

## 한국 남자 대학생을 대상으로 시행한 Cardiopulmonary Exercise Test에서 Treadmill과 Cycle Ergometer의 비교 분석

연세대학교 의과대학 내과학교실, 호흡기내과

장윤수, 박재민, 최승원, 안강현, 이준구, 양동규,  
김세규, 장 준, 안철민, 김성규, 이원영

= Abstract =

### Comparison of Treadmill and Cycle Ergometer in Male Korean College Students

Yoon Soo Chang, M.D., Jae Min Park, M.D., Seung Won Choi, M.D.,  
Gang Hyun Ahn, M.D., Jun Gu Lee, M.D., Dong Kyu Yang, M.D.,  
Sekyu Kim., M.D., Jun Chang, M.D., Chul Min Ahn, M.D.,  
Seong Kyu Kim, M.D., Won Yong Lee, M.D.

*Division of Pulmonology, Department of Internal Medicine Severance Hospital,  
Yonsei University, Seoul, Korea*

**Background :** Generally  $VO_2$  max is higher in treadmill exercise than cycle ergometer exercise. According to Hassen and Wasserman,  $VO_2$  max with treadmill exercise is higher at ratio of 1.11 than that with cycle ergometer.  $VO_2$  max also is influenced by race, sociocultural background, exercise habit. In this study,  $VO_2$  max and AT were evaluated between Treadmill and cycle exercise in male Korean college students.

**Method :** Study subjects were 44 male college students. We randomized them into 2 groups ; 24 students did treadmill exercise at first and 1 week later did cycle ergometer. Another 20 students did in opposite method. They made symptom limited maximal exercise. Author defined maximal exercise as followings : 1) respiratory exchange ratio(RER)>1.1, 2) plateau>30 sec, 3) heart rate reserve(HRR)<15%, or 4) breathing reserve (BR)<30%. Otherwise their results are excluded as submaximal exercise. Anaerobic threshold(AT) was estimated by V-slope method.

**Results :**  $VO_2$  max and AT was  $45.1 \pm 6.66 \text{ ml/kg/min}$  and  $26.0 \pm 6.78 \text{ ml/kg/min}$  in treadmill and  $34.9 \pm 5.89 \text{ ml/kg/min}$ ,  $19.5 \pm 4.77 \text{ ml/kg/min}$  in Cycle Ergometer. The measured- $VO_2$ max/pred- $VO_2$ max was  $98.8 \pm 13.24 \%$  in treadmill ;  $84.4 \pm 13.42 \%$  in cycle ergometer. Comparing  $VO_2$  max in treadmill with that obtained by Hassen's method, there were significant differences.( $p < 0.01$ ). At maximal exercise there were differences

in HRR,  $O_2$ /pulse, BR,  $V_E$ /MVV,  $V_E$ /VCO<sub>2</sub> between treadmill and cycle but not in  $V_E$ /VO<sub>2</sub>, Vd/Vt, Ti/Ttot. At AT there were differences in  $O_2$ /pulse, BR,  $V_E$ /MVV, Ti/Ttot between treadmill and cycle, otherwise not.

**Conclusion :** According to the result of this study, there are larger gap between treadmill and cycle ergometer in normal Korean adults than foreign data, and it needs further study to obtain reference value of Korea. (Tuberculosis and Respiratory Diseases 1999, 47 : 26-34)

**Key words :** Cardiopulmonary exercise test, Treadmill, Cycle ergometer.

## 서 론

심폐 운동 검사를 통한 최대 산소 섭취량(Maximal Oxygen Uptake ; VO<sub>2</sub> max)과 무산소 역치(Aerobic threshold : AT)의 측정, 심폐 질환의 진단, 질환의 중증도 평가, 예후의 판단 및 폐절제 범위의 결정 등에 있어 중요한 지표가 된다. 심폐 운동 검사시 운동의 방법으로는 답차나 자전거를 이용하는 것이 보편적인데, 운동 방법은 최대 산소 섭취량과 무산소 역치에서의 산소 섭취량에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나로 여겨지고 있다.

최대 산소 섭취량은 일반적으로 답차 운동시 자전거 운동 보다 높게 측정이 되는데, Hassen과 Wassermann 등은 답차 운동시 자전거 운동 보다 약 1.11 배정도 높게 측정된다고 하였으며<sup>9-11)</sup> 연구자에 따라서 약 6% ~ 25% 까지 차이가 있음을 보고하고 있다<sup>12)</sup>. 현재 우리 나라에서는 외국의 자료에 근거한 최대 산소 섭취량의 예측치를 참고하여 분석에 이용하고 있는데, Wassermann 등, Brakie 등, Jone 등이 제시한 예측치를 참고로 이용하고 있다. 그러나 최대 산소 섭취량은 나이, 성별, 키, 체중 등 뿐 만 아니라

인종에 따라 영향을 받을 수 있음이 알려져 있고 사회 체육적인 요소, 개개인의 운동 습관이나 생활 습관 등에 의해 영향을 받는데, 국내의 경우 분석시 정상 한국인에 대한 예측 참고치에 대한 자료가 부족하여 임상에 이용되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 한국 대학생을 대상으로 답차와 자전거를 이용하여 운동을 시행 후 각각의 최대 산소 섭취량, 무산소 역치에서의 산소 섭취량 및 기타의 측정치 및 현재 임상에서 참고값으로 이용되고 있는 예상치를 비교하여 분석하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 대 상

건강한 의과 대학 남학생 44명을 대상으로 하였다. 이들은 모두 심폐 질환 및 기타의 전신 질환의 기왕력은 없었으며 흡연력은 대상군 44명 중 7명에서 흡연력이 있었으며 이들 흡연력의 중앙값은 4.0±1.77 pack year이었다. 신체적 조건과 안정시 폐기능 검사의 검사소견은 Table 1과 같다.

**Table 1.** Physical characteristic and resting pulmonary function test of subjects

Physical	Characteristics	Pulmonary	Function test (%)
Age	24.0±1.39 year	VC	4.743±0.455 (107.3±10.25)
Height	174.4±4.74 cm	FEV <sub>1</sub>	4.14±0.426 (111.5±11.15)
Weight	69.5±9.05 kg	MVV	175.9±24.98 (155.5±13.67)
BMI	22.8±2.86 kg/m <sup>2</sup>		
Smoking	4.9±1.77 Pack Year		

BMI=body mass index

Values are expressed as mean +/- SD.

## 2. 방법

학습에 의한 효과를 배제하기 위하여 44명을 2군으로 무작위로 분류하였다. 이 중 24명은 우선 Jas Fitness System의 모델 TM310/R/A(Trackmaster Incorporation, New York, USA)를 이용하여 증상 제한적 최대 운동을 시행하였다. 1주일 후 Cardio<sub>2</sub><sup>TM</sup> cycle exercise Dynamometer(Medigraphics®, St. Paul, MN USA)를 이용하여 증상 제한적 최대 운동을 시행하였다. 나머지 20명은 동일한 프로토콜로 반대의 순서로 운동을 시행하였다.

모든 예에서 운동 전에 Cardio<sub>2</sub><sup>TM</sup> combined VO<sub>2</sub>/ECG exercise system(Medigraphics®, St. Paul, MN, USA)에 내장되어 있는 spirometer로 안정시 폐기능 검사를 시행하여 최대 폐활량(FVC), 1초간 최대 호기량(FEV<sub>1</sub>) 및 최대 환기량(MVV)을 측정하였다. 모든 운동은 자체 프로그램에 따른 ramping protocol로 시행되었다.

호흡 교환비(Respiratory Exchange Ratio : RER)가 1.1을 초과하여 운동한 경우, 최대 산소 섭취량이 30초 이상 평점(plateau)을 이룬 경우, 최대 운동시 심박 예비율(Heart rate reserve : HRR)이 15% 미만, 호흡 예비율(Breathing reserve : BR)이 30% 미만인 경우 등을 최대 운동으로 정의하였으며 이들 중 한가지라도 충족시키지 못한 경우에는 피험자가 최대 운동을 하지 않은 것으로(submaximal exercise) 간주하여 분석에서 제외하였다.

AT는 V-slope method로 통일하여 구하였고 측정치와 예측치의 분석은 동일사의 Cadiorespiratory Diagnostic Software인 Breeze Ex v 3.04<sub>A</sub>를 이용하였는데 예측치는 55세 이하인 경우는 Wasserman 등, 55세 이상인 경우는 Brakie 등, body mass index가 28 kg/m<sup>2</sup> 이상인 비만인 경우는 Jone 등이 제시한 방법들에 따라 구하였다.

모든 측정값의 답차와 자전거간의 차이(difference)는 (Treadmill-Cycle)/Treadmill×100으로 구하였으며, HRR은  $\{1-(HR_{max}/pred HR$

$max)\} \times 100$ , BR은  $\{1-(V_{E_{max}}/pred V_{E_{max}})\} \times 100$ 으로 구하였다. 본 연구에서 두 운동 방법간 차이는 paired t-test로 구하였고 p-값이 0.05미만인 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 하였다.

## 결 과

전체 44명의 피험자 중 7명의 답차 또는 자전거 운동 결과가 최대 운동 기준을 만족시키지 못하여 자료 분석에서 제외되었다. 따라서 37명의 운동 검사 결과를 분석하였다.

운동 순서를 달리 하였던 두 군의 AT에서의 산소 섭취량과 최대 산소 섭취량의 차이는 없어 학습에 의한 효과는 없었다. 흡연력이 있었던 군과 없는 군간의 최대 산소 섭취량의 차이는 통계적 의미가 없었다.

답차 운동에서 운동 중단의 원인은 하지의 통증 및 약화가 15명, 호흡곤란이 14명, 전신의 피로감이 3명이었다. 자전거 운동시에는 하지의 통증 및 약화가 30명으로 상대적으로 많았으며 호흡곤란, 전신 피로감, 구갈증 2명 순이었다(Table 2).

답차 운동에서 최대 산소 섭취량과 AT에서의 산소 섭취량은 각각  $45.1 \pm 6.66$  ml/kg/min,  $26.0 \pm 6.78$  ml/kg/min이었다. 자전거 운동에서는 각각  $34.9 \pm 5.89$  ml/kg/min,  $19.5 \pm 4.77$  ml/kg/min이었다. 답차를 이용한 경우가 자전거를 이용한 경우에 비해

**Table 2.** Subjective exercise-limiting symptoms between cycle ergometer and treadmill exercise group

	Treadmill	Cycle ergometer
Leg pain	16	32
Dyspnea	15	2
General fatigue	3	2
Abdominal discomfort	2	0
Chest discomfort	1	0
Thirsty	1	2
Dizziness	1	1

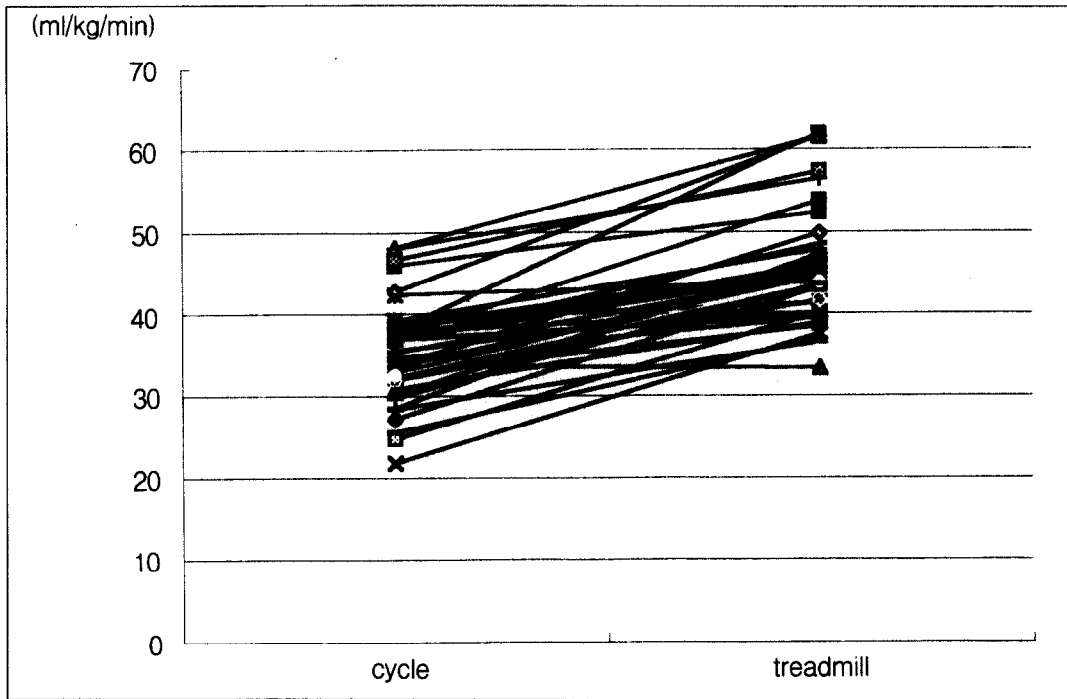


Fig. 1.  $VO_2$  max of cycle ergometer and treadmill.  $VO_2$  max with treadmill was higher than that of cycle ergometer ( $p < 0.01$ ).

무산소역치 및 최대 운동시 모두에서 그 값이 컸으며, 그 차이는 최대 운동시에서는  $21.9 \pm 10.68\%$ , AT에서  $22.5 \pm 21.17\%$ 이었다(Fig 1, 2). 각각의 운동시 얻어진  $VO_2$  max를 Hassen 등이 제시한 공식으로서 얻은 예측치에 대한 백분율로 각각 나타내었을 때 답차 검사시  $98.8 \pm 13.24\%$  이었으며, 자전거의 이용시  $84.4 \pm 13.42\%$  로 두 운동 방법간에는 예측치에 대한 백분율도 유의한 차이가 있었다.

Hassen 등에 의하면 자전거 운동시 얻어진  $VO_2$  max에 1.11을 곱하여 답차 운동시의  $VO_2$  max 값을 예측할 수 있다고 하였다. 이러한 방법으로 얻은 예측치와 실제 답차 운동시 측정된  $VO_2$  max를 서로 비교하였을 때 두 값간의 차이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.01$ ).

본 연구에서 자전거와 답차 운동시 측정된 최대 산소 섭취량을 이용 선형 회귀분석을 시행하였을 때 회

귀식의 상수 값은 17.35 이었고 회귀계수는 0.714 이었다( $y = 17.35 + 0.714 \times x$ ). AT의 회귀식의 상수 값은 14.21, 회귀계수는 0.606이었다( $y = 14.21 + 0.606 \times x$ ). 자전거와 답차의 최대 산소 섭취량을 단순히 그 비로만 나타내었을 때 답차를 이용하여 얻은 값이  $1.3 \pm 0.18$  배 더 크게 나왔다.

운동 시점에서의 맥박수의 예비능을 반영하는 HRR은 두 운동방법에 따른 차이가 무산소 역치에서는 통계적으로 유의하지는 않았으나 최대 운동시 자전거에서 답차 운동시보다 컸으며, 무산소 역치에서는 6.7%에 불과하였던 차이가 최대 운동시에서는 63.3%로 커짐을 알 수 있었다. 반면  $O_2/pulse$  는 무산소 역치 및 최대 운동시 모두 답차 운동시에 자전거 운동시보다 컸지만 무산소 역치에서는 12.6% 최대 운동시에서는 13.1%로 운동의 진행에 따르는 차이는 크지 않았다(Table 3).

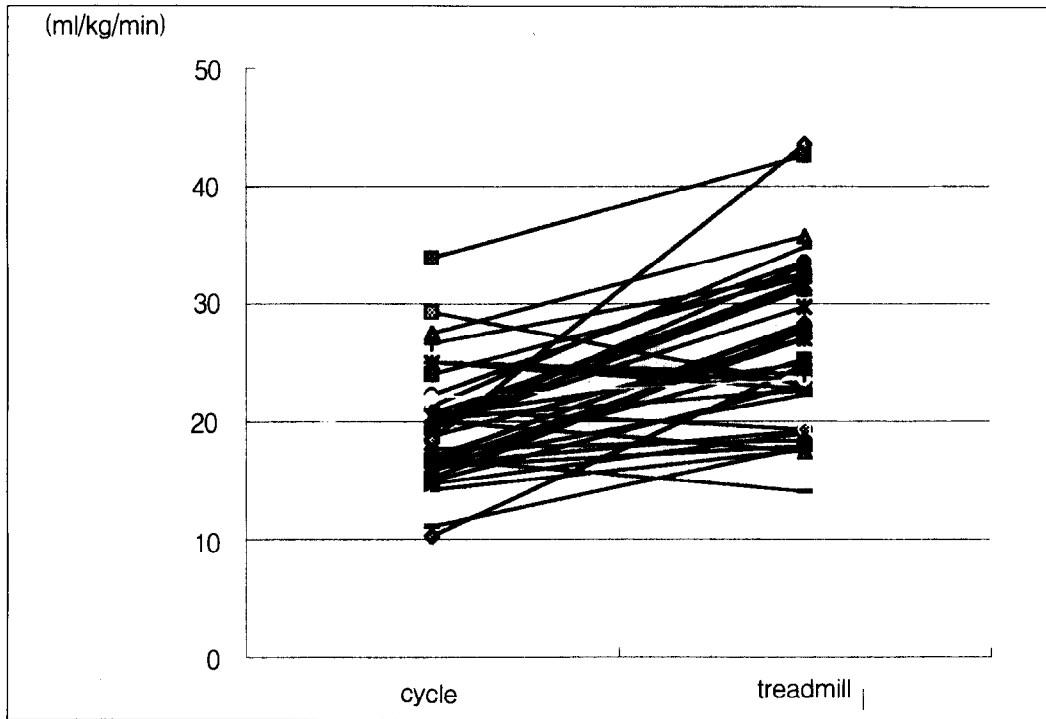


Fig. 2. Oxygen uptake at anaerobic threshold. At AT oxygen uptake with treadmill exercise was higher than that of cycle ergometer( $p=0.04$ ).

Table 3. Difference of heart rate reserve(HRR) and  $O_2$ /pulse between treadmill and cycle ergometer

		Cycle ergometer	Treadmill	Difference(%)	p value
HRR	AT	$62 \pm 12.95$	$56.6 \pm 20.39$	$6.7 \pm 34.94$	0.12
	max	$24.1 \pm 11.26$	$11.2 \pm 16.10$	$63.3 \pm 94.21$	<0.01
$O_2$ /pulse	AT(%)	$11.0 \pm 1.76(76.1 \pm 12.39)$	$12.6 \pm 2.17(79.3 \pm 12.39)$	$12.6 \pm 2.18$	<0.01
	max(%)	$14.5 \pm 2.01(100.3 \pm 4.29)$	$17.0 \pm 2.78(106.1 \pm 16.78)$	$13.1 \pm 12.83$	<0.01

Heart reserve(HRR) is calculated as follows ;  $HRR = (1 - (HR_{max}/pred\ HR_{max}))$

환기 예비능을 반영하는 BR의 두 운동방법에 따른 차이가 무산소역치에서는  $9.2 \pm 9.96$ 이며 최대 운동시에서는  $32.5 \pm 21.17$ 로 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 하지만  $V_E/MVV$ 와  $T_i/T_{i0}$ 의 차이는 최대 운동으로 진행하더라도 더 커지지는 않았다.  $V_E/VO_2$ 의 두 운동방법에 따른 차이는 최대 운동으로 갈수록 점차 커지는 것을 볼 수 있었으나 그 차는 통계적으로

유의하지 않았던 반면  $V_E/VCO_2$ 의 값은 최대 운동시에 확연하게 차이가 남을 관찰할 수 있었다(Table 4).

## 고 찰

정상인에서 최대 산소 섭취량( $VO_2\ max$ )은 답차를 이용하여 얻은 값이 자전거를 얻은 경우보다 높은 값

**Table 4.** Difference of breathing reserve,  $V_E/MVV$ ,  $V_E/VO_2$ ,  $V_E/VCO_2$ ,  $V_D/V_T$  between treadmill and Cycle ergometer

		Cycle	Treadmill	Difference	p value
BR	AT	79.4 ± 5.13	72.1 ± 8.65	9.2 ± 9.96	<0.01
	max	52.3 ± 8.74	34.8 ± 10.47	32.5 ± 21.17	<0.01
$V_E/MVV$	AT	0.19 ± 0.049	0.26 ± 0.076	21.2 ± 24.51	<0.01
	max	0.45 ± 0.088	0.59 ± 0.100	23.5 ± 16.92	<0.01
$Ti/T_{tot}$	AT	0.46 ± 0.040	0.48 ± 0.041	4.12 ± 11.73	0.03
	max	0.47 ± 0.036	0.48 ± 0.044	3.05 ± 12.658	0.10
$V_E/VO_2$	AT	25.1 ± 3.19	25.2 ± 3.24	0.95 ± 14.904	0.93
	max	32.5 ± 4.43	34.2 ± 5.32	3.15 ± 17.260	0.06
$V_E/VCO_2$	AT	26.4 ± 3.08	26.5 ± 2.60	0.13 ± 11.882	0.83
	max	26.4 ± 2.92	29.2 ± 4.01	8.29 ± 13.132	<0.01
$V_d/V_t$	AT	0.19 ± 0.045	0.17 ± 0.055	10.20 ± 33.155	0.13
	max	0.14 ± 0.046	0.13 ± 0.059	3.84 ± 50.024	0.13

Breathing reserve (BR) is calculated as follows ;  $BR = (1 - V_E \text{ max} / \text{pred. } V_E \text{ max})$

을 얻게 된다는 것은 이미 알려져 있는 사실이지만 이 차이는 보고자들에 적게는 6%에서 많게는 25%까지 다르게 보고되고 있다<sup>12)</sup>.

Hermansen 등은 젊은 운동 선수를 대상으로 했을 때 최대 산소 섭취량이 답차 운동과 자전거 운동에서 약 8% 정도의 차이를 보였다고 하며, 규칙적인 운동을 하지 않는 대학생에서는 그 차이가 10% 정도였다고 보고하였다<sup>13)</sup>. 그 이유에 대해서는 이견이 많은데 Faulkner 등은 자전거 운동시에는 걷거나 달리기 할 때 보다 근육이 수축되어 있는 시간이 더 길어 근혈류 장애에 의한 정맥 환류량의 감소와 확장기 중만 시간의 단축으로 인해서 심박출량이 달리기 때 보다 적기 때문일 것이라고 하였다<sup>14)</sup>. 또 Miyamura 등은 자전거 운동시 하지의 피로가 타 장기에 비해 조기에 발생하여 심박수의 증가가 답차에 비해 적으므로 심박출량의 증가가 적고 운동에 이용되는 근육량이 답차에서보다 적으므로 동맥혈 산소 분압차가 답차법보다는 적다는 이유 등을 들어 자전거에서의 최대 산소 섭취량이 답차보다 적다고 하였다<sup>15)</sup>. Glassford 등은 답차에서 이용되는 총 근육군이 자전거에서 보다 크고 pedal-

ing은 하지에 국소적인 극심한 피로를 유발한다는 것은 답차에서 나타나는 전신적인 피로와는 달리 심폐 계통에 큰 반응을 유발하지 못한다는 점등이 답차 운동시 최대 산소 섭취량이 많은 이유라고 하였다<sup>16)</sup>.

우리 나라에서도 1967년 이 등의 연구를 시작으로 심폐 운동 검사를 이용하여 최대 산소 섭취량에 대한 연구를 비교적 활발히 진행되고 있다<sup>1-5)</sup>. 1967년 이 등의 20세에서 25세 사이의 남자 의과 대학생 23명을 대상으로 한 '한국인 청년 남녀의 최대 산소 섭취량에 관한 연구'에서 이들의 최대 산소 섭취량은  $54.2 \pm 1.49 \text{ ml/kg/min}$ 이었다<sup>1,2)</sup>. 1986년 심 등의 '정상 한국 남자의 운동 부하 시험과 산소 섭취량에 관한 연구'에서는 표본 집단 중 20대의 남자 23명은 의과 대학생, 의사 및 회사원으로 구성되어 있었으며 이들의 최대 산소 섭취량은  $39.6 \pm 4.38 \text{ ml/kg/min}$ 이었으며 AT에서의 산소 섭취량은  $1.50 \pm 0.32 \text{ L/min}$ ( $56.6 \pm 8.22\%$ )이었다<sup>4)</sup>. 기존의 두 연구간에 최대 산소 섭취량의 차이의 여러 이유 중 하나는 전자는 답차를 이용한 연구이었으며 후자는 자전거를 이용한 연구라고 생각된다. 1995년 김 등이 발표한 '답차 및 자전거

Ergometer 운동 부하검사의 비교 관찰'에서는 23세에서 36세 사이의 스포츠 센터 남자 근무자들을 대상으로 하였다. 이 연구에는 최대 산소 섭취량이 답차시  $56.66 \pm 6.730$  ml/kg/min, 자전거 이용시  $46.97 \pm 6.270$  ml/kg/min이었다(이 연구에서는 AT에서의 비교는 시행하지 않았다). 여기서 얻어진 산소 섭취량은 본 연구에서 얻어진 값보다도 크게 나왔으나 두 운동 방법간의 difference는 당시  $16.8 \pm 8.84$  %로 본 연구에서 얻어진 값보다는 적었다<sup>6)</sup>. 박 등이 1999년 결핵 및 호흡기 질환에 보고한 '호흡기 질환환자에서 자전거 타기와 답차를 이용한 운동 부하 폐기능 검사의 비교'에서 Vd/Vt를 제외한 대부분의 parameter가 서로 차이가 있다는 점에서 본 연구와 일치하였다. 하지만 O<sub>2</sub>/pulse는 본 연구에서는 차이가 있는 것으로 나왔던 반면 상기 연구에서는 차이가 없는 것으로 나왔다<sup>7)</sup>.

현재 국내 임상에서 이용되고 있는 전산화된 심폐 운동 기구들은 참고치로 국내 자료가 아닌 외국의 자료를 이용하고 있다. 본원에서 사용하고 있는 미국 Medigraphics®사의 CardiO<sub>2</sub>™ combined VO<sub>2</sub>/ECG exercise system 은 동일 회사의 Cadiorespiratory Diagnostic Software인 Breeze Ex v 3.04<sub>A</sub>를 채택하고 있는데, 이 프로그램은 Hassen과 Wassermann 등이 제시한 예측 공식을 근간으로 하고 있다. 본 연구의 대상이 건강한 성인들로 구성되어 있어 답차 운동시 측정치와 이들의 공식을 이용한 예측치는 비교적 근접하는 것을 관찰할 수 있었으나 자전거 운동시 측정된 최대 산소 섭취량은 예측치의 평균 84.4%에 불과하며 무산소 역치에서의 산소 섭취량도 예측치 47%로서 외국의 자료에 비해 낮게 측정됨을 볼 수 있었다.

자전거 운동에서 최대 산소 섭취량이 외국의 자료에 비해 낮게 나오는 것에 대해 여러 의문이 제시되었는데 그 중 자전거에서의 운동량이 적지 않았느냐가 중요하게 다루어 졌었다. 피험자들이 증상 제한적 최대 운동을 시행하였느냐 아니냐의 척도 중 RER이 1.11의 초과 여부가 흔히 쓰이는 것 중의 하나이다. 자전

거를 이용한 연구에서 RER 을 구하지 못한 2명을 제외한 모든 사람에서 1.11을 초과하였으며 평균값은  $1.24 \pm 0.074$ 이었다. 답차를 이용한 검사에서 RER이 1.11을 초과하지 못하였던 사람은 4명이었으며 대상 환자들의 RER의 평균값은  $1.18 \pm 0.060$  이었다. 오히려 자전거를 이용한 검사에서의 RER은 답차를 이용한 경우보다 유의하게 RER값이 컸었다( $p < 0.01$ ). 이러한 결과는 답차검사와 자전거 검사에서 RER의 차이는 없다는 McArdle 등<sup>17)</sup>의 연구와 상반되는 결과이지만 자전거 검사에서 RER이 오히려 높고 최대 산소 섭취량은 반대로 적었다. 최대 운동을 판단함에 있어 RER값과 함께 널리 쓰이고 있는 것으로는 증상 제한 운동의 시점에서 점차적인 운동량의 증가에도 산소 섭취량이 30초 이상 증가하지 않는 평점(plateau)을 이루었느냐가 사용되고 있다. 본 연구에서 자전거에서 이러한 평점을 이룬 대상은 19명이었으며 그 때의 최대 산소 섭취량은  $33.7 \pm 5.52$  ml/kg/min( $81.0 \pm 14.84$  %)이었고 이루지 못한 사람은 18명으로서 최대 산소 섭취량은  $36.9 \pm 6.46$  ml/kg/min( $89.4 \pm 11.89$  %)이었다. 평점을 이룬 군과 이루지 못한 두 군간에 VO<sub>2</sub> max에 대한 예측치의 차이는 없었다( $p = .06$ ). 답차 검사에서도 평점을 이룬 30명의 최대 산소 섭취량은  $45.0 \pm 6.67$  ml/kg/min( $98.6 \pm 13.09$  %)이었고 이루지 못한 사람은 7명의 최대 산소 섭취량은  $47.8 \pm 8.55$  ml/kg/min( $103.8 \pm 17.34$  %)으로 이 두 군간에서도 예측치에 대한 차이는 없었다( $p = .38$ ). 평점을 얻은 사람이 자전거 보다 답차 검사시에 더 많았다. 하지만 자전거 운동군 내에서 평점의 획득 유무와 최대 산소 섭취량간의 통계적 차이는 없어 RER이 1.11 이상이지만 평점을 이루지 못하였다고 최대 운동에 도달하지 못하였다고(submaximal exercise) 보기는 어려울 것으로 생각된다.

현재 쓰이고 있는 최대 운동의 기준은 증상 제한적 최대 운동시, RER이 1.11을 초과하여 운동한 경우나 VO<sub>2</sub> max가 30초 이상 평점을 이룬 경우나. 최대 운동시 Heart rate reserve가 15% 미만, Breath-

ing reserve가 30% 미만인 경우 중 하나 이상으로 정의하고 있다<sup>8)</sup>. 이중 정상인에서 널리 쓰이는 최대 운동의 기준인 RER, 평점 등을 분석해 보았을 때 대상군이 최대 운동을 하였다고 보는데는 모순이 없는 것으로 사료된다.

Hassen등은 답차 운동시에 최대 산소 섭취량의 예측치로 자전거 운동에서 의 예측치에 변환 계수인 1.11을 곱하여 얻은 값으로 정하였는데, 본 연구에서는  $1.3 \pm 0.18$  배인 것을 볼 수 있었다. 더우기 이러한 결과가 자전거와 더 친근하게 지냈을 것으로 생각되는 젊은 남성에서 얻었다는 것은 공식을 국내에서 그대로 적용하기에는 문제가 있을 것으로 생각된다.

현재 질환의 진단, 장애 정도의 판정 및 치료의 경과 관찰 등에 있어 심폐운동검사는 점차 이용이 확대되고 있으나 정상 한국인에 대한 자료는 많지 않으며 AT에 서의 참고치는 매우 부족한 상황이다. 국내의 대부분 병원에서 서구의 자료를 참고값으로 삼고 있는 실정이다. 본 연구에서 보았듯이 답차와 자전거 사이의 차이가 크므로 결과의 해석에 이용시 유의해야 할 것이며, 향후 한국인에서 적용할 수 있는 참고치를 구하려는 노력이 필요할 것으로 여겨진다.

## 요 약

### 연구배경 :

최대 산소 섭취량( $VO_2 \max$ )은 답차 운동시 자전거 시 보다 높게 측정이 되는데, Hassen과 Wasserman 등에 의하면 답차 시 약 1.11배 정도 높게 측정된다고 하였다.  $VO_2 \max$ 는 나이, 성별, 키, 체중 등 뿐만 아니라 인종, 사회문화적 배경 및 운동 습관에 따라서도 영향을 받을 수 있음이 알려져 있다. 본 연구에서는 한국 대학생 연령의 성인을 대상으로 답차와 자전거 운동시  $VO_2 \max$ 와 무산소 역치에서의 산소 섭취량(AT)을 측정, 비교하였다.

### 방 법 :

1998년 6월부터 9월까지 연세대학교 의과대학에 재학중인 남학생 44명을 대상으로 하였다. 이들을 무

작위로 2군으로 나누어 24명은 답차를 우선 시행 후 1주일 후 자전거로 운동을 시행하였고 20명은 자전거를 우선 시행 후 답차를 시행하였다. 증상 제한적 최대 운동 시행토록 하였으며, 최소한 호흡 교환비(RER)가 1.1을 초과한 경우, 최대 산소 섭취량이 30초 이상 평점을 이룬 경우, 최대 운동시 심박 예비율이 15% 미만이거나 또는 호흡 예비율이 30% 미만일 경우를 최대 운동으로 정의하였고 이들 중 한가지라도 충족시키지 못한 경우에는 최대운동을 하지 않은 것으로(submaximal exercise) 간주하여 연구에서 제외하였다. AT는 V-slope method로 구하였다.

### 결 과 :

답차 운동시의  $VO_2 \max$ 와 AT의 값은 각각  $45.1 \pm 6.66 \text{ ml/kg/min}$ ,  $26.0 \pm 6.78 \text{ ml/kg/min}$ 이었으며, 자전거 운동시에는 각각  $34.9 \pm 5.89 \text{ ml/kg/min}$ ,  $19.5 \pm 4.77 \text{ ml/kg/min}$ 이었다. 측정- $VO_2 \max$ /예측- $VO_2 \max$ 의 값은 답차 운동시  $98.8 \pm 13.24\%$ 이었으며, 자전거 운동시  $84.4 \pm 13.42\%$ 이었다.

자전거의 결과로 답차 운동시  $VO_2 \max$ 의 예측치를 구할 때 쓰이는 Hassen등의 공식을 이용하여 이를 실제 답차 운동시 얻어진  $VO_2 \max$ 값과 비교해 보았을 때 두 값 사이의 차이는 통계적으로 유의하였다( $p < 0.01$ ).

최대 운동시 심박 예비율, 산소/맥, 호흡 예비율,  $V_E/MVV$ ,  $V_E/VCO_2$ 는 (답차 운동과 자전거 운동사이에 차이가 있었다). 그러나  $V_E/VO_2$ ,  $V_d/V_t$ ,  $Ti/Ttot$ 는 차이가 없었다. AT에서는 산소/맥, 호흡 예비율,  $V_E/MVV$ ,  $Ti/Ttot$ 값은 차이가 있었으나 나머지 값들은 그렇지 못하였다.

### 결 론 :

본 연구에서 보았듯이 답차와 자전거 사이의 차이가 크므로 결과의 해석에 이용시 유의해야 할 것이며, 향후 한국인에서 적용할 수 있는 참고치를 구하려는 노력이 필요할 것으로 여겨진다.



## 참 고 문 헌

1. 이기용, 윤해병, 홍석기 : 한국인 청년 남녀의 최대 산소 섭취량에 관한 연구. 제 1편. 최대 산소 섭취량 측정치 간격 조정의 변이도에 관하여. 대한 생리학회지 1(1) : 83, 1967
2. 이기용, 윤해병, 홍석기 : 한국인 청년 남녀의 최대 산소 섭취량에 관한 연구. 제 2편 남녀 운동 선수의 최대 산소 섭취량 측정치. 대한 생리학회지 1(1) : 91, 1967
3. 박해근, 백광세, 유명자, 홍석기 : 한국인의 최대 산소 섭취능. 스포츠 과학 연구 보고서 5 : 27, 1968
4. 심완주, 서순규 : 정상 한국 남자의 운동 부하 시험과 산소 섭취량에 관한 연구. 대한 내과학회지 30(3) : 290, 1986
5. 박희명, 김유진, 김유영, 김유문, 김종석, 김창호, 이봉렬, 박재용, 채성철, 전재은, 정태훈, 박의현 : 한국인의 최대 운동 부하에 대한 심폐기능의 반응에 관한 연구, 최대산소 섭취량 및 환기 반응을 중심으로. 대한 스포츠의학회지 12 : 1, 1994
6. 김경호, 황중하, 이주형, 배현혜, 이호영, 김용민, 김현수, 이순규, 이병기, 이종기 : 답차 및 자전거 ergometer 운동 부하 검사의 비교 관찰. 대한 내과학회지 49(4) : 458, 1995
7. 박지현, 이홍범, 이용철, 이양근 : 호흡기 질환 환자에서 자전거 타기와 답차를 이용한 운동 부하 폐기는 검사의 비교. 결핵 및 호흡기 질환 46(3) : 386, 1999
8. Wasserman K, Hasen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R : Chapter 5, Protocols for Exercise Testing, *in* Principle of exercise testing and interpretation. 2<sup>nd</sup> Ed p102-103, Philadelphia, Lea & Febiger, 1994
9. Wasserman K, Hasen JE, Sue D Y, Whipp B J, Casaburi R : Chapter 6, Normal Values, *in* Principle of exercise testing and interpretation. 2<sup>nd</sup> Ed p113, Philadelphia, Lea & Febiger, 1994
10. Bruce RA, Kusumi F, Hosner D : Maximal oxygen uptake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J, 85 : 546, 1973
11. Hasen JE, Sue DY, Wasserman K : Predicted values for clinical exercise testing. Am Rev Resp Disease 129(suppl) : S49, 1984
12. Myers J, Froelicher VF : Optimizing the exercise test for pharmacological investigations. Circulation 82 : 1839, 1990
13. Hermansen L, Saltin, B : Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J Appl physiol 26 : 31, 1969
14. Faulkner JA, Roberts DE, Elk RL, Conway J : Cardiovascular response to submaximal and maximum effort cycling and running. J Appl Physiol 30(4) : 457, 1971
15. Miyamura M, Honda Y : Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and cycle exercise. J Appl Physiol 32(2) : 185, 1972
16. Glassford RG, Baycroft GHY, Sedgwick AW, Macnab RBJ : Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual method. J Appl Physiol 20 : 509, 1965
17. McArdle WD, Katch FI, Pechar GS : Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max VO<sub>2</sub>. Med Sci Sports 5 : 156, 1972
18. Zeballos RJ, Weisman IM : Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing *in* Clinical exercise testing. Clinics in chest medicine 15(2) : 200, 1994