

✧胸部影像学

Evaluation on diaphragmatic motion in chronic obstructive pulmonary disease patients with dynamic X-ray chest radiography under calm breathing

CHEN Jianghong¹, CUI Ruxin¹, YU Ganggang², WANG Wei²,
ZHONG Zhaohui^{1*}, YANG Zhenghan¹, WANG Zhenchang¹

(1. Department of Radiology, 2. Department of Respiration, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of evaluation of the diaphragmatic motion in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients with dynamic X-ray chest radiography under calm breathing. **Methods** Dynamic X-ray chest radiographs were performed in 96 COPD patients (COPD group) and 50 healthy controls (control group) under calm breathing. The range, speed and time of the diaphragmatic motion were obtained and analyzed. Results of lung function tests of 2 groups were recorded. Dynamic X-ray chest radiographs and pulmonary function parameters were compared between 2 groups, and the correlations of diaphragmatic motion parameters and lung function parameters were analyzed, respectively. **Results** The left and right side diaphragmatic motion amplitude in COPD group ($[18.63 \pm 7.45]$ mm, $[15.64 \pm 5.98]$ mm) were larger than those in control group ($[14.69 \pm 5.40]$ mm, $[13.13 \pm 4.84]$ mm, both $P < 0.05$). During inspiratory phase and expiratory phase, the motion speeds of left diaphragm in COPD group were 18.79 (15.67, 22.67) mm/s and 16.00 (12.36, 21.23) mm/s, the right side were 17.00 (12.71, 19.73) mm/s and 13.75 (9.50, 16.83) mm/s, respectively, while in control group of the left side were 15.33 (13.96, 17.71) mm/s and 11.42 (9.63, 16.00) mm/s, of the right side were (14.91 ± 4.38) mm/s and (10.66 ± 3.66) mm/s, respectively (all $P < 0.05$). There were statistical differences of lung function between 2 groups (all $P < 0.01$), but the pulmonary function parameters were not significantly correlated with dynamic chest radiograph examination parameters in COPD group (all $P > 0.05$). **Conclusion** Using dynamic X-ray chest radiograph could quantitatively analyze the diaphragmatic movement of COPD patients, providing a new examination method for accurate clinical evaluation of COPD.

[Keywords] pulmonary disease, chronic obstructive; fluoroscopy; diaphragm; dynamic X-ray chest radiography

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.09.016

动态 X 线胸片评估平静呼吸下慢性阻塞性肺病患者横膈运动

陈疆红¹, 崔茹欣¹, 于刚刚², 王维², 钟朝辉^{1*}, 杨正汉¹, 王振常¹

(1. 首都医科大学附属北京友谊医院放射科; 2. 呼吸科, 北京 100050)

[摘要] **目的** 观察动态 X 线胸片定量分析平静呼吸下慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者横膈运动的价值。**方法** 对 96 例 COPD 患者(COPD 组)和 50 名健康对照者(对照组)行平静呼吸下动态 X 线胸片检查, 经后处理获得横膈运动幅度、速度及时间; 记录 2 组肺功能检查结果, 比较组间动态 X 线胸片及肺功能参数值差异, 分析 COPD 横膈运动参数与肺功能

[基金项目] 北京市“使命”人才计划项目(SML20150101)。

[第一作者] 陈疆红(1973—), 女, 河北定州人, 博士, 副主任医师。研究方向: 胸部影像诊断学。E-mail: chenjianghong5577@163.com

[通信作者] 钟朝辉, 首都医科大学附属北京友谊医院放射科, 100050。E-mail: laijinyuxuan12@sina.com

[收稿日期] 2020-04-12 **[修回日期]** 2020-06-26

参数的相关性。**结果** 平静呼吸下 COPD 组左、右侧横膈运动幅度 $[(18.63 \pm 7.45) \text{ mm}、(15.64 \pm 5.98) \text{ mm}]$ 均大于对照组 $[(14.69 \pm 5.40) \text{ mm}、(13.13 \pm 4.84) \text{ mm}]$, P 均 <0.05 ; 吸气时和呼气时 COPD 组左侧横膈运动速度 $18.79(15.67, 22.67) \text{ mm/s}、16.00(12.36, 21.23) \text{ mm/s}$, 右侧为 $17.00(12.71, 19.73) \text{ mm/s}、13.75(9.50, 16.83) \text{ mm/s}$; 对照组左侧为 $15.33(13.96, 17.71) \text{ mm/s}、11.42(9.63, 16.00) \text{ mm/s}$, 右侧为 $(14.91 \pm 4.38) \text{ mm/s}、(10.66 \pm 3.66) \text{ mm/s}$ (P 均 <0.05)。2 组肺功能检查结果差异均有统计学意义 (P 均 <0.01)。COPD 组肺功能参数与动态胸片检查各参数均无明显相关 (P 均 >0.05)。**结论** 动态 X 线胸片可定量分析 COPD 患者横膈运动, 有望为临床精准评估 COPD 提供新的手段。

【关键词】 肺疾病, 慢性阻塞性; X 线透视检查; 横膈; 动态 X 线胸片

【中图分类号】 R563; R445 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1003-3289(2020)09-1340-05

慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 为累及全身的慢性气道炎症性疾病, 其所产生的炎症因子、机体供氧不足、电解质紊乱以及应用激素治疗等诸多因素均可严重影响全身骨骼肌^[1-2]。膈肌属于骨骼肌, 是负责通气功能最主要的呼吸肌, COPD 会导致其变薄及收缩力减弱^[3], 从而严重影响肺通气。精准评估膈肌功能对于临床诊断及治疗 COPD 具有重要作用。本研究采用新型 X 线平板探测设备^[4-7]连续采集立位胸部图像, 获得类似 X 线透视动态影像, 采用图像后处理技术定量分析横膈运动幅度、时间及速度等, 进而精准评估膈肌运动状态。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2018 年 6 月—2019 年 6 月于首都医科大学附属北京友谊医院就诊的 96 例 COPD 患者 (COPD 组), 男 79 例, 女 17 例, 年龄 55~86 岁, 平均 (66.6 ± 7.2) 岁。纳入标准: ①年龄 40~75 岁; ②根据 2017 版 COPD 全球倡议 (global initiative for chronic obstructive lung disease, GOLD) 指南诊断 COPD, 且均于动态胸片检查前后 1 周内接受肺功能检查; ③有吸烟史 (目前吸烟或已戒烟), 吸烟 >10 包/年。排除标准: ①合并其他弥漫性肺疾病; ②合并急性肺部感染; ③肺内占位或明显胸膜、胸壁病变; ④既往肺部手术史; ⑤不能配合完成动态胸片拍摄。另招募 50 名健康成人作为对照组, 男 8 名, 女 42 名, 年龄 44~67 岁, 平均 (53.4 ± 5.4) 岁。纳入标准: ①年龄 40~75 岁; ②既往体健, 无明确心肺疾患; ③于动态胸片检查前后 1 周内接受肺功能检查, 且肺功能正常 [第 1 秒用力呼气容积/用力肺活量 (forced expiratory volume in the first second/forced vital capacity,

FEV1/FVC) $>70\%$]; ④无吸烟史。记录全部受试者的身高、体质量及体质量指数 (body mass index, BMI)。本研究经首都医科大学附属北京友谊医院生命伦理委员会批准 (批准号: 2018-P2-086-02), 所有受试者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Konica Aero DR C80 动态 X 线平板探测设备 (Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) 采集胸部图像。嘱受试者平静呼吸, 摄站立后前位胸片。拍摄条件: 管电压 100 kV, 管电流 50 mA, 矩阵 1024×768 , X 线为脉冲发射, 曝光时间约 15 s, 以 15 帧/s 获取数据, 辐射剂量约 0.34 mSv。记录受试者肺功能检查结果, 包括 FEV1、FVC、FEV1/FVC、深吸气量 (inspiratory capacity, IC) 及残气量/肺总量 (residual volume/total lung volume, RV/TLC), 均以实测值/预测值 $\times 100\%$ 作为结果。

1.3 图像分析 将图像导入工作站, 以设备配备的 Kinetic Analysis Tool 软件分析动态胸片, 自动识别并标记双侧肺尖及横膈上缘。由 2 名具有 15 年胸部影像学诊断经验的副主任医师判断软件自动标记的双侧横膈最高点及双肺尖位置是否正确 (图 1), 必要时加

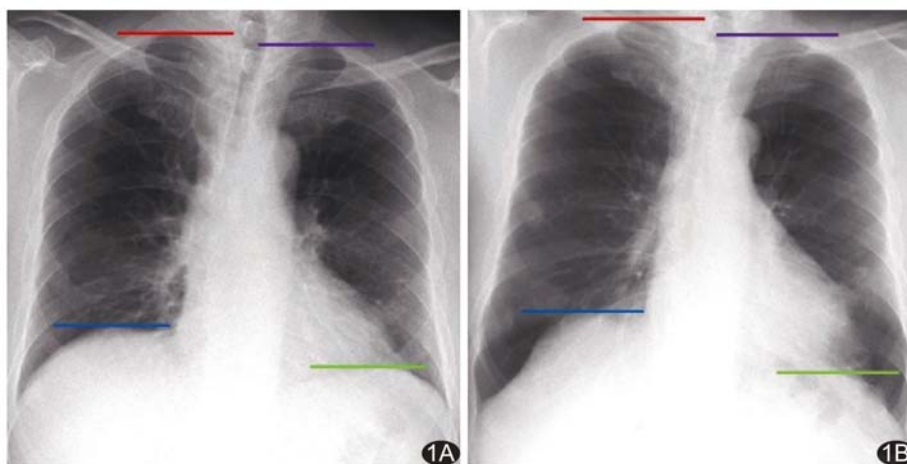


图 1 软件自动识别左、右侧横膈最高点 (蓝、绿线) 及左、右侧肺尖 (红、紫线) 示意图 A. 呼气末胸部 X 线片; B. 吸气末胸部 X 线片

以手动修改;软件自动追踪标记位置随呼吸周期的移动,绘制横膈至双肺尖垂直距离随时间的变化曲线及相应横膈运动速率随时间的变化曲线(图 2)。根据曲线显示数值记录每个完整呼吸的周期横膈运动数据,最终以曝光时间内所含全部完整呼吸周期的平均值作为受试者数据。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件,以 Kolmogorov-Smirnov test 对数据进行正态性检验,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,否则以中位数(上下四分位数)表示;计数资料以频数(百分比)表示。数据符合正态分布时,采用两独立样本 t 检验比较 2 组间临床资料、肺功能检查结果及动态胸片检查,否则以 Mann-Whitney U 检验进行分析。以 Pearson 卡方检验比较 2 组间性别差异,以 Pearson 或 Spearman 相关分析观察 COPD 肺功能参数与动态胸片检查参数的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组间临床资料、肺功能结果及动态胸片结果比较

2 组间年龄、性别及身高差异均有统计学意义(P 均 < 0.01),而体重及 BMI 差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),

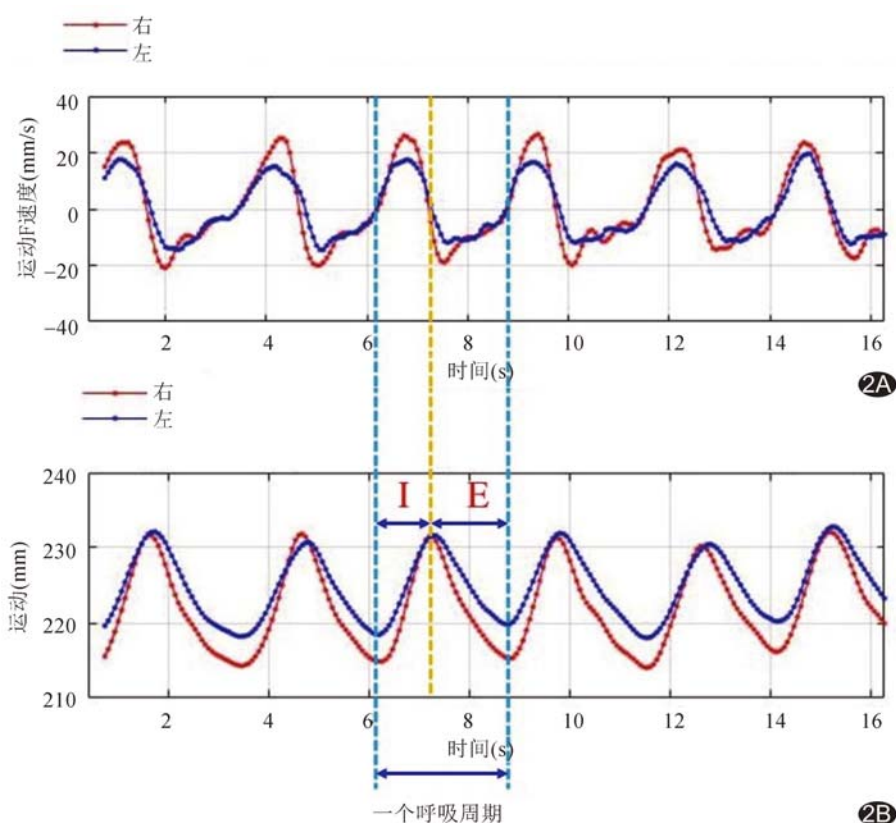


图 2 自动分析软件绘制的双侧横膈运动幅度及速度随时间变化的曲线示意图(蓝色曲线为左侧横膈,红色曲线为右侧横膈) A. 时间-运动速度曲线,吸气段对应速度为正值,呼气段对应速度为负值,纵轴 0 点为呼气、吸气转换点; B. 时间-运动幅度曲线,浅蓝色线间曲线为 1 个呼吸周期横膈运动幅度的变化,I 段为吸气段,E 段为呼气段

见表 1。COPD 组肺功能参数值均较对照组降低(P 均 < 0.01),见表 2。COPD 组平静呼吸下双侧横膈运动幅度及速度均高于对照组(P 均 < 0.05),见表 3。

2.2 肺功能结果与动态胸片检查参数相关性分析

COPD 组各肺功能参数与动态胸片检查参数均无明显相关(P 均 > 0.05),见表 4。

表 1 COPD 组与对照组临床资料比较

组别	年龄(岁)	男/女(例/名)	身高(cm)	体质量(kg)	BMI(kg/m ²)
COPD 组($n=96$)	66.2 $\pm$ 8.3	79/17	167.50(163.25,170.00)	68.94 $\pm$ 12.27	24.69 $\pm$ 3.94
对照组($n=50$)	53.4 $\pm$ 5.4	8/42	160.00(157.75,165.00)	66.98 $\pm$ 9.24	25.65 $\pm$ 2.94
$t/\chi^2/Z$ 值	9.84	60.00	-4.81	0.99	-1.52
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	0.32	0.13

表 2 COPD 组与对照组肺功能结果比较(% , $\bar{x} \pm s$)

组别	FEV1	FVC	FEV1/FVC	IC	RV/TLC
COPD 组($n=96$)	58.18 $\pm$ 21.49	83.76 $\pm$ 20.00	53.56 $\pm$ 11.11	79.92 $\pm$ 25.07	143.98 $\pm$ 28.51
对照组($n=50$)	110.60 $\pm$ 21.44	102.75 $\pm$ 14.08	79.87 $\pm$ 5.32	105.10 $\pm$ 15.18	110.18 $\pm$ 23.68
t 值	25.37	-6.66	-19.34	-7.47	6.28
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 3 COPD 组与对照组动态胸片检查参数比较

组别	横膈上下运动幅度(mm)		吸气横膈下降时间(s)		呼气横膈上升时间(s)	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
COPD 组(n=96)	18.63±7.45	15.64±5.98	1.41(1.22,1.69)	1.40(1.20,1.72)	2.03(1.71,2.69)	2.09(1.73,2.58)
对照组(n=50)	14.69±5.40	13.13±4.84	1.42(1.21,1.68)	1.48±0.35	2.27±0.62	2.30±0.63
t/Z 值	3.66	2.56	2 341.50	2 302.50	2 193.00	2 104.00
P 值	<0.01	0.01	0.81	0.92	0.39	0.35

组别	吸气横膈运动速度(mm/s)		呼气横膈运动速度(mm/s)	
	左侧	右侧	左侧	右侧
COPD 组(n=96)	18.79(15.67,22.67)	17.00(12.71,19.73)	16.00(12.36,21.23)	13.75(9.50,16.83)
对照组(n=50)	15.33(13.96,17.71)	14.91±4.38	11.42(9.63,16.00)	10.66±3.66
t/Z 值	1 470.50	1 806.50	1 310.50	1 528.00
P 值	<0.01	0.01	<0.01	<0.01

表 4 呼吸功能参数与动态胸片检查参数的相关性分析结果

肺功能参数	双侧横膈运动幅度		吸气双侧横膈平均运动速度		呼气双侧横膈平均运动速度	
	r	P	r	P	r	P
FEV1	0.029	0.779	-0.162	0.115	-0.111	0.282
FEV1/FVC	0.012	0.910	-0.114	0.269	-0.092	0.374
FVC	0.017	0.868	-0.152	0.140	-0.099	0.340
IC	0.129	0.222	-0.025	0.811	-0.060	0.566
RV/TLC	0.046	0.768	0.230	0.133	0.065	0.674

3 讨论

普通 X 线胸片是评估膈肌形态的最简单的方法,为筛查膈肌病变的常用手段。研究^[8]表明,胸片对于检出单侧膈肌麻痹的敏感度可达 90%,但特异度仅为 40%,故需结合 CT 进一步诊断膈肌病变,以明确导致膈肌形态、位置异常的病因^[9];但 CT 辐射较大。动态 MR 检查可定量分析膈肌移动,无电离辐射^[10-11],但检查技术要求较高,操作相对复杂。超声常用于评价膈肌形态和功能,操作简单且无电离辐射,M 型超声可用于测量膈肌运动方向和移动幅度^[12]。CORBELLINI 等^[13]应用 M 型超声比较 COPD 患者与健康对照者的膈肌运动幅度。本研究采用动态 X 线摄影设备直观观察膈肌位置、形态随呼吸运动的变化,定量分析膈肌运动,所获结果与 CORBELLINI 等^[13]的结果相符,提示采用本研究方法能为精准诊断 COPD 提供依据,可作为临床评估 COPD 的另一选择。

本研究采取直立位摄取胸部 X 线片。直立位是患者的日常体位,获取的膈肌运动数据较卧位检查更为精准。本研究结果显示平静呼吸下 COPD 患者双侧横膈移动幅度及速度均大于健康对照者,与 YAMADA 等^[7]采用相同检查设备获得的结果一致。

2020 版 GOLD 关于诊断、管理和预防 COPD 的内容指出,COPD 的特征为持续呼吸道症状和气流受限,肺功能检查是确诊的必备条件,使用支气管扩张剂后 FEV1/FVC<0.7 可确定存在持续气流受限^[14]。由于气流受限,COPD 患者肺通气阻力增高,肺内气体潴留,致其呼吸肌负荷较正常人增加 10 倍之多^[15];肺组织过度膨胀,膈肌被向下推移而使其弧度变平,产生张力的能力降低而影响呼吸运动;此外,COPD 产生的炎症因子严重影响包括膈肌在内的全身骨骼肌,而营养不良、酸碱平衡紊乱及右心功能不全等可致机体供氧不足、电解质紊乱等的各种因素均可造成膈肌损伤。COPD 的病情越重,对呼吸肌的影响越明显^[16],膈肌结构随之改变,以应对长期呼吸肌高负荷,代偿气体交换,在代偿能力范围内表现为增大移动幅度、加快运动速度以满足机体供氧需求^[17]。COPD 患者出现呼吸困难或运动不耐受可能是膈肌负荷与代偿失衡所致^[18]。

本研究结果显示 COPD 患者平静呼吸膈肌运动幅度及速度与肺功能参数无明显相关。膈肌移动度仅为影响肺功能因素之一,患者呼吸方式及设备差异均可影响研究结果。既往相关研究^[6,13,19]结果亦不尽相同,CORBELLINI 等^[13]应用 M-型超声观察 52 例中-重度 COPD 患者的横膈运动度与 FEV1,发现 2 者存在强相关;ROCHA 等^[19]分析 25 例 COPD 患者卧位 X 线胸片,发现横膈运动度与最大自主通气量及深吸气量之间存在强相关;而 HIDA 等^[6]回顾 31 例 COPD 的动态胸片,结果显示用力呼吸横膈运动度与 FEV1 存在弱相关。

本研究的主要局限性:①由于 COPD 患者年龄偏大,且男性居多,较难使健康对照组的临床基本数据与之完全匹配;既往研究^[5]显示,导致横膈运动幅度增加的独立影响因素包括较高的 BMI 及潮气量,并不包括年龄及性别;②所用检查仪器为新研发设备,仅支持正位动态胸片数据;③横膈运动数据经由人工选取曲线上的点后通过计算获得,不可避免存在误差;④未对 COPD 患者按 GOLD 标准进行分级观察,有待进一步完善。

综上所述,采用动态摄取 X 线胸片可定量分析 COPD 患者横膈运动,有望成为临床精准评估 COPD 的新手段。

[参考文献]

- [1] JAITOVICH A, BARREIRO E. Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease. What we know and can do for our patients[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 198(2): 175-186.
- [2] BARREIRO E, GEA J. Respiratory and limb muscle dysfunction in COPD[J]. *COPD*, 2015, 12(4): 413-426.
- [3] CHARUSUSIN N, DACHA S, GOSSELINK R, et al. Respiratory muscle function and exercise limitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A review[J]. *Expert Rev Respir Med*, 2018, 12(1): 67-79.
- [4] YAMADA Y, UYEYAMA M, ABE T, et al. Difference in the craniocaudal gradient of the maximum pixel value change rate between chronic obstructive pulmonary disease patients and normal subjects using sub-mGy dynamic chest radiography with a flat panel detector system[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 92: 37-44.
- [5] YOSHITAKE Y, UYEYAMA M, ABE T, et al. Time-resolved quantitative analysis of the diaphragms during tidal breathing in a standing position using dynamic chest radiography with a flat panel detector system ("dynamic X-ray phrenicography"): Initial experience in 172 volunteers [J]. *Acad Radiol*, 2017, 24(4): 393-400.
- [6] HIDA T, YAMADA Y, UYEYAMA M, et al. Decreased and slower diaphragmatic motion during forced breathing in severe COPD patients: Time-resolved quantitative analysis using dynamic chest radiography with a flat panel detector system[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 112: 28-36.
- [7] YAMADA Y, UETAMA M, ABE T, et al. Difference in diaphragmatic motion during tidal breathing in a standing position between COPD patients and normal subjects: Time-resolved quantitative evaluation using dynamic chest radiography with flat panel detector system ("dynamic X-ray phrenicography") [J]. *Eur J Radiol*, 2017, 87: 76-82.
- [8] CHETTA A, REHMAN A K, MOXHAM J, et al. Chest radiography cannot predict diaphragm function[J]. *Respir Med*, 2005, 99(1): 39-44.
- [9] NASON L K, WALKER C M, MCNEELEY M F, et al. Imaging of the diaphragm: Anatomy and function [J]. *Radiographics*, 2012, 32(2): E51-E70.
- [10] KIRYU S, LORING S H, MORI Y, et al. Quantitative analysis of the velocity and synchronicity of diaphragmatic motion: Dynamic MRI in different postures [J]. *Magn Reson Imaging*, 2006, 24(10): 1325-1332.
- [11] 黄秋霞, 林宁, 张慧珍, 等. 超声评价慢性阻塞性肺疾病患者膈肌运动异常[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(10): 1513-1516.
- [12] CONNOLLY A M, MITTENDORFER B. Tracking diaphragm movement by using ultrasound to assess its strength [J]. *J Physiol*, 2016, 594(24): 7147-7148.
- [13] CORBELLINI C, BOUSSUGES A, VILLAFANE J H, et al. Diaphragmatic mobility loss in subjects with moderate to very severe COPD may improve after in-patient pulmonary rehabilitation[J]. *Respir Care*, 2018, 63(10): 1271-1280.
- [14] RABE K F, HURD S, ANZUETO A, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2007, 176(6): 532-555.
- [15] MACINTYRE N R, LEATHERMAN N E. Mechanical loads on the ventilatory muscles. A theoretical Analysis [J]. *Am Rev Respir Dis*, 1989, 139(4): 968-973.
- [16] SOUZA R M P, CARDIM A B, MAIA T O, et al. Inspiratory muscle strength, diaphragmatic mobility, and body composition in chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Physiother Res Int*, 2019, 24(2): e1766.
- [17] ELBEHAIRY A F, CIAVAGLIA C E, WEBB K A, et al. Pulmonary gas exchange abnormalities in mild chronic obstructive pulmonary disease. Implications for dyspnea and exercise intolerance [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2015, 191(12): 1384-1394.
- [18] SANTANA P V, ALBUQUERQUE A L P. Respiratory muscles in COPD: Be aware of the diaphragm [J]. *J Bras Pneumol*, 2018, 44(1): 1-2.
- [19] ROCHA F R, BRUGGEMANN A K, FRANCISCO D S, et al. Diaphragmatic mobility: Relationship with lung function, respiratory muscle strength, dyspnea, and physical activity in daily life in patients with COPD [J]. *J Bras Pneumol*, 2017, 43(1): 32-37.