

健康人群电阻抗层析成像的特征及正常范围分析

王冠¹, 李天娇¹, 张艺², 刘胜利², 翁以炳¹

(首都医科大学附属北京潞河医院, 1. 重症医学科, 2. 体检中心, 北京, 101149)

摘要: **目的** 探讨北京地区健康志愿者肺组织的电阻抗层析成像(EIT)测量值的正常范围。**方法** 采用分层抽样方法选取102例健康志愿者(男、女志愿者各51例),分别收集其坐位、仰卧位时平静呼吸和最大呼吸状态下的总阻抗(GI)和阻抗区域(ROI)。分析不同年龄、性别、体质量指数(BMI)和其他分层因素的阻抗值范围。**结果** 无论男性或女性,在最大呼吸状态下,GI和ROI值均高于平静呼吸状态;男性GI和ROI均高于女性(卧位平静呼吸状态下除外)。在4个ROI中,无论男性或女性,ROI2和ROI3占GI比率较高。**结论** 本研究测得了北京地区健康志愿者EIT的基础范围值,可作为EIT系统研究和临床使用的参考依据。

关键词: 电阻抗层析成像; 健康人群; 正常值; 总阻抗; 阻抗区域

中图分类号: R 322.3; R 604 文献标志码: A 文章编号: 1672-2353(2021)15-014-04 DOI: 10.7619/jcmp.20211968

Characteristics of electrical impedance tomography in healthy people and its normal range

WANG Guan¹, LI Tianjiao¹, ZHANG Yi², LIU Shengli², WENG Yibing¹

(1. Department of Critical Care Medicine, 2. Medical Center, Beijing Luhe Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing, 101149)

Abstract: Objective To investigate the normal range of electrical impedance tomography (EIT) measurements in lung tissue of healthy volunteers in Beijing area. **Methods** A total of 102 healthy volunteers (51 males and 51 females) were selected by stratified sampling method, and global impedance (GI) as well as region of interest (ROI) were collected for calm breathing and maximum breathing in sitting and supine positions, respectively. Impedance ranges for age, sex, body mass index (BMI) and other stratified factors were analyzed. **Results** The GI and ROI of both males and females in maximal breathing state were higher than those in calm breathing state. The GI and ROI of males were higher than that of females (except in the decubitus position with calm breathing). In four ROIs, ROI2 and ROI3 accounted for higher proportions of GI in both males and females. **Conclusion** The basic range values of EIT in healthy volunteers in Beijing area are measured in this study, which can be used as a reference for EIT system research and clinical use.

Key words: electrical impedance tomography; healthy population; normal value; total impedance; region of interest

电阻抗层析成像(EIT)系统是近年发展的新技术,主要用于动态评估肺通气状态^[1],其通过绑缚在人胸廓规定位置(正力体型者一般在第4~6肋间)的16个电极发射阻抗波进而计算其在胸廓内不同组织间衰减的程度,并通过相应算法最后还原为肺组织断层影像^[2-3]。EIT成像是连续的、动态的,通过监视屏幕,实时反映肺组织

在吸、呼过程中的变化,还可通过该设备的局部定点监测功能对某一区域的肺组织通气状态进行评价,判断受检者是否存在病理状态或疾病的恢复程度^[4-7]。目前,尚未有EIT检测健康成年人的参考数据(正常范围)^[8]。本研究中探讨北京地区健康人肺组织的EIT测量值的正常范围,现报告如下。

1 资料和方法

1.1 研究设计

本研究为分层抽样调查,以首都医科大学附属北京潞河医院体检中心受检人群为基础,按性别、年龄阶段、体质量指数(BMI)为抽样标准,收集2018年12月—2019年3月受检的102例健康志愿者的肺EIT数据。所有受试者均为汉族,其中青年(≤ 40 岁)、中年(41~59岁)、老年(≥ 60 岁)各34例,男性和女性各51例,年龄26~73岁,平均(43 ± 12)岁,平均BMI为(24 ± 4) kg/m^2 。受检人群基线特征见表1。

纳入标准:①体格检查结果正常,没有吸烟、饮酒史和慢性病者;②体内没有植入性电子设备者;③无胸、脊柱畸形者;④同意进行EIT测量者。本研究已通过首都医科大学附属北京潞河医院伦理委员会批准(批准号2018LH-KS-015,临床试验注册号ChiCTR1800015680)。

表1 受检人群基线特征($\bar{x} \pm s$)

因素	受试者特征($n=102$)
年龄/岁	43 ± 21
性别	
男	51
女	51
身高/m	1.65 ± 0.08
体质量/kg	66.6 ± 12.5
体质量指数/ (kg/m^2)	24 ± 4

1.2 方法

根据EIT系统要求(Infinity C500,德国Dräger, Ltd),坐位检查时患者应坐直,然后根据患者的胸廓选择合适的电极条带,并将其固定在第4~5肋间处,待阻抗波成像稳定后开始记录。5 min后指示受试者以恒定的速度进行5次深呼吸以达到最大呼吸状态,然后继续平静呼吸5 min。随后,指示患者平躺,并按如上步骤继续记录10 min。重复上述过程3次后,收集阻抗值,并计算平均值。记录和保存的阻抗值包括总阻抗(GI)值和4个阻抗区域(ROI),即ROI1~ROI4(图1)。

1.3 统计学分析

采用SPSS 21.0和Matlab 7.0软件进行统计分析。性别和其他测量数据以中位数和四分位数表示。年龄、身高、BMI和EIT阻抗值等计数数据以($\bar{x} \pm s$)表示。不同年龄、性别、BMI和其他分层情况下的阻抗值范围的分析使用单因素方差分析。

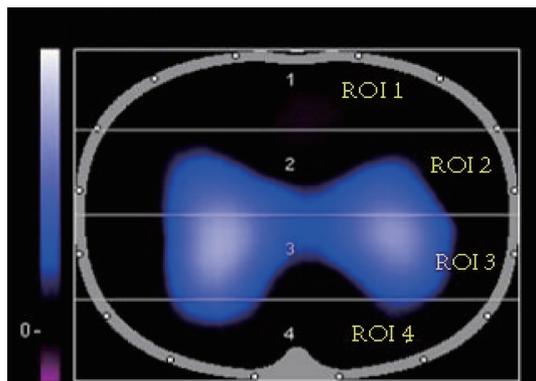


图1 EIT监测的肺通气状态分区显示(由上至下依次为ROI1~ROI4,所有ROI区域阻抗值之和为GI)

$P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受试者不同呼吸条件下坐姿和卧姿的肺GI值

一般最大呼吸状态下GI值高于平静呼吸,男性高于女性(卧位平静呼吸时除外)。见表2。

2.2 受试者不同体位和呼吸状态下监测EIT时各区域阻抗值

男性受试者分别处于坐位和卧位时,其ROI2和ROI3区域数值在平静呼吸、最大呼吸状态下差异均有统计学意义($P < 0.05$),且占GI比率较高;女性受试者的监测数据分布特点与男性基本相同,仅在ROI2区域有所不同,该区域平静呼吸和最大呼吸状态比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表3、4。

3 讨论

EIT技术是近年来在床旁实时监测心肺状态的一项新技术,用于监测肺通气状态^[9]。其可连续、可视地监视整个肺部或肺部特定部位的通气状态^[10]。EIT已用于呼气末正压滴定、气体陷闭等领域^[11]。目前,尚未有EIT系统应用于正常人群肺通气阻抗值参考范围的报道。因此,本研究层抽样了102名健康志愿者,进行EIT肺阻抗值采样,并记录其在坐位和仰卧位下的平静呼吸和最大呼吸状态下的GI和ROI。ROI可体现肺局部动态通气变化,该区域的设定可分为4个区域,也可设为研究者想要观察的某些特定区域,以动态对比治疗前后的变化^[12]。

102例健康参与者年龄和性别分布均匀,无病史或身体异常,体质量和BMI均正常,表明所有参与者可参与本研究。EIT的肺阻抗值测量结

表 2 在不同呼吸条件下坐位和仰卧位受试者的肺总阻抗分布 ($\bar{x} \pm s$)

性别	坐位		卧位	
	平静呼吸状态	最大呼吸状态	平静呼吸状态	最大呼吸状态
男 ($n=51$)	3 353 148 ± 362 721	5 482 749 ± 603 111	2 435 323 ± 303 195	7 949 585 ± 826 013
女 ($n=51$)	1 910 780 ± 230 168	4 227 808 ± 522 656	2 685 644 ± 30 117	4 500 566 ± 496 294

表 3 男性在不同体位和呼吸状态下监测 EIT 时各区域阻抗值 ($\bar{x} \pm s$)

体位		ROI1	ROI2	ROI3	ROI4
坐位	平静呼吸状态	329 333 ± 35 865	1 388 769 ± 151 770	1 486 407 ± 157 902	405 268 ± 37 318
	占 GI 比率/%	9.2	39.3	42.0	9.1
	最大呼吸状态	395 016 ± 43 108	2 209 368 ± 234 606	2 730 902 ± 249 224	4 999 655 ± 53 933
	占 GI 比率/%	6.5	39.1	44.0	10.4
	<i>P</i>	0.134	0.033	0.041	0.361
卧位	平静呼吸状态	315 780 ± 40 612	1 144 899 ± 152 959	998 874 ± 117 619	270 181 ± 34 262
	占 GI 比率/%	12.2	42.2	35.2	10.4
	最大呼吸状态	858 484 ± 102 857	3 750 633 ± 396 174	3 256 553 ± 366 921	841 108 ± 99 098
	占 GI 比率/%	12.1	43.3	36.1	8.5
	<i>P</i>	0.011	0.027	0.007	0.009

GI: 总阻抗; ROI: 阻抗区域。

表 4 女性在不同体位和呼吸状态下监测 EIT 时各区域阻抗值 ($\bar{x} \pm s$)

体位		ROI1	ROI2	ROI3	ROI4
坐位	平静呼吸状态	329 333 ± 35 865	1 388 769 ± 151 770	1 486 407 ± 157 902	405 268 ± 37 318
	占 GI 比率/%	9.2	39.3	42.0	9.1
	最大呼吸状态	406 436 ± 39 053	1 395 080 ± 164 926	2 136 829 ± 219 043	450 035 ± 42 412
	占 GI 比率/%	9.6	36.1	42.4	11.9
	<i>P</i>	0.047	0.549	0.039	0.233
卧位	平静呼吸状态	204 920 ± 25 017	1 130 797 ± 131 072	1 283 676 ± 125 979	239 077 ± 24 757
	占 GI 比率/%	10.8	40.6	38.1	10.5
	最大呼吸状态	532 561 ± 52 052	1 783 757 ± 203 119	1 833 984 ± 188 812	556 775 ± 52 990
	占 GI 比率/%	11.4	42.5	37.8	8.3
	<i>P</i>	0.008	0.032	0.045	0.015

GI: 总阻抗; ROI: 阻抗区域。

果表明,除平静呼吸状态外,在任何姿势和呼吸状态下,男性参与者的肺 GI 和 ROI 均高于女性,这与潮气量和肺活量的表现相同,表明男性 GI 和 ROI 通常高于女性^[12-13]。平静呼吸状态下,女性 GI 高于男性,分析原因可能为女性以胸式呼吸为主;平卧时男性膈肌上抬,导致 GI 较低。此外,本研究发现无论是男性还是女性,无论是坐位还是仰卧位,从最大呼吸中获得的 GI 都大于平静呼吸。4 个 ROI 区域中,ROI2 和 ROI3 是阻抗分布占比较高的区域,且不受性别、体位和呼吸状态的影响。但与平静呼吸相比,最大呼吸状态下 ROI1 和 ROI4 区域的阻抗值占 GI 值比例有不同程度的升高,显示这 2 个区域通气增加以适应机体的需要。

综上所述,本研究测量了健康志愿者肺 EIT 阻抗值的正常范围,有助于临床诊断和治疗相关

疾病,可为进一步使用 EIT 提供理论依据。

参考文献

- [1] BAYFORD R, HALTER R J. Focus on advances in electrical impedance tomography [J]. *Physiol Meas*, 2018, 39 (9): 090301.
- [2] WANG Y M, SUN X M, ZHOU Y M, et al. Use of electrical impedance tomography (EIT) to estimate global and regional lung recruitment volume (VREC) induced by positive end-expiratory pressure (PEEP): an experiment in pigs with lung injury [J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e922609.
- [3] SOPHOCLEOUS L, WALDMANN A D, BECHER T, et al. Effect of sternal electrode gap and belt rotation on the robustness of pulmonary electrical impedance tomography parameters [J]. *Physiol Meas*, 2020, 41(3): 035003.
- [4] WEBER J, GUTJAHR J, SCHMIDT J, et al. Effect of individualized PEEP titration guided by intratidal compliance profile analysis on regional ventilation assessed by electrical im-

- pedance tomography-a randomized controlled trial[J]. BMC Anesthesiol, 2020, 20(1): 42.
- [5] BORGES J B, CRONIN J N, CROCKETT D C, *et al.* Real-time effects of PEEP and tidal volume on regional ventilation and perfusion in experimental lung injury[J]. Intensive Care Med Exp, 2020, 8(1): 10.
- [6] FRERICHS I, AMATO M B, VAN KAAM A H, *et al.* Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDY group[J]. Thorax, 2017, 72(1): 83–93.
- [7] GONG B, KRUEGER – ZIOLEK S, MOELLER K, *et al.* Electrical impedance tomography: functional lung imaging on its way to clinical practice [J]. Expert Rev Respir Med, 2015, 9(6): 721–737.
- [8] SUN X M, CHEN G Q, ZHOU Y M, *et al.* Airway closure could be confirmed by electrical impedance tomography[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2018, 197(1): 138–141.
- [9] HUANG S W, CHENG H M, LIN S F. Improved imaging resolution of electrical impedance tomography using artificial neural networks for image reconstruction[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 1551–1554.
- [10] GIBAS C, GRUNEWALD A, WUNDERLICH H W, *et al.* A wearable EIT system for detection of muscular activity in the extremities[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 2496–2499.
- [11] CAO L, LI H T, FU D C, *et al.* Real-time imaging of infarction deterioration after ischemic stroke in rats using electrical impedance tomography[J]. Physiol Meas, 2020, 41(1): 015004.
- [12] WEI J L, GAO L, SUN F F, *et al.* Volume of tidal gas movement in the nonventilated lung during one-lung ventilation and its relevant factors [J]. BMC Anesthesiol, 2020, 20(1): 20.
- [13] GREENWALD R, HAYAT M J, DONS E, *et al.* Estimating minute ventilation and air pollution inhaled dose using heart rate, breath frequency, age, sex and forced vital capacity: a pooled – data analysis [J]. PLoS One, 2019, 14(7): e0218673.

(本文编辑:周娟)

(上接第 13 面)

- [9] GUPTA L, NAVEEN R, GAUR P, *et al.* Myositis-specific and myositis-associated autoantibodies in a large Indian cohort of inflammatory myositis[J]. Semin Arthritis Rheum, 2021, 51(1): 113–120.
- [10] 李珊珊, 葛永鹏, 杨澜波, 等. 皮肌炎患者 427 例肌炎特异性抗体谱及与临床特征相关性分析[J]. 中华风湿病学杂志, 2017, 21(9): 585–594.
- [11] 张寅丽, 杨澜波, 赵于子, 等. 抗 Mi-2 抗体阳性的皮肌炎患者的临床和肌组织病理特征[J]. 中日友好医院学报, 2014, 28(2): 67–70, 76, 64.
- [12] NGUYEN M, DO V, YELL P C, *et al.* Distinct tissue injury patterns in juvenile dermatomyositis auto-antibody subgroups[J]. Acta Neuropathol Commun, 2020, 8(1): 125.
- [13] TANBOON J, INOUE M, HIRAKAWA S, *et al.* Pathologic features of anti-mi-2 dermatomyositis[J]. Neurology, 2021, 96(3): e448–e459.
- [14] OLDROYD A G S, ALLARD A B, CALLEN J P, *et al.* A systematic review and meta-analysis to inform cancer screening guidelines in idiopathic inflammatory myopathies[J]. Rheumatology: Oxford, 2021, 60(6): 2615–2628.
- [15] GAN Y Z, LI Y H, ZHANG L H, *et al.* Comparison of clinical and immunological features between clinically amyopathic dermatomyositis and typical dermatomyositis[J]. Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2020, 52(6): 1001–1008.
- [16] WONG V T, SO H, LAM T T, *et al.* Myositis-specific autoantibodies and their clinical associations in idiopathic inflammatory myopathies[J]. Acta Neurol Scand, 2021, 143(2): 131–139.
- [17] DIDONA D, JURATLI H A, SCARSELLA L, *et al.* Amyopathic and anti-TIF1 gamma-positive dermatomyositis: analysis of a monocentric cohort and proposal to update diagnostic criteria[J]. Eur J Dermatol, 2020, 30(3): 279–288.
- [18] TEMMOKU J, SATO S, FUJITA Y, *et al.* Clinical significance of myositis-specific autoantibody profiles in Japanese patients with polymyositis/dermatomyositis [J]. Medicine: Baltimore, 2019, 98(20): e15578.
- [19] MEHTA P, MACHADO P M, GUPTA L. Understanding and managing anti-MDA 5 dermatomyositis, including potential COVID-19 mimicry[J]. Rheumatol Int, 2021, 41(6): 1021–1036.
- [20] XU A, YE Y, FU Q, *et al.* Prognostic values of anti-Ro52 antibodies in anti-MDA5-positive clinically amyopathic dermatomyositis associated with interstitial lung disease[J]. Rheumatology: Oxford, 2021, 60(7): 3343–3351.

(本文编辑:梁琰)