

# 通过无损伤动态测定心输出量对 最大摄氧量影响因素的探讨

研究生 刘 洵 指导教师 陈家琦

**摘要:** 本实验的受试者均为男性,共63人,分为3组。实验仪器为Jaeger Eos心肺功能测定仪,经改装的CO<sub>2</sub>重复呼吸装置及Jaeger LE-6型活动跑台。由于最大每搏输出量(SV<sub>max</sub>)和最大动静脉氧差(A-VO<sub>2max</sub>)是影响最大摄氧量(VO<sub>2max</sub>)的两个主要因素,所以本文测得了不同训练水平运动员分别达到SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的跑速,若参照这些跑速进行训练,随着SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的加大,VO<sub>2max</sub>将会有所提高。

## 一、绪 言

最大摄氧量(VO<sub>2max</sub>)是评定运动员有氧代谢能力的重要指标之一。迄今从事VO<sub>2max</sub>的研究多以不同项目优秀运动员为对象或针对不同年龄、性别采用不同实验方法进行各种测定,而对影响VO<sub>2max</sub>的因素及如何提高VO<sub>2max</sub>的问题则涉及较少,尤其对心输出量(Q)和动静脉氧差(A-VO<sub>2</sub>)

与VO<sub>2max</sub>提高的关系,更乏进一步的研究。解决这一问题当能为不同训练水平运动员的训练提供一定依据,为此,本文在这方面进行了初步探讨。

## 二、文献综述及选题依据

1924年Hi11等提出以VO<sub>2max</sub>表示有氧工作能力,并以此评定人体的机能状况,这一论点引起了学者们的重视,1960年Astra-

3、60秒无氧功率和血乳酸的增加量之间有密切相关关系, $r_A=0.74(P<0.01)$ , $r_B=0.74(P<0.01)$ ,回归方程 $\hat{y}_A=1032.03+12.83x$ , $\hat{y}_B=1028.59+11.99x$ ,训练水平不同,60秒无氧功率有明显差异,故60秒奋力蹬车无氧功率做为评价无氧工作能力的指标是可用的。

4、使用60秒奋力蹬车法以体重6%计负荷测定无氧功率,对本实验受试者是适宜的,且重复性强,受心理及专项技术影响较小,易为受试者接受,可以较好地反映出无氧工作能力。

### 主要参考文献:

- 陈家琦 运动中的供能物质《体育教学与科研》天津体育学院1983. 3
- GAESSER GA and GEORGE AB, Metabolic bases of excess post exercise Oxygen consumption; a review Med Sci Sports Exerc 16(1): 29—43, 1984.
- 生田、猪饲: Mechanical power血液乳酸量酸素負債量によるAnaerobic Workの研究《体力科学》22, 1~8, 1973

系统地研究了人的有氧工作能力,并发表了专论,之后,其它一些国内外学者也对不同项目的运动员进行了 $\dot{V}O_2\max$ 的测定,其结果均表明运动员和体育爱好者的 $\dot{V}O_2\max$ 明显大于一般人,耐力性项目的运动成绩与最大有氧工作能力密切相关。

目前认为 $\dot{V}O_2\max$ 虽然主要是由遗传因素决定的,但经系统训练它们仍能提高,然而要想在训练中有效地提高 $\dot{V}O_2\max$ 就需要进一步探讨影响 $\dot{V}O_2\max$ 增长的因素。虽然肺的呼吸功能〔主要是通气量( $\dot{V}E$ )〕,血液携氧能力〔主要是血红蛋白(Hb)〕,心输出量( $\dot{Q}$ )〔它包括每搏输出量(SV)和心率(HR)〕,和肌肉利用氧的能力〔主要是动静脉氧差( $A-VO_2$ )〕均能影响 $\dot{V}O_2\max$ ,但从运动员来看, $\dot{V}E$ 和Hb则不是影响它的主要因素。所以 $\dot{Q}$ 和 $A-VO_2$ 便成为问题的焦点。

Bjorn等指出“较高的 $\dot{V}O_2\max$ 总是由较高的最大心输出量( $\dot{Q}\max$ )伴随着”。而 $\dot{Q}\max$ 乃是心肺功能达到最高水平时HR和SV的乘积。通过对优秀运动员和一般运动员SV $\max$ 及 $A-VO_2\max$ 的比较,他们发现SV $\max$ 差异显著。 $A-VO_2\max$ 则无显著差异。就耐力性项目来说,我国运动员与外国运动员相比在剧烈运动时HR相似,但SV低且运动成绩也不如外国运动员。Åstrand也指出“HR $\max$ 无训练者高于有训练者”。显然,有训练者较高的 $\dot{Q}\max$ 是由较大的SV $\max$ 所致。

与 $\dot{Q}$ 的研究相比,关于有无训练者在心肺功能达到最高水平时 $A-VO_2$ 的对比研究方面则报导较少。

一般认为SV的增加是从运动开始随负荷递增而增加的,在达到 $\dot{V}O_2\max$ 的50%左右或HR接近130b/min时SV达到最大值,以后将维持在这一水平上。但对运动中 $A-VO_2$ 的变化,学者们的看法则不尽一致,因此我们尚需进一步对运动员在渐增负荷运动中

$VO_2$ , $\dot{Q}$ 和HR的变化进行逐级的测定观察以便确定SV $\max$ 和 $A-VO_2\max$ ,对提高 $VO_2\max$ 的不同影响及如何训练才能使二者得以提高,这就是本课题实验研究的目的。

本实验研究的具体任务是:1.完成在运动中连续测定 $\dot{Q}$ 的实验装置的设计与组装。2.在渐增负荷的运动中,连续测定受试者的 $\dot{V}O_2$ 并确定其 $\dot{V}O_2\max$ 。3.在测定 $\dot{V}O_2$ 的同时测定 $\dot{Q}$ ,比较不同训练水平运动员的SV $\max$ 和 $A-VO_2\max$ ,进一步分析及确定造成他们之间 $\dot{V}O_2\max$ 差异的主要因素。

4.测定不同跑速时的 $\dot{V}O_2$ 和 $\dot{Q}$ ,确定其分别达到SV $\max$ 和 $A-VO_2\max$ 时的跑速,以期对耐力训练做更合理的安排。

### 三、研究方法

#### (一)受试者

本实验的受试者均为男性,共分三组。

1.相对较高训练水平组:(以下简称较高水平组)受试者15人,来源为天津田径队中长跑运动员,马拉松运动员,天津体院中长跑专项运动员,天津体院专修科中长跑运动员(1500m成绩约4分10秒,5000m成绩约15分15秒)。

2.一般训练水平组:(以下简称一般水平组)受试者25人,来源为随机抽样的天津体院非中长跑专项学生(1500m成绩约在5分20秒以内)。

3.无训练组:受试者23人,来源为随机抽样的一般中学生(身体健康无疾病,但没参加过训练的初三、高一、高二学生)。

#### (二)试验仪器设备

1.气体代谢及HR的测定均使用Jaeger EOS心肺功能测定仪。通过呼吸口罩把受试者呼出气输入此仪器,并由与此仪器相连接的电传打字机每30秒打印一次分析的13个数据。

2.测功计为JaegerLE-6型活动跑

台, 它可随意调节速度和坡度。其范围是速度在0.1—29.9km/h之间, 坡度在0—39.5%之间, 速度和坡度皆可自动校正。

3. 安静时及运动中的 $\dot{Q}$ , 我们采用了 $\text{CO}_2$ 重复呼吸法来进行测定 ( $\dot{Q} = \dot{V}\text{CO}_2 / V - A\text{CO}_2$ ) 并对其实验装置进行了一定的改进, 使其在运动中能够连续地间插测定 $\dot{Q}$ 及 $\dot{V}\text{O}_2$ 直至力竭, 进行 $\dot{Q}$ 的测定时只需转动几个三通, 测动脉中 $\text{CO}_2$ 浓度(潮末 $\text{CO}_2$ 浓度)在5秒内即可完成, 混合静脉血中 $\text{CO}_2$ 浓度(用重复呼吸法)的测定时间在20秒以内,  $\dot{V}\text{O}_2$ ,  $\dot{V}\text{CO}_2$ 的数值经气体分析器分析计算后已由电传打字机打出, 重复呼吸后仪器恢复正常的测定约需30秒, 这样在1分钟内即可完成一种负荷运动时(始终不间断运动)一次 $\dot{Q}$ 的测定。(国外学者使用 $\text{CO}_2$ 重复呼吸法一般多是只进行某个负荷运动时 $\dot{Q}$ 的测定)具体的联接方法如图1所示。A、B、a、b、c为三通。混合气经a可进入I, 重复呼吸测定完毕后I中的气体可从d处(可打开)排出, 如图2所示。

实验中不进行 $\dot{Q}$ 的测定时, 实验装置如图3所示, 呼出气经A、B、V进入VI气样再经b、c进入VII进行分析, 计算及数字显示。

测潮气末 $\text{CO}_2$ 浓度时, 实验装置如图4所示, 呼出气经C进入VII。

重复呼吸时实验装置如图5所示, I中的气样经a、b、c进入VII。这样便可进行运动中 $\dot{V}\text{O}_2$ 和 $\dot{Q}$ 的连续测定了。

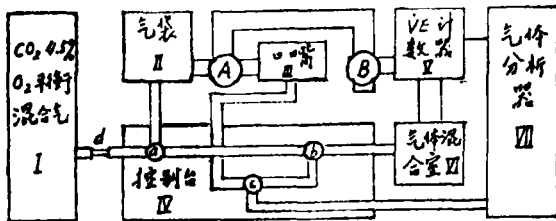


图1. 经改装的 $\text{CO}_2$ 重复呼吸法实验装置

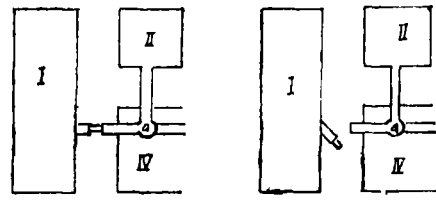


图2. 混合气的进入与排出

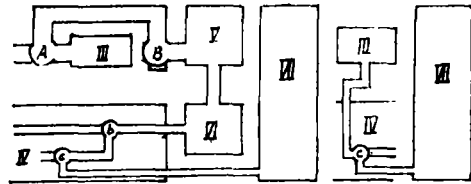


图3. 不测 $\dot{Q}$ 时      图4. 测潮末时

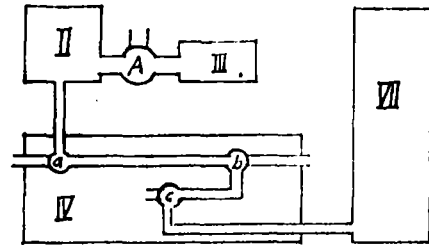


图5. 重复呼吸时

在进行 $\dot{Q}$ 的测定时我们利用JacgerEOS心肺功能测定仪的A/D转换直接读数, 并且与XWT-20b型台式自动平衡记录仪并联同步描记下了呼出气中 $\text{CO}_2$ 浓度的变化曲线以备说明。在测得了 $\dot{V}\text{O}_2$ 和 $\dot{Q}$ 后, 根据Fick公式便可得到 $A-\text{VO}_2$ 。

### (三) 实验程序

运动实验共有两次, 一次是坡度固定, 只增速度。一次是速度固定只增坡度。两次实验的每级负荷皆测 $\dot{V}\text{O}_2$ 及 $\dot{Q}$ , 在渐增坡度实验中测到 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 的出现。

1. 渐增速度实验: 此项实验的目的是测得分别达到 $\text{SVmax}$ 和 $A-\text{VO}_2$ 时的运动强度。其方法是跑台的坡度固定为0% 每组均有5种跑速(由于受试者的训练水平不同。所以各组的跑速也是不同的)较高水平组为2.50, 3.00, 3.50, 3.75和4.00m/s。

一般水平组为2.25, 2.75, 3.25, 3.50和3.75m/s。无训练组(中)为2.00, 2.50, 3.00, 3.25和3.50m/s。在每种跑速运动3分钟后进行测定,打字机记录气体代谢的数据实验者记下潮气末及重复呼吸中每口气CO<sub>2</sub>浓度的瞬时数值,之后有至少2分钟的休息,然后进行下一种速度的测定。渐增速度实验完毕后让受试者完全休息,在HR恢复到安静时水平,再进行渐增坡度实验。

2. 渐增坡度实验: 此项实验的目的是使受试者较容易地达到 $\dot{V}O_{2max}$ , 其方法是跑台的速度固定(相对较高训练水平组为2.5m/s, 一般训练水平组2.25m/s, 无训练组2.0m/s)坡度从0%开始。之后,每次较高水平组增4%, 一般水平组增3.5%, 无训练组(中)增3%直至力竭。〔在每种坡度运动3分钟后进行测定(记录方法与渐增速度实验相同)〕。

(四) 数据的处理

1. 用统计学中的“解消假设”方法对CO<sub>2</sub>重复呼吸法的重复性进行了测定。用相关分析的方法测定了渐增坡度和渐增速度两种实验方法的相关程度。

2. 用直线回归及求两直线的交点计算出理论上混合静脉血中CO<sub>2</sub>浓度, 然后根据分压公式及分压容量转换公式求出混合静脉血中的CO<sub>2</sub>含量。

3. 用方差分析计算了各组的 $\dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{Q}_{max}$ , SV<sub>max</sub>, HR<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>平均值的差异。

4. 用求平均值的方法计算出达到SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的运动强度。

“解消假设”“直线回归”“两直线交点”静动脉CO<sub>2</sub>含量差,  $\dot{Q}$ , SV和A-VO<sub>2</sub>是用CAS10 fx-180P函数计算机计算的。

$\dot{V}O_{2}$ ,  $\dot{V}CO_{2}$ 和HR是用Jaeger EOS心肺功能测定仪计算的。

方差分析是用Apple I 计算机计算的。

四. 结 果

$\dot{V}O_{2max}$ 的测定值: 测定结果如表1所示。各组之间均具有非常显著的差异(P<0.01)。

表1  $\dot{V}O_{2max}$

	$\dot{V}O_{2max}$ ml/kg·min
较高水平组	60.1±3.5 15
一般水平组	48.2±3.6 25
无训练组	38.7±3.6 23
1-3	• •
1-2	• •
2-3	• •

表2  $\dot{Q}_{max}$ 和HR<sub>max</sub>

	$\dot{Q}_{max}$ l/min	HR <sub>max</sub> b/min
较高水平组	25±1.7 15	184±13 15
一般水平组	26±1.5 25	187±6 25
无训练组	20±3.5 23	190±6 23
1-3	• •	
1-2	• •	
2-3	• •	

$\dot{Q}_{max}$ 和HR<sub>max</sub>的测定值: 测定结果如表2所示。 $\dot{Q}_{max}$ 较高水平组与一般水平组不具有显著差异(P>0.05), 但它们与无训练组均具有显著差异(P<0.01)。HR<sub>max</sub>三组之间均无差异(P>0.05)。

SV和A-VO<sub>2</sub>在运动中的变化趋势: SV和A-VO<sub>2</sub>的变化趋势如图6所示。运动初期SV随负荷的增加而增加, 在达到最大值后它则相对保持稳定或稍有波动。A-VO<sub>2</sub>在运动中则始终是增加的。

SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的测定值: 测得结果如表3所示。SV<sub>max</sub>较高水平组与一般水平组无显著差异(P>0.05), 它们与无训练组均具有显著差异(P<0.01), A-VO<sub>2max</sub>各组之间均有显著差异(P<0.01)。

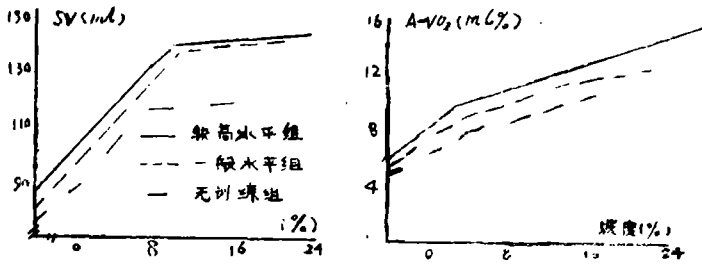


图6. SV和A-VO<sub>2</sub>的变化趋势

表3 SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>

	SV <sub>max</sub> (ml t/b)	A-VO <sub>2max</sub> (ml%)
1. 较高水平组	142 ± 6.6 15	14.5 ± 0.6 15
2. 一般水平组	139 ± 6.4 25	11.9 ± 0.7 25
3. 无训练组	106 ± 7.2 23	10.5 ± 0.9 23
1-3	* *	* *
1-2		* *
2-3	* *	* *

达到SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>时的跑速：  
不同跑速时SV和A-VO<sub>2</sub>的测定结果如表4所示。SV<sub>max</sub>是在中等跑速时达到的，A-VO<sub>2max</sub>则是在最高跑速时达到的。

表4 不同跑速时的SV和A-VO<sub>2</sub>

	较高水平组				一般水平组				无训练组				
	m/s	HR	SV	A-VO <sub>2</sub>	m/s	HR	SV	A-VO <sub>2</sub>	m/s	HR	SV	A-VO <sub>2</sub>	
较高水平组	2.5	113	121	10.7	2.25	122	127	10.0	2.0	133	94	8.1	
	3.0	120	129	11.0	2.75	131	135	10.2	无	2.5	142	106	8.5
	3.5	131	138	11.4	3.25	146	138	10.5	训	3.0	155	106	9.4
	3.75	143	139	11.7	3.5	160	138	11.0	练	3.25	172	106	9.9
	4.0	156	137	12.0	3.75	175	138	11.4	组	3.5	184	104	10.2
	5.2	184	137	14.5	4.3	187	138	11.9	3.8	190	104	10.5	

### 五、分析与讨论

(一) 采用CO<sub>2</sub>重复呼吸法动态测定Q的依据

Q不但意味着心脏本身所具有的泵血力，而且也反映了全身气体代谢及末梢组织代谢的状态和血液滞留的情况。因此，它是运动中应予重视的指标之一。虽然Q的测定有多种方法，但从动态测定来看CO<sub>2</sub>重复呼吸法显得较为适宜，因为此法是无损伤的Q测定方法，易被人接受，其准确性、重复性均较好。利用此法可进行正常运动状态时的Q测定。早在本世纪初国外就有人对此法进行了报导，如：loersy (1903)，Douglas and Haldane (1922)。Plesch (1909)。但由于当时仪器的限制，所以未能得推广。到了50年代，随着瞬时气体分析器的出现，CO<sub>2</sub>重复呼吸法又重新唤起了人们的兴趣，CO<sub>2</sub>重复呼吸法是基于下列设想而形成的：1. 潮气末呼出气与动脉血中的CO<sub>2</sub>分压无梯度；2. 重复呼吸时血流速度是常量；3. 重复呼吸时血液再循环可被省略不计。此外，通过闭合式重复呼吸呼出气中的CO<sub>2</sub>浓度可与混合静脉血中的CO<sub>2</sub>浓度达到平衡。在通过潮气末呼气及重复呼吸得到相当于动脉和静脉血的CO<sub>2</sub>浓度参数

后，经分压公式及Tones修改过的MeHardy曲线则可把它转换为100毫升血中的含量 [log-eccO<sub>2</sub> (ml/100ml) = 0.396 logePco<sub>2</sub> (mmHg) + 2.4]。在测得了V̇CO<sub>2</sub>后，根据Fick公式便可求出Q (Q̇ = V̇CO<sub>2</sub> / V - ACO<sub>2</sub>)，V̇CO<sub>2</sub>，二氧化碳呼出量，V - ACO<sub>2</sub>：静、动脉二氧化碳差)。

进行测定时受试者对着内装 1 升混合气 (运动时 2—3 升) 的气袋 ( $\text{CO}_2$  4—5%,  $\text{O}_2$  平衡) 重复呼吸。开始时气袋中的  $\text{CO}_2$  浓度低于混合静脉血中的  $\text{CO}_2$  浓度, 呼出气中的  $\text{CO}_2$  浓度呈指数上升并向气袋中弥散。数次呼吸之后, 当气袋中  $\text{CO}_2$  浓度与混合静脉血中的  $\text{CO}_2$  浓度无梯度时, 呼出气的  $\text{CO}_2$  浓度便与混合静脉血中的  $\text{CO}_2$  浓度达到平衡。

使用  $\text{CO}_2$  重复呼吸法实际测得的呼出气中  $\text{CO}_2$  的变化曲线如图 7 所示。

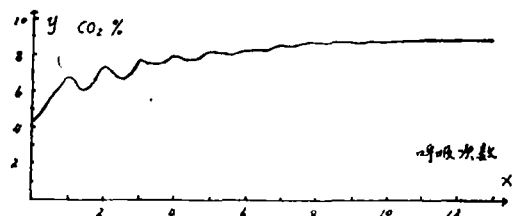


图 7.  $\text{CO}_2$  重复呼吸法呼出气中  $\text{CO}_2$  的变化曲线

由于重复呼吸时呼吸次数与呼出气中的  $\text{CO}_2$  浓度是呈指数关系的, 所以根据 Jernèrus 1963 年报导的方法, 在横纵坐标均为  $\text{CO}_2$  浓度的坐标系中, 以相邻两次呼出气中的  $\text{CO}_2$  浓度所描出的点做回归便可得出一条直线  $y=a+bx$ , 而它与坐标系中的直线  $y=x$  有一交点, 这一点表示的即是混合静脉血中的  $\text{CO}_2$  浓度。如图 8 所示。

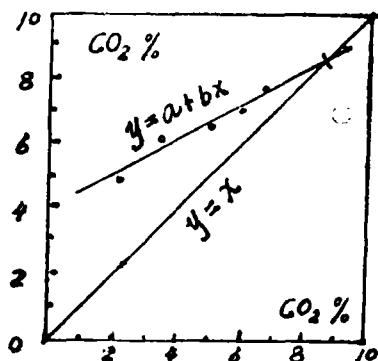


图 8. Jernèrus 方法

## (二) 运动实验的渐增坡度和渐增速度

利用活动跑台进行运动实验可渐增坡度或渐增速度。一般认为进行  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  的测定用渐增坡度的实验较为适宜, 这是由于渐增速度实验比渐增坡度实验给受试者带来的困难较大, 在本实验的前期实验中也证实了这一点。因此本实验是采用了渐增坡度的方法进行  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  测定的。

目前, 一般来说周期性耐力项目的训练多是凭教练员的经验及用 HR 来控制训练强度, 这似乎太笼统, 针对性不强, 对运动员来说也不易控制。通过采访教练员, 他们提供周期性项目的耐力运动员一般对速度是较敏感的, 而且其训练方式主要是不同跑速的练习。所以, 用速度来控制训练强度显得较为合理, 因此我们选择了在无坡度的条件下, 用渐增速度实验来进行运动强度的测定旨在取得与训练方式相一致的参数。由于此项测定的目的只在于确定达到  $\text{SV}_{\text{max}}$  和  $\text{A-VO}_2\text{max}$  时的运动强度, 而不在于测定  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ , 所以, 对于每组受试者我们只选择了 5 种中等跑速来进行测定, 这样再与渐增坡度实验得出的达到  $\text{SV}_{\text{max}}$  时的负荷相对照便可确定出达到  $\text{SV}_{\text{max}}$  时的跑速。由于  $\text{A-VO}_2\text{max}$  是在最大负荷时 (HR 达到最大值) 达到的, 而运动中跑速与 HR 又呈线性相关, 因此, 我们选用了外推法根据渐增速度实验中 HR 和跑速的测定值求得了达到  $\text{H-R}_{\text{max}}$  (即  $\text{A-VO}_2\text{max}$ ) 时的跑速 (为了准确起见, 在渐增速度实验中, 我们也进行了  $\text{SV}$  和  $\text{A-VO}_2$  的测定)。

## (三) 实验结果的分析及对运动训练的建议

实验中三个组之间的  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  均具有显著的差异而且他们的耐力性项目的训练水平也是不同的, 这说明  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  与耐力性项目的训练水平相关。从  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  测定的结果来看, 其数值似乎构成一个三层台阶, 较高水

平组、无训练组位于两端，一般水平组居中。如训练能使 $\dot{V}O_2\max$ 提高的话，就普通情况而言，一般水平组应趋于较高水平组水平，而无训练组应首先趋于一般水平组水平，因为生理机能的提高是循序渐进的，但如训练得法，则有可能缩短这一过程。这样，在进一步分析了他们的 $\dot{V}O_2\max$ 后，就可以在不同的训练阶段中针对影响其 $\dot{V}O_2\max$ 的主要因素，有的放矢地进行训练。

$\dot{Q}$ 是影响 $\dot{V}O_2\max$ 的因素之一，本实验中较高水平组与一般水平组的 $\dot{Q}\max$ 无显著差异，但它们与无训练组有显著差异，因此可以这样认为，开始参加训练时 $\dot{Q}\max$ 是影响 $\dot{V}O_2\max$ 提高的主要因素，在达到一定水平后则 $\dot{Q}\max$ 对 $\dot{V}O_2\max$ 的影响不大，从 $\dot{Q}$ 的构成来看，它包含两个因素：一个是SV，另一个是HR。SV决定于心室舒张期充盈量（静脉回流量）和心室注射血能力。健康人的心室射血能力潜力很大，凡在心舒期内由心房流回心室的血量在心缩期内都能将其射出，正常情况下随回心血量的增加，一般 $\dot{Q}$ 也可相应地增加，因此使得 $\dot{Q}$ 增大的条件之一是静脉回流量的增加，这就需要心房肌有足够的力量将流回的血液全部射入到心室中去。

从文献报导来看，还未发现有关于正常人在运动中由于心房收缩力不够而影响 $\dot{Q}$ 的论述，即一般常人基本上都是具备这一条件的。那么对于不同训练水平的运动员来说，它则不是造成其 $\dot{Q}\max$ 差异的主要因素。

$\dot{Q}$ 增大的条件之二是心室要有足够的射血能力。在一定的限度内。心舒期末心室的容积增加，即肌纤维的前负荷加大，则收缩时的射血力量也随之增大，安静时正常人的心脏每分钟最多能射出13—15升血（允许水平），而实际的 $\dot{Q}$ 只是5升左右。这是由于外周循环所致。运动时正常成人在达到一定强度后，由于允许水平所限， $\dot{Q}$ 则不能进一

步的增加，然而通过训练则能使心脏的允许水平有所提高，其原因一般认为是：1. 运动训练能使心肌纤维增粗，心室产生运动性肥大使之收缩力加强。2. 训练可使心室肌的交感神经兴奋性加强，从而使收缩力加强。3. 运动训练能增加毛细血管的数量及大血管壁的弹性纤维，从而使外周阻力（后负荷）减小。因此，经受过运动训练的运动员具备了条件二。

$\dot{Q}$ 增大的条件之三是要有足够的血量，这样才能与射血能力相匹配。Lawreuee等发现经体育锻炼，血量可有明显的增加（ $P<0.05$ ）。这说明经受过训练的运动员也具备了条件三。

从以上分析可以看出，经受过训练的运动员上述三个条件均具备，而未受过训练的人可能只具备条件一，因此，有训练的运动员的 $\dot{Q}\max$ 要大于无训练者的 $\dot{Q}\max$ 。虽然在一定范围内随HR的加快 $\dot{Q}$ 将有所增加，但是在本实验中由于有、无训练者的HR $\max$ 都能达到同一水平。所以造成他们之间 $\dot{Q}\max$ 不同的主要因素是SV $\max$ 的差异。

从结构和功能上来看，两个心室主要受交感神经支配，运动中交感神经活动加强，血浆中肾上腺素与去甲肾上腺素（儿茶酚胺）水平升高，因此使得心肌收缩力加强，外周阻力下降心搏出量加大。但心搏出量的这种增加是有限度的。随着运动强度的增加，当交感神经发放的冲动已超过心肌本身所具有的最大收缩力时，心搏量的增加便与运动量的增加脱离线性关系，出现平台。所以，SV $\max$ 是在次最大负荷时达到的，这在目前已被公认。只是对何时达到SV $\max$ 的看法，学者们略有不同。陆绍中等认为耐力性项目运动员HR约在130b/min时SV达到最大值。缪素莛等认为，耐力性项目运动员在最大负荷的50%，HR为130—140b./min时SV达到最大值。Fox认为常人男

子HR在150b./min时SV达到最大值。As-trand测得女11名男12名年龄在20—31岁的体育专业学生的 $SV_{max}$ 是在40%  $\dot{V}O_{2max}$ , HR为110b./min时达到的。Musshoff认为HR在120—150b./min时SV达到最大值。还有的学者认为SV在 $\dot{V}O_{2max}$ 的40—60%时达到最大值,本实验测得的结果是:较高水平组HR在123—131b./min,  $\dot{V}O_{2max}\%$ 在51.2—58.8时SV达到最大值。一般水平组HR在125—135b./min,  $\dot{V}O_{2max}\%$ 在52.7—61.4时SV达到最大值。无训练组(中)HR在133—142b./min,  $\dot{V}O_{2max}\%$ 在47.3—60.0时SV达到最大值。之后,尽管运动负荷有所增大,但三个组的 $SV_{max}$ 均无明显变化直至 $\dot{V}O_{2max}$ 达到 $SV_{max}$ 时的运动负荷与上述学者测定结果的差异,可能是由于在受试者(年龄训练水平)。实验方法及实验程序的安排等方面的不同所致。

安静时一般动脉血含氧约20ml% 静脉血含氧约1.5ml%,  $A-VO_2$ 约5ml%。运动中 $A-VO_2$ 将有所增加,并因人而异。Gollnick指出“受试者经过5个月的耐力训练,  $\dot{V}O_{2max}$ , 氧化酶活性及肌糖元含量均有明显增加。”Janeson等报导“与正常人相比,越野跑运动员腿部肌肉的毛细血管将有所增加。虽然他们快慢肌纤维的百分比相同,但氧化酶的活性不同。”Komi发现,“快慢肌纤维的百分比虽存在明显的遗传影响,但肌纤维中酶的活性却与遗传无关。”毛细血管增加在运动中可使组织能获得充足的血量。氧化酶活性提高可使组织中的氧能得到充分的利用,使其分压更低,大量的氧借助分压从血液进入组织后使得静脉血中氧含量有明显的下降,所以有训练者的 $A-VO_2-_{max}$ 要比无训练者大。

有关运动中 $A-VO_2$ 变化趋势这方面的资料比较少见, Musshoff等认为“运动中 $A-VO_2$ 是随负荷的增加而逐渐加大的,且

在最大负荷的稳定状态时达到最大值。”因为运动中随负荷的增加,肌肉的代谢活动加强,毛细血管大量开放,氧化酶的活性增加,耗氧量加大,因此静脉血中的氧含量有所下降,但是动脉血中的氧含量又是相对稳定的,这样就造成了 $A-VO_2$ 的加大。负荷越高,耗氧量也就越大,所以 $A-VO_{2max}$ 是在最大负荷时达到的。本实验测定的结果如图6所示,这与Musshoff等人的观点是一致的,即:运动中三个组的 $A-VO_2$ 均是随负荷的增加而逐渐加大的,并在最大负荷时达到最大值。

从以上的分析中可以看出,似乎SV可以代表氧运输系统的能力,(因氧是与血液结合后才被运输的) $A-VO_2$ 可以代表组织利用氧的能力。在训练中如能使这二者经常处在最高水平上,那么随着它们的提高, $\dot{V}O_{2max}$ 势必会有所增大,因此针对不同训练水平的人确定出能达到其 $SV_{max}$ 和 $A-VO_{2max}$ 的训练强度是非常重要的。

运动的不同强度以跑速表示时,则如表6所示。从表6可见,较高水平组的跑速为3.50m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}\%$ 分别是131b./min和57.4%,SV是138ml,它与3.00gm/s时的SV具有显著的差异( $p<0.05$ ),但与大于3.50m/s跑速时的SV不具有显著的差异( $p>0.05$ )。一般水平组的跑速为2.75m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}\%$ 分别是131b./min和58.5%,SV是135ml,它与2.25m/s时的SV具有显著差异( $p<0.05$ ),但与大于2.75m/s跑速时的SV不具有显著的差异( $p>0.05$ )。无训练组的跑速为2.50m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}\%$ 分别是142b./min和60.0%,SV是106ml,它与2.00m/s时的SV具有显著的差异( $P<0.05$ ),但与大于2.5m/s跑速时的SV不具有显著的差异( $P>0.05$ )。

按表7外推结果,较高水平组的跑速为5.2m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}\%$ 分别是184b/m-



in和100%, A-VO<sub>2</sub>达到最大值14.5ml%, 一般水平组的跑速为4.3m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}$  %分别是187b/min和100%, A-VO<sub>2</sub>达到最大值11.9ml%。无训练组的跑速为3.8m/s时HR和 $\dot{V}O_{2max}$  %分别是190b/min和100%, A-VO<sub>2</sub>达到最大值10.5ml%。上述情况表明,达到SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的运动强度,较高水平组为3.5m/s和5.2m/s,一般水平组为2.75m/s和4.3m/s,无训练组为2.5m/s和3.8m/s。所以建议对于提高SV和A-VO<sub>2</sub>来说,较高水平组则分别应用3.5m/s和5.2m/s的跑速进行训练;一般水平组则分别应用2.75m/s和4.3m/s的跑速进行训练(因A-VO<sub>2max</sub>是影响本组 $\dot{V}O_{2max}$ 的主要因素,所以他们应主要以4.3m/s的跑速进行训练),无训练组则应用2.5m/s和3.8m/s的跑速进行训练。

总的来看,在运动中如想达到SV<sub>max</sub>只需用中等跑速进行训练即可,但是要想达到A-VO<sub>2max</sub>则非用较高跑速进行训练不可。

以上的讨论只是从横剖面进行了分析,今后有待于在此研究的基础上进行进一步的纵向观察,以便使对此问题的研究能够更加深入,更加完善。

## 六、结 论

通过利用CO<sub>2</sub>重复呼吸法对受试者在渐增负荷运动中SV和A-VO<sub>2</sub>的观察,我们描绘出了这二者的变化趋势。通过利用CO<sub>2</sub>重复呼吸法对不同训练水平运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 时SV和A-VO<sub>2</sub>的比较,我们找出了这二者何为影响 $\dot{V}O_{2max}$ 的重要因素,并且确定了发展它的跑速,因此本课题实验研究得出的结论如下:

1.应用CO<sub>2</sub>重复呼吸法动态测定 $\dot{Q}$ 是切实可行的。

2. SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>虽是影响

$\dot{V}O_{2max}$ 的两个主要因素,但随训练水平的不同这二者所起的作用也将有所不同。

3. SV<sub>max</sub>是在次最大负荷时达到的, A-VO<sub>2max</sub>则是在最大负荷时达到的。

4.达到SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的运动强度较高水平组分别为3.5m/s和5.2m/s左右(HR分别为131和184b/min左右);一般水平组分别为2.75m/s和4.3m/s左右(HR分别为131和187b/min左右);无训练组分别为2.5m/s和3.8m/s左右(HR分别为142和190b/min左右)。因为SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>均是影响较高水平组和无训练组 $\dot{V}O_{2max}$ 的因素,所以,相对较高训练水平的运动员和无训练者若参照上述跑速训练,随着SV<sub>max</sub>和A-VO<sub>2max</sub>的提高, $\dot{V}O_{2max}$ 也将会有所增加。而影响一般水平组 $\dot{V}O_{2max}$ 的因素主要是A-VO<sub>2max</sub>,所以,对于提高 $\dot{V}O_{2max}$ 来说,一般训练水平的运动员则主要应用较高的跑速进行训练。

5.在本实验中,各组之间 $\dot{V}O_{2max}$ 的差异并非年龄所致,它与耐力性项目的训练水平密切相关。

## 主要参考文献

1. Boileau R. A. et al "Physiological characteristics of elite middle and long distanced runners" Jour. Appl. Sports. Sci. 7:3:167-172 1982
2. Weltman "Practicality of inclined treadmill  $\dot{V}O_{2max}$  testing for level running exercise prescription" Jour. Sports. Med. 22:191-198 1982
3. Conger P. R. et al "Strength body composition and work capacity of participants and non-participants in women's intercollegiate sports" Res. Quar. 38:184-192 1967
4. Costill D. L. et al "Maximal oxygen consumption among marathon runners" Arch. Physiol. Med. 51:317-320 1970