

최대 산소소모량 평가에 있어서 자전거 에르고미터를 이용한 최대하부하검사방법의 타당도

강동묵¹ · 박용균² · 이용환² · 설진곤¹

¹부산의대 예방 및 산업의학교실

²고신의대 예방의학교실

Validity on Submaximal Load Tests Using Cycle Ergometer in Evaluation of Maximum Oxygen Consumption Volume

Dongmug Kang¹ · Yong Kyun Park² · Yong Hwan Lee² · Jin Gon Sul¹

¹Pusan University Medical School Department of Preventive and Occupational Medicine

²Kosin University Medical School Department of Preventive Medicine

Because of the limitations of maximal load tests for VO₂max, submaximal tests using cycle ergometer are used for field study in general. This study was conducted to evaluate validity of various submaximal tests using cycle ergometer. This study had been conducted during May to June 2005, which subjects were 15 males and 15 females in twenties. Experiment was performed with restrictive conditions which regulated ambient temperature, noise, and entrance restriction. Submaximal load test protocols including YMCA Protocol (YP), Åstrand-Rhyming Protocol (ARP), Relative heart ratio Protocol (RP), and Ramp test Protocol (RP) were compared with maximal load test which used gas mask analyser using Bruce Protocol. All submaximal load tests were highly related with maximal load test (Spearman's correlation coefficient >

0.60) with statistical significancy. The highest correlation coefficient with maximal test was found in RP. Three submaximal test results except RP were significantly different with maximal test results (Wilcoxon rank test). All submaximal tests had high validity. The reason why RP had highest validity might be that it represents Korean physical strength and individual differences better than the others. RP using cycle ergometer would make easy to study for physical capacity evaluation and field workload estimation.

Key Words : cycle ergometer, Submaximal load test, Ramp test

I . 서론

인간의 노동 능력(또는 운동 능력)의 측정과 에너지 소비 능력의 척도로 최대산소소모량(VO₂max)이 주로 사용되고 있다. 최대산소소모량은 운동 시 1분간 최대로 섭취할 수 있는

산소의 양을 말하는데, 피검자의 전신지구력을 나타내며 장기간 수행할 수 있는 노동의 강도를 결정짓는 중요한 요소이다. 최대산소소모량 측정 방법은 피검자가 할 수 있는 최대한의 강도로 운동을 하면서 호흡가스분석기를 이용하여 폐포 환기 전, 후의 흡기와 호기에서의 산소량을 각각 측정한다.

접수일 : 2006년 4월 6일, 채택일 : 2006년 5월 18일

✉ 교신저자 : 이용환 (부산시 서구 암남동 34번지 고신의과대학 예방의학교실

Tel : 051-990-6659, Fax : 051-246-7201, E-mail : yhlee@mail.kosin.ac.kr)

후 차이를 계산하여 산소 소모량을 계산하는 최대부하검사법(maximal load test)이 가장 원칙적인 방법이다. 그러나 최대한의 운동과 호흡가스분석기를 착용하는 것이 여러 가지 현실적인 제약을 가지고 있기 때문에 엄밀한 실험을 위한 경우에만 사용되고 현실에서는 최대하부하검사법(submaximal load test)이 주로 사용된다. 최대하부하검사법이란 안정 때의 심박수와 운동 때의 심박수를 이용하여 운동 기구를 이용하여 최대 운동의 70-85%를 운동 시켜 최대 운동수준에 도달하기 전에 운동을 종료시키고 그 시점의 심박수를 이용하여 최대 운동부하 시 산소 소모량을 추정하는 방법이다. 운동의 방법에는 트레드밀(treadmill)과 자전거 에르고미터(bicycle ergometer)의 두 가지 방법이 있다(Astrand et al., 2003).

트레드밀 검사의 원리는 피검자가 기계 위에서 걷거나 뛸 때 나타나는 생리적 반응(VO_2 , 심박수)을 직접 측정하며, 피검자의 체중과 거리를 곱하여 운동량을 추정하는 것이다. 트레드밀 검사법은 각 대상자에 대하여 운동부하를 적절하게 조절할 수 있어, 자연스러운 걷기에서부터 심혈관계에 가장 부담을 주는 달리기 형태까지 다양하여 체력수준이 낮은 사람부터 높은 사람까지 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 노약자, 비만자의 경우 관절에 무리를 줄 수 있으므로 이러한 경우에는 테스트하기 힘들다는 점과 기구가 비싸고 이동이 힘들어 현장접근성이 떨어진다는 단점이 있다. 자전거 에르고미터는 자전거 바퀴의 회전수와 페달에 가해지는 장력을 변경하여 운동 강도를 조절하며, 트레드밀에 비해 체중으로 인한 관절의 무리가 없어 노약자도 측정이 용이하고, 상체가 고정되어 있어 심전도 측정이 용이하며, 가격이 저렴하고 이동이 간편하다는 장점과 다리근육만 사용하여 트레드밀 보다 산소섭취량이 적게 나타나고 탈진 전에 국부 근육의 피로로 운동이 중단되는 단점이 있다. 트레드밀을 이용한 최대부하검사법에는 Bruce Protocol, Naughton Protocol 등이 있고, 자전거 에르고미터를 이용한 최대하부하검사법에는 Astrand-Rhyming Protocol, YMCA Protocol, 상대심박비를 이용한 방법 등이 있는데 이들 방법은 일정한 시간동안 일정한 부하를 가한 후 단계적으로 부하를 올려서 검사하는 점진적 테스트(Incremental test) 방법이다. 이에 비해 단계구분 없이 서서히 부하를 올리는 램프 테스트(ramp test) 방법도 최대하부하검사법으로 사용되고 있다. 앞의 점진적 테스트 방법은 실험실에서 수집한 데이터를 기반으로 한 최대하부하검사결과 추정 표를 이용하여 실측한 개인의 최대하부하검사 결과를 최대하부하검사결과로 환산하여 최대산소소모량을 추정하는 방법이다. 이에 비해 램프 테스트 방법은 서서히 부하를 증가시키면서 측정된 개인의 심박수변화와 부하의 관계를 이용하여 회귀식을 구한 후 최대산소소모량을 추정하는 방법이다(Astrand et al., 2003; Buono et al., 1996; Fitchett, 1985;

Macswain, 2001; Northridge et al., 1990).

산업현장의 근골격계질환의 원인에 대한 접근법 중 작업장의 노동 강도와 육체적 부하를 중심으로 한 노동생리학적 접근방법이 중요한 한 구성요소이며, 노동생리학적 접근법 중에서 작업자의 작업량에 따라 신체에 부가되는 생리학적 스트레스를 측정하기 위해 작업 중의 심박수와 산소소모량을 측정하여 에너지 소모량을 평가하는 방법이 주로 이용되고 있다. 작업 관리나 안전을 고려하는 측면에서 생리학적 작업능력을 측정하는 것은 해당 작업자의 노동능력이 수행하는 작업의 부하에 적합한 것인가를 판단하고, 대부분의 작업자를 보호하기 위한 기준치 설정 등을 위해 중요한 요소이기 때문에 미국 등의 선진국에서는 작업자들의 생리학적 작업능력에 대한 연구, 조사가 활발하게 수행되어 왔다. 반면에 우리나라에서는 이에 대한 연구가 많지 않은 실정이다. 또한 문제는 이러한 작업자들의 작업능력 측정을 위한 기준들이 미국 등 선진국의 연구 자료에 의해서 설정되어 있으며, 이러한 기준들을 우리나라 작업자들에게 적용했을 때, 적합성에 대한 검증이 필요한 시점이다. 근골격계질환 감소대책을 마련하는 등의 목적으로 현장에서 작업자들을 대상으로 노동능력을 평가하여야 하는 산업보건의 특성상 자전거 에르고미터를 이용한 최대하부하검사법을 활용하는 것이 현실적으로 유용한 방법이다. 그러나 기존의 검사 Protocol과 값의 해석방법이 서구인들을 대상으로 개발된 것이어서 한국인을 대상으로 적용을 하는 것이 타당한지에 대한 검토가 부족한 상황이며, 램프 테스트 방법 또한 최대산소소모량을 추정하는 것이 타당한지에 대한 검토 또한 부족한 상황이다. 따라서 이 연구는 현재까지 많이 사용되고 있는 자전거 에르고미터를 이용한 최대하부하검사법의 타당도를 조사하는 것을 목적으로 하였다.

II. 방법

1. 연구대상

건강한 20대 초반의 남자 및 여자 각각 15명씩 총 30명을 대상하였다. 문진과 청진을 하여 심폐기능 이상의 유무를 확인하였다. 심폐기능의 이상이 있는 경우 최대하부하검사에서 심정지 등 응급상황이 발생할 수 있으므로 심폐기능의 이상이 의심되는 경우 실험에서 제외하기로 하였으나, 모든 연구대상에서 심폐기능이상을 발견하지 않아 모두 실험에 참가하였다. 실험 전 2시간 이내에는 식사, 담배, 술, 카페인 음료의 섭취를 금하였고, 검사 1일 전에는 과도한 운동, 음주를 제한하였고, 실험 중 피검자가 몸에 이상을 느끼면 검사를

중단하게 하였다. 실험은 2005년 6월-7월 동안 2개월간 실시하였다.

2. 연구방법

실험실 온도는 20 ± 2 °C로 유지하였고, 소음을 제한하였으며 외부인의 출입을 통제하였다. 연구 대상자는 호흡가스 분석기 (Metamax II[®], Cortex, Germany)를 착용한 상태에서 자전거 에르고미터 검사를 실시하여 VO_{2max}를 측정하였다. 최대부하검사를 기준으로 하여 여러 최대부하검사를 비교하였다. 최대부하검사는 Bruce Protocol에 의거하여 Monark사에서 개발한 자전거에르고미터 (839E[®], Monark Co., Sweden)를 사용하여 실시하였다. 최대부하검사는 Monark를 사용하여 YMCA Protocol, Astrand-Rhyming Protocol, 상대심박비를 이용한 검사법 등 점진적 테스트법에 의거하여 실시하였고, 램프 테스트법은 일본에서 개발된 Combi사의 자전거에르고미터 (Aerobike 75XL II[®], Combi Co., Japan)를 이용하여 실시하였다. 상대심박비법은 아래의 공식에 의거하여 상대심박비 (relative heart ratio: RHR)를 구하였고, 30%, 50%, 75% RHR에 해당하는 작업부하를 각 5분간 하여 산소소모량과 심장박동수를 측정하여 VO_{2max}를 추정하여 생리적 작업능력을 추정하였다.

$$RHR(\%) = [(HR_{exercise} - HR_{rest}) / (HR_{max} - HR_{rest})] \times 100$$

여기에서, RHR: relative heart ratio
 HR_{exercise}: heart rate during exercise
 HR_{rest}: heart rate during rest
 HR_{max}: maximum heart rate

검사 첫 날 자전거에르고미터와 가스분석기에 적응을 할 수 있게 YMCA Protocol을 이용하여 1회 예비훈련을 실시하

였다. 이후 연속 4일간 1일 1회에 걸쳐 상대심박비를 이용한 방법, 램프 테스트법, Astrand-Rhyming Protocol 및 최대부하검사인 Bruce protocol을 이용하여 검사하였다. 실험은 동일한 검사자에 대해서는 하루 중 동일한 시간대에 실시하였으며, 각 검사 전에는 5분 정도 안정을 취하도록 한 후 검사를 실시하였다. 램프 테스트법은 Miyashita 등(1985)이 실험을 통해 제시한 공식을 이용하여 계산한 최대심박수의 75%를 목표심박수로 하였고, 연령, 성별 및 체중을 입력할 경우 자전거 에르고미터에서 자동적으로 산출하였다.

3. 통계분석

최대부하검사법의 타당도를 평가하기 위해 최대부하검사법을 이용한 VO_{2max} 결과를 기준으로 하여 4가지 최대부하검사법을 이용한 VO_{2max} 들과의 상관관계를 보기 위해 Spearman의 상관분석을 실시하였다. 또한 최대부하검사법과 각 최대부하검사법 사이의 차이를 보기 위해 Wilcoxon 순위 검정을 실시하였다. 통계 프로그램은 SAS v 8.2를 사용하였고, 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 연구 대상의 일반적 특성

연구대상의 연령은 평균 20.8 (±1.6)세이었고, 키는 평균 170.2 (±7.0) cm, 체중은 평균 61.4 (±10.5) kg이었다. 흡연은 담배를 피운적이 없는 경우가 26명 (86.7%)로 가장 많았고, 남성의 경우 현재 흡연자가 2명 (6.7%)이었다. 본 실험에서는 흡연력에 대해 보정하지 않았다. 부하검사에 영향을 미칠 수 있는 심장질환 여부, 호흡기 질환여부에 대해 문진하였고, 전원이 모두 질환력이 없었으며, 호흡음을 청진하여 호흡기 질환유무를 확인하였다.

Table 1. General characteristics of study subjects

	Total(N=30)		Male(N=15)		Female(N=15)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Age (yr)	20.8	1.6	21.2	0.9	20.4	2.1
Height (cm)	170.2	7.0	175.1	4.1	165.0	5.2
Weight (kg)	61.4	10.5	69.3	8.3	53.6	5.2
Smoking n (%)						
Non-smoker	26	(86.7)	11	(73.4)	15	(100.0)
Ex-smoker	2	(6.7)	2	(13.3)	0	(0.0)
Present smoker	2	(6.7)	2	(13.3)	0	(0.0)

2. 최대산소소모량(VO_{2max})

각각의 방법을 이용하여 최대산소소모량을 추정하였다. 최대하부하검사법의 평균 VO_{2max} 는 Astrand-Rhyming Protocol, YMCA Protocol, 램프테스트법, 상대심박비법의 순이었으며 각각 2.55, 2.21, 1.99, 1.66 L/min 이었다. 최대하부하검사법(Bruce Protocol) 보다 Astrand-Rhyming Protocol, YMCA

Protocol은 높았고 상대심박비법은 낮았다. VO_{2max} 는 남성이 여성보다 더 높았다.

5. 최대부하검사와 최대하부하검사간의 최대 산소소모량의 차이

최대부하검사결과와 최대하부하검사들 간의 VO_{2max} 차이가 있는지를 보기 위해 양 검사법들 간의 차이에 대해 Wilcoxon 순위 검정을 실시하였다. 전체 결과에서는 YMCA

Table 2. VO_{2max} according to maximal and submaximal load tests

(unit=L/min)

	Total(N=30)		Male(N=15)		Female(N=15)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Maximal load test						
Bruce Protocol	1.94	0.56	2.40	0.42	1.49	0.17
Submaximal load test						
YMCA Protocol	2.21	0.49	2.46	0.46	1.96	0.39
Relative heart ratio	1.66	0.46	1.93	0.49	1.39	0.20
Astrand-Rhyming Protocol	2.55	0.53	2.78	0.56	2.33	0.41
Ramp test	1.99	0.51	2.42	0.32	1.56	0.17

Table 3. VO_{2max}/kg according to maximal and submaximal load tests

(unit=ml/kg/min)

	Total(N=30)		Male(N=15)		Female(N=15)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Maximal load test						
Bruce Protocol	31.24	4.83	34.65	3.93	37.83	2.82
Submaximal load test						
YMCA Protocol	36.20	6.09	35.70	6.17	36.70	6.17
Relative heart ratio	27.04	5.90	27.84	6.22	26.23	5.66
Astrand-Rhyming Protocol	41.78	6.88	39.94	5.31	43.63	7.91
Ramp test	32.08	4.45	35.06	4.00	29.10	2.47

Table 4. Spearman's correlation coefficients between maximal load test and submaximal load tests

	Total(N=30)				Male(N=15)				Female(N=15)			
	YMCA	A-R	RHR	Ramp	YMCA	A-R	RHR	Ramp	YMCA	A-R	RHR	Ramp
A-R	0.61 [†]				0.45				0.59*			
RHR	0.68 [†]	0.50 [†]			0.79 [†]	0.59*			0.31	-0.11		
Ramp	0.72 [†]	0.60 [†]	0.63 [†]		0.60 [†]	0.56*	0.49		0.56*	0.44	-0.08	
Bruce	0.70 [†]	0.67 [†]	0.63 [†]	0.88 [†]	0.16	0.75 [†]	0.33	0.51	0.71 [†]	0.64*	0.21	0.56*

*p<0.05, [†]p<0.01

YMCA : YMCA Protocol, A-R : Astrand-Rhyming Protocol, Ramp : Ramp test, RHR : relative heart ratio, Bruce : maximal load test by Bruce Protocol

Protocol, Astrand-Rhyming Protocol, 상대심박비법은 최대부하검사법인 Bruce Protocol과 유의한 차이를 보였으나, 램프법은 유의한 차이를 보이지 않았다. 남성에서 Astrand-Rhyming Protocol, 상대심박비법은 Bruce Protocol과 유의한 차이를 보였으나, 램프법과 YMCA Protocol은 유의한 차이를 보이지 않았다. 여성에서 YMCA Protocol과 Astrand-Rhyming Protocol은 Bruce Protocol과 유의한 차이를 보였으나, 상대심박비법은 경계적으로 유의한 차이를 보였고 램프법은 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 램프 테스트법이 최대부하검사법과 차이를 보이지 않는 것으로 나타났고, 나머지 테스트들은 정도의 차이는 있지만 최대부하검사법과 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

IV. 고찰

본 연구에서 VO_{2max} 는 남성의 경우 2.40 L/ml, 여성의 경우는 1.49 L/ml이었고, 체중 당 VO_{2max} 는 남성의 경우 34.65 ml/kg/min, 여성의 경우는 27.83 ml/kg/min이었다. 20대 대학생 13명을 대상으로 한 박지수 등(1996)의 연구에서는 최대하부하검사를 점진적 테스트와 램프 테스트를 비교하였는데, 램프테스트와 점진적 테스트법 결과는 각각 2.6 ± 3.0 L/min (39.43 ± 7.02 ml/kg/min)과 2.9 ± 0.4 L/min (43.97 ± 8.47 ml/kg/min)이었고, Astrand Protocol에 의한 경우 램프테스트와 점진적 테스트법 결과는 각각 3.1 ± 1.65 L/min (48.01 ± 6.65 ml/kg/min)와 3.2 ± 0.2 L/kg (49.06 ± 7.24 ml/kg/min)이었다. 이 결과는 본 연구 중의 램프테스트 결과인 2.42 ± 0.32 L/min (35.06 ± 4.00 ml/kg/min) 보다는 높은 결과이었다. 20대 성인 20명을 대상으로 한 최창진 등(1999)의 연구에서는 체중 당 VO_{2max} 는 가스호흡기를 이용한 최대하부하검사 결과, Astrand-Rhyming Protocol 및 램프테스트 결과는 각각 체중 당 44.4 ± 6.2 , 40.8 ± 4.1 , 37.3 ± 5.0 ml/kg/min으로 본 연구결과인 34.65, 39.94, 35.06 보다 높았으며 최대하부하검사결과에서 가장 큰 차이를 보였다. 상대심박비법을 이용하여 검사한 결과 중 20

대 남자 5명을 대상으로 한 이병근 및 우동필(2001)의 연구에서는 2.59 L/min이었고, 남자 대학생 6명을 대상으로 한 정성학 및 김흥기(1997)의 연구에서는 2.56 L/min이어서 본 연구에서 상대심박비를 이용한 결과인 1.93 L/min 보다는 높은 결과를 보였고 Bruce Protocol을 이용한 결과인 2.40 L/min과는 비슷한 결과를 보였다. 본 연구와 선행연구가 차이가 나는 이유는 첫째 자전거 에르고미터 검사는 하지만을 주로 사용함으로 트레드밀을 이용한 전신을 사용하는 검사법에 비해 최대산소소모량이 낮게 측정된다는 점에서 본 연구와 선행연구들에서 트레드밀 검사결과 간의 차이가 설명될 수 있을 것이다. 다음으로 자전거 에르고미터를 이용한 선행연구들보다 본 연구결과가 검사법에 상관없이 일관되게 낮게 측정되는 점을 볼 때 측정의 오차이기 보다는 대상자의 체력의 차이로 보이는데, 선행연구의 연구대상이 주로 체육대학이나 일반 대학의 학생이라는 점과 본 연구 대상이 의과대학의 학생이라는 점이 차이를 보이는 이유일 수 있겠다. 본 연구와 다른 연구 간의 차이는 한 연구 내에서의 타당도 비교에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

본 연구 결과와 국내에서 최대하부하검사의 타당도 검정을 실시한 연구를 비교하였다. Eomputerized extrapolation method (XTP), Astrand-Rhyming Protocol, Fox Protocol, Harvard step test 등 4가지 최대하부하검사법의 타당도 검정을 실시한 한 연구에 의하면, 실측 VO_{2max} 와 및 Astrand-Rhyming Protocol 간의 상관계수는 각각 0.68, 0.49이었고, 총 오차는 XTP가 가장 작아 성인 남자의 유산소 능력 측정을 위해서는 XTP가 가장 타당하다고 하였다(최창진 등, 1999). 이 연구에서 사용한 XTP는 일본에서 개발된 자전거 에르고미터 (Takei Model, Japan)를 이용하여 운동부하를 증가시키면서 각각의 심박수가 컴퓨터에 내장된 프로그램에 의하여 회귀 분석으로 계산된 외삽법에 의해 VO_{2max} 가 자동으로 출력되게 되는 방식이다. 따라서 일본인을 대상으로 실험에 의해 얻어진 목표심박을 사용한다는 점과 개인 회귀식을 외삽한 결과로 VO_{2max} 를 구하는 것 등 실험방법이 본 연구에서 사용한 램프테스트법과 동일하다. 본 연구에서도 램프테스트가

Table 5. Wilcoxon rank test for difference between maximal load test and submaximal load tests

	Total(N=30)			Mal(N=15)			Female(N=15)		
	Mean	S.D.	p-value	Mean	S.D.	p-value	Mean	S.D.	p-value
Bruce - YMCA	-0.27	0.09	<0.010	-0.06	0.14	0.890	-0.48	0.08	<0.001
Bruce - A-R	-0.61	0.08	<0.001	-0.37	0.09	<0.01	-0.84	0.10	<0.001
Bruce - RHR	0.29	0.07	<0.001	0.47	0.12	<0.01	0.10	0.06	0.060
Bruce - Ramp	-0.04	0.05	0.360	-0.02	0.09	0.850	-0.07	0.04	0.210

YMCA : YMCA Protocol, A-R : Astrand-Rhyming Protocol, Ramp : Ramp test, RHR : relative heart ratio, Bruce : maximal load test by Bruce Protocol

최대부하검사와 상관계수 0.88로 가장 높았고 통계학적으로 유의하였으며, 남성에 대해서도 상관계수 0.51로 가장 높으며 경계적인 유의성을 보여주었다는 점과 최대부하검사와의 차이를 검정한 Wilcoxon 순위 검정에서도 의미있는 차이를 보이지 않은 검사법이라는 점에서 본 연구에서 실시한 최대하부하검사 중 가장 타당도가 높은 검사법으로 판단된다. 건강증진센터 방문한 성인 425명을 대상으로 한 두진웅 등(1997)의 연구에서는 최대부하검사법과 Astrand-Rhyming Protocol을 이용한 최대하부하검사법의 타당도를 검정하였는데, 두 검사법간의 상관관계가 높아 Astrand-Rhyming Protocol의 타당도가 높은 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 남성과 여성을 모두 합한 경우에 두 검사법 사이의 상관계수는 0.61로 중등도의 상관을 보였고 통계학적으로 의미가 있었으나, 남성에서는 상관계수 0.45, 여성에서는 0.59이고 여성에서만 통계학적 유의성을 보였다. 따라서 전체적으로는 두 검사법사이의 연관이 높을 것으로 보이나 남녀에 있어 차이를 보인 이유는 표본의 수가 적기 때문이며 425명을 대상으로 한 연구에서 상관계수가 높고 통계적 유의성이 나타나는 이유는 표본 수가 많기 때문으로 이해된다. 따라서 Astrand-Rhyming Protocol 또한 타당도가 있다고 판단하는 것이 옳을 것이다. 또한 상대심박비법이나 YMCA법 또한 전체를 합산한 경우에는 상관계수가 중등도 이상이고 통계적으로 유의하였으나, 남녀를 구분한 경우에는 상관계수가 낮아

지고 통계적 유의성도 떨어지는 경향을 보였고, 그 이유는 표본수가 작기 때문으로 판단된다. 이상의 결과를 종합하면 본 연구에서 실시한 YMCA Protocol, Astrand-Rhyming Protocol, 상대심박비법, 램프테스트법 모두 상관계수가 높아 비교적 타당도가 있는 것으로 판단되며, 최대부하검사법과의 차이를 고려할 때에는 램프테스트법이 가장 타당도가 높은 것으로 생각된다.

20대 남성 의과대학생 20명을 대상으로 실시한 한 김경수 등(1996)의 연구에서 타당도는 0.69로 본 연구결과와 유사하였고, 2주간 2회의 최대하부하검사로 검사-재검사하였을 때 신뢰도는 0.72로 높은 결과를 보였다. 본 연구의 연구대상 중 일부인 남성 5명과 여성 5명에 대해 검사 1주 후 램프 테스트를 실시하였을 때, 1회 측정 시 VO_{2max}의 값은 32.43(±4.26) ml/kg/min이었고, 2회 측정 시 32.59(±3.07) ml/kg/min이었다. 짝진 t-검정 결과 p값은 0.88로 두 군 간의 측정-재 측정 시 VO_{2max}의 값의 평균은 통계학적으로 차이가 없었다(결과 미제시). 따라서 램프 테스트법은 타당도와 함께 신뢰도도 높은 것으로 판단된다.

여러 최대하부하검사법 중 램프 테스트법의 타당도가 가장 높게 평가되는 이유는 YMCA Protocol, Astrand-Rhyming Protocol 등은 서양인을 대상으로 한 수식을 사용하였기 때문에 한국인의 체력을 기반으로 하지 못하였다는 점과, 이들 프로토콜은 집단을 대상으로 한 회귀식을 기반으로 연령, 성

Table 4. Comparison of maximal & submaximal load for Koreans

Authors	Subjects	Methods	Results
Park J et al.	13 Male in twenties	1. HRR method 1) ramp test with 30%,50%,75% HRR 2) incremental test with 50W, 75W, 100W, 125W, 150W for 50 rpm 2. Astrand Protocol 1) ramp test 2) incremental test (Cycle ergometer: SensorMedics, ergo-metric 800s)	1. 1) 2.6 ± 3.0 L/min (39.43 ± 7.02 ml/kg/min), 2) 2.9 ± 0.4 L/min (43.97 ± 8.47 ml/kg/min), 2. 1) 3.1 ± 1.65 L/min (48.01 ± 6.65 ml/kg/min) 2) 3.2 ± 0.2 L/kg (49.06 ± 7.24 ml/kg/min)
Lee B & Woo D	5 Male in twenties	submaximal test with 30%, 50%, 75% HRR for 5 min. (Cycle ergometer; Cateye ergocise EC-1200)	Cycle: 2591.51 ml/min Treadmill: 2951.35
Jung S & Kim H	6 Male in twenties	submaximal trest with 30%, 50%, 75% HRR (Cycle ergometer; SensorMedics, Ergoline SMC Ergo-metrics 800S Ergometer)	Cycle: 2562.71 ml/min, Treadmil: 2874.89 ml/min

별, 체중을 보정하는 공식이므로 개인의 체력에 기반하지 못하는 반면, 일본인을 대상으로 한 실험에 근거하고 개인의 회귀식에 기반한 부하방법은 한국인의 체력과 유사하며 개인의 체력을 고려하였다는 점이 타당도가 높은 이유일 것이다. 트레드밀을 이용하거나 최대하부하검사법은 현실 적용성이 떨어지거나 수검자의 비협조 등의 이유로 실험을 위한 방법 외에는 적용하기가 힘들다는 점에서 자전거 에르고미터를 이용한 최대하부하검사법 중 타당성과 신뢰성이 높은 검사법을 확인하는 것이 중요하다. 전 연령층에 대해 검사를 실시하지 못하였다는 한계에도 불구하고, 자전거 에르고미터를 이용한 여러 최대하부하검사법 중 한국인의 체력에 적합하고 현장에서 보다 용이하면서도 정확하게 VO_{2max} 를 평가할 수 있는 방법을 확인하고자 한 본 연구의 결과를 활용한다면 향후 운동 부하 연구와 산업장 등 현장연구를 보다 활발하게 진행할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 조사된 최대하부하검사법을 이용한 타당성 검증과 상관관계 분석을 통한 연구결과들이 우리나라 사람들을 대상으로 적용되고, 향후 작업현장의 다양한 작업군의 연령별 작업자들을 대상으로 본 연구결과의 적용과 활용이 수행된다면 우리나라 작업자들의 생리학적 접근방법에 적합한 작업기준 설정의 좋은 기초자료가 될 것으로 생각된다.

V. 결론

최대하부하검사결과인 YMCA Protocol, Astrand-Rhyming Protocol, 상대심박비법, 램프테스트법은 모두 타당도가 높았다. 이 중 램프테스트법의 상관계수가 가장 높아 가장 연관성이 높고, 최대하부하검사법과 통계적으로 차이를 보이지 않아 가장 타당도가 높은 것으로 나타났다. 램프 테스트법의 타당도가 가장 높게 평가되는 이유는 동양인을 대상으로 한 실험에 근거하고 개인의 회귀식에 기반한 방법임으로 한국인의 체력과 유사하였기 때문으로 판단된다. 따라서 자전거 에르고미터를 이용한 램프 테스트법을 활용하면 노동능력 평가 등을 위한 현장연구를 보다 정확하고 용이하게 진행할 수 있을 것이다.

REFERENCES

김경수, 이손호, 김경미, 옥선명, 송찬희, 김홍인. 젊은 성인 남자의 유산소능력 측정에 있어서 최대하 고정식 자전거 검사법의 신뢰도와 정확도. 가정의학회지 1996;17(3)

:260-267
 두진웅, 서상연, 김진하, 김철환, 유태우. Bicycle ergometer에 의하여 측정된 최대 산소소모량에 영향을 미치는 요소. 가정의학회지 1997;18(6):612-621
 박지수, 김흥기, 최진영. 작업유형에 따른 생리학적 작업능력의 비교 분석. J Ergo Soc Korea 1996;15(2):89-98
 이병근, 우동필. 한국인 남자 대학생의 육체적 작업 능력에 관한 연구. 동서대학교 동서논문집 2001;12:487-494
 정성학, 김흥기. 인력물자취급의 생리적 작업능력에 관한 연구. 대한인간공학회 추계 학술대회논문집 pp.286-294, 1997.
 최창진, 김경수, 옥선명, 송찬희, 염근상, 박은숙, 김홍인: 젊은 성인 남자의 유산소 능력 측정에 있어서 4가지 최대하 운동 부하 검사의 타당도 비교. 가정의학회지 1999;20:1752-1760
 Astrand P-O, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. Textbook of Work Physiology, Human Kinetics, Windsor, ON, Canada 2003. pp 273-293
 Buono MJ, Borin TL, Sjöholm NT, Hodgdon JA. Validity and reliability of a timed 5 km cycle ergometer ride to predict maximum oxygen uptake. Physiol Meas 1996;17(4):313-317
 Fitchett MA. Predictability of VO_2 max from submaximal cycle ergometer and bench stepping tests. Br J Sports Med 1985;19(2):85-88
 Macsween A. The reliability and validity of the Astrand nomogram and linear extrapolation for deriving VO_{2max} from submaximal exercise data. J Sports Med Phys Fitness 2001;41(3):312-317
 Miyashita M, Mutoh Y, Yoshioka N, Sadamoo T. PWC 75% HRmax: a measure of aerobic work capacity. Sports Med 1985;2(3):159-164
 Northridge DB, Grant S, Ford I, Christie J, McLenachan J, Connelly D, McMurray J, Ray S, Henderson E. Novel exercise protocol suitable for use on a treadmill or a bicycle ergometer. Br Heart J 1990;64(5):313-316