



不同速度自行车骑行气体代谢与能量消耗研究

王道,徐亮亮,王晶晶,王静,朱建中,刘欣

摘要:目的:通过测定自行车4种不同骑速时的人体能量消耗,分析能耗特点,提出适宜不同人群有氧健身锻炼为目的骑行速度和方案。方法:以100名年轻健康人群和7名老年骑游队员为实验对象,采用CORTEX-3B便携式气体代谢分析仪对受试者10 km/h、13 km/h、15 km/h、18 km/h 4种不同速度自行车骑行的能量消耗进行测试,每个速度测试6 min,取最后2 min稳态数据。结果:(1)无论男女,随着骑行速度的增加,心率(HR)、摄氧量(VO_2)、能耗(EE)、代谢当量(METs)等指标均逐渐上升,当骑速从15 km/h增加到18 km/h时,上升最明显,且METs值超过6;(2)相同骑速时,男性 VO_2 、EE均高于女性,而男女之间相对摄氧量(VO_2/kg)、相对能耗(EE/kg)、METs均无明显差异;(3)10~15 km/h骑速时,男女之间呼吸商(R)值无明显差异,18 km/h时,女性R值高于男性且超过1;(4)无论男女,13~15 km/h骑行时,大部分受试者属于中等强度运动。(5)10 km/h骑速时,超重人群的 VO_2/kg 、EE/kg、METs均明显低于低体重和正常体重两类人群,13~18 km/h时,上述指标总体表现为低体重人群>正常人群>超重人群。结论:(1)相同骑速时,男性能耗水平大于女性,超重人群>正常人群>低体重人群;单位体重下,男女之间能耗水平无明显差异,低体重人群>正常人群>超重人群。(2)男性15~18 km/h,女性13~15 km/h可以作为中等强度有氧锻炼骑行速度的参考标准,但在具体实践过程中也应考虑年龄、超重/肥胖、锻炼水平等个体差异。(3)建议在适宜速度下,每周骑行5次,每次至少30 min连续骑行,并且保持长期骑行锻炼的习惯。

关键词:自行车;能耗;摄氧量;有氧锻炼

中图分类号:G804.4 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2015)05-0064-07

Study on Gaseous Metabolism and Energy Expenditure of Cycling at Different Speed

WANG dao, XU liangliang, WANG jingjing, WANG jing, ZHU jianzhong, LIU xin

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: Objective: The purpose of this paper is to find appropriate riding speed and exercise programs for the aerobic exercise of different groups by analyzing the characteristics of energy consumption when riding at four different speed. Method: 100 healthy youngsters and 7 old riders were selected as the subjects. Energy consumption was measured for 6 minutes by CORTEX-3B at the speed of 10km/h, 13 km/h, 15 km/h and 18/ km/h respectively, and the steady data of the last 2 minutes were used for the analysis. Result: (1) In both male and female, with the increase of speed, HR、 VO_2 、EE and METs gradually increased. When the speed increased from 15 to 18km/h, those indicators rose evidently, and the value of METs exceeded 6. (2) While riding with same speed, VO_2 and EE of the male were higher than those of the female. But there was no significant difference between the male and the female in EE/kg, METs and VO_2/kg . (3) There was no significant difference between the male and the female in R at the speed of 10-15km/h, but when the speed was 18km/h, R of the female was higher than that of the male ($R>1$). (4) For most of the subjects, the riding intensity at 13-15km/h was moderate, whether the male or the female. (5) When riding at the speed of 10km/h, VO_2/kg 、EE/kg and METs of the overweight subjects were apparently lower than those of the low-weight and normal-weight subjects, and at the speed of 13-18km/h, those indexes generally showed the tendency of low-weight riders > normal-weight riders > overweight riders. Conclusion: (1) Riding at the same speed, EE of the male is higher than that of the female, and EE also shows the phenomenon of overweight people > normal weight people > low weight people. But there is no significant difference between the male and the female in EE/kg, which shows the phenomenon of low weight people > normal weight people > overweight people. (2) 15-18km/h(male) and 13-15km/h(female) can be used as a reference for moderate intensity aerobic riding exercise, but the individual difference of age, overweight/obesity and exercise should also be taken into account in practice. (3) It is suggested that with appropriate speed, people can ride for 5 times a week and at least 30 minutes each time. Long-term riding exercise is beneficial.

Key Words: cycling; energy expenditure; oxygen uptake; aerobic exercise

收稿日期:2015-07-05

基金项目:上海市科委科研计划项目课题(12DZ2294400)

第一作者简介:王道,男,副研究员,硕士研究生。主要研究方向:体质研究与健身指导。

作者单位:上海体育科学研究所,上海 20030



众所周知,中国是自行车保有量世界第一的国家,但很少有人知道,中国也是自行车运动普及程度较低的国家之一。人们更多的是将自行车作为代步工具,随着经济社会的发展,越来越多的人逐渐意识到自行车作为一项低碳环保的出行和运动方式,可以为我们的生活和身体带来诸多益处。

毋庸置疑,中低强度持续性有氧锻炼,可有效提高人体心肺系统机能及骨骼、肌肉的功能。比如步行、慢跑是简单易行的中低强度持续性有氧锻炼方式,但是对于膝关节损伤、腰椎疾病和体重超标等人群,只要调整坐垫高度和角度,减轻对相关关节及部位的冲击,自行车骑行锻炼或许是一种更合适的选择。本研究主要是通过测定自行车 4 种不同骑速时的人体能量消耗,探讨分析骑行过程中的能耗特点,提出适宜不同人群有氧锻炼为目的骑行速度和方案,以提高锻炼的科学性,推广自行车健身运动。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

主要研究对象:来自上海师范大学、同济大学、上海体育学院 100 名受试者(男 52 名,女 48 名),年龄范围在 20~28 岁的年轻健康人群,受试者基本情况见表 1。

表 1 主要研究对象的基本情况

	男(N=52)	女(N=48)	合计(N=100)
年龄/岁	21.1±1.2	20.8±0.7	21.0±0.9
身高/cm	174.9±5.0	164.3±4.3	169.6±6.6
体重/kg	68.2±8.4	57.1±6.5	62.7±8.7
BMI/(kg/m ²)	22.3±2.4	21.1±2.0	21.7±2.2

特定研究对象:来自上海闵行、嘉定 7 名骑游队员(5 名,女 2 名),平均年龄 58 岁,体重:62.9 kg,身高:164.3 cm。

1.2 研究方法

1.2.1 实验方法

在环形水泥平地,温度适宜、微风或无风的天气条件下,佩戴好便携式气体代谢分析仪,调整好自行车的坐高,对受试者安静及 10 km/h、13 km/h、15 km/h、18 km/h 4 种不同速度自行车骑行的能量消耗进行测试,先安静测试 5 min,之后每个速度测试 6 min,4 个速度从慢到快连续进行,采用节拍器控制骑行速度,4 个速度对应的蹬踏频率分别为 39 次/min、52 次/min、60 次/min、77 次/min,要求骑行时,蹬踏动作匀速连贯。

1.2.2 测试仪器设备与指标

自行车车型为 26 寸女士轻便车。采用 CORTEX-3B(德国)便携式气体代谢分析仪,选取心率(HR)、摄氧量(VO₂)、相对摄氧量(VO₂/kg)、呼吸商(R)、能耗(EE)、相对能耗(EE/kg)、代谢当量(METs)等指标 10 s 间隔的均值数据,对每个速度骑行时最后 2 min 的稳态数据进行分析。

1.2.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 统计软件进行统计处理,采用均数±标准差(x±s)描述受试对象的基本情况和能量代谢相关指标。不同性别间的能量代谢指标比较采用独立样本 T 检验,不同体重人群的能量代谢指标比较采用单因素方差分析。P<0.05 为差异具有显著性,P<0.01 为差异具有非常显著性。

2 研究结果

2.1 不同性别普通人群自行车骑行能量消耗

2.1.1 心率

由表 2 可见,男女之间安静 HR 无明显差异,4 种不同骑速时,女性 HR 均高于男性(P<0.01 或 P<0.05)。无论男女,随着骑行速度的增加,HR 均逐渐增加,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,变化最明显,男女 HR 分别增加 18.4 次/min 和 22.1 次/min。

表 2 安静及 4 种不同骑速时 HR(单位:次/min)

Table II HR at Tranquil State and Four Different Riding Speed

	男(N=52)	女(N=48)
安静	80.6±12.3	82.0±14.0
10km/h	100.5±14.8	106.6±15.2*
13km/h	111.3±16.5	121.2±15.5**
15km/h	120.8±18.8	135.1±16.9**
18km/h	139.2±21.0	157.2±18.4**

注:* 男女比较 P<0.05,** 男女比较 P<0.01。

2.1.2 摄氧量和相对摄氧量(摄氧量/体重)

由表 3 可见,在安静及 4 种不同骑速时,女性 VO₂ 均低于男性(P<0.01)。无论男女,随着骑行速度的增加,VO₂ 均逐渐提高,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,VO₂ 增加最明显,男女分别增加 0.38 l/min 和 0.30 l/min。

表 3 安静及 4 种不同骑速时 VO₂(单位:l/min)

Table III VO₂ at Tranquil State and Four Different Riding Speed (l/min)

	男(N=52)	女(N=48)
安静	0.39±0.08	0.29±0.05**
10km/h	0.95±0.18	0.76±0.10**
13km/h	1.14±0.19	0.95±0.14**
15km/h	1.32±0.22	1.10±0.14**
18km/h	1.70±0.26	1.40±0.18**

注:* 男女比较 P<0.05,** 男女比较 P<0.01。

由表 4 可见,排除体重对 VO₂ 的影响,在安静状态时,VO₂/kg 男性高于女性(P<0.01),但是无论何种骑速时,男女之间 VO₂/kg 均无明显差异。随着骑行速度的增加,男、女 VO₂/kg 均逐渐提高,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,增加最明显,分别增加 5.7 ml/min/kg 和 5.3 ml/min/kg。

表 4 安静及 4 种不同骑速时 VO_2/kg (单位: ml/min /kg)Table IV VO_2/kg at Tranquil State and Four Different Riding Speed (ml/min/kg)

	男 (N=52)	女 (N=48)
安静	5.7±0.9	5.2±1.0**
10km/h	13.9±2.0	13.4±2.0
13km/h	16.7±2.2	16.6±2.5
15km/h	19.2±2.3	19.3±2.7
18km/h	24.9±3.2	24.6±3.4

注:* 男女比较 $P < 0.05$, ** 男女比较 $P < 0.01$ 。

2.1.3 呼吸商

由表 5 可见,在安静及 10~15 km/h 骑速时,男女之间 R 值无明显差异,在 18 km/h 时,女性 R 值高于男性($P < 0.01$)。无论男女,随着骑行速度的增加,R 值均逐渐提高,女性在 18 km/h 时,R 值已经超过 1,达到 1.01,机体开始进入由有氧代谢供能为主向无氧代谢供能为主的状态。

表 5 安静及 4 种不同骑速时 R 值

Table V R at Tranquil State and Four Different Riding Speed

	男 (N=52)	女 (N=48)
安静	0.86±0.10	0.88±0.09
10km/h	0.87±0.07	0.88±0.07
13km/h	0.92±0.06	0.94±0.06
15km/h	0.94±0.08	0.96±0.08
18km/h	0.97±0.08	1.01±0.08*

注:* 男女比较 $P < 0.05$, ** 男女比较 $P < 0.01$ 。

2.1.4 能耗和相对能耗(能耗/体重)

由表 6 可见,在安静及 4 种不同骑速时,女性 EE 均低于男性($P < 0.01$)。无论男女,随着骑行速度的增加,EE 均逐渐提高,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,增加最明显,男女分别达到 8.45 kcal/min 和 7.00 kcal/min。

表 6 安静及 4 种不同骑速时 EE (单位: kcal/min)

Table VI EE at Tranquil State and Four Different Riding Speed (kcal/min)

	男 (N=52)	女 (N=48)
安静	1.90±0.36	1.43±0.26**
10km/h	4.64±0.85	3.74±0.49**
13km/h	5.63±0.92	4.69±0.67**
15km/h	6.52±1.04	5.48±0.72**
18km/h	8.45±1.28	7.00±0.89**

注:* 男女比较 $P < 0.05$, ** 男女比较 $P < 0.01$ 。

由表 7 可见,排除体重对 EE 的影响,在安静状态时,EE/kg 男性高于女性($P < 0.01$),但是在 4 种不同骑速时,男女之间无明显差异。无论男女,随着骑行速度的增加,EE/kg 均逐渐提高,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,EE/kg 增加最明显,男女分别达到 123.9 cal/min/kg 和 123.0 cal/min/kg。

表 7 安静及 4 种不同骑速时 EE/kg (单位: kcal/min/kg)

Table VII EE/kg at Tranquil State and Four Different Riding Speed (kcal/min/kg)

	男 (N=52)	女 (N=48)
安静	27.8±4.2	25.2±4.6**
10km/h	67.8±9.8	65.7±9.4
13km/h	82.5±11.0	82.4±12.0
15km/h	95.3±11.5	96.3±13.0
18km/h	123.9±15.9	123.0±16.9

注:* 男女比较 $P < 0.05$, ** 男女比较 $P < 0.01$ 。

2.1.5 代谢当量(MET)

由表 8 可见,在安静状态时, METs 男性高于女性($P < 0.01$),但是在 4 种不同骑速时,男女之间无明显差异。无论男女,随着骑行速度的增加, METs 均逐渐提高,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时, METs 增加最明显,男女均超过了中高强度分界值 6.0 METs,达到 7.10 METs 和 7.01 METs。

表 8 安静及 4 种不同骑速时 METs

Table VIII METs at Tranquil State and Four Different Riding Speed

	男 (N=52)	女 (N=48)
安静	1.63±0.25	1.47±0.28**
10km/h	3.96±0.56	3.84±0.57
13km/h	4.77±0.64	4.75±0.71
15km/h	5.49±0.67	5.53±0.76
18km/h	7.10±0.90	7.01±0.97

注:* 男女比较 $P < 0.05$, ** 男女比较 $P < 0.01$ 。

2.1.6 不同强度(METs)骑行人数及百分比

由表 9 可见,用 MET 表示运动强度,以 10 km/h 骑行时,对于男性来说,均属于 $3 \leq \text{METs} < 6$ 的中等强度运动,但对于女性,有 2 名受试者属于 < 3 METs 的小强度运动;以 13~15 km/h 骑行时,无论男女,对于大部分受试者来说,都属于中等强度运动;而以 18 km/h 骑行时,男女分别有 88.5% 和 89.6% 的受试者属于 ≥ 6 METs 的大强度运动。

表 9 3 类不同强度(METs)人数及百分比

Table IX Number and Percentage of the Subjects with Three Different METs

性别	骑速	< 3 METs		$3 \leq \text{METs} < 6$		≥ 6 METs	
		人数	百分比	人数	百分比	人数	百分比
男	10km/h	0	0.0%	52	100.0%	0	0.0%
	13Km/h	0	0.0%	48	92.3%	4	7.7%
	15Km/h	0	0.0%	40	76.9%	12	23.1%
	18Km/h	0	0.0%	6	11.5%	46	88.5%
女	10km/h	2	4.2%	46	95.8%	0	0.0%
	13Km/h	0	0.0%	46	95.8%	2	4.2%
	15Km/h	0	0.0%	39	81.3%	9	18.8%
	18Km/h	0	0.0%	5	10.4%	43	89.6%



2.2 不同体重普通人群自行车骑行能量消耗

根据中国人BMI标准对受试者进行分组,BMI<18.5 kg/m²为低体重组,18.5 kg/m²≤BMI<24 kg/m²为正常体重组,BMI≥24 kg/m²为超重组,比较不同体重人群的能耗测试结果。

由表 10 可见,总体来说,3类不同体重人群之间,安静及4种不同骑速时的HR、R值均无明显差异,VO₂、EE均为超重人群>正常人群>低体重人群(P<0.01)。在安静状态时,3类不同体重人群之间VO₂/kg、EE/kg、METs均无明显差异,在10 km/h骑速时,超重人群的VO₂/kg、EE/kg、METs均明显低于低体重和正常体重两类人群(P<0.05),在13~18 km/h时,此3项指标总体表现为低体重人群>正常人群>超重人群(P<0.01或P<0.05)。

表 10 不同体重人群安静及 4 种骑速时各能耗指标结果
Table X EE Indicators of the Different Weight Riders at Tranquil State and Four Different Riding Speed

		低体重 (N=13)	正常 (N=65)	超重 (N=22)
HR/(次/min)	安静	85.7±17.7	80.0±11.5	82.5±14.5
	10km/h	109.9±18.6	101.4±13.4	105.8±17.5
	13km/h	123.2±19.4	114.6±15.7	116.2±17.6
	15km/h	136.0±21	126.3±18.5	126.9±19.8
	18km/h	159.4±18.6	147.0±22.2	143.5±20.3*
VO ₂ /(l/min)	安静	0.26±0.04	0.34±0.08**	0.40±0.08***
	10km/h	0.71±0.10	0.84±0.15**	1.00±0.17***
	13km/h	0.88±0.15	1.04±0.19**	1.17±0.15***
	15km/h	1.00±0.13	1.20±0.19**	1.38±0.18***
	18km/h	1.29±0.14	1.54±0.26**	1.74±0.23***
VO ₂ ·kg ⁻¹ (ml/min/kg)	安静	5.4±0.9	5.6±1.0	5.2±0.8
	10km/h	14.7±2.2	13.7±1.9	13.0±1.9*
	13km/h	18.3±3.0	16.8±2.2*	15.3±1.5***
	15km/h	20.8±3.1	19.4±2.4	18.0±1.8**
	18km/h	26.7±2.8	25.0±3.3	22.6±2.3***
R	安静	0.84±0.07	0.89±0.10	0.85±0.08
	10km/h	0.85±0.07	0.89±0.07	0.87±0.07
	13km/h	0.90±0.04	0.94±0.07	0.91±0.06
	15km/h	0.93±0.06	0.96±0.08	0.93±0.07
	18km/h	1.01±0.08	1.00±0.09	0.97±0.07
EE/(kcal/min)	安静	1.28±0.21	1.67±0.36**	1.93±0.36***
	10km/h	3.43±0.48	4.13±0.73**	4.88±0.81***
	13km/h	4.35±0.76	5.14±0.90**	5.78±0.72***
	15km/h	4.96±0.65	5.96±0.93**	6.83±0.89***
	18km/h	6.48±0.74	7.71±1.26**	8.65±1.13***
EE·kg ⁻¹ (cal/min/kg)	安静	26.4±4.1	27.0±4.8	25.0±4.1
	10km/h	71.2±10.9	67.0±9.1	63.6±9.5*
	13km/h	90.0±15.1	83.3±10.6*	75.3±7.3***
	15km/h	102.9±15.6	96.7±11.5	89.0±9.1***
	18km/h	133.9±13.9	125.0±16.4	112.7±11.3***
METs	安静	1.56±0.25	1.58±0.29	1.48±0.24
	10km/h	4.18±0.63	3.91±0.54	3.73±0.55*
	13km/h	5.22±0.85	4.80±0.63*	4.36±0.43***
	15km/h	5.93±0.89	5.55±0.68	5.14±0.51**
	18km/h	7.64±0.79	7.14±0.94	6.46±0.65***

注:*与低体重比较 P<0.05,**与低体重比较 P<0.01;#超重与正常比较 P<0.05,##超重与正常比较 P<0.01。

2.3 中老年骑游队员自行车骑行能量消耗测试结果

由表 11 可见,与普通人群相同,中老年骑游队员在测试过程中,随着骑行速度的增加,气体代谢指标值均逐渐增加,当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,变化最明显。由于这类受试对象最终有效人数只有 7 名,因此无法与 100 名普通人群运用统计学方法进行比较,但是通过数值,我们可以发现各指标骑游队员均低于普通人群。

表 11 中老年骑游队员 4 种不同骑速时能量代谢测试结果(N=7)

Table XI Test Result of Energy Metabolism of the Old Riders with Four Different Speed (N=7)

指标	10km/h	13km/h	15km/h	18km/h
HR/(次/min)	86.9±20.1	93.2±18.5	101.6±18.8	119.8±21.0
VO ₂ /(l/min)	0.63±0.19	0.77±0.14	0.90±0.17	1.17±0.18
VO ₂ ·kg ⁻¹ (ml/min/kg)	10.0±3.1	12.3±2.6	14.5±3.0	18.8±2.7
EE(kcal/min)	3.07±0.93	3.78±0.69	4.49±0.83	6.63±2.6
EE·kg ⁻¹ (cal/min/kg)	48.9±14.5	60.8±12.6	72.0±14.8	94.1±13.4
METs	2.87±0.87	3.52±0.74	4.14±0.87	5.36±0.78

3 讨论

3.1 自行车骑行的能耗特点

物质代谢和能量代谢是机体代谢的两个紧密过程,在能量代谢过程中使各种物质的势能转变为动能,供身体活动或运动。自行车不仅是一种代步工具,同时也可以成为一种低碳环保的锻炼方式,运用气体代谢分析仪准确测量自行车骑行过程中的能量代谢,分析能耗特点,对于科学指导健身骑行具有重要的意义。

研究表明,无论是跑步还是骑车,随着运动强度的增大,HR、VO₂相应增加,机体的总能耗逐渐增加,供能物质参与供能的比例也发生变化,糖参与供能的比例逐渐增加,脂肪参与供能的比例逐渐减少,这些变化与机体输出的功率有密切关系^[1-2]。本研究结果显示,无论是普通人群还是骑游队员,随着骑行速度的增加(10 km/h、13 km/h、15 km/h、18 km/h),输出功率的增大,HR、VO₂、EE、METs等指标均逐渐增加,能耗水平提高。当骑速从 15 km/h 增加到 18 km/h 时,变化最明显,增量最大,提示此处速度递增过程中,应特别注意机体能量代谢拐点的出现,即通常所说的无氧阈(AT, anaerobic threshold),是指在递增运动强度时机体由有氧代谢供能到开始大量动用无氧代谢供能的临界运动强度,此时 R 值等于 1。运动强度超过无氧阈后,机体氧需要量大于氧供给量,细胞进入无氧氧化过程,产生大量的乳酸等酸性物质。本研究结果显示,女性普通人群 18 km/h 骑行时,R 值已经超过 1,机体供能以无氧代谢为主,乳酸加速在肌肉内产生,与血液之间乳酸失衡,肌肉中乳酸逐渐堆积,因此,此速度不适于持续时间较长的中等强度有氧骑行。虽然研究已经证实无氧阈训练对提高高水平运动员的有氧能力甚至比一般有氧训练具有更为重要的作用,但是其对普通骑车人群有氧能力的提高是否有类似效果需要进一步验证。

自行车骑行的能耗大小与人、车及其他外部因素有密切关系,本研究中车及其他外部因素如车型、风速、路面情



况等不在讨论之内。关于性别因素对能耗水平的影响, 聂东升等研究了大学生不同体力活动能量消耗及运动效率, 发现男性慢走(4 km/h)、慢跑(8 km/h)和骑车(12 km/h)的能量消耗显著高于女性, 其中骑车(12 km/h)的能量消耗男性为 17.78 KJ/h/kg, 女性为 15.03 KJ/h/kg^[3]。余丹等的研究也发现中国南方中青年体力活动能量消耗男性高于女性, 其中骑车(12 km/h)的能量消耗男性为 19.83 KJ/h/kg, 女性为 16.99 KJ/h/kg^[4]。单位体重的能耗男性高于女性, 主要是由于男女之间肌肉含量、激素水平及代谢状态的差异决定的。男性肌肉含量、糖参与供能的比例高于女性, 而脂肪参与供能的比例低于女性, 底物代谢的差异可能与肌肉组织中脂质物含量和皮下脂肪组织的动员有关, 交感-肾上腺系统、性激素、肌纤维类型可能对其也有影响^[5]。但王俊等的研究结果显示骑车(12 km/h)时男女之间能量消耗无明显差异(分别为 663.5 kJ/h/m² 和 661.1 kJ/h/m²)^[6]。本研究结果有所不同, 虽然 VO₂、EE 均为男性高于女性, 但是 VO₂/kg、EE/kg、METs 在男女之间均无明显差异。也就是说, 去除体重因素后, 男女之间单位体重的能耗没有明显差异。

Hulens M 等对年龄在 18~65 岁范围内, BMI ≥ 30 kg/m² 和 BMI ≤ 26 kg/m² 不同体重人群的运动能力和能耗进行了研究, Salvadori A 等对 BMI=29.9 kg/m² 肥胖人群和 BMI=22 kg/m² 正常体重人群的运动能力和心肺功能进行了研究, 这些研究结果显示, 无论年龄、性别和肥胖程度, 大体重人群的能耗均高于小体重人群^[7-9]。黎军等随机选择 BMI>25 kg/m²、18.5 kg/m²<BMI<25 kg/m²、BMI<18.5 kg/m², 年龄 20~30 岁的 24 名成年男子为研究对象, 均分为肥胖、正常、消瘦 3 组, 采用气体代谢分析仪进行能量代谢测试, 结果也发现做相同体力活动时, 肥胖者的能量消耗高于消瘦和正常者^[9]。研究认为, 肥胖者能耗增加与体重增大有关^[10], 通常表现为由于功能性残气量减少和胸壁顺应性降低而导致呼吸功能异常^[11-12], 胸壁、腹壁脂肪增厚可能是一个重要原因。另外, 也有研究发现, 次最大强度功率车骑行训练(40 W、60 W、80 W、120 W, 65 转/分, 4 分钟/级)过程中, 休息及各负荷时, 年轻肥胖者(BMI=40.4 kg/m²)能耗均高于年轻正常体重者(BMI=21.7 kg/m²), 但去除脂体重因素后, 两者能耗相对值无明显差异^[36]。我们通过 BMI 进行分组, 对不同体重类型人群的能量消耗进行比较发现, 4 种不同骑速时, VO₂、EE 均为超重人群 > 正常人群 > 低体重人群, 由于相同速度下输出功率相同, 因此, 机械效率(输出功率与能耗的比值)由大到小依次为低体重人群、正常人群、超重人群。但单位体重的结果则有很大不同, 在安静状态时, 3 类不同体重人群之间的相对摄氧量、相对能耗及 METs 均无明显差异, 在 10 km/h 骑速时, 超重人群的 VO₂/kg、EE/kg、METs 均明显低于低体重和正常体重两类人群, 在 13~18 km/h 时, 此 3 项指标总体表现为低体重人群 > 正常人群 > 超重人群, 即单位体重下, 低体重和正常人群的机械效率相对较低, 在相同速度时(绝对强度相同), 需要消耗更多的能量去做功(骑车)。由此可见, 体重是影响自行车骑行时能耗大小的重要因素之一。已有研究表明运动能耗与去脂体重(FFM)呈显著性正相

关^[13-15], 由于本研究未能测试该指标, 无法做进一步分析。

随着年龄的增长, 在中低强度范围相同绝对强度下运动时, 由于神经肌肉协调原因使得肌肉无效能耗增加, 工作效率较低, 机体总能耗增加^[5]。本研究结果显示, 相同速度下, 骑游队员的能耗数值低于普通人群, 分析其原因: (1) 可能与多年长时间有氧耐力锻炼有关。以往研究发现, 机体能耗与体力水平尤其是耐力水平密切相关^[16-18], 耐力水平较高者动员脂肪的能力较强, 在中等强度有氧运动过程中, 脂肪供能参与比例相对较高, 糖供能参与比例相对较低, 运动时的代谢效率和机械效率也较高。(2) 由于经常骑行, 技术动作较普通人群(很少或者不骑车者)娴熟, 技术优化有利于节省每个动作的能量消耗, 减少多余的能量消耗。上述两方面原因促使骑游队员骑行时的机械效率提高, 能耗水平降低。因此, 在包括中老年在内的各人群中推行骑游是推广自行车运动、促进体质增强的一项重要措施。

3.2 中等强度有氧锻炼适宜骑行速度的探讨

运动强度是锻炼的核心要素, 较长时间中等强度有氧锻炼是一种最常见的自行车骑行锻炼手段, 控制适宜的速度(强度)至关重要, 骑行速度太慢, 锻炼效果不佳或者没有; 骑行速度太快, 有氧锻炼就变成了混合甚至无氧锻炼, 不合理的锻炼计划就有可能引起过度疲劳或者运动损伤。只有机体对原来的骑行负荷适应后, 如心率下降、能耗减少、疲劳延迟等, 才能适当增加骑行速度或延长骑行时间。

心率是强度监控的重要指标之一, 一般来说, 最大心率(220-年龄)的 60%~85% 是普通人群有氧运动适宜的心率范围。本次研究结果显示, 男性在 15 km/h 和 18 km/h 骑行时的心率为 120.8 次/min 和 139.2 次/min, 分别达到最大心率的 60.7% 和 69.9%, 女性在 13 km/h 和 15 km/h 骑行时的心率为 121.2 次/min 和 135.1 次/min, 分别达到最大心率的 60.9% 和 67.9%, 均在有氧运动的适宜心率范围, 结合呼吸商等指标, 可以认为男性 15~18 km/h, 女性 13~15 km/h 可以作为自行车较长时间中等强度有氧锻炼骑行速度的参考标准。我们的一项现场拍摄研究结果显示, 上海成年男女日常骑行速度分别为 15.8 km/h 和 15.4 km/h, 基本在本研究的适宜骑行速度范围内。

对于老年骑游队员, 随着年龄的增长, 其心肌收缩力下降, 心功能水平降低, 心率减缓, 建议中等强度有氧骑行时心率监控指标以不超过(170-年龄)为宜, 以 65 岁老年人为例, 在日常有氧骑游过程中, 15 km/h 的速度(对应的 HR 为 101 次/min)是适宜的。我们的一项调查问卷结果也显示上海老年骑游队员日常骑游时平均距离为 23.6 km, 骑行速度平均为 15.2 km/h, 与本研究结果相一致。

由于 HR 易受情绪、外部环境干扰等因素的影响, 而气体代谢分析仪通过一口气法测定的骑行过程中氧气摄入量 and 二氧化碳呼出量等指标相对更为准确, 其间接计算出来的 MET 表示运动强度在国际上得到广泛认可。根据 Pate 等提出的体力活动强度分级标准进行分级: ≥ 6 METs 为高强度体力活动; 3 ≤ METs < 6 为中等强度体力活动; < 3 METs 为低强度体力活动。中等强度体力活动有助于



改善不同年龄人群的体质、健康水平,甚至精神状态^[19]。本研究结果显示,普通人群4种速度自行车骑行时的METs值略高于刘春辉的研究^[20],10~15 km/h骑行时METs值在3~6之间,为中等强度,18 km/h骑行时METs值在7左右,虽然属于高强度范围的下限,但52名男性和48名女性中仍有10%左右的人在此速度骑行时为中等强度运动。因此,以MET表示运动强度时,在参考总体标准的前提下($3 \leq \text{METs} < 6$),也应考虑个体差异,那些健康水平、下肢力量耐力、心肺能力较好的人群可以适当提高骑行速度,需要强调的是在骑行过程中应加强心率监控和主观感觉观察,避免出现乳酸堆积而使得有氧骑行变成了无氧训练。

对于中老年骑游队员来说,13~18 km/h骑行时,在3~6 METs之间的中等强度范围,虽然18 km/h骑速时还没有超过6 METs,但此速度已不适于年龄偏大、心肺功能相对较差的老年队员长时间骑行。

不同体重人群中中等强度有氧骑行时,速度也应该有所区别,对于超重人群来说,18 km/h骑行时的强度为6.46 METs,略微超过中等强度上限,但是同样的速度,低体重和正常体重人群骑行时对应的强度相对较大,分别达到7.64 METs和7.14 METs,因此18 km/h的骑行速度可能不适于后两类特别是低体重人群。

3.3 自行车骑行锻炼方案的推荐

研究发现,每周1 050 kcal的能量消耗可以使得各种因素导致的死亡率下降20%~30%^[21-23]。本研究受试者中,男女分别以18 km/h和15 km/h骑行,每天骑行30 min,每周骑行5 d,则男性每周能量消耗达到1 050 kcal的人数比例为84.6%,即多数男性达到了健身锻炼的要求,而女性没有一个达到1 050 kcal,因此,建议女性适当延长骑行时间。

一个健康的骑行方案包括强度、每次骑行时间、频率、锻炼周期等要素,遵循循序渐进的原则和个体差异。以1名65 kg的男性大学生为例,按每周骑行5 d计算,每天消耗约200 kcal的能量,就可以产生较好的健身效果^[24]。根据本实验结果,若骑行速度为15 km/h,消耗200 kcal能量需要32 min,若骑行速度为18 km/h,则需要25 min,为使健身效果最佳化,根据美国运动医学会(ACSM)和美国疾控中心(CDC)推荐的活动时间,如果没有安排其他有氧锻炼内容,建议每次骑行时间至少为30 min,强度越小时间越长,且每个周期至少持续2~3个月。我们的一项调查问卷显示,上海市20~29岁自行车骑行人群中,多数骑行者每周骑行5 d或以上,骑行速度约为15 km/h,每次骑行时间约为25 min,从理论上讲是可以达到健身锻炼的效果,但实际效果受到多种因素的影响,不得而知。研究发现,运动员所获得的训练效益在停训两周即可出现下降,如心肺功能、能量代谢及骨骼肌代谢的逆向变化,并且随着停训时间的延长,这些变化更加明显^[25]。普通人群通过少量的自行车骑行锻炼就能获得一定的健康益处,但是,与运动员相同,一旦停止锻炼,这种健康效益就会很快逆转。因此,自行车骑行锻炼时,还必须保持长期坚持锻炼的习惯^[26],真正成为生活的一部分。

4 结论与建议

4.1 4种不同骑速时,男性能耗水平大于女性,超重人群>正常人群>低体重人群;单位体重下,男女之间能耗水平无明显差异,低体重人群>正常人群>超重人群。

4.2 男性15~18 km/h,女性13~15 km/h可以作为自行车中等强度有氧锻炼骑行速度的参考标准,但在具体实践过程中也应考虑年龄、超重/肥胖、锻炼水平等个体差异。

4.3 为达到健身锻炼效果,在控制适宜速度的前提下,建议每周骑行5次,每次至少30 min连续骑行,并且保持长期骑行锻炼的习惯。

参考文献:

- [1] Mcdaniel J, Durstine JL, Hand GA, et al. (2002). Determinants of metabolic cost during submaximal cycling[J]. *J Appl Physiol*, 93(2): 823-828.
- [2] 张勇,王恬.不同强度骑车和跑步的能量消耗与底物代谢特征的研究[J].中国体育科技,2009,45(1):111-114.
- [3] 袁林,宋应华,刘心伟,等.不同体重人群爬楼梯过程中能量消耗的测定[J].中国体育科技,2012,48(3):104-107.
- [4] 余丹,曾果,李鸣,等.中国南方中青年体力活动能量消耗研究[J].卫生研究,2010,39(6):715-718.
- [5] 张勇.运动与能量消耗和底物代谢特征研究进展[J].中国运动医学杂志,2010,29(6):722-726,735.
- [6] 王俊,管有志,许佳章,等.深圳成年人部分体力活动能量消耗的测定研究[J].营养学报,2011,33(4):411-415.
- [7] Hulens M, et al. (2001). Exercise capacity in lean versus obese women[J]. *Scand J Med Sci* (11): 305-308.
- [8] Salvadori A, et al. (1999). Oxygen uptake and cardiac performance in obese and normal subjects during exercise[J]. *Respiration*, (66): 25-33.
- [9] 黎军,曾果,张磊,等.不同体脂含量成年男子能量代谢研究[J].营养学报,2007,29(2):118-121.
- [10] Whipp BJ, Davis JA. (1984). The ventilatory stress of exercise in obesity[J]. *Am Rev Respir Dis*, 129(suppl): S90 - S92.
- [11] Ray CS, Sue DY, Bray G, Hansen JE, Wasserman K. (1983). Effects of obesity on respiratory function[J]. *Am Rev Respir Dis*, 128: 501 - 506.
- [12] Naimark A, Cherniack RM. (1960). Compliance of the respiratory system and its components in health and obesity[J]. *J Appl Physiol*, 15: 377 - 382.
- [13] Goran MI, Poelman ET. (2003). Determinants of decline in resting metabolic rate in aging female[J]. *AM J Physiol*, 264 (10): 450-454.
- [14] 王欢.场地自行车能量消耗的测量研究[C].2010年科学健身与增强体质论文集,2010:492.
- [15] McMurray, R. G. (2003). Factors contributing to the energy expenditure of youth during cycling and running[J]. *Pediatric Exercise Science*, 15(1): 67-82.
- [16] Mcdaniel J, Durstine JL, Hand GA, et al. (2002). Determinants of metabolic cost during submaximal cycling[J]. *J Appl Physiol*, 93(2): 823-828.



- [17] Bergman BC and Brooks GA. (1999). Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men[J]. *J Appl Physiol*, 86(2): 479-487.
- [18] Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, et al. (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women[J]. *Eur J Appl Physiol*, et al. 98(5):497-506.
- [19] Pate RR, Pratt M, Blair SN. (1994). Physical activity and public health: a recommendation from the Centres for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine [J]. *JAMA* 273: 402-407.
- [20] 刘春晖,盛蕾,汤强. 自行车不同骑速能量消耗特征研究[J]. 南京体育学院学报(自然科学版), 2012, 11(2): 1-3.
- [21] Haskell WL, Wolfe JB. (1994). Memorial lecture. Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 26: 649-660.
- [22] US Department of Health and Human Services. Physical activity and health: a report of the Surgeon General. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, 1996.
- [23] Lee IM, Skerrett PJ. (2001). Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 33: S459-471.
- [24] 张春华, 陈文鹤, 陈佩杰, 等. 不同体育健身项目能量消耗研究及应用——上海市市民体育健身项目锻炼指南的研制[J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26(1): 76-78.
- [25] 王蕴红, 蔡明明, 梁蕾, 等. 运动员停训后心肺功能、能量代谢和骨骼肌代谢的变化[J]. 西安体育学院学报, 2004, 21(1): 62-64.
- [26] DETR, 1999. Cycling for Better Health. Traffic Advisory Leaflets 12/99.

(责任编辑:何聪)

(上接第 22 页)

的规格要求对上海体育学院现有的中央足球场进行全面改建;加大对上海市英式橄榄球队的扶持力度,使之首先能尽快扩大队伍规模,形成一线、二线、三线队员配备合理的构架。(2)在训练装备、营养、竞赛经费、成绩奖励等方面给予全力保障,使运动员能始终保持旺盛的训练热情,也令教练员得以无后顾之忧,为球队整体竞争力的逐年提升奠定基础。(3)优化上海市英式橄榄球队的内部管理和文化学习激励机制。针对队员属学生运动员的特点,一方面鼓励他们正确处理好学训矛盾,在积极投入日常训练的同时,充分利用好空余时间补习文化知识,力争训练与学习的效率都最大化;另一方面上海体育学院有关职能部门应酌情为队员提供必要的政策优惠,帮助他们顺利完成学业。

参考文献:

- [1] 陈健.中国橄榄球运动的现状分析与建议[J].军事体育进修学院学报, 2010(02):58-60.

- [2] 常冬青.探析中国传统文化对国内橄榄球运动发展的影响[J].佳木斯教育学院学报, 2012(10):383-384.
- [3] 孙景科.橄榄球运动对中学体育文化的影响[J].青少年体育, 2013(04):80-81.
- [4] 吴卫.英式橄榄球运动简介[J].中国学校体育, 1992(01):59-60.
- [5] 陈晓明.七人制英式橄榄球运动在我国高校开展现状与发展前景探讨[D].重庆大学, 2011.
- [6] (美)鲍布·依塔莉雅著,潘演强译.回眸橄榄球[M].成都时代出版社, 2004.
- [7] 万芹.上海市壁球运动发展现状调查及推广研究[D].华东师范大学, 2007.
- [8] 车树国.高校开设触式橄榄球课程的价值与策略[J].当代体育科技, 2013(13):90-92.

(责任编辑:杨圣韬)