

# 心肺运动试验在呼吸病学中的应用

首都医科大学附属北京友谊医院 呼吸科

王浩彦

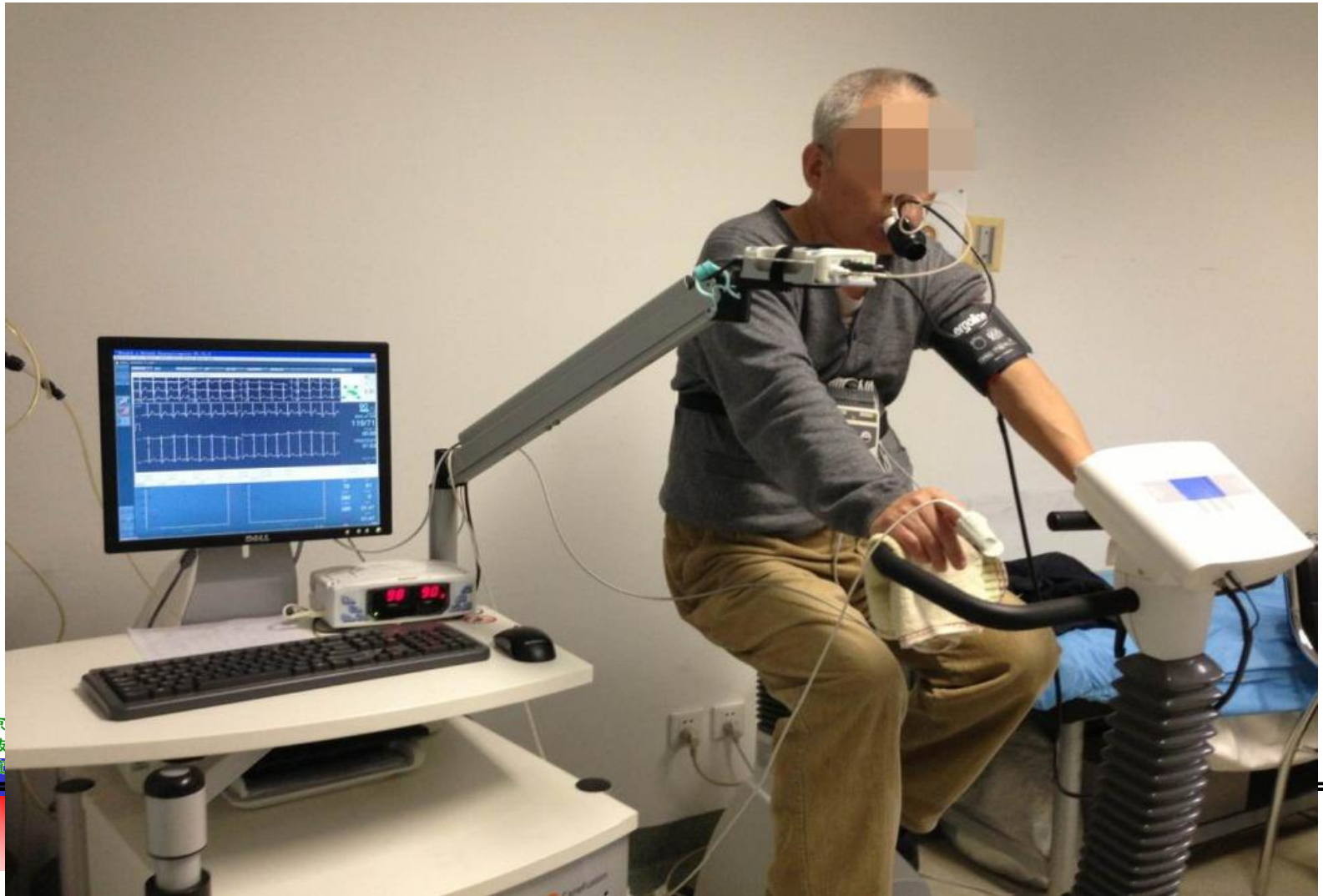


# 临床上碰到的问题

- 胸闷，憋气，心电图、胸片、肺功能正常
  - 病理性或功能性？
- PaO<sub>2</sub>轻度降低，心电图、胸片/CT、肺功能正常
  - 还需要做进一步检查吗？
- 活动性憋气，心电图、胸片、肺功能正常
  - 能诊断运动性哮喘吗？
- 慢性心肺疾病患者如何运动锻炼
  - 运动风险高吗？运动量应该多大？需要吸氧吗？

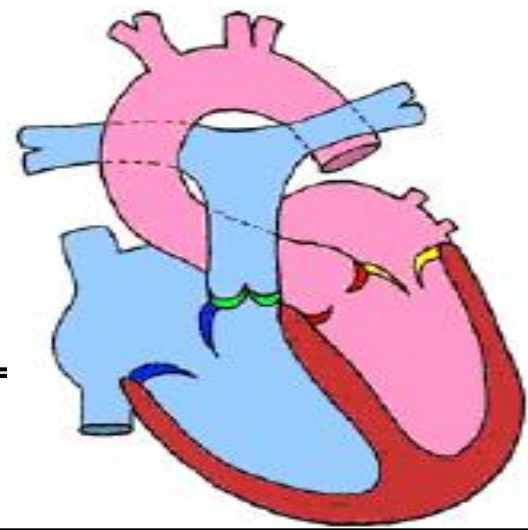
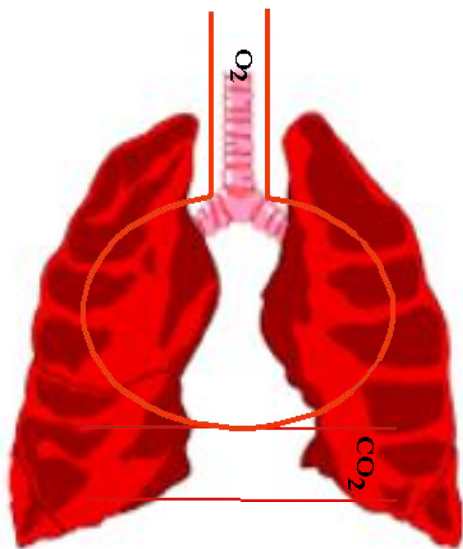


# Cardiopulmonary exercise testing



# 运动生理

- O<sub>2</sub>需求增加
  - 安静, VO<sub>2</sub> 250 ml/min, 骨骼肌占 35-40%
  - 强运动, VO<sub>2</sub> 3500-5000 ml/min, 骨骼肌占95%
- O<sub>2</sub>在体内没有储存



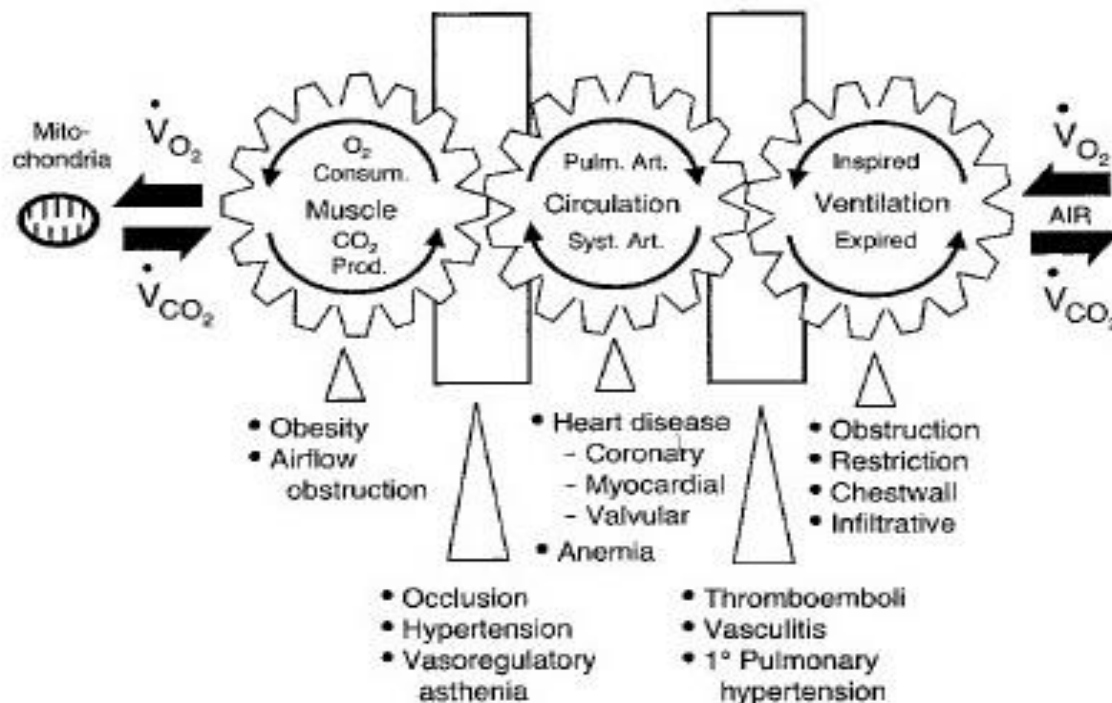
# 运动状态下监测

## ■ 最大运动

- 运动能力
- 心脏反应
- 肺脏反应
- 肌肉反应

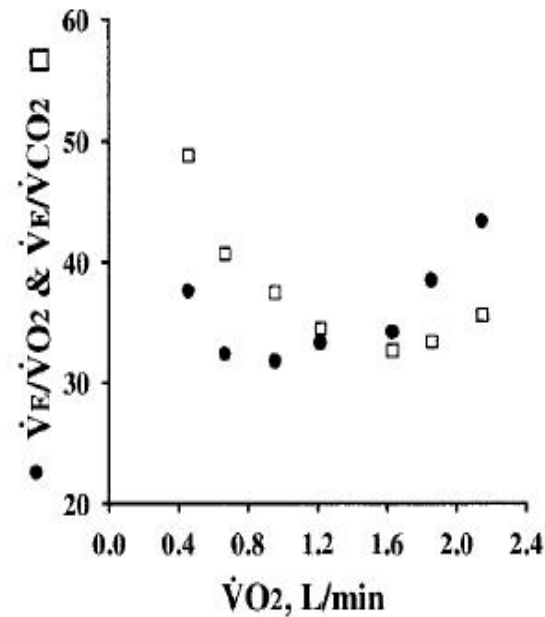
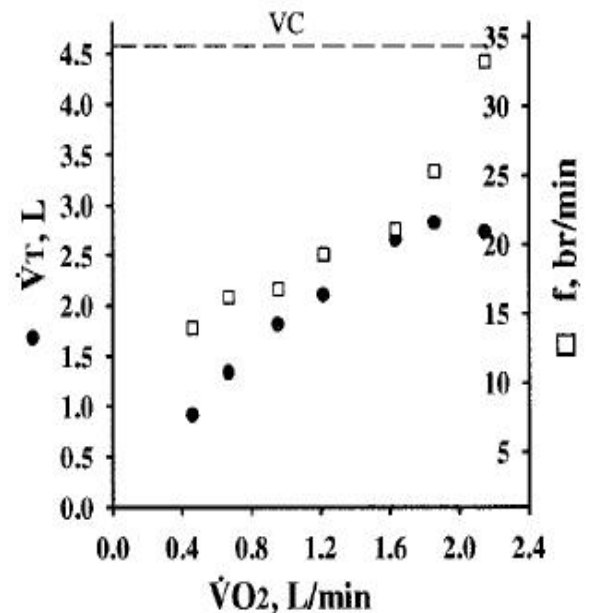
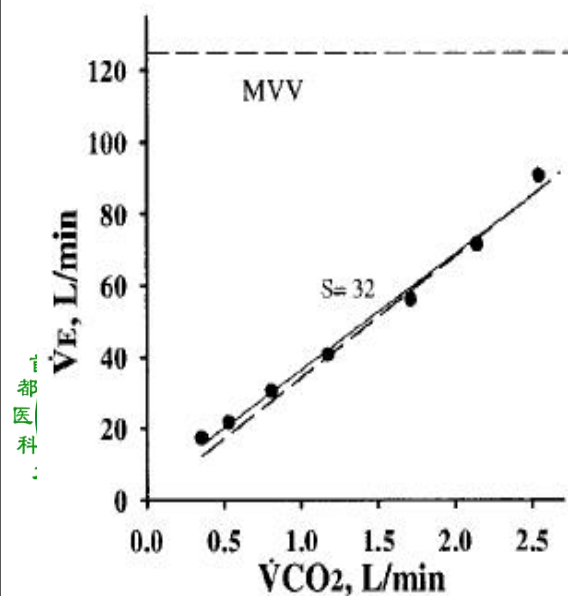
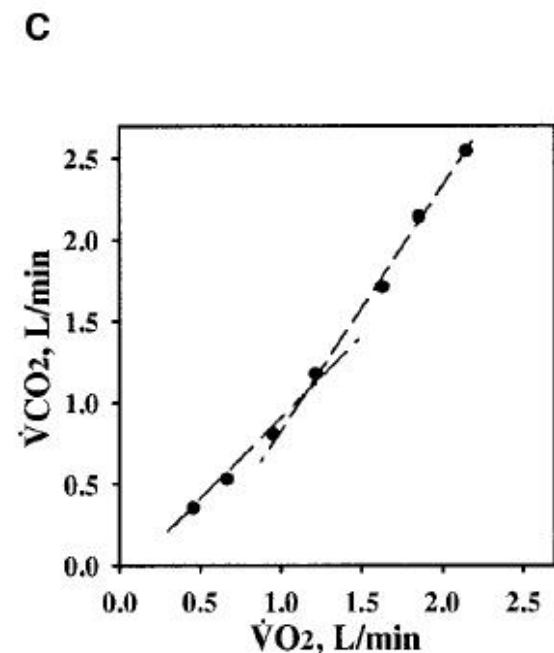
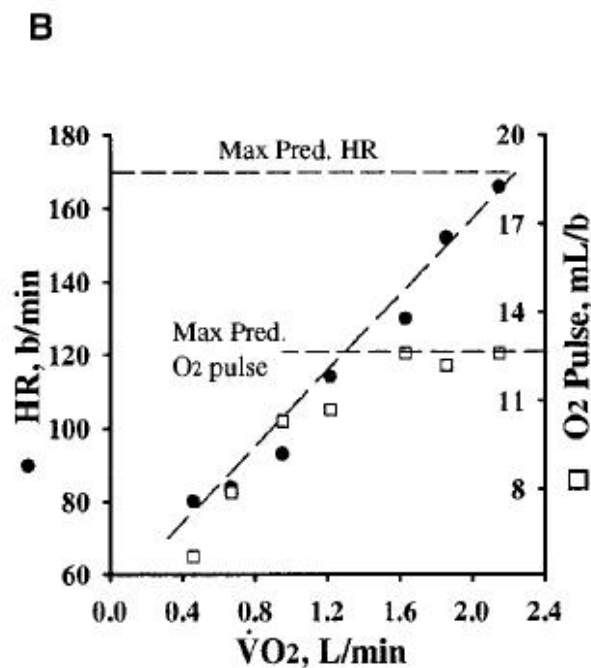
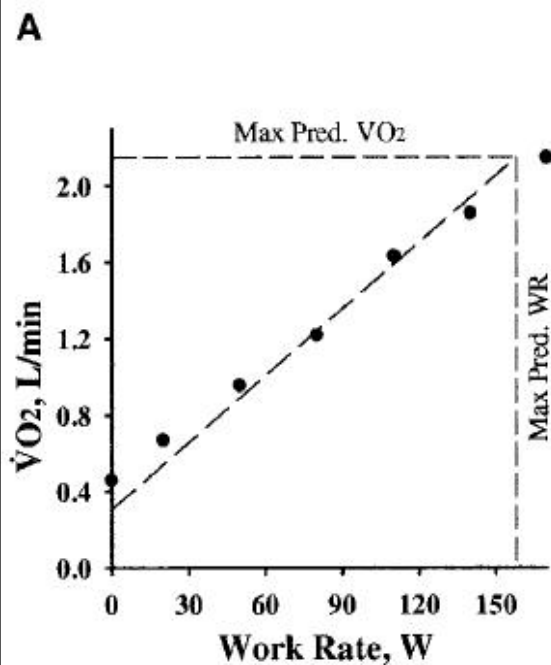
- HR
- BP
- ECG

- TV
- RR
- SpO2



- $\dot{V}_{O_2}$
- $\dot{V}_{CO_2}$
- Power
- 症状







# AT的测定方法

- 有创方法:测定乳酸

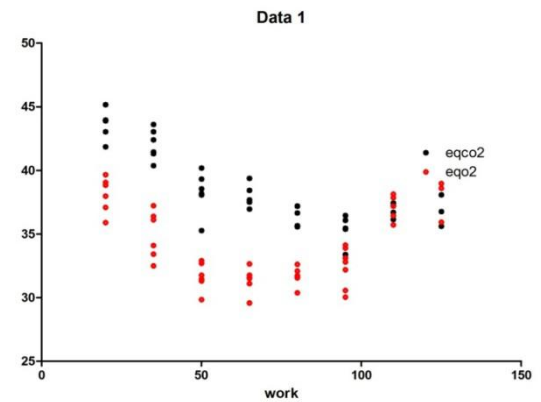
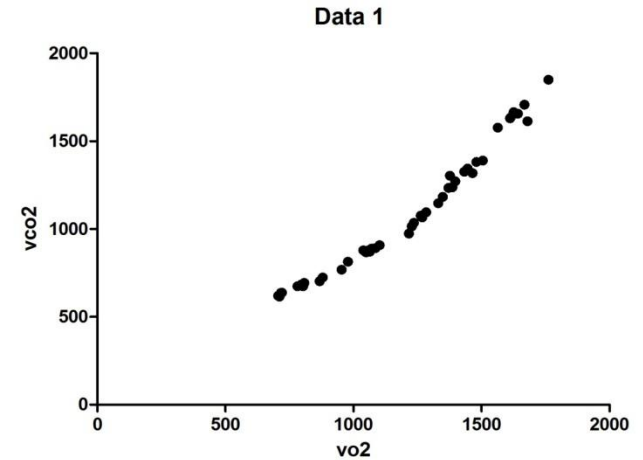
- 无创方法

- V-SIpo<sub>e</sub>

- 通气当量

$$EqCO_2 = VE/VCO_2$$

$$EqO_2 = VE/VO_2$$



# CPET的临床应用

- 疾病的鉴别诊断
- 心肺储备功能定量评估
- 心肺疾病预后评估
- 风险评估
- 运动处方





# 病例1

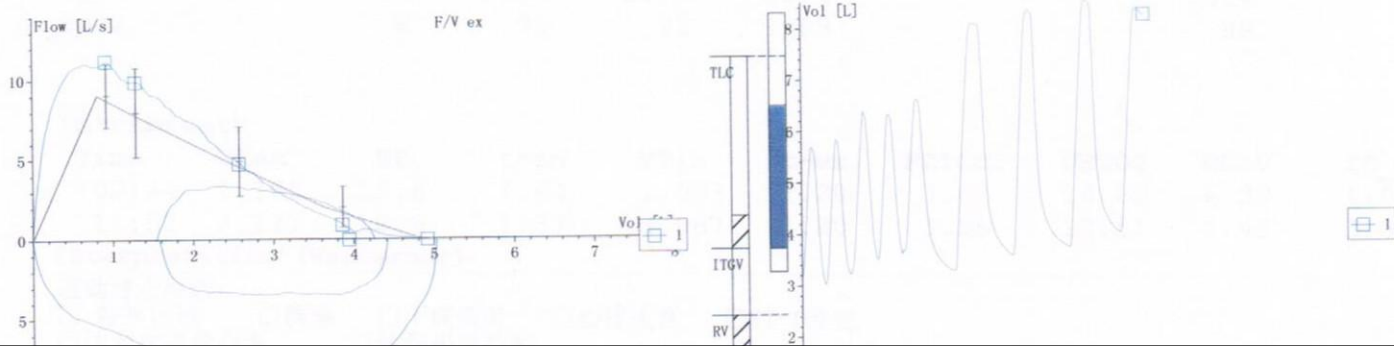
- 男，57岁，主诉：近期出现喘憋，活动加重



**Sciences**  
**Pulmonary Function Testing Report**  
 常规肺容量检查  
**Spirometry and Flow-Volume**

姓名:	schmuck	住院号:	*
性别:	男	年龄:	57 Years
身高:	185 cm	体重:	92 kg
科室:	呼吸科门诊	测试号:	2013-12-18

		Pred	Act1	% (A1/P)
Date			13-12-	
Time			14:57:	
VT	[L]	0.66	2.78	422.5
MV	[L/min]	13.14	64.07	487.5
BF	[l/min]	20.00	23.08	115.4
VC EX	[L]	5.04	4.60	91.2
VC IN	[L]	5.04	4.79	95.1
IC	[L]	3.73	4.57	122.3
FVC	[L]	4.83	4.92	101.9
FEV 1	[L]	3.81	3.95	103.5
FEV 1 % FVC	[%]		80.14	
PEF	[L/s]	9.06	11.22	123.9
FEF 25	[L/s]	7.98	9.92	124.4
FEF 50	[L/s]	4.89	4.76	97.1
FEF 75	[L/s]	2.01	0.92	46.0
MMEF 75/25	[L/s]	3.84	3.26	84.9
MVV	[L/min]	136.3		
FEV 1*30	[L/min]	136.3	118.38	86.9



# 肺功能检查报告单

Beijing Friendship Hospital Affiliante of Capital University of Medical Sciences

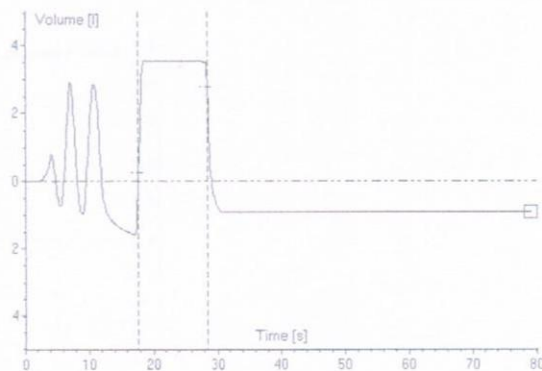
## Pulmonary Function Test Report

### 肺弥散功能测定

### Diffusion Single-Breath

姓名: schmuck      测试号: 2013-12-12-18  
年龄: 57岁      性别: 男  
体重: 92 kg      身高: 185 cm  
科室: 呼吸内科门诊      住院号: \*

	Pred	Act1	%Act1/Pred
Date	2013-12-12		
Time	14:40:52PM		
TLCOSB	10.76	10.27	95.4
Hb		14.60	
TLCOc	10.76	10.27	95.4
VA	7.55	7.09	93.9
KCOc	1.40	1.45	103.7
KCO	1.40	1.45	103.7



诊断:

弥散功能正常



# Cardiopulmonary Exercise Testing Report

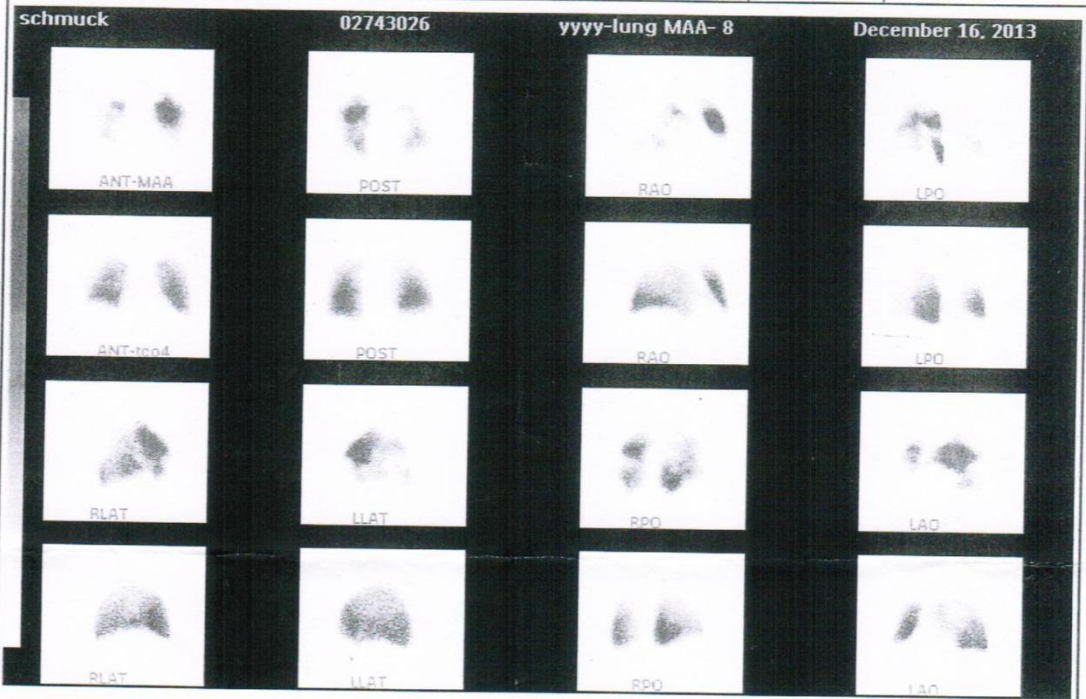
首都医科大学附属北京友谊医院 呼吸科  
Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University

姓名: Schmuck 测试号: 2013-12-12-2  
住院号: 出生日期: 1956-12-6 年龄: 57 Years  
性别: 男 身高: 185 cm  
体重: 92 kg

Summary	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max l %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
<b>Time averaging 30 Seconds</b>							
Time	min	06:00	10:00	15:10		15:30	
Load	W	0	65	155	182	85	20
V'E	L/min	25	42	103	110	94	99
BF	l/min	19	19	33	42	78	31
BR	%	84	74	35	28	124	38
EELV	L	-	-	-		-	-
IC_d	L	-	-	-		-	-
ICd%EV	%	-	-	-		-	-
V'O2	ml/min	590	1008	1798	2561	70	1717
VO2/kg	ml/min/kg	6.4	11.0	19.5	27.8	70	18.7
HR	l/min	84	107	158	163	97	155
O2/HR	ml	7.0	9.4	11.4	16.7	68	11.1
HR/Vkg	l/ml/kg	13.1	9.8	8.1			8.3
HRR	l/min	79	56	5			8
Psys	mmHg	118	161	219			219
Pdia	mmHg	81	91	78			78
V'CO2	ml/min	534	961	2081			1984
EqCO2		42.9	41.2	47.9			47.9
EqO2		38.9	39.3	55.4			55.4
SpO2	%	95	92	89			89



姓名	schmuck	性别	男	病历号	
年龄	57岁	显像号	72137	实名号	02743026
显像剂	<sup>99m</sup> Tc-MAA、 <sup>99m</sup> Tc 气体	检查部位	肺通气+肺灌注	申请科室	门诊



**检查所见:**  
 静脉连续注射Tc-99m-MAA5mCi, 5分钟后行胸部6个体位显像, 隔3日坐位吸入锝气  
 体, 行胸部6个体位采集, 结果如下:  
 肺血流灌注显像: 双肺显影清晰, 双肺可见多发的放射性分布稀疏缺损区。  
 肺通气显像: 上述部位有所填充, 呈“不匹配”状态。

**检查意见:**  
 双肺血流灌注-通气显像示多发的“不匹配”, 呈多发肺栓塞表现。

医院地址: 北京市宣武区永安路95号		报告医生:	
核医学科电话: (010) 63138459		审核医生:	
检查日期	2013-12-16	报告日期	2013-12-18



## 病例2

- 女，47岁。胸闷
- PaO<sub>2</sub> 74 mmHg





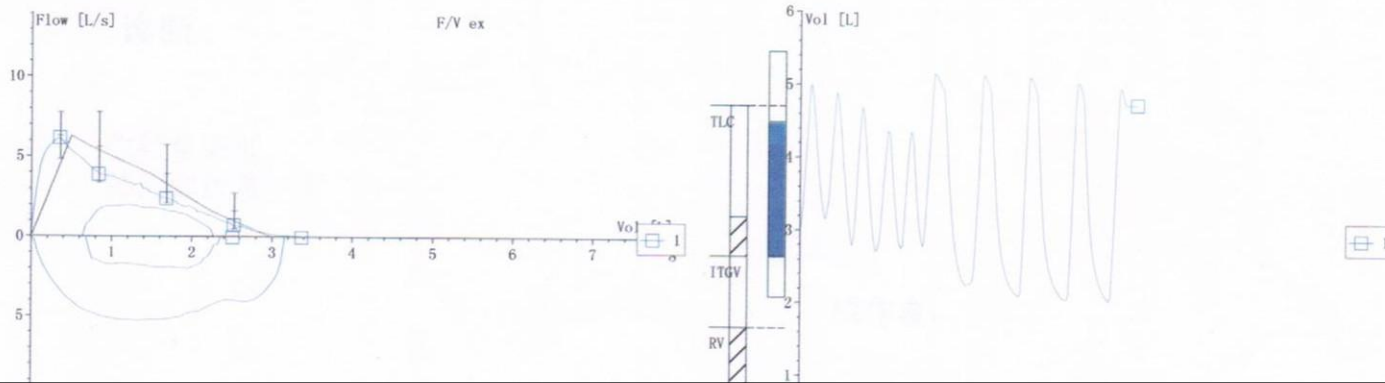
# Pulmonary Function Testing Report

PaO<sub>2</sub> 74

## 常规肺容量检查 Spirometry and Flow-Volume

姓名: 刘红                      住院号: 749382  
 性别: 女                        年龄: 47 Years  
 身高: 160 cm                    体重: 77 kg  
 科室: 呼吸科二区                测试号: 2013-12-5-23

		Pred	Act1	% (A1/P)
Date			13-12-	
Time			13:34:	
VT	[L]	0.55	1.85	336.4
MV	[L/min]	11.00	43.11	391.9
BF	[l/min]	20.00	23.30	116.5
VC EX	[L]	3.05	3.06	100.4
VC IN	[L]	3.05	3.01	98.7
IC	[L]	2.07	2.81	136.2
FVC	[L]	2.98	3.38	113.5
FEV 1	[L]	2.55	2.52	98.8
FEV 1 % FVC	[%]		74.47	
PEF	[L/s]	6.28	6.18	98.4
FEF 25	[L/s]	5.58	3.91	70.1
FEF 50	[L/s]	3.90	2.43	62.3
FEF 75	[L/s]	1.62	0.74	46.1
MMEF 75/25	[L/s]	3.32	1.89	56.9
MVV	[L/min]	97.82		
FEV 1*30	[L/min]	97.82	75.45	77.1





# 肺功能检查报告单

Beijing Friendship Hospital Affiliate of Capital University of Medical Sciences

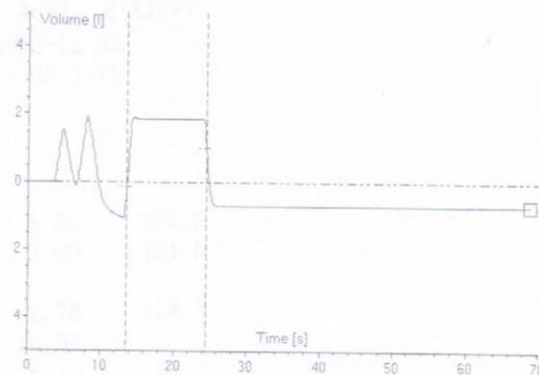
## Pulmonary Function Test Report

### 肺弥散功能测定

### Diffusion Single-Breath

姓名: 刘红                      测试号: 2013-12-5-43  
 年龄: 47岁                      性别: 女  
 体重: 77 kg                      身高: 160 cm  
 科室: 呼吸内科二区              住院号: 749382

	Pred	Act1	%Act1/Pred
Date	2013-12-5		
Time	13:17:48PM		
TLCOSB	8.05	6.31	78.5
Hb		13.50	
TLCOc	8.05	6.29	78.2
VA	4.62	4.42	95.8
KCOc	1.69	1.42	84.3
KCO	1.69	1.43	84.6



诊断:

弥散量降低



# Cardiopulmonary Exercise Testing Report

*PaO<sub>2</sub> 74 mmHg*

首都医科大学附属北京友谊医院 呼吸科  
Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University

姓名: 刘红 15811548416. 测试号: 2013-12-12-1  
住院号: 749382  
出生日期: 1966-9-22 年龄: 47 Years  
性别: 女 身高: 160 cm  
体重: 77 kg

Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max l %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
<b>Time averaging 30 Seconds</b>								
Time	min	05:57	10:30	16:09			16:30	
Load	W	0	60	120	101	119	20	
V'E	L/min	18	27	55	73	74	53	
BF	l/min	19	18	32	42	76	31	
BR	%	82	73	46	28	164	47	
EELV	L	-	-	-			-	
IC_d	L	-	-	-			-	
ICd&EV	%	-	-	-			-	
V'O <sub>2</sub>	ml/min	594	972	1560	1636	95	1484	
VO <sub>2</sub> /kg	ml/min/kg	7.7	12.6	20.3	21.2	95	19.3	
HR	1/min	97	116	153	173	88	151	
O <sub>2</sub> /HR	ml	6.1	8.4	10.2	10.3	99	9.8	
HR/Vkg	1/ml/kg	12.6	9.2	7.5			7.8	
HRR	1/min	76	57	20			22	
Psys	mmHg	0	117	136			136	
Pdia	mmHg	0	81	75			75	
V'CO <sub>2</sub>	ml/min	550	904	1857			1802	
EqCO <sub>2</sub>		29.3	27.5	27.5			27.7	
EqO <sub>2</sub>		27.1	25.5	32.7			33.6	
SpO <sub>2</sub>	%	97	96	96			96	



- 2年后电话随访，正常工作，无特殊



# CPET的临床应用

- 疾病的鉴别诊断
- 心肺储备功能定量评估
- 心肺疾病预后评估
- 风险评估
- 运动处方



- peakVO2 % pred:
  - >80% normal
  - 71-80% mildly reduced
  - 51-70% moderately reduced
  - $\leq 50\%$  severely reduced
  
- AT
  - 80-60% athletic
  - 60-50% sedentary
  - 50-40% deconditioned
  - <40% diseased



## 依据V02peak将心功能定量分级

- A级  $>20\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$ ，无或轻度心功能不全
- B级  $=16-20\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$ ，轻度 - 中度心功能不全
- C级  $=10-15\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$ ，中度 - 重度心功能不全
- D级  $<10-15\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$ ，重度心功能不全



# CPET的临床应用

- 疾病的鉴别诊断
- 心肺储备功能定量评估
- 心肺疾病预后评估
- 风险评估
- 运动处方





# 心肺疾病预后评估

- $VO_2\text{peak}$
- AT
- $VE/VCO_2$
- $VE/MVV$
- HRR
- ECG



# Analysis of the Factors Related to Mortality in Chronic Obstructive Pulmonary Disease

## Role of Exercise Capacity and Health Status

Toru Oga, Koichi Nishimura, Mitsuhiro Tsukino, Susumu Sato, and Takashi Hajiro

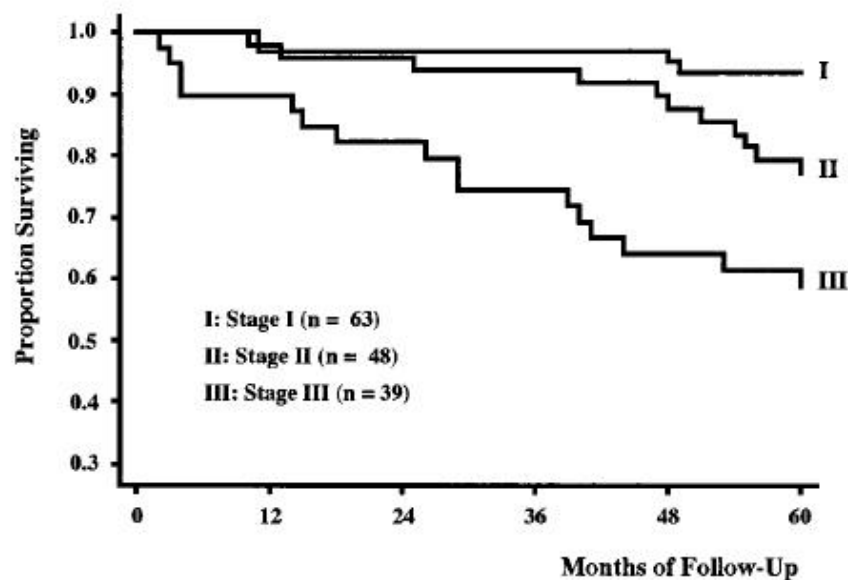


Figure 1. Kaplan-Meier survival curves based on the severity of airflow limitation (n = 150). Stage I: FEV<sub>1</sub>, 50% predicted or greater; stage II: FEV<sub>1</sub>, 35–49% predicted; and stage III: FEV<sub>1</sub>, less than 35% predicted.

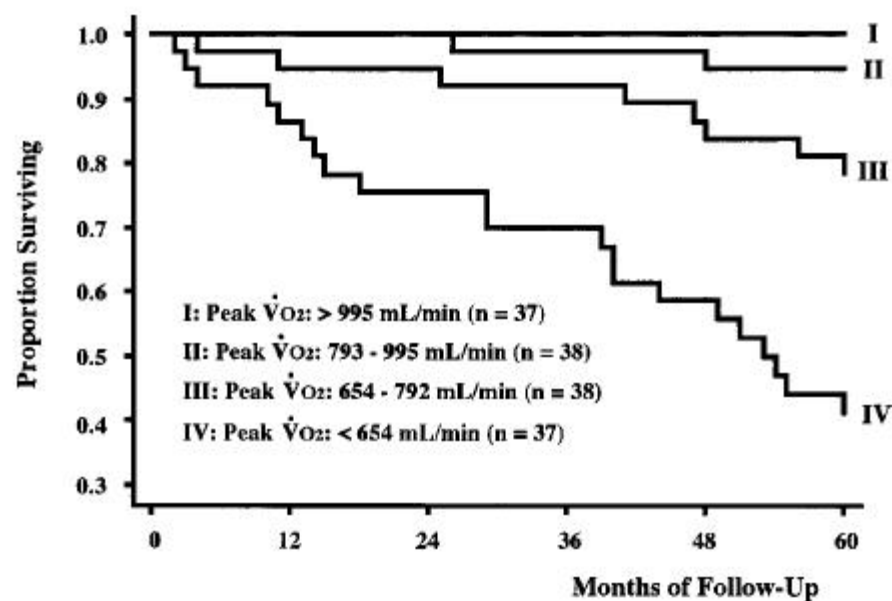


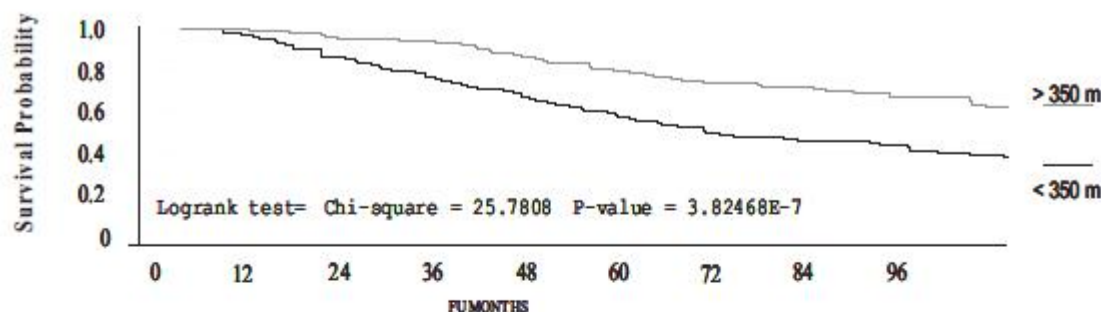
Figure 2. Kaplan-Meier survival curves using quartiles of the peak  $\dot{V}O_2$  distribution (n = 150).



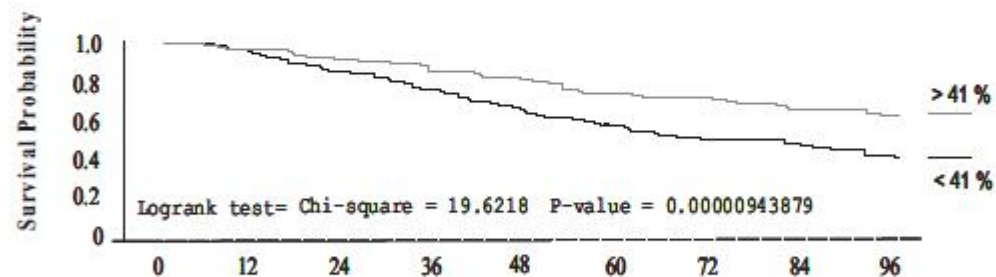
# The 6-Min Walk Distance, Peak Oxygen Uptake, and Mortality in COPD\*

Claudia G. Cote, MD; Victor Pinto-Plata, MD, FCCP; Kyra Kasprzyk; Luis J. Dordelly; and Bartolome R. Celli, MD, FCCP

(CHEST 2007; 132:1778-1785)



> 350	189	187	179	170	154	142	136	130	127	Survival = 66%
< 350	176	164	143	125	106	94	82	78	72	Survival = 39%



>40%	173	169	158	149	140	128	122	116	113	Survival= 65%
<40%	192	182	164	146	120	98	96	92	86	Survival= 43%

FIGURE 3. Kaplan Meier curves for the 6MWD test and the  $V_{O_2}$  max as percent of predicted. The thresholds shown for the 2 groups were taking from the values determined from the ROC curves. The number of survivors at each time point in years is shown for each test. FU = follow-up.

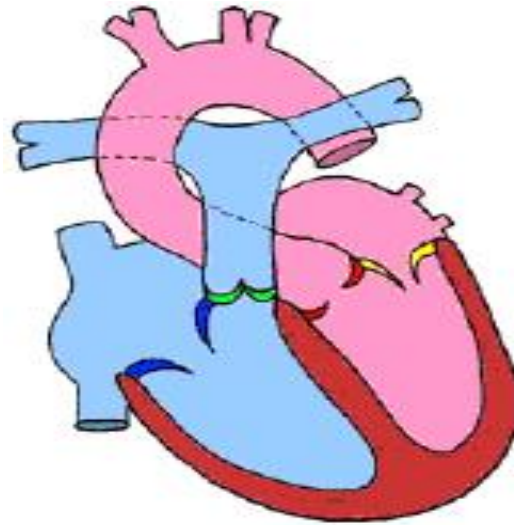
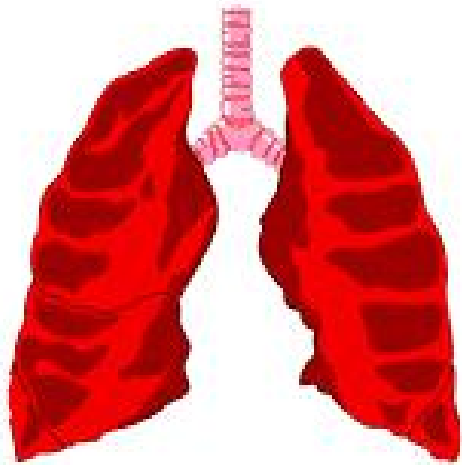


# CPET的临床应用

- 疾病的鉴别诊断
- 心肺储备功能定量评估
- 心肺疾病预后评估
- 风险评估
- 运动处方



# CPET发现心肺运动风险



■ EIB

O<sub>2</sub>降低

CO<sub>2</sub>升高

■ BP升高或降低

■ 心肌缺血

■ 心律失常

■ 心功能不全

■ 其他

688

心肺血管病杂志 2014 年 9 月第 33 卷第 5 期 *Journal of Cardiovascular & Pulmonary Diseases, September 2014, Vol. 33, No. 5*

DOI:10.3969/j.issn.1007-5062.2014.05.016

·临床论著·

## 两种运动试验对慢性阻塞性肺疾病患者 运动低氧的比较

吴波 袁玮 徐秋芬 王浩彦



表1-1 患者一般状况

项目	低氧组 N=18	无低氧组 N=12	P
年龄	65.64 ± 9.17	64.21 ± 6.53	0.657
BMI	22.42 ± 3.65	23.04 ± 3.40	0.651
FVC (%pre)	73.45 ± 27.00	82.49 ± 15.46	0.328
FEV1 (%pre)	51.65 ± 5.60	45.72 ± 14.86	0.494
FEV1/FVC	53.71 ± 12.25	48.29 ± 9.62	0.228
SpO <sub>2</sub>	95.27 ± 1.95	95.05 ± 1.90	0.767





# Cont.

表1-2 不同肺功能分级患者运动低氧发生情况

	I级	II级	III级	IV级	总计
入组患者 (人)	2	11	12	5	30
低氧患者 (人)	1	5	8	4	18
低氧发生率	/	45.5%	66.7%	80.0%	



· 临床研究 ·

# 慢性阻塞性肺疾病患者在静态和最大运动状态下的肺泡-动脉氧分压差的研究

王浩彦 徐秋芬 丁海菊 肖瑶 刘欣欣 樊静 张玲

$$PAO_2 = PIO_2 - (PaCO_2/R) [1 - FIO_2(1 - R)]$$



表1 47例患者静态及运动状态下动脉血气的改变

状态	pH	PO <sub>2</sub> (mm Hg)	PCO <sub>2</sub> (mm Hg)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	P(A-a)O <sub>2</sub> (mm Hg)
静态	7.44 ± 0.02	92 ± 9	41 ± 4	27.4 ± 2.7	18 ± 7
运动高峰	7.38 ± 0.09	89 ± 14	43 ± 3	24.7 ± 2.6	33 ± 11
t 值	2.226	0.678	3.398	3.793	3.664
P 值	0.039	0.506	0.003	0.002	0.004

表2 23例 DLco 正常组静态和运动状态下血气改变

状态	PO <sub>2</sub> (mm Hg)	PCO <sub>2</sub> (mm Hg)	P(A-a)O <sub>2</sub> (mm Hg)
静态	92 ± 8	38 ± 4	20 ± 6
运动高峰	92 ± 10	42 ± 4	26 ± 7
t 值	0.198	4.803	1.898
P 值	0.847	0.001	0.106

表3 24例 DLco 减低组静态和运动状态下血气改变

状态	PO <sub>2</sub> (mm Hg)	PCO <sub>2</sub> (mm Hg)	P(A-a)O <sub>2</sub> (mm Hg)
静态	92 ± 11	43.0 ± 3.2	16 ± 8
运动高峰	85 ± 16	43.9 ± 2.1	42 ± 9
t 值	1.324	1.365	5.667
P 值	0.388	0.380	0.005



# CPET的临床应用

- 疾病的鉴别诊断
- 心肺储备功能定量评估
- 心肺疾病预后评估
- 风险评估
- 运动处方



# 运动康复如何兼顾风险和收益？

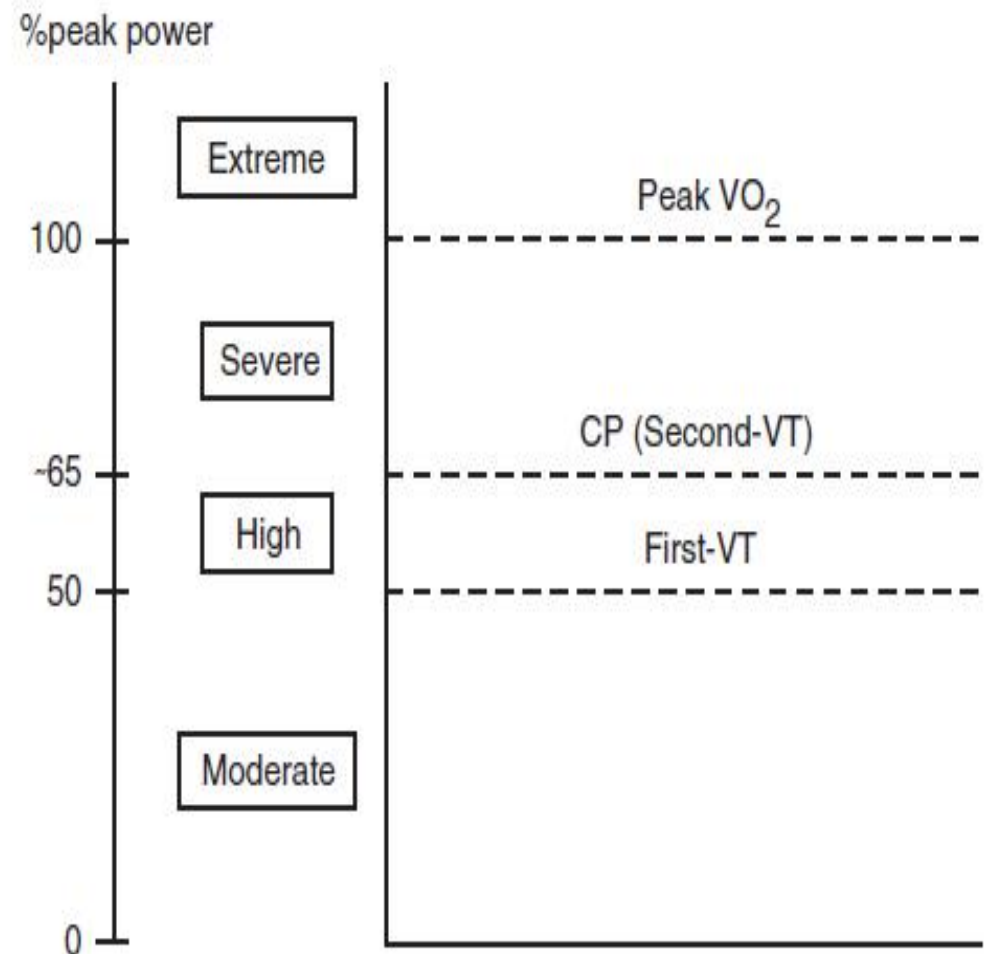


# Physiological limits of effort intensity domains

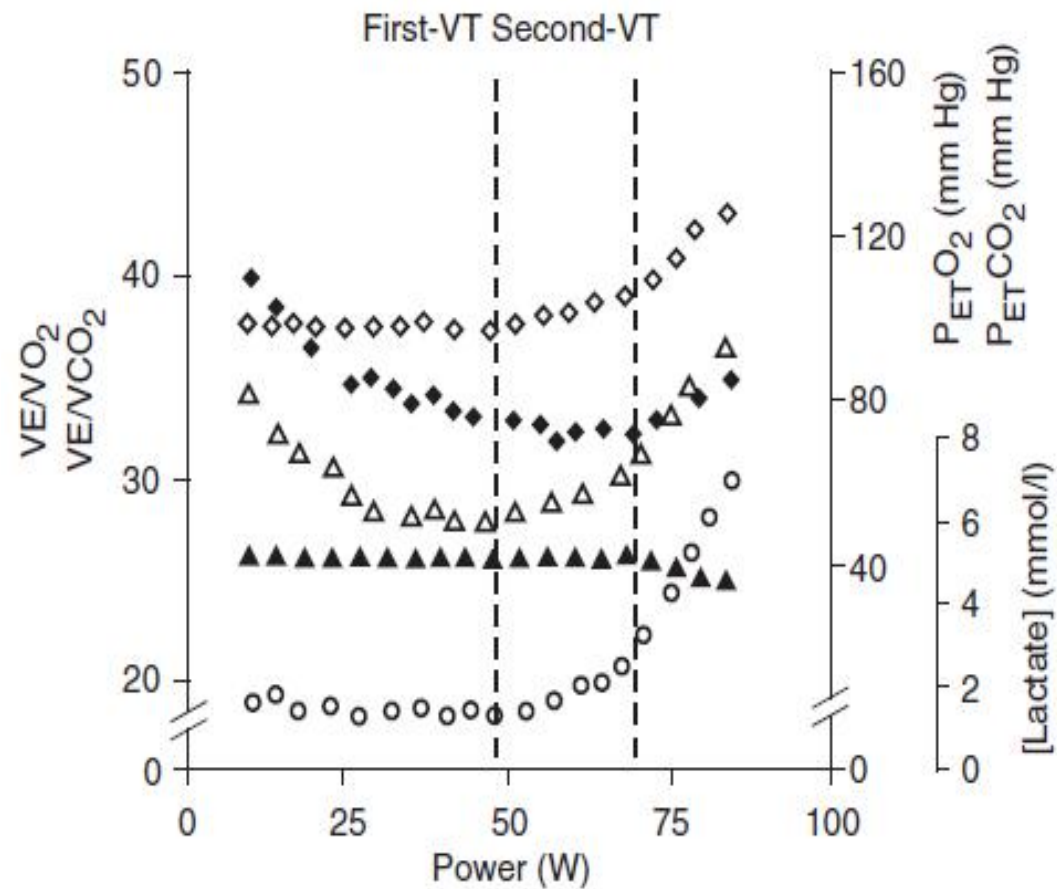
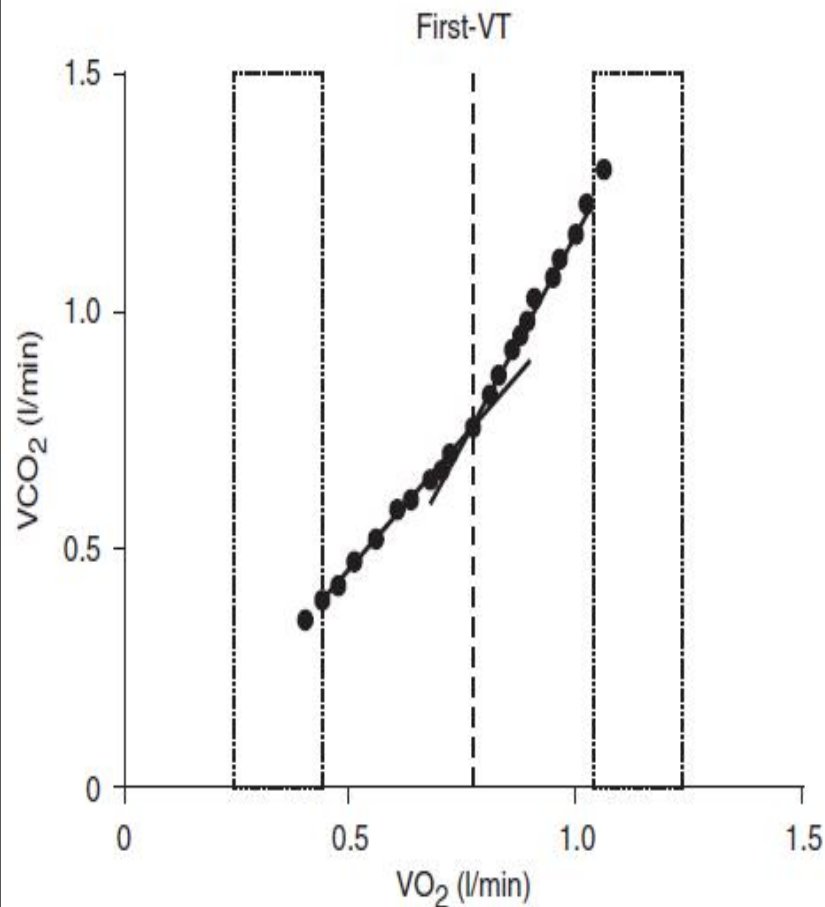
Carvalho VO et al. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 2011

Interval training

Continuous aerobic training



# Aerobic training prescription





· 论著 ·

# 慢性阻塞性肺疾病患者在无氧阈时的运动风险分析

徐秋芬 袁玮 赵旭娟 李宾 王浩彦

**表 1** 无氧阈和最大运动状态下的心肺反应

参数	无氧阈	最大运动
HR(次/min)	104 ± 13	131 ± 18
VO <sub>2</sub> (ml/min)	891.1 ± 236.9	1 275.7 ± 312.6
FR(次/min)	26 ± 5	32 ± 6
BR(%)	48.3 ± 16.0	25.0 ± 20.4
SpO <sub>2</sub> (%)	94 ± 2	93 ± 3
SBP(mmHg)	—	166 ± 22
DBP(mmHg)	—	87 ± 18



# 小结

- 运动提高了诊断的敏感性，通过O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>等参数检验肺-心-肌肉系统的储备功能
  - 呼吸困难的鉴别诊断
  - 心肺疾病预后评估
  - 心肺风险评估
  - 运动指导



北京友谊医院  
BEIJING FRIENDSHIP HOSPITAL

■ THANK YOU

