肺血管流动参数的 CT 相关测量研究

•影像技术学•

王丽华 李润明 郭佑民 刘继汉

【摘要】 目的:探讨活体肺血管分支几何学和流动状态参数的特征。方法:在 63 例正常人胸部螺旋 CT 图像上测量 2010 套两分支的血管横径, 计算Z值和雷诺数, 分析并判断不同横径血管内血液的流动状态。结果: Z值与标本数据比较有 显著不同:雷诺数随血管横径的增大而增大,但不超过1000。结论:2~4mm的正常肺小血管内雷诺数<1000.流动为层流。

【关键词】 肺小血管; 测量; 体层摄影术, X 线计算机; 层流

【中图分类号】R814.3; R816.41 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2003)04-0280-03

CT study of parameters of flowing condition in pulmonary small vessels WANG Lihua, LI Runming, GUO Youmin, et al. Department of Radiology, Second Hospital Xi an Jiaotong University, Xi an 710004

[Abstract] Objective: To explore the branching geometry and parameters of flowing condition of the pulmonary small vessels in vivo. Methods: 2010 sets of dichotomous small pulmonary vessels were measured in chest helical CT of 63 normal cases. The value Z and the Renold number were calculated and participated to analysis the flowing condition in different vascular diameters. Results: Value Z showed different trend compared with the specimen; the Renold number calculated from Z went large with the vascular diameter, but not over 1000. Conclusion: In small pulmonary vessels of 2~ 4mm, the Renold number is less than 1000, which indicates the flowing condition in them is laminar flow.

[Key words] Pulmonary small vessels; Measurement; Tomography, X-ray computed; Laminar flow

肺小血管是许多肺疾病最常累及的结构,其形态学改变已 广为研究,但从形态出发研究其血流动力学,尚未有人尝试。 CT 和螺旋 CT (helical CT, HCT) 可清楚显示肺小血管结构, 是 研究和测量肺小血管横径较好的无创性影像学检查方法,借鉴 Horsfield 和 Woldenberg^[1]对尸体肺铸型标本血管横径的计算方 法,利用 CT 和 HCT 图像估算肺小血管内的大致流态,不失为 一种很好的尝试。

材料与方法

选择无明显心、肺疾病、无影响呼吸系统的全身性疾病、年 龄 16 岁以上有胸部 HCT 平扫及增强的检查者共 63 例。

采用美国 GE 公司 ProSpeed HCT 机, 3M 固态红外线激光 照相机。采用 10mm 层厚, 10mm/s 进床速度, 1~2 秒/层, 于呼 气末屏气,由肺尖至左膈顶连续扫描,然后进行 2~ 3mm 的重 建,纵隔窗窗宽 350HU、窗位 50HU; 肺窗分别为 1600HU 和-600HU。每次增强采用 Omnipaque 80~ 100ml, 注射 流率 2.0~ 3.5ml/s, 延迟 20~ 25s 后开始扫描。

测量方法参照Horsfield 和 Woldenberg^[1]法,在显示屏采用 Mag 键,将所测量的图像放大 3倍,再用 Image Mod(图像修饰) 键,使图像边缘清晰,增加对比度,以十字光标最前端为标志, 用距离测量键选择两分支的血管影,于分支点两侧位置血管横 径稳定处分别测量血管的母支横径和子支横径,测量数值精确到 0.1mm。将< 1.0mm 和> 10mm 的数据进行筛除^[2]。共测量不 同层面内 2010 套两分支血管横径值。测量见图例(图 1~3)。

计算和分析: 参照文献^[1], 根据 $D_0^{Z} = D_1^{Z} + D_2^{Z}$, 式中 D_0 为

* 卫生部重点学科建设项目(卫规财 2001- 321) 号 作者单位: 710004 西安, 西安交通大学第二 医院放射科(王丽华、 李润明); 710061 西安, 交通大学第<u>一</u>医院影像<u>中心(</u>郭佑民、刘继汉)___ 作者简介:王丽华(1972~),女,西安人,主治医师,主要从事胸部影 像诊新丁作。

母支横径, D₁、D₂分别为两分支子支横径, 利用 Fortran Visual Basic 编程^[4], 运用迭代的方法计算出各横径血管的 Z 值; 根据 公式 Re= 44.97K D^{Z-1} ,首先由正常人肺血流量和流速确定常 数 K 的值为 6.7143,从而 Re= 302 D^{Z-1},忽略正常组间肺动脉 流量和流速及粘滞系数的差别.根据Z值和测得的血管横径. 计算出不同横径血管的 Re 值, 为便于观察雷诺数的变化趋势, 计算并得出一定血管横径范围的雷诺数的均值,观察其随血管横 径变化的规律。采用 SPSS 10.0 统计软件进行分析。

结果

计算得出:Z值呈偏态分布,中位数为 2.015,标准差为 4601。活体状态下所得数值与标本(2.3±0.1)比较,差异有 显著性意义(P < 0.05)。根据公式计算不同横径范围血管的支 数及其雷诺数均值(表1),根据表1绘图(图4)。雷诺数随血管 横径增大而增大,在 2mm 以下的小血管内,血液流动极为缓 慢,近乎处于静止状态,平均雷诺数< 30. 有些小血管内雷诺数 接近于 0, 而在横径较大的血管内, 雷诺数也远未超过 1000, 标 本显示 0.1~ 1.0cm 的动脉分支中 雷诺数的 值为14.5~285.0, 较我们得到的雷诺数值偏小。

表1 不同横径血管内雷诺数值(Re值)

横径范围(mm)	血管支数	Re 值
1. 5~ 2.0	58	27.51
2. 1~ 3.0	529	71.367
3. 1~ 4.0	812	122.755
4. 1~ 5.0	372	149.717
5. 1~ 6.0	139	200.102
6. 1~ 7.0	53	264.856
7. 1~ 8.3	24	328,205

表1示雷诺数值随血管横径增大而增大,最大值为328.205,

直径 3.1~4.0mm 的血管最多,其雷诺数平均在 122 左右。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图1 右下叶背段两分支状血管,测量点选择在分支点的两侧。箭示较大直径的两 分支血管。 图2 下肺静脉层面的两分支血管(箭)。 图3 两分支血管的测量 示意图。 图4 雷诺数随血管横径变化趋势线图。

图 4 显示,随着血管横径的逐渐增大,雷诺数呈逐渐增大 的趋势,最大未超过 350。

讨论

正常人肺小血管的横径及分布特点近年来受到解剖学家 的关注。1989年 Horsfield 和 Woldenberg^[1]使用两副尸肺铸型 标本,对肺动脉树二分支分叉处的三支动脉的横径进行了测 量,计算了多项形态学参数,得出肺小血管中血液流动的状态 参数,并分析了这些参数在呼吸生理学中的意义。但因样本量 少,而且是非活体状态,所得的小血管的横径范围与活体状态 存在着一定的偏差。CT 和 SCT 图像是研究肺小血管较理想的 无创性影像检查方法,为在活体状态下对肺小血管进行测量和 研究提供了可靠的手段。

在 CT 和 HCT 图像中,两分支状的肺小血管影在各层面均 可见到,有些血管影可见连续 3 次分支,这为测量及研究肺血 管的分支几何学和初步估算血管内血液的流动情况提供了良 好条件。

依据流体力学原理, 假设血管中的流体状态是层流, 根据 泊肃叶公式, 得出 F= kD³最适方程, 其中 F 代表横径 D 的血管内 的血流量, k 为常数。而在实际状态下, 血流状态不可能完全是层 流, 流体的能量总要有流失, 因此 D 的幂次要比 3 低, 是 一个变化 的指数。假设血流为紊流时, D 的幂次用 Z 表示, 即 F= kD^Z。在 不同横径的血管中, 血流状态不定, Z 值也不同。根据该公式推导 得出 D_0^{Z} = D_1^{Z} + D_2^{Z} , 因此根据两分支的血管横径可计算出 Z 值。 也较大,且差异存在显著性意义(P< 0.05)。 推测在活体状态下,肺小血管的横径与标本 不同,得到的血流参数也有差异。此外,生理 状态下肺血管的血流较为复杂,受多种生理 调节因素的影响。

得出 Z 值后,根据雷诺数 Re = 44.97kD^{Z-1},可计算出雷诺数。首先根据 F = kD^Z,则k= f/D^Z,其中k为常数,f为流量, 将心输出量 f(83.33 l/min)、主肺动脉横径 D(3.0cm)及对应的 Z 值(2.2925)代入^[1], 计算出常数 k 的值为 6.7143,从而 Re = $302D^{Z-1}$,进一步给出测得的各小血管横径 和对应的 Z 值,即可得到各小血管横径雷诺 数的值。雷诺数的意义在于初步判断层流 与紊流这 2 种不同的流动状态,无论紊流或 层流都可根据雷诺数这个无量纲数来预测, 它代表惯性力和粘滞度的比率。一般来说, 如果雷诺数(Re) < 1000,则流动为层流;如 果 Re> 1000,则流动为紊流^[1]。

箭示较大直径的两 从本文得出的雷诺数来看,随着血管横 两分支血管的测量 径的增加,雷诺数呈逐渐增大的趋势,当血 管横径在 2~ 8mm 时,雷诺数< 1000,血液 处于层流状态;横径< 2mm 的血管,雷诺数

可< 1.0,血液近乎静止状态。究其原因, 2mm 左右的血管即将 进入气体交换的场所——肺泡^[5],因而血流速度减缓,以便进 行氧和二氧化碳的交换。随着血管横径的进一步增大,雷诺数 将逐步增大,可能会形成紊流。在紊流的条件下,需要一个比 层流大的压力差才能使流体通过相同管道流动,紊流比层流更 易对血管壁造成损伤,改变血管壁的壁面切应力,可能与血栓 的形成有一定的关系,还会影响动脉壁的某些生理过程,特别 可能在动脉疾病的初期影响动脉壁对各种化学物的通透性,从 而促进脂纹形成。在小的血管中,流动较为复杂,常常存在扰 动(仍属层流)^[6],这些在哺乳动物中取得的结论是流体生物力 学研究的重要进展。但目前尚无在人体生理状态下所获得的 第一手资料,利用流体力学的原理为人类健康服务是值得进一 步研究的课题。

从研究所得的结果看来,在活体状态下借鉴标本的研究方 法探索肺小血管的血流动力学变化,揭示肺内血流变学生理是 很有必要的。随着影像学技术的不断发展,对肺小血管的显示 将更清晰,肺血管横径和计数分布的研究也将更有实用价值。 根据本文得出的雷诺数与血管横径的关系,在已知某血管横径 的前提下,可以粗略估算其雷诺数的大小,从而大致判断血管 内血液的流动状态,随着数据的进一步积累、完善和数据库的 建立,根据肺血管的横径及雷诺数等参数,建立血管内流动状 态下的数学模型,将为研究肺间质纤维化的血管损害及肺动脉 高压时血管内流态的变化奠定基础。

参考文献

○本文所得活体状态下的Z值较标本(2.3±0.1)大,变化范围。1.1 Horsfield K, Woldenberg MJ. Diameters and cross-sectional areas of

branches in the human pulmonary arterial tree[J]. Anatomical Record, 1989, 223(4): 245-251.

- 2 Phillips CG, Kaye SR. Diameter-based analysis of the branching geometry of four mammalian bronchial tree[J]. Respir Physiol, 1995, 102(2): 303-316.
- 3 Phillips CG, Kaye SR, Schroter RCA. Diameter based reconstruction of the branching pattern of the human bronchial tree[J]. Respir Physiol, 1994, 98(2): 193-217.

肺隔离症螺旋 CT 诊断一例

闫荣 吕发金 罗天友

【中图分类号】R445; R563.9 【文献标识码】D 【文章编号】1000-0313(2003)04-0282-01

病例资料 女,23岁,反复咳嗽,咳痰4年。多次 胸片诊断为左肺下叶炎性改变,经对症治疗后症状缓 解,但左肺下叶阴影未完全消散。无咯血、脓痰及胸痛。 查体:胸廓无畸形,左下肺呼吸音稍弱,未闻及干、湿性 音。实验室检查无异常。螺旋CT平扫:左肺下叶后 基底段紧邻降主动脉见6.0cm×6.2cm的不规则软组

织肿块,其内密度不均匀,中心有低密度区,CT值为 16~23HU;降主动脉有一"漏斗状"软组织影与病灶相 连(图1a)。螺旋CT血管造影示左肺下叶病灶周围呈 环状强化,其内大部分为低密度无强化区,CT值 8.4HU;胸主动脉左侧壁有一"漏斗状"局部突出的强化 血管影与病灶相连(图1b)。三维最大密度投影(maximum intensity projection,MIP)及表面遮盖法(shaded surface display,SSD)重建示自胸主动脉发出一血管进入 病灶内,多角度观察见多支引流静脉回流入左下肺静 脉(图1c,d)。螺旋CT诊断为左肺下叶后基底段肺隔 离症(叶内型)。手术见左肺下叶有一大小为6.0cm× 8.0cm 灰白色肿块,其中有一直径为2.4cm的坏死、囊 变区;病变肺组织内有一直径为8mm的血管与胸主动 脉相连。病理诊断:左肺下叶隔离症(叶内型)。

讨论 肺隔离症是一少见的肺组织发育异常,其特 ^{並动} 征是一段肺和正常支气管树不通,血供来自体循环(胸主 动脉和腹主动脉)^[1]。临床上肺隔离症按肿块与胸膜的关系分为 叶内型(肺内型)和叶外型(肺外型)两类,以前者多见。

本病诊断主要依靠影像学检查。血管造影可直接显示异 常供血动脉和引流静脉,但其为创伤性检查,只有其它检查不 能满足诊断时方可选择性应用。超声和磁共振成像能较好的 显示异常供血血管,但不能同时准确地评价肺实质内病变情 况^[2]。普通CT 增强动态扫描虽然可以显示异常供血血管和肺 部病变,但较难显示异常血管的立体关系。螺旋CT 扫描具有 速度快,可在一次屏气下连续扫描,避免呼吸运动产生的伪影 4 桂良进, 王军, 董波. Fortran PowerStation 4.0 使用与编程[M]. 北 京: 北京航空航天大学出版社, 1999. 452-502.

- 5 Robert G, Fraser JA, Peter P, et al. Diagnosis of diseases of the chest (3rd edit) [M]. Phaladelphia: WB S aunders Company, 1988. 3-72.
- 6 罗小玉. 大血管的流体力学[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994. 45-273.

(2002-08-15 收稿 2002-11-20 修回)

• 病例报道•



图1 肺隔离症。a) 螺旋 CT 平扫示胸主动脉左侧有 "漏斗状"软组织 影与肿块相连(箭);b) 螺旋 CT 增强扫描示胸主动脉 左侧壁有 "漏斗 状"局部突出的强化血管影与病灶相连(箭);c) MIP 示隔离肺组织的供 血动脉(长箭)和引流静脉(短箭);d) 3D SSD 示供血动脉(箭)。

> 及遗漏;特别是螺旋 CT 血管造影的应用,可进行多种形式的三 维重建,尤其是 M IP 和 SSD,有利于显示供血动脉及引流静脉, 同时在评价肺部病变方面有着 明显的优势,且其三维图像立体 感强,可多角度观察供应和引流血管,为外科医生选择手术方 式提供了更多信息。由于螺旋 CT 血管造影操作简单、经济、安 全、无创伤,可为临床提供丰富的信息,易被患者和临床医生接 受。因此认为当临床及胸片怀疑肺隔离症时,螺旋 CT 应作为 首选的影像学检查方法。

参考文献

- 1 李果珍. 临床 CT 诊断学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 305.
- 2 Frush DP, Donnelly LF. Pulmonary sequestration spectrum: a new spin with helical CT[J]. AJR, 1997, 169(3): 679-682.

作者单位:746000 甘肃,陇南地区医院 CT 室(闫荣);重庆医科大 学附属第一医院放射科(吕发金、罗天友) 作者简介:闫荣(1966~),男,甘肃人,医师,主要从事 CT 诊断工作。