

최대하 PACER 검사를 통한 비만 남자 중학생의 $\dot{V}O_{2max}$ 추정

김도윤*, 김원현**

Prediction of $\dot{V}O_{2max}$ Using Submaximal PACER in Obese Middle School Boys

Do-Youn Kim*, Won-Hyun Kim**

요약 본 연구는 남자 비만 중학생을 대상으로 최대하 방법의 PACER 검사를 통해 최대산소섭취량($\dot{V}O_{2max}$)을 추정할 수 있는 추정식을 개발하고자 중학교 남자 비만 학생 57명을 대상으로 Bruce 프로토콜의 최대운동부하검사와 PACER 검사를 실시하였다. 최대하 수준을 결정하기 위해 PACER 운동 중 목표심박수(75%HR_{max} 이상)가 나타나는 왕복횟수 구간별 대사반응을 측정하였으며, %HR_{max} 구간별(75%, 80%, 85%, 90%, 95%) 대사반응 지표를 단계적 선택법으로 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 다음의 모형이 산출되었다. 모형 1(90%HR_{max}의 모형): $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) = 142.721-0.275(왕복횟수)-0.48(심박수)+0.177(체중)-1.536(연령)[표준오차 3.90ml/kg/min; 2단계까지 운동진행]. 모형 2(95%HR_{max}의 모형): $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) = 182.851-0.103(왕복횟수)-0.744(심박수)+0.186(체중)-0.324(연령)[표준오차 4.51ml/kg/min; 3단계까지 운동진행]. 모형 1의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측 $\dot{V}O_{2max}$ 간 차이 평균은 3.25±6.32ml/kg/min(%error=6.84%), 모형 2는 3.16±4.54ml/kg/min(%error=5.75%). 비만인 대상자들에게 최대하 운동방법으로는 심박수와 운동지속시간이 짧았던 모형 1이 모형 2보다 적합한 형태로 생각된다.

주제어 : 페이스러, 최대하 운동검사, 비만 남자 중학생, $\dot{V}O_{2max}$ 추정식

Abstract The purpose of this study was to develop the equation of $\dot{V}O_{2max}$ by sub_{max}imal PACER method for obese middle school boys. For this, _{max}imal test using Bruce protocol in lab was performed and then PACER _{max}imal test with portable $\dot{V}O_2$ equipment. To decide the level of submaximal test, during PACER with portable equipment, we found the section in which target heart rate(over 75%HR_{max}) and then per section(75%,80%,85%,90%,95%) metabolic responses were recorded, with which we analyzed multiple regression by stepwise method. Model 1(at 90%HR_{max}): $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) = 142.721-0.275(repetition)-0.48(HR)+0.177(weight)-1.536(age)[%error 3.90ml/kg/min; performance until 2 stage(13 repetition)]. Model 2(at 95%HR_{max}): $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) = 182.851-0.103(repetition)-0.744(HR)+0.186(weight)-0.324(age)[%error 4.51ml/kg/min; performance until 3 stage(25 repetitions)]. estimated $\dot{V}O_{2max}$ from Model 1 was different about 3.25±6.32ml/kg/min(%error=6.84%), otherwise model 2 was 3.16±4.54ml/kg/min(%error=5.75%). considering %HR_{max}, as the submaximal test model 1 might be fit more than model 2 for obese middle school boys.

Key Words : PACER, submaximal test, obese middle school boys, equation of $\dot{V}O_{2max}$

1. 서론

최근 경제 발달에 따른 사회변화와 신체활동의 감소

는 아동 및 청소년기의 체력 및 건강 저하를 초래하고 있다. 이러한 청소년 체력 및 건강에 대한 심각성을 이미 경험한 몇몇 선진국들은 청소년기 신체활동의 유익함과

*본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2009-358-G00055)

*인하대학교 스포츠과학연구소 학술연구교수

**대덕대학교 생활체육과 교수(교신저자)

논문접수: 2013년 2월 18일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2013년 3월 15일, 확정일: 2013년 3월 20일

필요성을 인식하고 국가적 차원의 청소년 체력 및 건강 증진 프로그램(FITNESSGRAM, EUROFIT, Trim & Fit program, The New PE)을 개발하여 운영하고 있다[1]. 우리나라에서도 청소년들의 체력증진을 위한 여러 가지 제도적 실천적 연구가 진행되고 있다. 그 중 인천광역시 교육청은 이러한 청소년들의 체력저하 및 비만문제 해결을 위하여 2006년에 맞춤형 학생 건강체력 평가 시스템 구축사업을 실시하였다. 맞춤형 학생 건강체력 평가 시스템(physical activity promotion system : 이하 PAPS)은 학교체육에서 실시하는 기존의 체력측정 및 평가시스템을 탈피하여 새로운 종목과 체력평가 요인을 선정, 보다 정확하고 개별화된 체력평가 및 처방을 제공함을 목적으로[6] 2007년도 시스템 구축에 이어 2008년부터 전국 규모로 학교체육에서 운영 중에 있다.

PAPS에서는 학생들의 건강체력을 평가할 수 있는 체력요인으로써 크게 5가지 범주로 구분하고 있으며 심폐지구력, 근력-근지구력, 순발력, 유연성 그리고 체성분 구성이 포함되어 있으며, 그 중 심폐지구력 측정을 위해 스텝검사, 오래달리기-걷기 그리고 왕복오래달리기(PACER) 검사를 제안하고 있다[6]. 그 중 왕복오래달리기(PACER)는 유럽, 미국, 일본 등에서도 청소년들의 심폐지구력 측정을 위한 검사종목으로써 20m 거리를 두고 일정한 신호음에 따라 왕복운동하는 형태로, 최초 8.5km/h의 속도로 출발하여 매분마다 0.5km/h씩 속도가 증가하는 최대 점증부하방식의 검사방법이다[15]. PACER의 최대 왕복횟수에 의해 대상자의 심폐지구력을 평가하며, 아울러 왕복횟수를 통해 VO_{2max} 추정도 가능하다[16]. 왕복횟수를 통해 추정된 VO_{2max} 는 실제 최대 산소섭취량과 높은 상관성($r=0.71$)이 있으며, 이는 기존의 1마일달리기의 상관성($r=0.66$)보다 높은 결과로써 청소년들의 유산소 심폐지구력 검사에 있어 다른 종목들보다 안전하고 타당성이 높은 검사로 보고되고 있다[1]. 이후에도 여러 선행연구들을 통해 PACER의 수정된 모형 및 VO_{2max} 추정식이 개발되었지만, 지금까지 개발된 PACER VO_{2max} 추정식[10][13][14][20][24][25][26]은 운동종료 단계에서의 최대속도에 의해 VO_{2max} 가 산출되도록 되어 있다.

현재 사용 중인 PACER 검사는 전적으로 개인별 최고속도 혹은 최대 반복횟수에 기초한 심폐지구력 측정방법으로 진행되고 있다. 하지만 20m의 거리를 왕복달리기 동작 중 매회 운동의 정지와 출발이

반복되기 때문에, 높은 운동단계의 빠른 속도에서는 각별한 주의를 요할 수 있다[22]. 특히 체력이 약한 학생들의 경우 최대운동부하 방식(maximal exercise test)이 아닌 최대하운동부하 방식(sub-maximal exercise test)의 검사법이 오히려 운동의 안정성을 더욱 높일 수 있는 방법이 될 수 있다[9]. 하지만 지금까지의 PACER 방식에서는 최대운동속도만을 기준으로 심폐능력의 평가가 이루어지기 때문에 이러한 최대하운동부하 방식에 대한 연구는 이루어지지 못했다. 현재 많이 사용되는 최대하운동부하 방법 중 하나인 하바드 스텝 테스트는 심박수와 VO_{2max} 간의 높은 상관성을 바탕으로 최대수준이 아닌 최대하운동부하 수준에서의 일정시간 동일한 작업량에 대한 개인별 신체적 반응의 차이로써 운동직후 심박수를 이용하여 대상자들의 VO_{2max} 및 신체효율성 등을 추정하도록 되어 있다[11]. PACER 검사 또한 적정수준까지의 왕복운동 후 대상자들의 심박수를 이용한 VO_{2max} 추정도 가능할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 일정 단계까지의 점증적 왕복운동을 실시한 후 대상자들의 심박수를 바탕으로 VO_{2max} 를 추정할 수 있는 최대하 운동부하방식의 PACER 검사법이 개발된다면 과체중, 비만 등으로 인해 체력수준이 낮은 학생들은 지금의 최대운동부하방식의 PACER 검사보다 안정적으로 학교체육현장에서 VO_{2max} 검사가 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

그러므로 본 연구에서는 중학교 비만 남학생들을 대상으로 최대하부하방식의 PACER 검사를 통한 VO_{2max} 추정식을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구에서는 비만 남자 중학생을 대상으로 최대한 PACER 검사를 통한 VO_{2max} 추정식을 개발하기 위하여 BMI $25\text{kg}/\text{m}^2$ 이상, 체지방률 25% 이상인 남자 중학생 57명을 선정하였다. 이를 위한 대상자들의 신장, 체중 및 체지방을 검사는 생체전기저항법을 이용한 체지방 측정기(Inbody 3.0, Korea)를 사용하였다. 본 연구의 결과에 대한 타당도 검증을 위하여 전체 57명 중 45명을 무작위 선정방법을 통해 추정집단으로 분류하였으며, 25%에 해당되는 12명을 교차타당도 검증을 위한 검증집단으로 분

류하였다. 모든 대상자들은 신체적 의학적 질환이 없는 비만학생들로서 본 연구에 대한 목적 및 방법에 대한 충분한 설명을 한 후 참가 동의를 얻었다. 본 연구에서의 체력 검사에 앞서 는 12시간 전 모든 대상자들은 과격한 신체적 활동을 삼가토록하며, 최소 운동 2시간 전 아침식사를 마친 후 오전시간에 모든 검사를 실시토록 하였다. 구체적인 집단별 대상자의 신체적 특징은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 대상자의 신체적 특징

Factors	추정집단(n=45)	검증집단(n=12)
Age(years)	14.70±1.05	14.59±1.09
Height(cm)	167.32±3.94	167.48±4.05
Weight(kg)	69.53±8.94	69.81±9.30
%fat(%)	26.76±2.55	26.59±3.07
BMI(kg/m ²)	26.65±2.46	27.05±2.38

2.2 점증적 최대운동부하검사

대상자들의 $\dot{V}O_{2max}$ 를 측정하기 위하여 modified bruce protocol을 통한 점증적 최대운동부하검사를 실시하였다. Modified bruce protocol은 활동적 및 비활동적 남성을 위해 고안된 운동검사 프로토콜로서 최초 1.7mph, 0%의 경사도로 시작하여 매 3분씩 운동 6분까지 속도의 변화없이 경사도만 5%씩 증가한 후 운동시작 9분부터 3분단위로 경사도 2%와 속도 0.8~0.9mph씩 증가하도록 되어 있다(체육과학연구원, 2005). 최대운동부하 검사의 종료시점으로는 호흡교환율(RER) 1.10이상, 최대 심박수 항정상태 유지, 운동자각도(RPE) 17 이상을 유지하거나 대상자가 더 이상 운동지속이 불가능하다는 의사표시를 할 경우, 즉각 검사를 중단하였다. 운동부하 검사 중 호흡가스변인은 휴대용 무선 호흡가스 분석기인 Metamax 3B(Germany)를 사용하였다.

2.3 PACER 검사

1차 점증부하검사 실시 후 1주일의 간격을 둔 후 순차적으로 모든 대상자들은 휴대용 가스분석기(Metamax 3B)를 착용한 후 20m PACER를 통한 $\dot{V}O_{2max}$ 측정을 실시하였다. 앞선 최대운동부하검사이 사용했던 동일한 호흡가스분석기(Metamax 3B)를 사용함으로써 사용장비에 의한 측정오차를 최소화하고자 하였다. 20m PACER는 단계별 신호음에 따라 왕복운동을 실시하며, 신호음이 울리기 전 반대편 목표지점까지 2회 이상 도달하지 못

할 경우 PACER 검사를 종료하였으며, 왕복횟수별 모든 호흡가스변인 및 심박수 등을 기록하였다.

2.4 자료처리

본 연구에는 심박수를 이용한 $\dot{V}O_{2max}$ 추정식 개발과 타당성 검증을 위해 전체 피험자 57명에 대한 점증운동부하검사와 PACER의 $\dot{V}O_{2max}$ 를 비교하였다. 이 후 무선 표집방법에 의해 추정집단(45명)과 타당도검증집단(12명)으로 구분하였다. 추정집단과 타당도검증집단간의 일치도 검사를 위하여 집단간 t-test를 실시하였다. 최대하 운동방법에 의한 추정집단의 $\dot{V}O_{2max}$ 를 추정하기 위하여 최대하운동부하검사방법의 목표심박수 범위인 65~80%HR_{max}[9]가 나타나는 모든 단계(왕복횟수)에서 연령, 신장, 체중, 왕복횟수, 심박수, 안정시 심박수를 독립변인으로 단계선택법(stepwise method)을 이용한 다중선형 회귀분석(multiple linear regression analysis)을 사용하였다. $\dot{V}O_{2max}$ 를 추정하기에 가장 적합한 모형을 선택하기 위하여 다중상관계수(R, R²), 표준오차(SEE) 등을 산출하였다. 이 후 추정식의 타당도 검증을 위하여 검증집단의 결과에 적용하여 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 간의 상관분석을 실시하였으며, Bland-Altman plot을 이용하여 선택된 모형에 대한 적합도를 알아보았다. 본 연구에서의 모든 통계적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

3. 연구결과

3.1 최대운동부하검사 결과

57명의 비만 남자 중학생을 대상으로 Bruce protocol에 의한 최대운동부하검사를 실시한 결과는 다음의 <표 2>와 같다. 결과 중 모든 신체특징 및 관찰변인에서 추정 집단과 검증집단간 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3.2 PACER 결과

<표 3>은 추정집단과 검증집단간 PACER 왕복횟수, $\dot{V}O_{2max}$, HR_{max}를 비교한 결과이다. 결과 중 두 집단간 PACER 최대왕복횟수, HR_{max}, $\dot{V}O_{2max}$ 의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3.3 추정집단의 단계별 회귀모형

모든 대상자들의 목표심박수(75%HR_{max} 이상)가 나타

〈표 2〉 추정집단과 검증집단간 최대운동부하검사 결과 비교

구분	추정집단(n=45)	검증집단(n=12)	t	p
Age(yrs)	14.70±1.05	14.59±1.09	-.186	.853
Height(cm)	167.32±3.94	167.48±4.05	-.081	.965
Weight(kg)	69.53±8.94	69.81±9.30	-.252	.801
%fat	26.76±2.55	26.59±3.07	.290	.761
BMI	26.65±2.46	27.05±2.38	-.372	.710
VO _{2max}	40.31±5.08	41.04±5.71	-.987	.324
HR _{max}	198.98±12.31	197.50±11.88	.108	.801
운동지속시간(초)	549.80±120.05	553.78±110.89	-538	.594

〈표 3〉 추정집단과 검증집단간 PACER 결과 비교

구분	추정집단(n=45)	검증집단(n=12)	t	p
VO _{2max}	41.80±6.78	41.99±8.93	-.113	.786
HR _{max}	201.91±10.53	200.24±11.38	.250	.709
최대왕복횟수	25.74±7.97	26.50±8.08	-.215	.754

〈표 4〉 추정집단과 검증집단간 PACER 결과 비교

그룹	구분	VO _{2max} (ml/kg/min)	HR _{max} (beat/min)	운동지속시간(초)
추정집단 (n=45)	GXT	40.31±5.08	198.98±12.31	549.80±120.05*(A>B)
	PACER	41.80±6.78	201.91±10.53	229.28±45.21
검증집단 (n=12)	GXT	41.04±5.71	197.50±11.88	553.78±110.89*(a>b)
	PACER	41.99±8.93	200.24±11.38	231.80±50.14

A: 추정집단 GXT / B: 추정집단 PACER / a: 검증집단 GXT / b: 검증집단 PACER

〈표 5〉 최대운동부하방식에서의 VO_{2max}예측을 위한 %HR_{max}구간별 결정계수

%HR _{max}	목표심박수	단계	왕복횟수	심박수	%VO ₂ (ml/kg/min)	운동지속시간(초)
75	154	1	3	152.23±14.80	30.23±10.34	27
80	164	1	4	165.06±8.86	35.93±11.03	36
85	174	1	5	178.54±7.99	45.02±9.92	45
90	185	2	15	186.41±4.56	75.74±8.57	127
95	195	3	23	193.92±4.34	85.92±8.82	188

나는 단계와 왕복횟수들을 중심으로 VO_{2max}를 추정하기 위하여 체중, 신장, 연령, 심박수, 안정시 심박수를 독립변인으로 하는 다중회귀분석을 실시하였다. <표 5>는 PACER 검사시 목표심박수(75%HR_{max} 이상)가 나타나는 왕복횟수와 운동지속시간을 표시한 내용이다. 결과 중 75%HR_{max}에 해당되는 심박수가 나타나는 왕복횟수는 3회(운동지속시간 27초)로 나타났으며, 80%HR_{max}는 4회(36초), 85%HR_{max}는 5회(45초)로써 75%HR_{max} ~ 85%HR_{max}의 심박수가 나타나는 시기가 1단계가 종료되기 이전(1분 미만)으로 나타났다. 반면, 이보다 높은 90%HR_{max}는 2단계가 종료되는 15회 반복횟수(운동지속시간 127초)에서 나타났으며, 95%HR_{max}는 3단계가 종료되는 23회 반복횟수에서 나타났다.

다음의 <표 6>은 %HR_{max} 기준 목표심박수 구간에서 왕복횟수, 심박수, 체중, 연령, 신장을 단계적 선택법으로

투입하여 산출된 회귀분석결과이다. 그 중 75%HR_{max}와 80%HR_{max}, 85%HR_{max}에서는 유의한 모형이 나타나지 않았지만, 90%HR_{max}, 95%HR_{max}에서 유의한 추정모형이 산출되었다.

모형 1(90%HR_{max} : 15회 반복/2단계 종료)

$$VO_{2max}(ml/kg/min)=142.721-0.275(\text{왕복횟수})-0.48(\text{심박수})+0.177(\text{체중})-1.536(\text{연령})$$

모형 2(95%HR_{max} : 23회 반복/3단계 종료)

$$VO_{2max}(ml/kg/min)=182.851-0.103(\text{왕복횟수})-0.744(\text{심박수})+0.186(\text{체중})-0.324(\text{연령})$$

모형 1~2의 경우 왕복횟수, 심박수, 체중, 연령을 독립변인으로 하지만, 각 각 변동량에 대한 설명력이 68.9%, 64.6%로 다르게 나타났으며, 그 중 90%HR_{max}의 2단계 종료시점에서의 모형 2가 가장 높은 설명력(68.9%)을 보였다.

〈표 6〉 %HR_{max} 구간별 $\dot{V}O_{2max}$ 와 PACER 변인들간 다중회귀계수

%HR _{max}	변인	비표준화계수		표준화계수	t	R ²	수정된 R ²	추정값 표준오차
		β	표준오차	베타				
75	상수	52.527	7.194		.902	.236	.148	10.95
	왕복횟수	-.087	.030	-.752	-.922			
	연령	-.870	.377	-.606	-.307			
80	상수	102.064	5.218		1.095	.355	.204	7.72
	왕복횟수	-.198	.031	-1.300	-.326			
	체중	.133	.046	.508	1.189			
85	상수	139.456	4.140		1.245	.392	.345	7.69
	왕복횟수	-.318	.048	-0.184	-1.178			
	심박수	-.054	.025	-.370	-1.188			
90	상수	142.721	4.203		15.873*	.685	.689	4.61
	왕복횟수	-.275	.033	-1.421	-8.399*			
	심박수	-.048	.019	-.326	-2.490*			
95	상수	182.851	2.118		5.659*	.680	.646	4.98
	왕복횟수	-.103	.053	-1.680	-3.558*			
	심박수	-.744	.099	-.355	-2.095*			
	체중	.186	.057	.509	2.533*			
	연령	-1.536	.248	-1.070	-1.971*			

*p<.05

3.4 회귀모형에 대한 교차타당도

추정집단 45명을 대상으로 추출된 $\dot{V}O_{2max}$ 추정을 위한 회귀모형들에 대한 타당도 검증을 위하여 검증집단 12명에 대한 심박수, 왕복횟수, 연령, 체중을 모형에 대입하여 산출된 $\dot{V}O_{2max}$ 추정값과 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 와의 차이 분석 및 상관분석을 실시하였으며 결과는 다음의 <표 7, 8>과 같다.

〈표 7〉 검증집단의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 차이비교

추정된 $\dot{V}O_{2max}$	PACER $\dot{V}O_{2max}$	GXT $\dot{V}O_{2max}$	p
모형 1 39.155±5.23	41.99±8.93	41.04±5.71	.324
모형 2 44.56±5.85			.092

**p<.05

〈표 8〉 검증집단의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 상관결과

추정된 $\dot{V}O_{2max}$	PACER $\dot{V}O_{2max}$	GXT $\dot{V}O_{2max}$
모형 1	.623*	.615*
모형 2	.661*	.679*

*p<.05

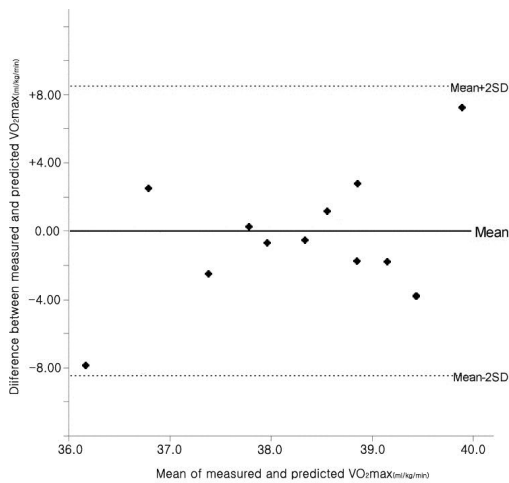
검증집단(n=12)에 대한 모형 1, 2의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 PACER $\dot{V}O_{2max}$, GXT $\dot{V}O_{2max}$ 간 차이를 비교한 결과에서는 모형 3의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 는 PACER 및 GXT의 $\dot{V}O_{2max}$ 보다 높은 경향을 보였지만, 모형 1과 1

모두 통계적으로 유의하지는 않았다. PACER 및 GXT $\dot{V}O_{2max}$ 와의 상관결과에서는 모형 1, 2에서 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 가 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ (PACER, GXT)와 유의한 상관성이 있었으며, 그 중 모형 2의 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 가 PACER 및 GXT $\dot{V}O_{2max}$ 와 가장 높은 상관성(r=.661, .679)을 보였다.

[그림 1]과 [그림 2]는 Bland-Altman plot을 이용하여 모형 1과 모형 2의 추정 회귀식으로부터 얻은 추정 $\dot{V}O_{2max}$ 와 측정된 $\dot{V}O_{2max}$ 방법 간의 평균차이가 0 이라는 것으로 나타난 것이다. 그 중 [그림 1]은 모형 1에 대한 95% CI of limits of differences를 산출한 결과로써 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 간 차이값의 평균은 3.25(±6.32ml/kg/min)이며, %error는 6.84%로 나타났다.

4. 논의

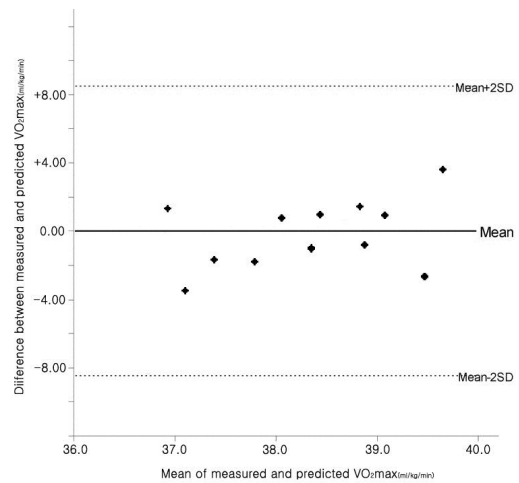
본 연구에서 남자 비만 중학생들을 대상으로 최대하 부하방식의 PACER 검사방법을 통해 유산소 심폐체력인 $\dot{V}O_{2max}$ 를 추정하고자 하였다. 이를 위하여 45명의 비만 남자중학생들은 일차적으로 트레드밀에서의 최대운동부



[그림 1] 모형 1의 추정치와 측정치간의 평균차

하검사를 통한 VO_{2max} 를 측정하였으며, 이 후 최대 PACER 검사를 통한 VO_{2max} 를 구하였다. 본 연구의 결과에서는 실험실에서 정형화된 운동프로토콜(Bruce protocol)을 이용한 VO_{2max} 와 현장에서 20m PACER 검사를 통해 측정된 VO_{2max} 간 차이가 있는지를 알아보았다. 그 결과 통계적으로 유의한 차이는 아니지만, 추정집단과 검증집단 모두 PACER VO_{2max} 가 0.96~1.49ml/kg/min 정도 더 높은 경향을 보였다. 이는 남자 중학생을 대상으로 Bruce protocol과 PACER VO_{2max} 간 비교를 실시한 선행연구[4]의 연구결과와 동일한 것으로써, 점증적 운동부하검사 중 사용한 Bruce protocol이 속도뿐만 아니라 경사도도 함께 증가하기 때문에 대상자들로 하여금 국부적인 근피로 유발을 더욱 가중시키며[3][8][23], 그로 인해 최대산소섭취량의 차이가 유발되었기 때문이다. 다만, Bruce protocol을 이용한 운동검사시간은 평균 549.80~553.78초로써 PACER 지속시간(229.28~231.80초)보다 통계적으로 유의하게 길었다. 이는 두 운동 프로토콜간 단계별 지속시간 및 속도가 다르기 때문으로써 Bruce 프로토콜의 경우 경사도가 존재하기 때문에 상대적인 수평속도는 다소 낮게 구성되어 있는 반면, PACER 검사의 경우 최초 1단계 속도가 8km/h로써 상대적 운동속도가 더 높았기 때문으로 생각된다.

본 연구에서는 PACER 검사 중 대상자들의 목표심박수(70~85% HR_{max})가 나타나는 운동단계 혹은 왕복횟수에서의 호흡변인과 신체변인을 이용한 VO_{2max} 추정식을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 대상자들의 심박수를



[그림 2] 모형 2의 추정치와 측정치간의 평균차

기준으로 목표심박수가 나타나는 왕복횟수를 조사하였다. 그 결과 PACER 운동초기 3회 왕복했을 때 75% HR_{max} 수준으로 나타났으며, 85% HR_{max} 까지 도달하는데 총 45초(5회 왕복횟수)로써 1분 미만에서 이미 목표심박수 범위를 초과하는 등 모든 대상자들의 심박수가 운동초기(3회 왕복) 이미 70% HR_{max} 이상인 것으로 나타났다. 하지만 85% HR_{max} (178.54±7.99beat/min) 이후 대상자들의 심박수 증가폭은 감소하여 90% HR_{max} (186.41±4.56beat/min)까지 15회 왕복(2단계 종료시점 : 127초 소요), 95% HR_{max} (193.92±4.34)는 23회 왕복(3단계 종료시점, 188초 소요)에서 나타났다. 이러한 PACER 검사 시 심박수의 반응은 비만학생 뿐만 아니라 일반학생들에게도 나타나는 결과로써, 관련된 선행연구들도 운동초기 대상자들의 빠른 심박수 증가를 보고한 바 있다[2][4]. PACER 초기 빠른 심박수의 증가는 정지동작에서 중간 단계없이 8km/h의 속도로 운동이 시작되기 때문에 갑작스러운 신체움직임이 유발되기 때문이며, 아울러 트레드밀에서의 달리기 동작과 달리 방향을 바꾸는 턴동작이 있기 때문에 일반 트레드밀 위에서의 운동부하검사시 나타나는 심박수 반응과는 달랐던 것으로 생각된다.

본 연구에서는 추정집단의 PACER 측정결과를 바탕으로 목표심박수(75% HR_{max} 이상)가 나타나기 시작했던 왕복횟수 구간부터 최대 95% HR_{max} 구간까지의 대사반응 변인들을 바탕으로 VO_{2max} 를 추정하기 위하여 단계선택법을 이용한 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 75% HR_{max} 와 80% HR_{max} , 85% HR_{max} 의 경우 통계적으로

유의한 모형이 나타나지 않았으며, $90\%HR_{max}$, $95\%HR_{max}$ 에서 왕복횟수, 심박수, 체중, 연령을 입력변수로 하는 추정모형이 산출되었다. 그 중 심박수의 경우 PACER 검사 중 $\dot{V}O_{2max}$ 를 추정하기에 가장 적합한 대사반응지표로서, 이미 일반 중학생들을 대상으로 PACER 검사 중 대상자들의 심박수를 바탕으로 $\dot{V}O_{2max}$ 추정식[4]이 개발되기도 하였다. 특히, 최근 학교현장에서도 단용 무선심박수 측정장비가 보급됨에 따라 PACER 검사시 개인별 심박수의 측정이 가능하기 때문에, 개인별 대사반응을 반영한 $\dot{V}O_{2max}$ 추정이 가능할 수 있다. $90\%HR_{max}$ 에서의 $\dot{V}O_{2max}$ 추정모형 1의 경우 오차범위 $3.90(\text{ml}/\text{kg}/\text{min})$ 로써 Leger et al.(1988)의 PACER 최대 산소섭취량 추정 오차범위($4.9\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$)보다 낮았다. 또한 $R^2=.689$ 로써 산출된 모형 중 가장 높은 설명력을 보였다. 앞선 최대운동부하방식의 연구결과[17]보다 오차범위가 낮았던 것은 기존의 추정식이 단순 왕복횟수만을 이용했기 때문에[17] 개인별 대사반응이 전혀 반영되지 못했으며, 아울러 PACER 검사의 경우 최대운동지속검사임에도 불구하고 중도에 운동검사를 포기하는 경우가 많다[5]. 이럴 경우 최대운동수행이 아님에도 불구하고 이때까지의 왕복횟수를 최대수행능력으로 가정하기 때문에 실제 $\dot{V}O_{2max}$ 와의 차이 또한 증가했던 것으로 생각된다. 그러므로 본 연구의 추정모형이 최대하운동부하검사방식임에도 불구하고 앞선 연구의 오차범위[17]보다 더 낮았던 것으로 생각된다.

$95\%HR_{max}$ 의 추정모형 2는 $R^2=.646$ 로써 $90\%HR_{max}$ 보다 낮게 나타났으며, 아울러 심박수 반응이 $193.92\pm 4.34(\text{beat}/\text{min})$ 로써 최대운동부하검사시 나타난 최대심박수($198.98\sim 201.91$)과 큰 차이가 없는 고운동강도였음을 고려할 때, 최대하운동검사방법으로는 적합하지 않을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 산출된 추정모형에 대한 타당도 검증을 위하여 독립적인 표본 12명을 회귀식에 대입하여 그 차이를 알아보았다. 모형별 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 와의 차이 검증 결과에서 모형 1과 2 모두 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ (최대운동부하검사, PACER)간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그 중 모형 1의 경우 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 간 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 약 $1.89\sim 2.84\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$ 까지 낮게 추정되는 경향을 보였다. 반면, 모형 2는 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 가 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 유의한 차이는 없었지만, 모형

1과 달리 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 가 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 보다 $2.57\sim 3.52\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$ 정도 높게 나타났다. 모형별 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 간의 상관결과에 있어서는 모형 2($r=.661, 679$)가 가장 높게 나타났다. 이는 최대운동방식으로 PACER 운동시 심박수를 이용한 선행연구[4]의 $\dot{V}O_{2max}$ 추정값 상관성($r=.814$)보다는 낮은 수치이지만, 기존 선행연구들의 상관성 $r=.69$ [18], $r=.65$ [19]보다는 높았다. 반면, 모형 1의 상관결과는 모형 2보다는 낮은 $r=.623, r=.615$ 로써 앞선 모든 결과[18][19]보다 낮았지만, 선행연구[7]의 최대하 운동방식에서 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 측정된 $\dot{V}O_{2max}$ 간의 상관결과($r=0.53, 0.56$)보다는 높다. 선행연구 중[21] 과체중된 어린이들을 대상으로 최대하운동방식으로 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 는 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 $r=.85$ 의 높은 상관성이 보고되었다. 이는 사용한 운동프로토콜의 차이에서 기인한 것으로써, 걷기운동을 통한 $\dot{V}O_{2max}$ 추정모형이 개발되었으며[14], 더욱이 실제 필드에서의 검사방법이 아닌, 트레드밀 위에서의 검사방법을 이용함으로써 본 연구의 결과와 달랐던 것으로 생각된다.

Bland-Altman plot을 통해 모형 1과 모형 2에서 추정된 $\dot{V}O_{2max}$ 와 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 간의 차이를 알아보았으며, 그 결과 모형 1의 차이값 평균은 $3.25(\pm 6.32\text{ml}/\text{kg}/\text{min})$, 오차율(%error)은 6.84% 로써 모형 2의 차이값 평균($3.16(\pm 4.54\text{ml}/\text{kg}/\text{min})$, 오차율(%error) 5.75%)보다 높게 나타났다. 김나영(2012)은 여중생을 대상으로 앞선 여러 선행연구들의 추정식[12][17][19]을 검증하였다. 그 결과 실측된 $\dot{V}O_{2max}$ 대비 각각 23.24% [12], 17.27% [19], 21.21% [17]의 오차율이 있음을 보고하였다. 이러한 오차율은 본 연구에서 제시한 모형 1과 모형 2의 오차율($6.84\%, 5.75\%$)보다 높은 결과로써, 오히려 심박수를 이용한 최대하방식의 PACER $\dot{V}O_{2max}$ 추정방법이 PACER 최대 왕복횟수에 의한 $\dot{V}O_{2max}$ 추정방법보다 더 정확한 $\dot{V}O_{2max}$ 를 예측할 수 있음을 나타낸다.

다만, 본 연구에서 제시한 모형 1과 모형 2를 비교할 경우, 모형 2가 모형 1보다 정확한 $\dot{V}O_{2max}$ 를 추정할 수 있는 모형이 될 수 있지만 모형 2는 최대심박수 대비 95% 수준까지 운동을 진행했을 때의 결과로써 최대운동($100\%HR_{max}$)과 운동지속시간이나 심박수의 차이가 크게 나타나지 않는다. 전유정 등(2012)은 최대하운동방법의 기준으로써 최대하 대사반응을 위한 운동 프로토콜로써 Bruce 프로토콜을 이용하였으며, 그 중 심박수 150을 기준으로 1단계 3분과 2단계 6분 시점에서의 대사반응을

측정하는 등 최대한운동부하를 위한 목표심박수로써 70~85%HR_{max}를 선정하였다. 하지만 본 연구에서의 운동 중 심박수 반응의 경우 앞선 선행연구와 달리 운동초기(3회 왕복, 27초 소요) 70%HR_{max}를 보였으며, 이후 45초의 운동지속시간에서 85%HR_{max} 이상의 심박수 반응을 보이는 등 앞선 연구방법[7]과 달리 70~85%HR_{max} 범위내에서 최대하 수준의 운동 지속 기준을 설정하기에는 다소 무리가 있다. 특히, 본 연구에서 사용한 %HR_{max}의 경우 220-나이를 계산된 결과로써, 이는 안정시 심박수를 고려한 Kavomen 방법보다 더 높게 계산된다[9]. 특히, %HR_{max}를 %VO_{2max}로 변경했을 경우 14% 이상 높게 나타나기 때문에, 다소 높은 범위에서의 운동강도 설정이 더욱 바람직할 수 있다[9]. 본 연구의 결과에서도 90%HR_{max} 범위에서 %VO_{2max}의 경우 75.74%로써 앞선 선행연구의 결과와 동일하게 나타났으며, 이는 VO_{2max} 기준 중강도 수준의 운동수행이었음을 확인할 수 있었다. 그러므로 모형 1과 모형 2의 추정방법 중 PACER 최대하 운동지속 시간에 대한 기준으로써 모형 2에서의 PACER 2단계(90%HR_{max} 수준, 127초의 운동지속시간, 15회 왕복)까지의 최대하 대사반응을 이용한 추정식을 이용하는 것이 최대하부하방식으로의 PACER VO_{2max} 추정방법으로 보다 적합할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구의 목적은 남자 비만 중학생을 대상으로 최대하 방법의 PACER 검사를 통해 최대산소섭취량(VO_{2max})을 추정할 수 있는 추정식을 개발함에 있다. 이를 위하여 중학교 남자 비만 학생 57명을 대상으로 Bruce 프로토콜의 최대운동부하검사와 PACER 검사를 실시하였다. 최대하 대사반응을 위하여 PACER 운동 중 목표심박수(75%HR_{max} 이상)가 나타나는 왕복횟수 구간별 대사반응을 측정하였으며, 개인별 신체자료와 %HR_{max} 구간별(75%, 80%, 85%, 90%, 95%) 대사반응 지표를 통해 최대산소섭취량 추정모형을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 목표심박수(%HR_{max}) 구간별 모든 변인을 단계적 선택법으로 분석한 결과, 90%HR_{max}, 95%HR_{max}에서 왕복횟수, 심박수, 체중, 연령을 입력변수로 하는 추정모형이 산출되었다.

15회 왕복횟수(2단계 종료)와 운동지속시간이 2분7초

인 90%HR_{max}의 모형 1의 추정식은 VO_{2max}(ml/kg/min) = 142.721 - 0.275*(왕복횟수) - 0.48*(심박수) + 0.177(체중) - 1.536*(연령)[표준오차 3.90ml/kg/min]이다.

23회 왕복횟수(3단계 종료)와 운동지속시간이 3분 8초인 95%HR_{max}의 모형 2의 추정식은 VO_{2max}(ml/kg/min) = 182.851 - 0.103*(왕복횟수) - 0.744*(심박수) + 0.186(체중) - 0.324*(연령)[표준오차 4.51ml/kg/min]이다.

산출된 추정식에 대한 타당도 검증을 위하여 독립적인 표본 12명을 회귀식에 대입한 후 실측된 VO_{2max}와의 상관성을 실시한 결과, 모형 1은 r=.661~.679로 가장 높은 상관성을 보였으며, 모형 2는 r=.615~.623로 나타났다. Bland-Altman plot을 통한 모형별 실측된 VO_{2max}와 추정된 VO_{2max}간 차이 평균은 모형 1은 평균 3.25±6.32ml/kg/min, 오차를 6.84%이며, 모형 2의 차이값 평균은 3.16±4.54ml/kg/min, 오차를 5.75%로 나타났다.

결과적으로 모형 1과 모형 2는 모두 최대산소섭취량을 추정하기 위한 최대하 PACER 방법으로 적합한 모형이 될 수 있다. 하지만 비만인 대상자들에게 심혈관계의 큰 부담을 주지 않으면서 충분한 검사에 대한 안정성을 확보하기 위한 최대하 운동방법으로는 심박수와 운동지속시간이 짧았던 모형 1이 모형 2보다 적합한 형태로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 고병구, 김양례, 성봉주, 정동식, 윤성원, 이종각 (2005). 청소년 체력인증 기준 개발. 체육과학연구, 16(30), 44-63.
- [2] 김나영 (2012). 여중생의 심폐지구력 평가를 위한 다양한 20m 점증왕복달리기 추정식의 일치도 평가. 미간행 석사학위논문, 인하대학교 교육대학원.
- [3] 김도윤, 김원현 (2006). 점증적 운동부하검사 결과와 하지 근지구력과의 관련성. 한국체육학회지, 45(5), 407-418.
- [4] 김도윤, 남상남, 김원현 (2012). 남자 중학생의 심폐지구력 평가를 위한 심박수 활용 PACER VO_{2max} 추정. 한국발육발달학회지, 20(2), 75-80.
- [5] 송광섭, 권성진, 권선옥 (2011). 남자 중학생의 PEI 수준에 따른 체력, 신체조성 및 식습관의 차이. 한국발육발달학회지, 19(2), 95-101.
- [6] 인천광역시교육청 (2007). 맞춤형 학생 건강체력평가

- 종합보고서. 서울: 무지개출판사.
- [7] 전유정, 임재형, 입여근, 김창환, 김병완 (2012). 18~34 남성의 최대산소 섭취량 추정. 한국체육학회지, 15(3), 373-382.
- [8] 정주하, 양점홍 (2011). 초등학교 3학년 체육영재와 일반학생의 유, 무산소성 능력 및 하지 등속성근기능 비교. 한국발육발달학회지, 19(1), 49-55.
- [9] 체육과학연구원 (2005). 전문가를 위한 최신운동처방론. 서울: 21세기교육사.
- [10] Ahmaidi, S. B., Varray, A. L., Savy-Pacaux, A. M., & Prefaut, C. G. (1993). Cardiorespiratory fitness evaluation by the shuttle test in asthmatic subjects during aerobic training. *Chest*, 103, 1135-1141.
- [11] American College of Sports Medicine (2000). Current Comment from the ACSM. American College of Sport Medicine Pub.
- [12] Barnett, A., Chan, L. Y. S., & Bruce, I. C. (1993). A preliminary study of the 20-m multistage shuttle run as a predictor of peak $\dot{V}O_2$ in hong kong chinese students. *Pediatric Exercise Science*, 5, 42-50.
- [13] Berthoin, S., Gerbeaux, M., Turpin, E., Guerrin, F., Linsel-Corbeil, G., & Vandendorpe, F. (1994). Comparison of two field test to estimate maximum aerobic speed. *Journal of Sports Sciences*, 12, 355-362.
- [14] Cooper, S. M., Baker, J. S., Tong, R. J., Roberts, E., & Hanford, M. (2005). The repeatability and criterion related validity of the 20m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 1-7.
- [15] Cureton, K. J., & Warren, G. L. (1990). Criterion-referenced standards for youth health-related fitness tests: A tutorial. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 7-19.
- [16] Leger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\dot{V}O_{2max}$. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 1-2.
- [17] Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 meter shuttle run for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6, 93-101.
- [18] Mahar, M. T., welk, G. J., Rowe, D. A., Cortts, D. J., & McIver, K. L. (2006). Development and validation of a regression model to estimate $\dot{V}O_{2peak}$ from PACER 20-m shuttle run performance. *Journal of Physical Activity and Health*, S34-46.
- [19] Matsuzaka, A., takahashi, Y., Yamazoe, M., Humajura, N., Ikeda, A., & Wilk, B. (2004). Validity of the multistage 20-m shuttle-run test for japanese children, adolescents, and adults. *Predict Exercise Science*, 16, 113-125.
- [20] Matthew, T. M., David, A. R., Cindi, R. P., Francis, J. M., D. Michael Dawson, & James, E. H. (1997). Criterion-referenced and norm-referenced agreement between the mile run/walk and PACER. *Measurement of Physical Education of Exercise Science*, 1(4), 245-258.
- [21] Nemeth, B. A., Carrel, A. L., Eickhoff, J., Clark, R. R., Peterson, S. E., & Allen, D. B. (2009). Submaximal treadmill test predicts $\dot{V}O_{2max}$ in overweight children. *The Journal of Pediatric*, 154(5), 677-681.
- [22] Noonan, V., & Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Physical Therapy*, 80(8), 782-807.
- [23] Pavolainen, L., Keijo, H., Ksom, H., Ari, N., & Keikki, R. (1999). Explosive-strength training improves 5km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86, 1527-1533.
- [24] Pinaki, C., Alok, K. B., Parimal, D., Paulomi, D., & Pratima, C. (2008). A Regression Equation for the Estimation of Maximum Oxygen Uptake in Indian Male University Students. *International Journal of Applied Sports Science*, 1, 1-9.
- [25] Ramsbottom, R., Brewer, J., & Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 22(4), 141-144.
- [26] Wilkinson, D. M., Fallowfield, J. L., & Myers, S. D.

(1999).A modified incremental shuttle run test for the determination of peak shuttle running speed and the prediction of maximal oxygen uptake. Journal of Sports Sciences, 17(5), 413-419.

김도윤



- 2001년 2월 : 인하대학교 체육교육과(학사)
- 2004년 2월 : 인하대학교 체육학과(석사)
- 2008년 2월 : 인하대학교 체육학과(박사)
- 2011년 7월~현재 : 인하대학교 학술연구교수

· 관심분야 : 체육영재, 저산소 환경
· E-Mail : youny8@inha.ac.kr

김원현



- 1995년 2월 : 관동대학교 체육교육과(학사)
- 2000년 2월 : 서강대학교 체육교육전공(석사)
- 2005년 8월 : 인하대학교 체육학과(박사)
- 2010년 3월~현재 : 대덕대학교 생활체육과 교수

· 관심분야 : 운동환경, 트레이닝
· E-Mail : whkim@ddc.ac.kr