



## 多波长光声层析成像技术用于人体气管探测\*

温艳婷<sup>1,2)</sup> 吴 丹<sup>1)</sup> 张 静<sup>2)</sup> 郭 丹<sup>2)</sup> 熊春燕<sup>2)</sup> 迟子惠<sup>1)</sup>陈 艺<sup>1)</sup> 李 伦<sup>1)</sup> 蒋华北<sup>3)\*\*</sup><sup>(1)</sup> 重庆邮电大学计算机科学与技术学院, 重庆 400065; <sup>(2)</sup> 成都市第五人民医院超声医学科, 成都 611130;<sup>(3)</sup> Department of Medical Engineering, University of South Florida, Tampa 33620, USA)

**摘要 目的** 通过多波长光声层析成像技术对气管结构进行重建成像。**方法** 基于阵列换能器的光声成像技术对7名志愿者的气管进行了多波长光声层析成像实验, 研究光声层析成像技术对气管不同呼吸相、不同层面的高分辨率(高达150 μm)图像特征, 并对该技术的成像优劣性进行评价。**结果** 光声层析成像技术能对人体气管进行清晰成像, 能够真实反映气管及气管周围组织的结构特征。**结论** 光声层析成像技术可作为一种无创便捷、无电离辐射的成像方式, 对气管解剖和功能状态进行实时评估。

**关键词** 光声层析成像, 图像重建, 气管, 诊断**中图分类号** Q81, R32**DOI:** 10.16476/j.pibb.2021.0131

气管位于颈部正中, 可分为颈、胸两段, 颈段气管短而浅表, 是连接咽喉和支气管的重要通道。气道或周围组织病变会导致气道狭窄、气道水肿以及气管软化症等, 其症状与管腔狭窄程度有关, 精确地评价该段气管狭窄程度, 是进行支架置入、确定手术方案的重要参考, 也是评价患者预后和治疗效果的指标之一。常规的术前诊断包括计算机断层扫描术(computer tomo-graphy, CT)<sup>[1]</sup>、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)<sup>[2]</sup>、超声(US)<sup>[3]</sup>和支气管镜<sup>[4]</sup>。CT作为一种评估气管和肺部情况的常规影像检查手段, 具有良好的时间和空间分辨力, 它不仅可以反映气管的塌陷情况, 同时也可以反映气管与邻近组织的空间关系以及观察其邻近组织(如血管、食管等)有无异常, 但CT扫描存在电离辐射。MRI检查需在镇静或麻醉下进行, 且扫描时间较长, 同时MRI的空间分辨力相对较低<sup>[5]</sup>。支气管镜测量气道内径对气管镜介入诊疗有重要意义, 能较精确地测量气管横截面积, 但需要在麻醉下进行, 而且硬性支气管镜检查可能会导致牙齿、牙龈或者声带损伤, 支气管破裂、流血, 严重者可致死亡, 颈椎活动受限的病人禁忌硬性支气管镜检查<sup>[6]</sup>。研究报道, 通过在吸气末和呼气末进行三维动态MRI扫描, 可以作为一种潜

在替代支气管镜检查的方法, 该方法需要患者良好的配合, 因此通常仅适用于8岁以上的儿童。近年来, 超声作为评估气管的新型检测手段<sup>[7]</sup>, 具有无创、无电离辐射、无需麻醉的优势, 但超声由于气体散射的影响, 只能对气管左右径进行测量, 难以显示气管壁的完整结构及腔内情况。

光声层析成像技术(photoacoustic tomography, PAT)是近年兴起的一种无创、无电离辐射的快捷成像方法, 已用于人体多脏器组织结构的成像。本文首先对PAT成像的基本理论进行介绍, 然后对人体颈段气管的PAT成像系统进行描述, 最后使用该系统对正常人体气管进行探索式成像实验, 初步探索多波长PAT对气管结构和功能的成像效能。

## 1 光声层析成像理论

PAT原理是当短脉冲(ns量级)激光照射生物组织后, 组织中具有强光学吸收特性的吸收体(如

\* 重庆市教育委员会青年基金(KJQN20200607)和重庆邮电大学博士研究生创新人才项目(BYJS202117)资助。

\*\* 通讯联系人。

Tel: 13330999524, E-mail: hjiangl@usf.edu

收稿日期: 2021-05-09, 接受日期: 2021-06-24

血红蛋白、黑色素、油脂等)吸收一定的光能量之后,引起吸收体局部升温 and 膨胀;吸收体体积的膨胀会挤压周围的组织产生局部的压力波,从而产生超声(光声)信号<sup>[8]</sup>。光声信号被放置在探测物周围的超声探测器接收,再经过信号放大、转换、采集,实现图像重建。由于不同生理状态下的生物组织对光的吸收不同,光声图像同时也反映了组织代谢的差异和病变特征。PAT有机结合了光学成像的高对比度和声学成像大穿透深度的优势,从而提供深层组织的高分辨率和高对比度的组织成像,实现跨分子、细胞、组织和器官多个尺度的成像,并在医学成像领域中具有广阔的应用前景<sup>[9-10]</sup>。

## 2 实验系统与方法

### 2.1 实验系统

本研究采用自主搭建的PAT系统进行实验<sup>[11-13]</sup>(图1)。该系统采用Nd:YAG pumped optical parametric oscillator激光器(Surelite, Continuum, CA),可以发射波长680~960 nm的激光脉冲,脉宽为6~7 ns,激光重复频率为20 Hz,激光能量260 mJ。光声信号被5 MHz中心频率的双曲型(两个1/4环形组成的半环形)阵列超声换能器(128阵元的线性阵列,聚焦长度40 mm)所接收,换能器探头晶元间隔角度1.2°,探头晶元尺寸0.95 mm;接收到的光声信号被前置放大器放大后,再被64

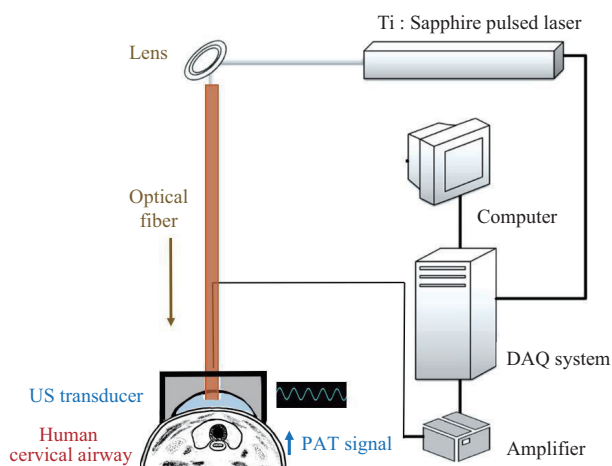


Fig. 1 Schematic of the PAT system for human cervical trachea imaging

The hardware components employed in the PAT system, including the pulsed laser, optical fiber, US transducer, computer, DAQ system and amplifier. Line-shaped light was delivered to the human cervical trachea at horizontal plane, and the ultrasound transducer was set exactly at the same horizontal plane to obtain the PAT signal. DAQ: data acquisition.

通道的数据采集卡采集(型号5105, 12 bit采样进度, 采样频率100 MHz)。采集过程中对信号进行多路复用,并通过Labview面板实现实时成像,实验过后通过Matlab软件对于原始数据进行图像后处理。

### 2.2 研究对象

为了验证本系统对人体颈段气管的检测效能,本次实验选取健康志愿者7名,年龄28~39岁,平均年龄33.5岁。志愿者无颈前区皮肤色素沉着及疤痕,颈椎活动自如;有呼吸系统疾病、颈部手术史予以排除。每位志愿者签署知情同意书。志愿者招募来自成都市第五人民医院,该实验已通过成都市第五人民医院伦理委员会所制定的伦理学标准。人体气管标本来源于成都市中医药大学解剖实验室。

### 2.3 数据采集、PAT图像重建及处理

志愿者仰卧位、头放正中,颈部自然伸展,先使用超声对颈部气管中段进行定位,再光纤以30°角出光照射颈前区同一水平位置,超声换能器浸入至水囊中,并紧贴光照射区域的皮肤。PAT成像基础与生物组织内源性造影剂分布有关,不同波长的光照射会呈现不同的光学成像特性<sup>[14]</sup>。本研究的光声成像系统可激励的脉冲波波长范围为680~960 nm,基于颈前区及气管组织中内源性造影剂(含氧、脱氧血红蛋白,水等)的分布(图2),根据不同内源性造影剂的光吸收峰<sup>[14]</sup>,选取760、840、910 nm三段波长进行光照射。从用力呼气末(保持在呼气末状态)至用力吸气末(保持在吸气末状态)的整个过程进行照射,分别采集三段波长照射的图像并存图,使用Matlab R2017b进行图像

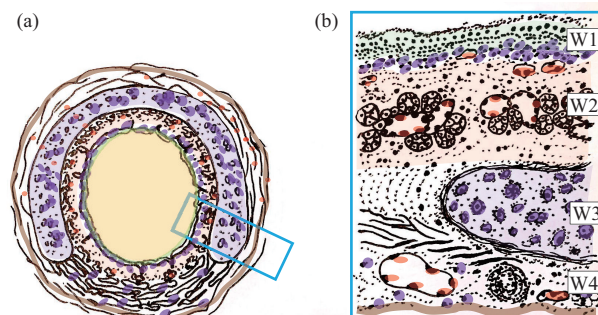


Fig. 2 Schematic of endogenous tissue chromophores in human cervical trachea

(a) Distribution of endogenous tissue chromophores in tracheal wall. (b) The corresponding pathological schematic of tracheal wall in the blue box. W1: mucous; W2: submucosa; W3: tracheal cartilage; W4: tracheal muscle; Purple: collagen and elastin; Red: hemoglobin; Brown: lipid.

重建和处理,采用延迟叠加算法对光声采集数据进行快速图像重建<sup>[11, 15]</sup>。测量不同波长下颈段气管中段的前后径及左右径(内侧缘到对侧的内侧缘),重复测量3次取平均值。所有测量均由同一位影像学医师完成。

## 2.4 统计学分析

采用SPSS 22.0进行统计学分析,计数资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。组间两两比较,采用方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 PAT对气管的结构成像

通过PAT在7名志愿者气管的图像重建,能实

时动态观察人体气管位置(正常或移位),可显示一个位于颈部正中的类圆形管腔结构,管径随呼吸动态变化,证实该处为气管。PAT可显示气管壁的微结构,如黏膜层较薄、呈环状高强度光声信号;气管软骨成C形高强度光声信号;黏膜下层和外膜较厚、呈中等强度光声信号;气管周围脂肪组织成暗带样低强度光声信号(图3、4)。同时,本研究发现PAT对气管软骨间隙层面的显示优于对气管软骨层面的显示,7名志愿者的气管PAT重建图像均表现为上述相似的图像特征。另外,本研究将志愿者气管PAT重建图像与人体气管解剖标本图做对比参考,显示气管与周围器官组织的空间关系,以及不同层面气管壁结构差异。

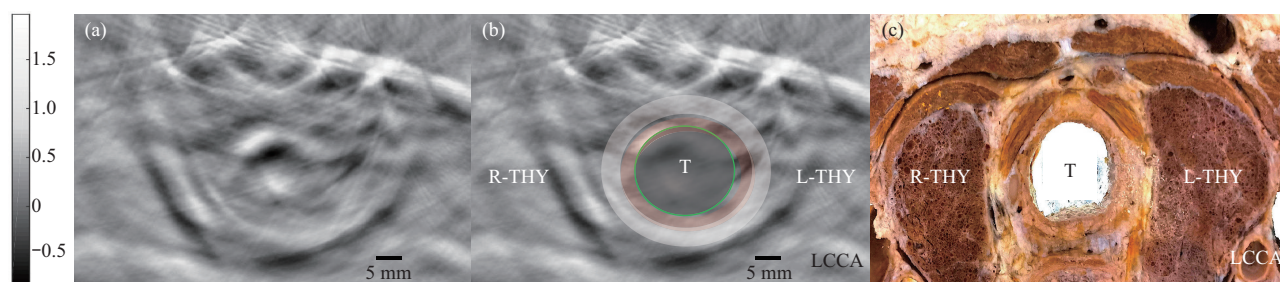


Fig. 3 Comparison between PAT *in vivo* and anatomical specimens of cervical trachea on the inter-cartilage plane

(a, b) PAT images of cervical trachea and its surrounding organs at 910 nm wavelength from volunteer 1; (c) anatomical specimen of cervical trachea on the same plane. T: tracheal cavity; Green circle: mucous; Red circle: submucosa; White circle: tracheal muscle; L-THY: left thyroid lobe; R-THY: right thyroid lobe; LCCA: left common carotid artery.

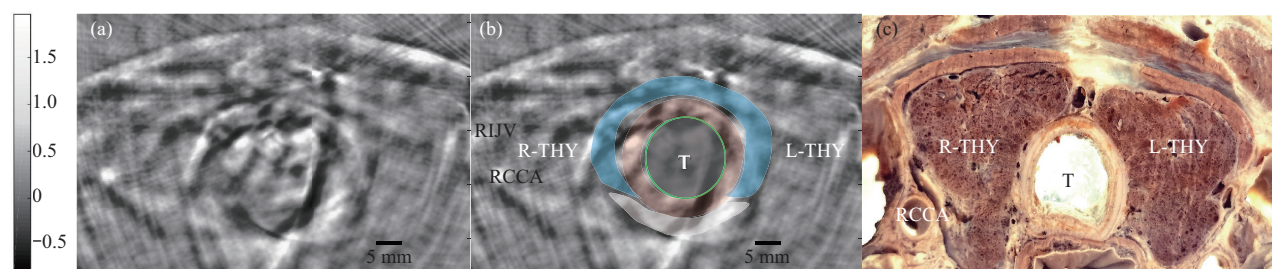


Fig. 4 Comparison between PAT *in vivo* and anatomical specimens of cervical trachea on the cartilage rings plane

(a, b) PAT images of cervical trachea and its surrounding organs at 910 nm wavelength from volunteer 1; (c) anatomical specimens of cervical trachea on the same plane. T: tracheal cavity; Green circle: mucous; Red circle: submucosa; Blue circle: tracheal cartilage; White circle: tracheal muscle; L-THY: left thyroid lobe; R-THY: right thyroid lobe; RCCA: right common carotid artery; RIJV: right internal jugular vein.

### 3.2 多波长PAT对气管内腔的重建图像结果

同一光照射水平,同一呼吸时相,7名志愿者颈段气管的左右径均值略大于其前后径均值(表1)。观察不同层面的气管内腔随着呼吸波动而发生的变化规律:用力吸气时气管内腔横截面积变大,用力呼气时变小(图5)。平静呼吸时气管左右径、前后径测值,不同波长组间的差异无统计学意义

( $P > 0.05$ )。

### 3.3 多波长PAT对气管壁的重建图像结果

7名志愿者均在910 nm波长光照射时显示更好的穿透力和图像对比度(图6),表现为在910 nm时气管膜部结构成像更加清晰,与气管壁的胶原蛋白、纤维蛋白含量有关,上述内源性造影剂在910 nm存在吸收峰<sup>[14]</sup>。本研究中1、2、3、4、6、

Table 1 Multi-wavelength PAT parameters of the cervical trachea ( $\bar{x}\pm s$ )

| $\lambda/\text{nm}$ | Transverse diameter/mm | Sagittal diameter/mm | Cross-sectional area/ $\text{mm}^2$ |
|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 910                 | $17.1\pm 3.1$          | $16.9\pm 2.9$        | $229.6\pm 68.4$                     |
| 840                 | $17.3\pm 3.0$          | $17.1\pm 3.0$        | $235.1\pm 70.5$                     |
| 760                 | $17.3\pm 2.9$          | $16.8\pm 3.1$        | $233.9\pm 69.4$                     |

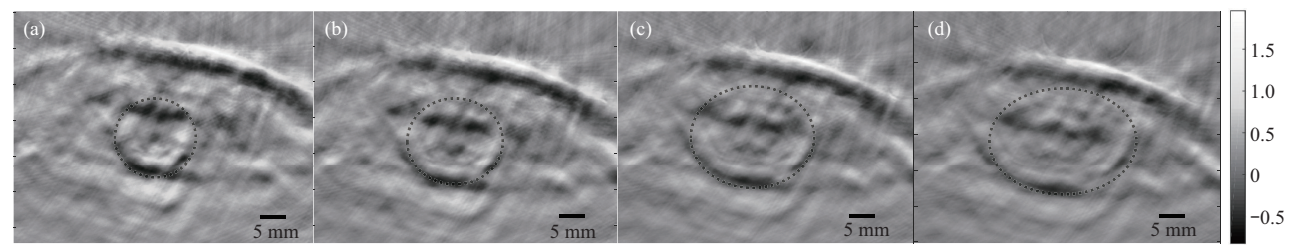


Fig. 5 PAT images of cervical trachea at different phases of a respiratory cycle

(a) At the end of forced exhalation, the tracheal cross-sectional area is the smallest of a respiratory cycle. (b) As the inhalation begins, the trachea cross-sectional area begins to increase. (c) In the inhalation, the cross-sectional area of the trachea increases further. (d) At the end of forced inhalation, the trachea had the largest cross-sectional area of a respiratory cycle. (a), (b), (c) and (d) images are all from volunteer 2.

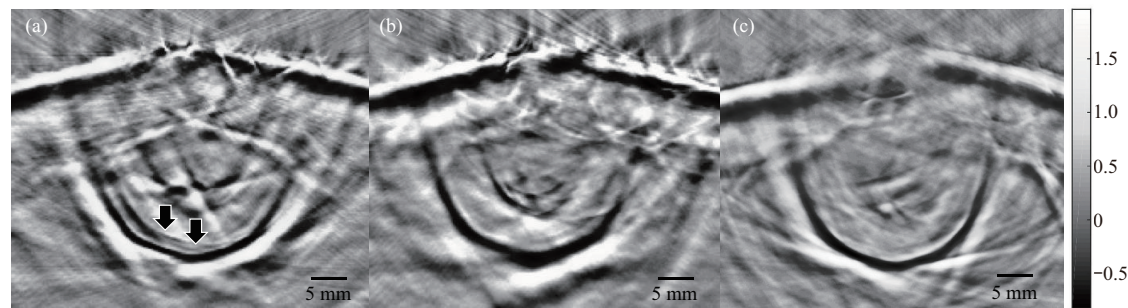


Fig. 6 Multi-wavelength PAT images of cervical trachea

Different layers of tracheal wall are more clearly delineated at 910 nm wavelength (a) than that at 840 nm (b) and 760 nm (c) wavelength from volunteer 4 (Arrows show different layers of tracheal wall at 910 nm wavelength).

7号志愿者气管PAT重建图像类似,而5号志愿者曾临床诊断为桥本氏甲状腺炎(图7),该病特征表现为甲状腺体积增大,尤其是气管前方的甲状腺峡部增厚,甲状腺腺体内血供明显增加<sup>[16]</sup>,PAT在840 nm波长时对内源性造影剂,如含氧血红蛋白及脱氧血红蛋白吸收系数高<sup>[14]</sup>,该病理基础导致光照射在气管前方的甲状腺峡部时被大量吸收,而到达峡部后方的气管的光照射较少。因此该志愿者在910 nm波长光照射时,气管壁内结构显示明显优于840 nm波长。桥本氏甲状腺炎时,供应甲状腺的甲状腺上动脉内径明显增宽、血流速度明显增高,甲状腺内动脉血流供应增加,动脉内含氧血

红蛋白含量多,故甲状腺内含氧血红蛋白分布明显增多;而含氧血红蛋白在波长840 nm的吸收系数高于760 nm,该病理基础及成像原理导致在波长840 nm时大量的光信号被甲状腺吸收,在该波长照射时后方气管图像较波长760 nm分辨率差。

3.4 结果分析

本研究表明,PAT可实现以下气管结构及功能评估:a.实时显示颈段气管位置,是否存在移位;b. PAT对气管壁内的结构层次显示优于其他影像学检查,可显示气管壁结构,而UC、CT及MRI均不能较好地分辨气管壁层次结构;c. PAT可显示“C”形软骨环,并以此区分不同的气管层面,包

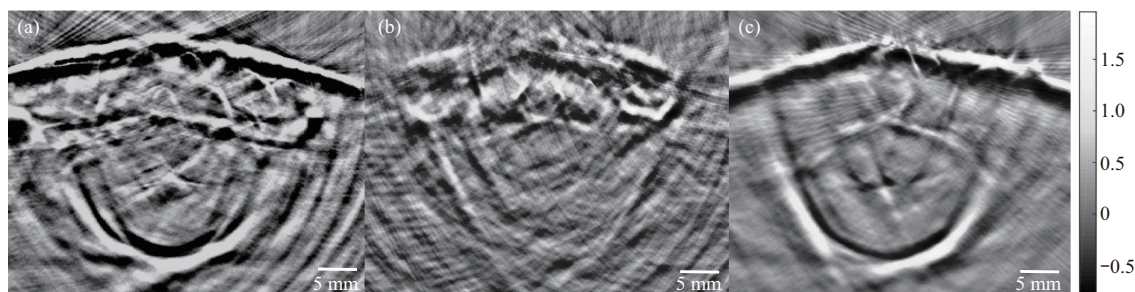


Fig. 7 Multi-wavelength PAT images of trachea from a Hashimoto's thyroiditis volunteer

Different layers of tracheal wall are more clearly delineated at 910 nm wavelength (a) than that at 840 nm (b) and 760 nm (c) wavelength from a Hashimoto's thyroiditis volunteer (volunteer 5). (b) shows high intensity photoacoustic signal in the thyroid isthmus in front of the trachea, while the tracheal tissue is poor imaged at 840 nm wavelength.

括气管软骨层面和软骨间隙层面；d. PAT可提供气管结构参数指标，且测量结果与文献报道的人体气管参数基本一致<sup>[17-18]</sup>；e. PAT可动态观察气管形态的变化，深吸气时，气道横截面积逐渐增大；深呼气时，气道横截面积逐渐变小，与支气管镜、CT报道的结果一致<sup>[18-19]</sup>。因此，PAT可实时动态显示不同呼吸相的气管壁和管腔整体情况，可有望成为荧光镜和纤维支气管镜等侵入性检查的替代手段，成为一种便捷快速的评估气管软化、过度动态塌陷的成像方式。

气管前方由皮肤、皮下组织、浅筋膜、颈阔肌和甲状腺峡部覆盖。在浅筋膜和颈阔肌之间有许多小静脉汇入颈前静脉，在气管与颈筋膜气管前层之间有甲状腺奇静脉丛及甲状腺最下动脉。因此，气管前方组织含有大量的血红蛋白。本研究结果显示，在波长840 nm时气管前方光声信号强度较波长760 nm、910 nm高，分析与含氧血红蛋白及脱氧血红蛋白在波长840 nm时存在吸收峰有关。

气管管壁分为黏膜、黏膜下层和外膜三层。黏膜层分为上皮和固有层；黏膜下层为疏松结缔组织，与固有膜和外膜无明显界线，内有较多混合性腺，含血管、淋巴管及神经；外膜为疏松结缔组织，较厚，主要有16~20个“C”形透明软骨环构成管壁支架，软骨环之间由纤维组成的膜状韧带连接，使气管保持通畅并有一定的弹性；软骨环的缺口朝向气管后壁，缺口处有弹性纤维组成的韧带和平滑肌束，又称为气管膜部，该处富含弹性纤维，使气管组织具有黏弹性。气管内壁在PAT成像时表现为气管腔内信号强弱不等、分布不均的光吸收信号，分析与气管内壁纤毛及附着不同程度的黏液有

关。气管黏膜层表现为环状高信号，与黏膜深层的固有膜富含弹力纤维、胶原纤维有关；气管软骨亦表现为较强信号，分析其成像基础为软骨内含丰富II型胶原蛋白聚集<sup>[20]</sup>，而上述组织内的弹性蛋白、胶原蛋白作为内源性色素团，其光吸收系数的波长范围在900~1300 nm，本研究表明波长910 nm对气管黏膜层及气管软骨显示的清晰度与对比度最佳。黏膜下层为疏松结缔组织，内源性造影剂含量相对较少，呈中等强度信号。气管膜部气管周围的脂肪组织光吸收最少，呈带状低强度信号区。

另外，文献报道在良性气管狭窄时，由于气管内壁局部坏死炎症反应，引起新生血管形成、胶原蛋白纤维合成增多<sup>[21]</sup>，而血管内的血红蛋白和组织中的胶原蛋白作为PAT内源性造影剂，推测PAT能在气道狭窄时显示更强的光声信号，同时利用多光谱定量光声图像重建算法，可获取生物组织中血红蛋白、胶原蛋白等定量参数，因此PAT有望成为评估良性气道狭窄修复过程的新手段。

## 4 结 论

本研究证实，PAT可用于人体气管的结构成像。根据气管组织的内源性造影剂的组成，选择适合波长的脉冲波进行照射，可显示气管的位置、壁结构，并可实时动态观察管腔的呼吸相变化，为气管无创、快速评估提供一种新型检查手段。但本研究样本量较少，未纳入气道相关病例的研究，还需进一步探索PAT在良性气道狭窄、气道相关疾病的诊断效能，如通过多光谱算法可进一步获取气管壁不同组织成分含量的定量参数，评估气管功能变化。因此，随着光声平台与算法的不断提升，PAT

有望成为一种全面评估气管功能和结构的新技术。

### 参 考 文 献

- [1] 曹雪, 林立, 李燕婷, 等. 高分辨率CT重建气道参数及一般人群参考值范围. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, **38**(5): 339-344  
Cao X, Lin L, Li Y T, *et al.* Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Disease, 2020, **38**(5): 339-344
- [2] Elders B, Ciet P, Tiddens H, *et al.* MRI of the upper airways in children and young adults: the MUSIC study. Thorax, 2021, **76**(1): 44-52
- [3] Gottlieb M, Holladay D, Burns K M, *et al.* Ultrasound for airway management: an evidence-based review for the emergency clinician. Am J Emerg Med, 2020, **38**(5): 1007-1013
- [4] Lee J H, Na J U, Shin D H, *et al.* Utility of a modified oropharyngeal airway for performing tracheal intubation using a fiberoptic bronchoscope and video stylet: a randomized crossover trial using a manikin. Emerg Med Int, 2020, **2020**: 3017297
- [5] Ciet P, Wielopolski P, Manniesing R, *et al.* Spirometer-controlled cine magnetic resonance imaging used to diagnose tracheobronchomalacia in paediatric patients. Eur Respir J, 2014, **43**(1): 115-124
- [6] Tan J Z, Ditchfield M, Freezer N. Tracheobronchomalacia in children: review of diagnosis and definition. Pediatr Radiol, 2012, **42**: 906-915
- [7] 何艳, 姚卫东, 金孝炬. 超声用于颈段气管异常评估及气道管理的研究进展. 齐齐哈尔医学院学报, 2020, **41**(5): 604-606  
He Y, Yao W D, Jin X J. Journal of Qiqihar Medical University, 2020, **41**(5): 604-606
- [8] Wang L V, Hu S. Photoacoustic tomography: *in vivo* imaging from organelles to organs. Science, 2012, **335**(6075): 1458-1462
- [9] Attia A B E, Balasundaram G, Moothanchery M, *et al.* A review of clinical photoacoustic imaging: current and future trends photoacoustics. Photoacoustics, 2019, **16**: 100144
- [10] Yang J, Zhang G, Li Q, *et al.* Photoacoustic imaging for the evaluation of early tumor response to antivascular treatment. Quant Imaging Med Surg, 2019, **9**(2): 160-170
- [11] 吴丹, 蒋华北. 针灸辅助造影剂对小鼠大脑光声对比度的增强作用. 激光生物学报, 2018, **27**(2): 133-141  
Wu D, Jiang H B. Contrast enhanced photoacoustic tomography of living mouse brain using combined acupuncture and contrast agents. Acta Laser Biology Sinica, 2018, **27**(2): 133-141
- [12] Yang J, Zhang G, Wu M, *et al.* Photoacoustic assessment of hemodynamic changes in foot vessels. J Biophotonics, 2019, **12**(6): e201900004
- [13] Yang J, Zhang G, Shang Q, *et al.* Detecting hemodynamic changes in the foot vessels of diabetic patients by photoacoustic tomography. J Biophotonics, 2020, **13**(8): 202000011
- [14] Beard P. Biomedical photoacoustic imaging. Interface Focus, 2011, **1**(4): 602-631
- [15] 吴曼. 光声成像技术在人体外周血管中的应用研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020  
Wu M. Study on the Application of Photoacoustic Imaging Technology in Human Peripheral Vessels[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2020
- [16] Luo J, Huang F, Zhou P, *et al.* Is ultrasound combined with computed tomography useful for distinguishing between primary thyroid lymphoma and Hashimoto's thyroiditis?. Endokrynol Pol, 2019, **70**(6): 463-468
- [17] 朱香亭, 胡小丽, 高雨仁, 等. 国人气管、支气管、肺段支气管长度、矢径、横径、直径的测量及典型相关和回归分析. 解剖学报, 1989, **10**(4): 342-349  
Zhu X T, Hu X L, Gao Y R, *et al.* ACTA Anatomica Sinica, 1989, **10**(4): 342-349
- [18] 戈霞晖, 韩锋锋, 刘松, 等. 气管镜测量人体气管长度和内径及左、右主支气管长度的研究. 中国呼吸与危重监护杂志, 2017, **16**(1): 55-59  
Ge X H, Han F F, Liu S, *et al.* Chinese Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2017, **16**(1): 55-59
- [19] 李磊. 中央气道径线生理变化与影响因素分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2016  
Li L. Analysis of Physiological Changes and Influencing Factors of Central Airway Diameter[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016
- [20] 李继承. 组织学与胚胎学. 北京: 人民卫生出版社, 2018  
Li J C. Histology and Embryology. Beijing: People's Medical Press, 2018
- [21] 蔡博, 张云辉. 良性气道狭窄的研究现状与进展. 中国医药科学, 2020, **233**(17): 76-79+83  
Cai B, Zhang Y H. China Medicine and Pharmacy, 2020, **233**(17): 76-79+83

## Multiple Wavelength Photoacoustic Tomography of Human Cervical Trachea\*

WEN Yan-Ting<sup>1,2)</sup>, WU Dan<sup>1)</sup>, ZHANG Jing<sup>2)</sup>, GUO Dan<sup>2)</sup>, XIONG Chun-Yan<sup>2)</sup>, CHI Zi-Hui<sup>1)</sup>,  
CHEN Yi<sup>1)</sup>, LI Lun<sup>1)</sup>, JIANG Hua-Bei<sup>3)\*\*</sup>

<sup>1)</sup>College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

<sup>2)</sup>Ultrasonic Department, The Fifth People's Hospital of Chengdu, Chengdu 611130, China;

<sup>3)</sup>Department of Medical Engineering, University of South Florida, Tampa 33620, USA)

**Abstract Objective** This study opens a new direction for photoacoustic tomography (PAT) to image human cervical trachea. **Methods** A multi-wavelength PAT experiment was performed on the cervical trachea of seven volunteers. The characteristics of high resolution (up to 150  $\mu\text{m}$ ) images of the respiratory cycle and different layers of tracheal wall were studied by PAT, and the imaging advantages and defects of this technique were evaluated. **Results** Our study demonstrated the ability of PAT to image human cervical trachea, and delineate the structural characteristics of it and its surrounding tissues. Variation of tracheal lumen at different phases of a respiratory cycle by PAT indicated its high time resolution. Collagen, as an endogenous contrast of PAT, was abundant in tracheal cartilage, which has a wavelength of absorption coefficient ranging from 900 nm to 1 300 nm. This study shows that the wavelength of 910 nm is best for tracheal cartilage imaging. **Conclusion** It can be considered as a non-invasive, convenient and non-ionizing radiation imaging method for real-time evaluation of human trachea. Given the high spatial resolution and real-time capabilities, PAT has the potential to become a useful tool for non-invasive airway imaging in future. We believe this study sets the ground work for the analysis of the human trachea using PAT *in vivo*.

**Key words** photoacoustic tomography, image reconstruction, trachea, diagnosis

**DOI:** 10.16476/j.pibb.2021.0131

---

\* This work was supported by grants from Chongqing Municipal Education Committee Youth Foundation (KJQN20200607) and Doctoral Innovative Talents Project of Chongqing University of Posts and Telecommunications (BYJS202117).

\*\* Corresponding author.

Tel: 86-13330999524, E-mail: hjiang1@usf.edu

Received: May 9, 2021 Accepted: June 24, 2021