的命名或者称谓存在3个不同的版本: ①熊本海等^[7]将猪右肺4个肺叶分别称为尖叶、心叶、膈叶和副叶, 左肺3个肺叶称为尖叶、心叶和膈叶, 尖叶、心叶和膈叶又可分别称为前叶、中叶和后叶; ②日本学者^[8-9]将猪右肺4个肺叶分别称为顶叶 (cranial lobe)、中叶 (middle lobe)、尾叶 (caudal lobe) 和副叶 (accessory lobe), 而左肺仅有2个肺叶, 分别为顶叶 (cranial lobe) 与尾

叶 (caudal lobe); ③另外还有少数学者习惯以人肺上中下叶的概念来称谓猪肺叶, 如陈吴兴等^[10]的研究将猪右肺和左肺都分为上、中和下叶, 其中左肺中叶又称为舌叶。

关于猪肺分叶的变异情况仅有少数报道供参考。陈吴兴等^[10]报道的14例左肺中, 分上、中与下叶占85.7%, 仅有上、下叶占14.3%; 在16例右肺中, 分上、中、下叶占93.75%, 仅有上、下叶8.3%。但该研究猪肺分叶依据不明确, 且主要的分叶方式与兽医及畜牧相关教材或专著不同。汤挺兵等^[11]报道30例猪肺中: 17例右肺中有16例为4叶, 1例为3叶; 13例左肺中有11例为3叶, 2例为2叶。相关专著、教材及论著对猪肺分叶情况的报道详见表1。

由上可见, 猪肺叶构成方式以右肺4叶和左肺3叶 (或2叶, 左肺尖叶和心叶视为一叶) 为常见, 部分变异的情况下右肺由3个肺叶组成。现有关于猪肺分叶变异情况的报道与教材较不一致, 有待进一步研究。本例猪肺左肺尖叶和心叶融合, 即形成左肺2个肺叶的形态, 而右肺为最常见的4个肺叶的形态, 具有一定的代表性。

表1 相关专著、教材和论著对猪肺分叶情况的报道

分类	作者及年份	猪肺的肺叶构成	
		右肺	左肺
专著	陈耀星 ^[12] , 2013	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	3叶: 尖叶, 心叶和膈叶
	熊本海等 ^[7] , 2017	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	3叶: 尖叶, 心叶和膈叶
教材	程会昌 ^[13] , 2007	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	2叶: 尖叶和膈叶
	陈耀星等 ^[14] , 2009	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	2叶: 前叶 (可再分) 和后叶
	彭克美 ^[15] , 2016	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	3叶: 尖叶, 心叶和膈叶
	潘常生 ^[16] , 2019	4叶: 前叶, 中叶, 后叶和副叶	2叶: 前叶和后叶
	陈耀星 ^[17] , 2023	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	3叶: 尖叶, 心叶和膈叶
论著	陈吴兴等 ^[10] , 2009	3叶 (93.75%): 上、中、下叶; 2叶 (8.3%): 上叶和下叶	3叶 (85.7%): 上叶、中叶与下叶; 2叶 (14.3%): 上叶和下叶
	汤挺兵等 ^[11] , 2014	4叶 (16/17): 前叶、中叶、后叶和副叶; 3叶 (1/17): 前叶、后叶和副叶	3叶 (11/13): 前叶、中叶和后叶; 2叶 (2/13): 前叶和后叶
	Judge等 ^[9] , 2014	4叶: 顶叶、中叶、尾叶和副叶	2叶: 顶叶和尾叶
	黄海龙等 ^[18] , 2016	4叶: 尖叶, 心叶, 膈叶和副叶	3叶: 尖叶, 心叶和膈叶
	许洪磊等 ^[2] , 2017	4叶: 顶叶、中叶、尾叶和副叶	2叶: 顶叶和尾叶
	Oizumi等 ^[1] , 2017	4叶: 顶叶、中叶、尾叶和副叶	2叶: 顶叶和尾叶
	张润东等 ^[19] , 2022	4叶: 上叶、中叶、下叶和副叶	2叶: 上叶和下叶

猪肺支气管在肺叶水平的解剖特征相对稳定,变异较少,其中右肺尖叶支气管由主气管发出是猪肺支气管一个显著的特征(图6A)。黄海龙等^[18]基于CT扫描数据利用三维重建技术构建猪肺支气管树三维可视化模型,发现猪肺叶水平的支气管的具体特点如下:①右肺尖叶支气管在第三肋间处由气管发出,呈一短干,右肺主支气管后外行至肺门后上部进入右肺,分别向内侧发出副叶支气管和下外侧发出心叶支气管,膈叶支气管是右肺主支气管的延续。②左肺支气管树,肺主支气管进入左肺肺门后分为二大支,一大支进入尖叶和心叶,另一大支进入膈叶。需要注意的是,存在解剖变异的情况下左肺尖叶支气管也可能从主气管发出^[11]。本例猪肺解剖所示符合上述黄海龙等^[18]描述的特征,右肺四个肺叶各自有一支叶支气管入肺,而左肺尖叶和心叶的支气管为左主支气管发出一支支气管干后再分两支入各肺叶,使左主支气管形成类似于人肺上叶支气管和下叶支气管的形态特征。

肺叶水平猪肺动静脉的走行相对固定。肺静

脉在肺门前方入心包,一般左右各汇合成2支肺静脉,共4支肺静脉^[15],在心包内入左心房;肺动脉自心脏发出后分为左右肺动脉,然后逐步分支入肺叶。虽然有研究报道三维重建和3D打印的猪肺模型,以及肺段切除术的猪肺手术实验^[1,18-19],但关于肺叶水平的猪肺动静脉分支和变异的信息并未详细报道。本例猪肺解剖显示,本例猪肺动脉有以下特征:①右肺动脉有4个分支,分别为尖叶动脉干、心叶动脉、膈叶动脉和副叶动脉,左肺动脉有5个分支,分别为尖叶动脉(2支)、心叶动脉、背段动脉和基底干动脉;②肺动脉分支与肺叶的支气管伴行较紧密。本例猪肺静脉有以下特征:①左肺有3支肺静脉入心包内,分别为尖叶静脉、心叶静脉和膈叶静脉,右肺有4支肺静脉入心包内,分别为尖叶静脉、心叶静脉、膈叶静脉和副叶静脉,②右副叶有两支静脉,一支副叶静脉直接入心包内,另一支副叶静脉汇入膈叶静脉,这与其他肺叶明显不同。基于肺叶水平的猪肺肺动脉、肺静脉及与支气管的关系简易图示见图6B,6C。

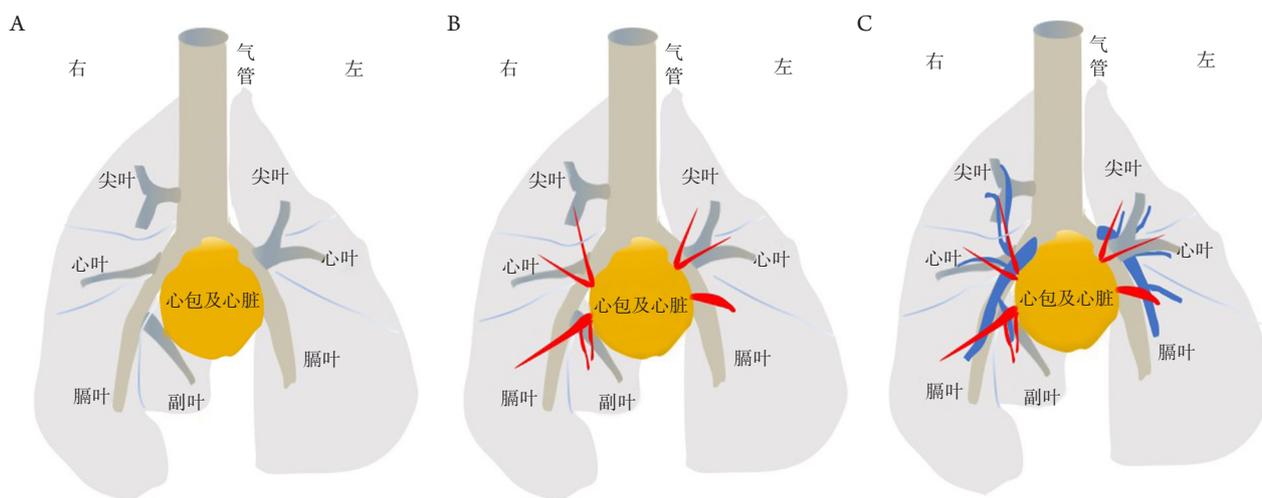


图6 基于肺叶水平的猪肺支气管、肺动脉和肺静脉关系简易图示(腹面观;灰色:气管、支气管及肺叶;黄色:心包及心脏;红色:肺静脉;蓝色:肺动脉)。A:右尖叶支气管发自主气管;B:肺静脉位于肺门最前方;C:肺动脉伴行支气管,右侧肺动脉走行于支气管腹侧,左侧肺动脉走行于支气管背侧

在肺叶水平的解剖层次上,还需要注意支气管与肺动静脉等脉管结构的关系特征。本例解剖发现,猪肺叶水平的支气管与肺动静脉等脉管结构存在以下关系特征:①右肺尖叶支气管位于尖

叶动静脉后上方,这可能与尖叶支气管发自主气管有关,从而形成了由前向后的尖叶静脉-尖叶动脉-尖叶支气管的层次关系,张润东等^[19]采用MIMICS软件重建并3D打印的肺部脉管实体模型

也显示了这种脉管关系；②左肺尖叶和心叶的支气管被脉管结构包围，前方为静脉，后外方为左动脉干和尖叶动脉分支，下方为心叶动脉；③右肺心叶支气管位于心叶肺动脉的尾侧，心叶静脉的后方；④左右膈叶支气管是左右主支气管的延续，均位于左右膈叶动脉的尾侧，离断或牵拉开膈叶动脉即可显露膈叶支气管，左右膈叶的静脉均离支气管较远，在肺门前方靠近尾侧的位置；⑤右副叶是相对独立的一个肺叶，支气管是右主支气管的心叶支气管以远、膈叶支气管以近的位置向前下方发出，且位于副叶肺动脉的深面；⑥所有肺叶均存在明显的肺动脉和相应的支气管伴行的特征，而肺静脉相对远离支气管，这与相关研究报道相符^[11]。

综上所述，猪肺肺叶水平的解剖特征与人体肺解剖具有相似之处，如本例左肺两个肺叶组成，支气管、肺动脉和肺静脉相对关系较为相似等。同时，两者也存在一些明显的差异，最为显著的是猪右肺尖叶支气管自主气管发出，右肺副叶存在2支独立的肺静脉，等等。然而，限于个例解剖，猪肺叶水平的解剖特征仍然需要进一步研究；但本例仍具有一定的代表性，其解剖特征符合相关著作和文献的报道，且本文重点以肺叶切除为基础对各个肺叶的支气管、肺动脉和肺静脉进行了展示，因此认为猪肺可作为肺叶切除的动物模型，为进行相关的动物实验和研究提供参考。

参 考 文 献

- Oizumi H, Kato H, Endoh M, et al. Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy[J]. *J Vis Surg*, 2017, 3: 72.
- 许洪磊, 张望, 陈亮, 等. 离体动物肺段切除术模型的建立[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(6): 826-831.
- Guedes RL, Höglund OV, Brum JS, et al. Resorbable Self-Locking Implant for Lung Lobectomy Through Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: First Live Animal Application[J]. *Surg Innov*, 2018, 25(2): 158-164.
- 王哲, Manying C, 林慧庆, 等. 猪供肺获取技术的训练与评估[J]. *器官移植*, 2017, 8(5): 344-348.
- Murakami J, Ueda K, Hayashi M, et al. [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2016, 22(5): 671-673.
- Avila R, Achurra P, Tejos R, et al. Uniportal video-assisted thoracic surgery lobectomy using a novel perfused ex vivo simulation model[J]. *J Vis Surg*, 2016, 2: 155.
- 熊本海, 恩和, 都格尔斯仁. 猪实体解剖学图谱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- Nakakuki S. Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung[J]. *J Vet Med Sci*, 1994, 56(4): 685-689.
- Judge EP, Hughes JM, Egan JJ, 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.
- 陈吴兴, 纪建松, 赵中伟, 等. 猪肺动、静脉的螺旋CT观察及应用解剖[J]. *解剖学杂志*, 2009, 32(2): 243-247.
- 汤挺兵, 陈吴兴, 陈光平, 等. 离体猪肺与人肺动、静脉成像的解剖学[J]. *解剖学杂志*, 2014, 37(2): 225-228, 264.
- 陈耀星. 动物解剖学彩色图谱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- 程会昌. 动物解剖学与组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- 陈耀星, 刘为民. 家畜兽医解剖学教程与彩色图谱(第三版)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- 彭克美. 禽畜解剖学(第三版)[M]. 上海: 高等教育出版社, 2016.
- 潘常生. 家畜解剖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- 陈耀星. 禽畜解剖学(第四版)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2023.
- 黄海龙, 符伟平, 龚达聪. 猪肺支气管树三维可视化模型的构建及意义[J]. *局解手术学杂志*, 2016, 25(1): 8-10.
- 张润东, 赵琳娜, 姚华. 小型猪肺部三维重建与脉管3D打印模型[J]. *中国比较医学杂志*, 2022, 32(4): 102-106.

(收稿: 2023-09-14; 修回: 2023-12-16; 接受: 2024-02-04)

(本文编辑: 丁玮)

陈立如, 李志刚, 李春光. 一个标准的动物肺叶切除模型——猪肺的基本解剖[J/OL]. *中华胸部外科电子杂志*, 2024, 11(1): 16-22.