

成人气道解剖参数测量的研究进展

左冰玉 薛洪省 赵志龙

【摘要】 气管和支气管的准确解剖数据不仅在人体测量学领域很重要，同时有助于优化复杂胸外科手术。这些解剖数据构成了气道疾病诊断和治疗的理论基础。既往有关人体气道解剖结构的数据受到年代、地域、以及测量对象和方法等因素影响，数值有明显差异。本文对气管和支气管解剖参数以及测量方法的国内外研究进行了梳理，旨在为相关临床和科研工作的开展提供参考。

【关键词】 气管； 气管长度； 气管角度； 解剖参数； 气管切开重建术

Research progress in the measurement of anatomical parameters of the adult airway Zuo Bingyu, Xue Hongsheng, Zhao Zhilong. Department of Thoracic Surgery, Zhongshan Hospital of Dalian University, Dalian 116601, China

Corresponding author: Zhao Zhilong, Email: zhilong509@126.com

【Abstract】 Accurate anatomical data of the trachea and bronchi is not only vital in the field of anthropometry but also contributes to the optimization of complex thoracic surgeries. These anatomical data set the theoretical foundation for the diagnosis and treatment of airway diseases. Prior human airway anatomical data, influenced by factors such as era, region, as well as the subject and methods of measurement, show considerable variation. This paper reviews both domestic and international studies on the anatomical parameters of the trachea and bronchi, as well as their measurement techniques, with the aim of providing a reference for the conduct of related clinical and scientific research.

【Key words】 Airway; Tracheal length; Tracheal angle; Anatomical parameters; Tracheal resection and reconstruction

如何实现隆突或病变气管的切除及重建（tracheal resection and reconstruction, TRR）仍是胸外科医生面临的一个挑战。对于气管和隆突重建手术而言，需要术前仔细检查气管和隆突形态结构，明确相关解剖参数，以确定所需的切除长度，直到可以实现断端的无张力吻合^[1]。确定气管及支气管的参数，例如长度、直径和角度，不仅有助于优化复杂胸外科手术，还可以帮助麻醉师选择适当的双腔支气管插管（double-lumen endobronchial tube, DLT）导管型号^[2]，确保术前顺利实施双腔支气管插管术。

回顾既往研究，最初的气道解剖参数是通过解剖尸体直接测量获取的，随着医学技术的发展，支气管镜、X线、计算机断层CT扫描、影像三维重建等方法逐渐代替尸体解剖测量，进而获

得更加符合人体正常生理状态的气道解剖参数，并且具有高度的可重复性。使用关键词“气管”、“解剖参数”、“双腔支气管插管”、“气管重建术”、“tracheal length”、“Bronchi”、“Diameter”、“Tracheal resection and reconstruction”检索CNKI数据库、万方知识服务网站、Medline (PubMed)、Web of Science、SpringerLink后发现，相关文章大多年代久远，测量方法落后，或者缺乏详细记录气道解剖的测量值。本文梳理了气管、隆突、主支气管等大气道解剖学相关研究内容如下。

一、尸体解剖测量的气道参数

17世纪，Dimerbrock就对支气管的解剖结构做了较简单的描述。后来Foster Carter等^[3]对此进行了更详细地阐述。自19世纪50年代以来，更多学者通过解剖新鲜尸体对气管支气管树的尺寸进行了直接测量，这些研究结果构成了早期教科书中气管支气管树模型的基础。

Benumof等^[4]通过解剖42具新鲜尸体，打开胸部

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-8773.2024.01.09

基金项目：2021年大连大学教学改革项目；大连大学学科建设项目（DLUXK-2023-QN-012）

作者单位：116601 大连，大连大学附属中山医院胸外科

通讯作者：赵志龙，Email: zhilong509@126.com

后切除整个气管、支气管和肺组织。观察支气管走向，测量左右两侧主支气管长度。男性左右侧主支气管长度分别为 (48 ± 8) mm、(19 ± 6) mm、女性分别为 (42 ± 7) mm、(16 ± 4) mm，平均左右主支气管长度分别为 (47 ± 8) mm、(18 ± 6) mm。

20 世纪 60 年代，国内学者对中国人进行了研究^[5]，测量男性气管长度为 10.31 cm，女性略短，男性左右主支气管长度分别为 4.8 cm 和 2.1 cm，女性分别为 4.5 cm 和 1.9 cm。在同年出版的《临床应用解剖学》^[6]中，气管长度被记录为 10.5 cm，左右主支气管长度分别为 4.9 cm 和 2.3 cm (表 1)。

通过解剖新鲜尸体获得的气道数据具有测量准确性高的特点，缺点为结果是在非生理状态下获得。生理状态下的气管、主支气管的长度和内径同尸检测量的数据存有差异。有研究^[7]表明，通过 CT 影像学测量与尸体解剖比较，气管和主支气管的长度不同，而气管与主支气管的直径无显著差异。在尸体标本与生理状态下，气管及主支气管长度存在差异的原因可能为：死亡后肌肉僵硬，气道失去弹性从而变得松弛，导致气管和主支气管长度增加。虽然这些通过尸体解剖所得的数据在一定程度上有所偏颇，但为早期气道研究奠定了坚实基础。

二、支气管镜测量的气道参数

Calloway 等^[8]提出支气管镜能够直观地观察气

管，确定测量位置。Murgu 等^[9]在支气管镜下拍照后使用软件进行测量，证实通过支气管镜测量是可靠的。Benumof 等^[4]通过纤维支气管镜测量 69 例患者的左右主支气管的长度，男性左右主支气管长度分别为 (50 ± 8) mm、(19 ± 8) mm，女性为 (45 ± 7) mm、(14 ± 7) mm。

Ge 等^[10]对 153 例肺部轻症成年患者进行支气管镜镜检查，保持头部和颈部中立位置，测量体内气道长度，结果表明华南地区人群的男性气管和左右主支气管长度分别为 (13.78 ± 1.10) cm、(4.71 ± 0.45) cm、(1.96 ± 0.62) cm，女性分别为 (12.9 ± 1.23) cm、(4.47 ± 0.47) cm、(1.75 ± 0.67) cm。男性气管和左主支气管的长度明显长于女性，而右主支气管长度在男女之间没有统计学差异。

李湘华等^[11]回顾性研究 16 例周围肺结节患者，所有患者均在支气管镜下拍照，通过软件测量支气管内径，测量值为隆突上 4 cm 处，气管前后径为 (1.71 ± 0.18) cm，左右径为 (1.72 ± 0.11) cm，内径为 (1.71 ± 0.11) cm (表 2)。对比 Brodsky 等^[12]研究报告，中国人气管内径值略小，考虑是欧美人群平均身高更高，欧美成人气管内径比中国人大所致。因此，欧美地区人群的气管内径标准并不适合中国人群。

表 1 尸体解剖测量气道解剖参数的比较

测量指标	Benumof 等 ^[4]		《人体解剖学》 ^[5]		《临床应用解剖学》(平均) ^[6]
	男	女	男	女	
左主支气管长度 (mm)	48 ± 8	42 ± 7	48	45	4.9
右主支气管长度 (mm)	19 ± 6	16 ± 4	21	19	2.3
气管长度 (mm)	/	/	103.1	/	105

表 2 支气管镜测量气道解剖参数的比较

测量指标	Benumof 等 ^[4]		Ge 等 ^[10]		李湘华等 ^[11]
	男	女	男	女	
左主支气管长度 (mm)	50 ± 8	45 ± 7	47.1 ± 4.5	44.7 ± 4.7	/
右主支气管长度 (mm)	19 ± 8	14 ± 7	19.6 ± 6.2	17.5 ± 6.7	/
气管长度 (mm)	/	/	137.8 ± 11	129.0 ± 12.3	/
隆突上 4 cm 处气管前后径 (mm)	/	/	/	/	1.71 ± 0.18
隆突上 4 cm 处气管左右径 (mm)	/	/	/	/	1.72 ± 0.11
隆突上 4 cm 处气管内径 (mm)	/	/	/	/	1.71 ± 0.11

周滢等^[13]认为通过支气管镜测量人体呼吸道可以获得准确度高的数据。但其作为一种侵入性的检查手段,对患者身体健康状况要求较高,部分患者由于基础疾病无法耐受,且价格相对昂贵,因此难以成为气管支气管解剖参数的常规测量方式。

三、X线测量的气道参数

19世纪50年代初期,X线开始被用来测量气管直径^[14]。易继权等^[15]用游标卡尺测量X线片上的气管支气管内径,结果显示:男性左右主支气管横径平均值分别为13.2 mm、16.5 mm。女性分别为12 mm、16 mm;男性气管中段横径及隆突角上横径平均值分别为19.6 mm、21.6 mm。女性分别为16.7 mm、20.4 mm。

Hannallah等^[16]于1995年采用胸部X线片对100名成年患者的前后位和侧位进行了测量,男性和女性左主支气管距隆突1~2 mm处的直径分别为(12.4±1.5) mm、(10.7±1.0) mm。作者认为成年男性气管内径值与身高、年龄有相关性。

随后Hagihira等^[17]在2008年发表了一篇使用同样方法测量右主支气管长度的研究,结果显示男性、女性右主支气管长度分别为13.5 mm、11.7 mm(表3)。与Benumof等^[4]的研究相比,亚洲人群右主支气管长度比欧美地区人群短约2 mm。

欧阳葆怡等^[18]建议用胸部X线片直接测量气管内径。也有学者持相反意见。Suvvari等^[19]认为胸部X线片显示气管壁边缘模糊,线条不清。清晰显示左侧主支气管的概率仅为50%~75%,清晰显示

右侧主支气管的概率更低,难以获得准确的气道解剖直径数据。而CT可以比X线更精确地识别气管、支气管解剖结构。因此,随着计算机科技的飞速进展,X线测量法逐渐被CT测量所取代。

四、CT图像测量的气道参数

低剂量计算机断层扫描于20世纪90年代首次出现,逐渐成为肺癌最常见的筛查方法^[20]。其空间分辨率、均匀性、线性度、对比度和图像质量均比X线好10倍以上,而多层螺旋CT切面更薄,通过连续扫描获取检查数据,可以最大限度地减少呼吸运动引起的假象^[21]。

1997年,王佑怀等^[22]对26例离体的左、右肺CT影像进行观测,结果提示:左、右肺上叶支气管及右肺中叶支气管的平均内径分别为(5.2±0.6) mm、(5.1±0.9) mm和(4.0±0.6) mm。段支气管内径为2.3~2.6 mm。该研究的测量对象是离体成人肺标本,因此测量结果与在体状态下右肺上叶支气管平均内径的CT测量值有较大偏差。

2014年, Lee等^[23]对160名成年韩国患者气道测量发现:男性左主支气管长度为(43.9±5.5) mm,女性为(41.9±4.3) mm;男性左主支气管隆突下方2 cm处前后径和横径分别为(12.3±1.8) mm、(18.2±3.2) mm,女性分别为(9.6±1.6) mm和(15.6±2.3) mm。男性右主支气管长度为(13.8±4.3) mm,女性为(13.7±4.4) mm;男性右主支气管中段前后径和横径分别为(14.5±1.9) mm、(19.8±3.2) mm,女性分别为(11.9±1.7) mm、(18.4±3.7) mm。

表3 X线测量气道解剖参数的比较

测量指标	易继权等 ^[15]		Hannallah等 ^[16]		Hagihira等 ^[17]	
	男	女	男	女	男	女
左主支气管横径 (mm)	13.2	12.0	/	/	/	/
右主支气管横径 (mm)	16.5	16.0	/	/	/	/
气管中段横径 (mm)	19.6	16.7	/	/	/	/
隆突角上横径 (mm)	21.6	20.4	/	/	/	/
左主支气管距隆突1~2 mm处直径 (mm)	/	/	12.4±1.5	10.7±1.0	/	/
右主支气管长 (mm)	/	/	/	/	13.5	11.7

2015 年, Mi 等^[24]对接受胸部 CT 扫描的 2 107 例成年中国患者进行了测量。通过 CT 或多平面重建成像技术获得气管和主支气管解剖参数, 结果显示如下: 气管中段平均前后径为 (17.3 ± 3.0) mm, 男性为 (19.0 ± 2.3) mm, 女性为 (14.9 ± 2.1) mm; 气管中段平均横径为 (16.1 ± 2.5) mm, 男性为 (17.1 ± 2.6) mm, 女性为 (14.9 ± 2.0) mm。左主支气管近端和中段的平均内径分别为 (12.3 ± 1.9) mm、 (10.9 ± 1.7) mm, 男性的分别为 (13.1 ± 1.7) mm、 (11.6 ± 1.6) mm, 女性分别为 (11.3 ± 1.6) mm、 (10.0 ± 0.5) mm。右主支气管近端和中段平均内径分别为 (13.3 ± 2.0) mm、 (13.2 ± 2.1) mm, 男性的分别为 (14.1 ± 1.9) mm、 (14.1 ± 2.0) mm, 女性分别为 (12.3 ± 1.7) mm、 (12.2 ± 1.8) mm。气管平均长度为 (104.9 ± 13.4) mm, 男性 (107.8 ± 13.2) mm, 女性 (101.4 ± 12.8) mm。左主支气管的平均长度为 (48.3 ± 6.5) mm, 男性为 (50.0 ± 6.3) mm, 女性为 (46.2 ± 6.0) mm。右主支气管的平均长度为 (13.6 ± 4.3) mm, 男性为 (14.1 ± 4.5) mm, 女性为 (12.9 ± 4.0) mm。左主支气管角平均角度为 $(42.5 \pm 8.9)^\circ$; 右主支气管角平均角度为 $(34.9 \pm 8.0)^\circ$ 。

研究发现男性气管支气管内径和长度较大, 而女性主支气管角度较大; 左主支气管的平均长度是右主支气管长度的 2.5 倍。与中文教科书^[25-26]上由其他方法获得的气道参数相比, 气管长度相似, 而右主支气管长度减小 32%。主支气管长度的结果与其他国家的研究^[27-31]结果不同。提示确认单个种族群体的解剖参数的重要性。

2017 年, 高蓓等^[32]纳入 198 例外科手术患者, 测量胸锁关节水平气管平均前后径为 (20 ± 4) mm, 男性为 (23.2 ± 3.3) mm, 女性为 (16.5 ± 2.0) mm。气管平均横径为 (16.6 ± 2.4) mm、男性为 (17.7 ± 2.6) mm, 女性为 (15.6 ± 1.8) mm。隆突水平左右主支气管平均内径为 (12.3 ± 2.0) mm、 (13.7 ± 2.0) mm, 男性左右主支气管平均内径分别为 (13.6 ± 1.7) mm、 (15.0 ± 1.9) mm。女性为 (11.1 ± 1.4) mm、 (12.5 ± 1.4) mm。提示无论男性还是女性患者, 气管前后径、横径的测量值与 Mi 等^[24]对国人气管树的测量结果基本一致。既往研究^[2]也发现, 年龄增

长导致气管前后径增加而气管横径缩短。此外, 研究^[32]也测量了声门至气管隆突的平均长度为 (126 ± 11) mm, 男性声门至气管隆突的长度为 (130 ± 10) mm, 女性为 (122 ± 11) mm, 而以往研究^[30,32-33]多是测量气管长度, 而不是声门至气管隆突的垂直距离, 所以此结果尚有待进一步研究证实。

2020 年, Chen 等^[34]通过胸部 CT 测量 2 093 名中国成年患者右主支气管、右上叶支气管的解剖参数。结果显示: 右主支气管平均长度为 22.7 mm, 男性为 23.7 mm, 女性为 21.5 mm。右主支气管近端和中段的平均内径分别为 13.2 mm 和 13.1 mm, 男性均为 14.1 mm, 女性分别为 12.3 mm、12.1 mm; 右上叶支气管平均内径为 9.3 mm, 男性为 9.7 mm, 女性为 8.7 mm。该研究同时测量了右主支气管及右上支气管角度, 右主支气管平均角度为 34.3° , 男性为 33.5° , 女性为 35.8° ; 右上支气管平均角度为 73.3° , 男性为 73.3° , 女性为 73.5° (表 4)。

研究^[21,35]显示, 中国人群中右主支气管长度缩短率较高, 右主支气管长度小于 23 mm 的比例 (52.3%) 高 (女性为 63.5%, 男性为 42.8%)。该百分比与韩国患者的 50% 相当, 与加拿大患者的 25% 不同。揭示了中国人群右上叶支气管解剖结构的独特性。

测量定义的模糊可能是右主支气管长度差异较大的原因之一, 有研究^[4]定义气管隆突与上叶支气管口近端缘之间的距离为右支气管长度。然而, Kim 等^[36]认为将气管隆突与上叶支气管口远端缘之间的距离作为右主支气管长度更为可靠。Liu 等^[37]将 168 例接受左侧胸外科手术的成年患者分配到隆突-近端组、隆突-远端组和隆突-隆突组。通过胸部 CT 测量隆突至右上叶支气管口近端缘、隆突至右上叶支气管口远端缘、隆突至右侧二级隆突的距离分别为 (17.2 ± 2.3) mm、 (25.4 ± 3.7) mm、 (28.5 ± 3.1) mm。同时记录术中右侧双腔管错位的发生率, 以评估 3 种方法预测右侧双腔管位置的准确性。结果表明隆突-远端组术中右侧双腔管错位率更低, 说明将气管隆突与上叶支气管口远端缘之间的距离作为右主支气管长度更为准确, 也进一步证实了 Kim 的结论。

目前, 大量研究^[24,38-39]表明, 相比于 X 线, 利用 CT 图像测量人体气道解剖参数更为精准。

但与支气管镜测量结果相比，CT的测量值均偏小，原因可能为患者行胸部CT测量时屏气所致，其测量结果无法动态反映呼吸时人体气管和主支气管的长度。

总而言之，利用胸部CT测量人体气道长度的方法具有简便、可重复性高的优点，对胸外科临床诊疗和缩短双腔支气管插管术的操作时间具有重要的指导意义。

五、影像后处理重建测量的气道参数

影像后处理重建是基于影像原始数据借助重建软件而获得的三维模型，可以立体显示气管、支气管的空间结构，精确、直观地反应气道解剖参数。目前临床上比较常用的重建软件有Deepinsight、Horos、Mimics、3D synapse等三维重建软件。随着影像扫描技术和影像后处理重建技术的发展，影像后处理重建技术已广泛应用于人体解剖测量，获得更准确的解剖数据。

2018年管政等^[40]的研究纳入100名正常成年男性和100名正常成年女性，使用影像后处理软件

测量支气管内径（横径和前后径）和左右主支气管开口处内径，测量男性主动脉弓上缘1 cm处气管的横径和前后径分别为（17.39±1.87）mm和（18.61±1.76）mm。女性为（15.45±1.70）mm和（15.50±1.75）mm，男性左右主支气管开口的内径（14.26±1.53）mm和（15.68±1.55）mm，研究结果显示气管直径存在明显性别差异（表5）。

2022年，Matsuoka等^[41]对215例日本患者的气管解剖参数进行分析，结果显示，气管平均长度为（11.5±1.0）cm（范围8.8~14.4 cm）；与之前的研究结果相似^[8,42]，8%的患者气管总长度<10 cm。男性的颈段气管明显短于女性 [（2.9±1.3）cm vs.（3.8±1.3）cm]；而男性的胸段气管明显长于女性 [（8.9±1.1）cm vs.（7.4±1.1）cm]。表明男性颈段气管较短，胸段气管较长。而女性颈段气管较长，胸段气管较短。此外，年龄越大，颈段气管越短，胸段气管越长，这可能是随着年龄增长，环形韧带和纤维组织强度降低，证实人体气道解剖参数随年龄发生变化。

表4 CT图像测量气道解剖参数的比较

测量指标	Mi等 ^[24]		Lee等 ^[23]		高蓓等 ^[32]		Chen等 ^[34]	
	男	女	男	女	男	女	男	女
气管中段前后径（mm）	19.0±2.3	14.9±2.1	/	/	/	/	/	/
气管中段横径（mm）	17.1±2.6	14.9±2.0	/	/	/	/	/	/
胸锁关节水平气管前后径（mm）	/	/	/	/	23.2±3.3	16.5±2.0		
胸锁关节水平气管横径（mm）	/	/	/	/	17.7±2.6	15.6±1.8		
隆突水平左主支气管内径（mm）	13.1±1.7	11.3±1.6	/	/	13.6±1.7	11.1±1.4	/	/
左主支气管中段内径（mm）	11.6±1.6	10.0±0.5	/	/	/	/	/	/
隆突水平右主支气管内径（mm）	14.1±1.9	12.3±1.7	/	/	15.0±1.9	12.5±1.4	14.1	12.3
右主支气管中段内径（mm）	14.1±2.0	12.2±1.8	/	/	/	/	14.1	12.1
左主支气管隆突下方2 cm处前后径（mm）	/	/	12.3±1.8	9.6±1.6	/	/	/	/
左主支气管隆突下方2 cm处横径（mm）	/	/	18.2±3.2	15.6±2.3	/	/	/	/
右主支气管中段前后径（mm）	/	/	14.5±1.9	11.9±1.7	/	/	/	/
右主支气管中段横径（mm）	/	/	19.8±3.2	18.4±3.7	/	/	/	/
右上叶支气管内径（mm）	/	/	/	/	/	/	9.7	8.7
气管长度（mm）	107.8±13.2	101.4±12.8	/	/	/	/	/	/
左主支气管长度（mm）	50.0±6.3	46.2±6.0	43.9±5.5	41.9±4.3	/	/	/	/
右主支气管长度（mm）	14.1±4.5	12.9±4.0	13.8±4.3	13.7±4.4	/	/	23.7	21.5
右主支气管角度	/	/	/	/	/	/	33.5°	35.8°
右上支气管角度	/	/	/	/	/	/	73.3°	73.5°

表5 影像后处理重建测量气道解剖参数的比较

测量指标	管政等 ^[40]		Matsuoka等 ^[41]	
	男	女	男	女
主动脉弓上缘1 cm处气管前后径 (mm)	18.61 ± 1.76	15.50 ± 1.75	/	/
主动脉弓上缘1 cm处气管横径 (mm)	17.39 ± 1.87	15.45 ± 1.70	/	/
左主支气管开口内径 (mm)	14.26 ± 1.53	/	/	/
右主支气管开口内径 (mm)	15.68 ± 1.55	/	/	/
颈段气管长度 (mm)	/	/	2.9 ± 1.3	3.8 ± 1.3
胸段气管长度 (mm)	/	/	8.9 ± 1.1	8.9 ± 1.1

2023年, 汤春艳等^[43]对256例行胸部CT检查的成年患者采用Mimics软件构建支气管三维模型并进行多平面重建, 测量左、右支气管内径及长度, 但文章未给出具体测量值。研究发现, 右支气管及右主支气管变异系数较大, 右支气管开口于隆突及以上患者3例(1.2%), 243例(95%)患者右主支气管长度≤30 mm, 其中50例右主支气管长度≤18.1 mm, 进一步证实成人患者右支气管长度较短、变异度较大, 支气管解剖存在显著个体差异, 根据患者身高、体重、BMI已无法准确预测支气管长度及内径。

相比于直接在CT图像上进行测量, 重建后的三维图像能更好地显示支气管的形态及结构, 可较精确地测量主支气管的长度和内径^[44-45]。利用CT三维后处理技术, 气管和支气管可在任意方向旋转, 因此能够清晰直观地显示其走行, 提供更为完整精准的解剖数据, 给胸外科和麻醉科医生提供更多有用的信息。

六、总结与分析

气道是人体呼吸系统的主要组成部分, 准确的解剖数据可为胸外科手术提供坚实基础。然而, 国内外文献记载的气道测量数值差异明显, 欧美地区人群体型较东亚地区人群高大, 根据欧美人群标准制定的成人气道解剖参数未必适合东亚人群。中国南北方人群的体质也存在一定的差异, 正常成人测量与尸体测量数据也存在明显不同。最新的解剖研究发现, 人体气道解剖参数因年龄变化、地域差异、经济社会发展和时代变迁而有改变, 导致数据尚无统一标准, 有必要采取更好的方法进行测量。

对成人气道解剖的研究随着新技术的出现而

不断发展演变, 它们在研究方法上各有优势与不足。解剖尸体标本是观察气管、支气管的最直接的方法, 其重要贡献在于提供了原始解剖基础, 但是解剖学标本制作方法复杂、价格昂贵, 因此不能做大样本统计, 而且气道形态受胸腔负压影响, 在活体与死亡状态下长度指标存在较大差异, 借助于解剖手段测得的径线值往往偏离于人体正常生理状态, 而利用各种手段进行气道的活体检查才能更准确地反映其状况。纤维支气管镜被认为是确定双腔支气管插管术位置的金标准^[46], 是观察DLT位置最有效和最可靠的方法, 但作为有创性检查, 一些身体条件较差患者或伴有其他基础疾病的老年患者不能耐受, 在一定程度上限制了其临床应用^[47]。简便易行且对患者危害较小的测量方法是影像学手段, 例如胸部X线片、计算机断层扫描。目前CT已成为测量气管支气管解剖径线值的主要方式, 但由于主支气管在水平面呈倾斜向, 支气管的图像在二维CT图像中显示较为细长。且行CT检查时患者多处于屏气状态, 因此其测量结果不仅在一定程度上缺乏三维立体空间上的准确性, 也偏离人体正常呼吸时的生理状态。

在此背景下, 基于CT的影像后处理重建技术成为了一种兼顾准确性及安全性的气道测量手段, 在三维图像上将气管、支气管自由旋转, 可以使其测量更加客观, 最终研究结果也同样更为精确。诸多研究均表明影像后处理重建技术在人体气道精准测量方面展现出了巨大的优势, 期待该技术更广泛地应用于人体气道的解剖学研究, 获得更具有地域和时代特色及符合人体不同生理状态的气道解剖数据, 从而指导复杂胸外科手术及有效减少TRR并发症, 同时为研制适合国人气

道解剖学特征的气道支架设计参数提供可靠依据,在未来的数字化、精准化、个体化医疗中,有很大的推广价值^[48]。

参 考 文 献

- Auchincloss HG, Wright CD. Complications after tracheal resection and reconstruction: prevention and treatment[J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8 (Suppl 2) : S160-S167.
- Falzon D, Alston RP, Coley E, et al. Lung Isolation for Thoracic Surgery: From Inception to Evidence-Based[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31 (2) : 678-693.
- Foster Carter AF. The anatomy of the bronchial tree[J]. *British Journal of Tuberculosis*, 1942, 36 (1) : 19-38.
- Benumof JL, Partridge BL, Salvatierra C, et al. Margin of safety in positioning modern double-lumen endotracheal tubes[J]. *Anesthesiology*, 1987, 67 (5) : 729-738.
- 王根本. 人体解剖学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 122-123.
- 钟上镇. 临床应用解剖学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 724-726.
- 王颖, 徐英进, 张克呈, 等. 教科书上成人气管与主支气管长度及直径数据准确性的CT影像学评价[J]. *中华麻醉学杂志*, 2014, 34 (4) : 507-508.
- Calloway HE, Kimbell JS, Davis SD, et al. Comparison of endoscopic versus 3D CT derived airway measurements[J]. *Laryngoscope*, 2013, 123 (9) : 2136-2141.
- Murgu S, Colt HG. Morphometric bronchoscopy in adults with central airway obstruction: case illustrations and review of the literature[J]. *Laryngoscope*, 2009, 119 (7) : 1318-1324.
- Ge X, Huang H, Bai C, et al. The lengths of trachea and main bronchus in Chinese Shanghai population[J]. *Sci Rep*, 2021, 11 (1) : 2168.
- 李湘华, 苏柱泉, 黎剑宇, 等. 多层CT和多平面重建及特殊窗口技术对中国成人气管内径的测量及分析[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2017, 40 (4) : 284-288.
- Brodsky JB, Lemmens HJ. Left double-lumen tubes: clinical experience with 1,170 patients[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2003, 17 (3) : 289-298.
- 周滢, 李时悦, 何玮华, 等. 良性气管狭窄患者体外超声检查的研究[J]. *中国医师进修杂志*, 2014, 37 (21) : 64-66.
- Jesseph JE, Merendino KA. The dimensional interrelationships of the major components of the human tracheobronchial tree[J]. *Surg Gynecol Obstet*, 1957, 105 (2) : 210-214.
- 易继权, 吕松, 欧东, 等. 气管支气管分层摄影X线测量初探(附500例报告)[J]. *实用放射学杂志*, 1994, (3) : 178-179.
- Hannallah MS, Benumof JL, Ruttimann UE. The relationship between left mainstem bronchial diameter and patient size[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 1995, 9 (2) : 119-121.
- Hagihira S, Takashina M, Mashimo T. Application of a newly designed right-sided, double-lumen endobronchial tube in patients with a very short right mainstem bronchus[J]. *Anesthesiology*, 2008, 109 (3) : 565-568.
- 欧阳葆怡, 温晓晖, 梁丽霞. 双腔支气管导管型号选择分析[J]. *中华麻醉学杂志*, 2001, 21 (6) : 366-367.
- Suvvari P, Kumar B, Singhal M, et al. Comparison between computerized tomography-guided bronchial width measurement versus conventional method for selection of adequate double lumen tube size[J]. *Ann Card Anaesth*, 2019, 22 (4) : 358-364.
- Aykac D, Hoffman EA, McLennan G, et al. Segmentation and analysis of the human airway tree from three-dimensional X-ray CT images[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2003, 22 (8) : 940-950.
- Bussièrès JS, Gingras M, Perron L, et al. Right upper lobe anatomy revisited: a computed tomography scan study[J]. *Can J Anaesth*, 2019, 66 (7) : 813-819.
- 王佑怀, 张在沛, 李兴富. 双肺上叶及右肺中叶的叶、段支气管的CT应用解剖[J]. *中国临床解剖学杂志*, 1997, (4) : 43-46.
- Lee JW, Son JS, Choi JW, et al. The comparison of the lengths and diameters of main bronchi measured from two-dimensional and three-dimensional images in the same patients[J]. *Korean J Anesthesiol*, 2014, 66 (3) : 189-194.
- Mi W, Zhang C, Wang H, et al. Measurement and analysis of the tracheobronchial tree in Chinese population using computed tomography[J]. *PLoS One*, 2015, 10 (4) : e0123177.
- Cai BQ, Li LY. *PUMC Respiratory*[M]. 2nd ed. Beijing: Peking Union Medical College Press; 2011: 3-5.
- Liu ZY. *English-Chinese Textbook of Systematic Anatomy*[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press; 2009: 143-155.
- Munguía-Canales DA, Ruiz-Flores J, Vargas-Mendoza GK, et al. Tracheal dimensions in the Mexican population[J]. *Cir Cir*, 2011, 79 (6) : 505-510.
- Chunder R, Nandi S, Guha R, et al. A morphometric study of human trachea and principal bronchi in different age groups in both sexes and its clinical implications[J]. *Nepal Med Coll J*, 2010, 12 (4) : 207-214.
- Griscom NT, Wohl ME. Dimensions of the growing trachea related to age and gender[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1986, 146 (2) : 233-237.

- 30 Ellis H, Lawson A. Anatomy for anaesthetists[M]. 9th ed. West Sussex: John Wiley & Sons; 2013: 42-47.
- 31 Grillo HC. Surgery of the Trachea and Bronchi. Diseases, Diagnosis, Results of Treatment[M]. London: BC Decker Inc.; 2004.
- 32 高蓓, 陈培敏, 郭盛仁, 等. 成年患者双腔支气管导管插管术有关的呼吸道解剖因素: CT法测量声门和左主支气管[J]. 中华麻醉学杂志, 2017, 37 (11): 1381-1385.
- 33 Otoch JP, Minamoto H, Perini M, et al. Is there a correlation between right bronchus length and diameter with age?[J]. J Thorac Dis, 2013, 5 (3): 306-309.
- 34 Chen Y, Guo Y, Mi W, et al. Anatomy of the right upper lobe revisited and clinical considerations in Chinese population[J]. PLoS One, 2020, 15 (11): e0242178.
- 35 Wong DT, Kumar A. Case report: Endotracheal tube malposition in a patient with a tracheal bronchus[J]. Can J Anaesth, 2006, 53 (8): 810-813.
- 36 Kim JH, Park SH, Han SH, et al. The distance between the carina and the distal margin of the right upper lobe orifice measured by computerised tomography as a guide to right-sided double-lumen endobronchial tube use[J]. Anaesthesia, 2013, 68 (7): 700-705.
- 37 Liu Z, Liu M, Zhao L, et al. Comparison of the accuracy of three methods measured the length of the right main stem bronchus by chest computed tomography as a guide to the use of right sided double-lumen tube[J]. BMC Anesthesiol, 2022, 22 (1): 264.
- 38 张政玺, 李明星. CT测定气管、支气管径线值及其价值[J]. 临床肺科杂志, 2004, 9 (5): 501-502c
- 39 Ulusoy M, Uysal II, Kivrak AS, et al. Age and gender related changes in bronchial tree: a morphometric study with multidetector CT[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2016, 20 (16): 3351-3357.
- 40 管政, 马燕青, 邵园, 等. 健康成人气管结构与身高体重及质量指数相关性的CT研究[J]. 浙江临床医学, 2018, 20 (10): 1667-1668, 1672.
- 41 Matsuoka S, Shimizu K, Koike S, et al. Significance of the evaluation of tracheal length using a three-dimensional imaging workstation[J]. J Thorac Dis, 2022, 14 (11): 4276-4284.
- 42 Kim D, Son JS, Ko S, et al. Measurements of the length and diameter of main bronchi on three-dimensional images in Asian adult patients in comparison with the height of patients[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2014, 28 (4): 890-895.
- 43 汤春艳, 陈洁, 汪小海, 等. 基于Mimics软件的成年患者支气管解剖学特征与双腔支气管导管型号的差异[J]. 临床麻醉学杂志, 2023, 39 (2): 130-134.
- 44 Edwards PD, Bull RK, Brown VS, et al. Spiral CT optimization for measurement of bronchial lumen diameter using an experimental model[J]. Br J Radiol, 2000, 73 (871): 715-719.
- 45 Montaudon M, Berger P, de Dietrich G, et al. Assessment of airways with three-dimensional quantitative thin-section CT: in vitro and in vivo validation[J]. Radiology, 2007, 242 (2): 563-572.
- 46 Onifade A, Lemon-Riggs D, Smith A, et al. Comparing the rate of fiberoptic bronchoscopy use with a video double lumen tube versus a conventional double lumen tube-a randomized controlled trial[J]. J Thorac Dis, 2020, 12 (11): 6533-6541.
- 47 赵新亚, 王涛. 支气管分支类型的研究[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18 (11): 1333-1335.
- 48 郑智中, 任美玉, 李斌, 等. 人工智能三维重建辅助规划胸腔镜肺段切除术的应用价值[J]. 中国肺癌杂志, 2023, 26 (7): 515-522.
- (收稿: 2023-10-11; 修回: 2023-11-13; 接受: 2024-02-04)
(本文编辑: 丁玮)

左冰玉, 薛洪省, 赵志龙. 成人气道解剖参数测量的研究进展[J/OL]. 中华胸部外科电子杂志, 2024, 11 (1): 71-78.