

## 젊은 정상성인의 비운동 $VO_{2max}$ 추정식

이정아

연세대학교 대학원 재활학과

조상현, 이충휘, 권오윤

연세대학교 보건과학대학 물리치료학과 및 보건과학연구소

### Abstract

#### Non-Exercise $VO_{2max}$ Estimation for Healthy Young Adults

Jung-ah Lee, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Sang-hyun Cho, Ph.D., M.D.

Chung-hwi Yi, Ph.D., P.T.

Oh-yun Kwon, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Institute of Health Science, Yonsei University

The purpose of this study was to produce the regression equation from non-exercise  $VO_{2max}$  of healthy young adults and to develop a maximal oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ) regression model. This model was based on heart rate non-exercise predictor variables (rest heart rate, maximal heart rate/rest heart rate), as an extra addition to the general regression which can reflect an individual's inherent or acquired cardiorespiratory fitness. The subjects were 101 healthy young adults aged 19 to 35 years. Exercise testing was measured by using a Balke protocol for treadmill and indirect calorimetry. The prediction equation was analyzed by using stepwise multiple regression procedures. The mean of  $VO_{2max}$  was  $39.02 \pm 6.72$  ml/kg/min (mean $\pm$ SD). The greatest variable correlated to  $VO_{2max}$  was %fat. The predictor variable used in the non-exercise  $VO_{2max}$  included %fat, gender, habitual physical activity and  $HR_{max}/HR_{rest}$ . The non-exercise  $VO_{2max}$  estimation was as follows:  $VO_{2max}(ml/kg/min) = 55.58 - .41(\%fat) + .59(\text{physical activity rating}) - 2.69(HR_{max}/HR_{rest}) - 5.36$  (male=0, female=1); (R=.85, SEE=3.64,  $R^2=.72$ : including heart rate variable);  $VO_{2max}(ml/kg/min) = 48.47 - .41(\%fat) + .45(\text{physical activity rating}) - 5.12$  (male=0, female=1); (R=.84, SEE=3.74,  $R^2=.70$ : with the exception of heart rate variable). As an added heart rate variable, there was only a 2% coefficient of determination improved. Therefore, these results demonstrated that heart rate variable correlation with a non-exercise regression model was very low. In conclusion, for healthy young Korean adults, those variables that can affect non-exercise  $VO_{2max}$  estimation turned out to be only % fat, gender, and physical activity. We suggest that further research of predictor variables for non-exercise  $VO_{2max}$  is necessary for different patient groups who cannot perform maximal exercise or submaximal exercise.

**Key Words:** Cardiorespiratory fitness; Maximal oxygen consumption; Multiple regression; Non-exercise  $VO_{2max}$  estimation.

## I. 서론

최대산소섭취량(maximal oxygen consumption:  $VO_{2max}$ )은 사람이 신체 작업을 하는 동안 산소를 섭취하여 이용할 수 있는 단위 시간당 최대산소의 양으로 정의된다. 즉 최대산소섭취량은 산소를 신체의 각 조직으로 운반할 수 있는 심혈관계의 기능적 능력을 측정하는 것이다(Snell과 Mitchell, 1984). 낮은 심폐지구력과 신체적 비활동은 관상동맥질환, 뇌졸중, 고혈압, 당뇨와 일부 암의 형태를 포함하는 만성질환을 일으키는 위험과 관련이 있으며, 습관적인 신체활동을 통해 얻어진 높은 수준의 심폐지구력은 여러 가지 건강에 잇점이 있다. 일반적으로  $VO_{2max}$ 는 심폐기능을 평가하는 지표로서 심폐지구력과 신체의 최대 유산소 능력(aerobic performance)을 결정하는 중요한 요소이다(Foster 등, 1984; Paffenbarger 등, 1986).

$VO_{2max}$ 를 측정하는 방법에는 직접 측정법과 간접 측정법이 있다. 직접 측정법은 트레드밀(treadmill)이나 자전거 에르고미터(cycle ergometer)운동으로 최대 부하를 부과하여 호흡가스분석기로 정확한 산소섭취량을 측정해야만 한다. 그러나 이 기계는 복잡하고 고가의 호흡가스분석기가 필요하며, 최대운동(maximal exercise)을 할 때 피검자의 상당한 노력, 동기가 필요하며 피로와 탈진 상태에 도달해야 하는 단점이 있다. 어떤 경우에는 건강에 대한 심각한 위험을 초래해 의사의 감독하에 수행되어야 한다(American College of Sports Medicine, 1995).

간접 측정법은 최대하운동  $VO_{2max}$  추정식과 비운동  $VO_{2max}$  추정식이 있다. 최대하운동  $VO_{2max}$  추정식은 최대운동수준까지 도달되지 않는 최대하운동(submaximal exercise)으로 피검자의 신체적 특성과 일정거리 달리기 기록 및 최대하운동시의 운동강도, 심박수, 수행시간 등 생리적 반응을 이용하여  $VO_{2max}$ 를 추정하는 간단하고 위험성이 없는 방법이다. 그러나 이 방법은 표준화된 최대하운동을 유도하는데 임상적인 제한이 있다.

반면에 비운동  $VO_{2max}$  추정식(non-exercise  $VO_{2max}$ )은 운동을 하지 않고 추정변수로  $VO_{2max}$ 를 구하는 방법으로 대상자의 신체적 특성과 신체 구성상태, 피험자의 운동습관을 통하여  $VO_{2max}$ 를 추정하는 방법이다(Ainsworth 등, 1992; Jackson 등, 1990). 비운동  $VO_{2max}$  추정식은 기구 착용의 어려움과 측정 대상자의 활동제한으로 이용할 수 없는 고령자나 심장질환의 위

험성을 가지고 있는 자, 근육기능의 손실로 인하여  $VO_{2max}$ 가 심각하게 감소되어 있고 단계적 운동테스트로  $VO_{2max}$ 를 측정하기 어려운 뇌졸중 환자에게 필요하다(Potempa 등, 1995). 또한 이 추정식은 간단하고 편리하며, 복잡한 실험장비나 숙련된 측정요원, 피검자의 적극적 동기유발 없이 안전하게 저비용으로 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 비운동  $VO_{2max}$  추정식을 구하는 추정변수(나이, 성별, 체성분, 신체적 활동수준)는 최대하운동 추정변수로 구한  $VO_{2max}$ 의 추정값에 비해 정확성이 떨어진다고(Bruce 등, 1973). 과거의 비운동  $VO_{2max}$  추정식은  $VO_{2max}$  추정변수들(나이, 성별, 체성분)이 운동으로 측정된 모델에서 보다 심폐기능의 유전적 요인, 훈련수준의 상태를 고려하지 않았다는 단점이 있다(George 등, 1997). 그러므로 비운동  $VO_{2max}$  추정식의 정확도 향상을 위해 각 개인의 선천적 및 후천적 심폐기능 수준을 반영하는 예측 가능한 추정변수를 알아내는 것이 필요하다. 훈련상태(training status)는  $VO_{2max}$ 의 주요한 결정인자로 알려져 있다.  $VO_{2max}$ 는 활동이 적은 사람은 감소하고 훈련을 많이 받은 사람은 증가한다(Blomqvist와 Saltin, 1983). 훈련된 사람일수록 안정시 심박수가 낮고 그렇지 않은 사람은 안정시 심박수가 증가된다(Katona 등, 1982). Tanaka 등(2001)은  $VO_{2max}$ 와 최대심박수는 연령의 감소와 관련이 있다고 하여 새로운 최대심박수를 추정하는 공식을 사용하였다.

최대하운동  $VO_{2max}$  추정식은  $VO_{2max}$ 를 구하기 위하여 추정변수로 운동 중의 심박수 관련변수를 많이 사용하고 있으나, 비운동  $VO_{2max}$  추정식에서는 안정시 심박수와 추정치 최대심박수, 최대심박수/안정시 심박수 비율에 대한 활용도는 적으며, 또한 이 변수를 추정변수로 추가하여 정확한 추정식을 구하는 연구가 부족하다. 그리고 아직까지 한국 젊은 정상성인에게 있어서 비운동  $VO_{2max}$  추정식에 대한 연구는 거의 없으며, 어떤 변수가 비운동 추정식과 관련되었는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 이 연구는 한국 젊은 정상성인에게 있어 비운동  $VO_{2max}$  추정식을 산출하고, 여기에 관련된 추정변수(나이, 성별, 체질량지수, 체중, 체지방률, 신체적 활동수준)에 개인의 선천적 및 후천적 심폐기능 수준을 반영하는 심박수 관련변수(안정시 심박수, 최대심박수/안정시 심박수)를 추가하여 비운동  $VO_{2max}$  추정식이 향상되는지를 알아보기 위하여 실시하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 19세에서 35세까지의 건강한 일반인 101명(남: 52, 여: 49)을 대상으로 실시하였다. 연구대상자들은 혈압이나 심박수에 영향을 미치는 약물을 복용하고 있지 않으며 운동수행에 제한을 주는 정형 외과적 문제나 심폐기능의 병력이 없는 자로 하였다. 실험 전 모든 연구대상자들에게 연구의 목적과 방법에 대하여 충분히 설명한 후 자발적인 동의를 얻었다. 연구기간은 2004년 5월부터 9월 초까지 진행되었다.

### 2. 측정방법 및 측정도구

#### 가. 무선 심박수 측정기

심박수 측정을 위해 Polar System<sup>1)</sup>을 사용하였으며, 이 기기는 심전도(electrocardiogram: ECG) 신호를 통해 실시간으로 간편하고 정확하게 심박수를 측정하는 것으로 가슴에 부착하는 벨트형의 송신기(transmitter)와 손목시계형 수신기(receiver)로 구성되어 있다.

#### 나. 신장·체중 자동측정기와 체성분 분석기

신장과 체중을 측정하기 위해 디지털 방식인 신장·체중 자동측정기<sup>2)</sup>를 사용하였다. 체성분 분석기<sup>3)</sup>는 생체전기임피던스 분석을 활용한 기기로 간편하게 선 자세에서 약 2분간의 측정으로 체지방률(%fat)과 체질량지수(body mass index: BMI) 등 체성분 검사와 종합적인 비만 신체상태를 측정할 수 있는 기계이다.

#### 다. 산소소모량 측정기

산소소모량은 간접 열량측정기(indirect calorimeter)인 MetaMax 3B<sup>4)</sup>를 사용하여 측정하였다. 이 장비는 실내 및 실외에서 모두 측정이 가능한 휴대용 호흡가스 분석기로 실외에서 측정된 데이터가 원격측정(telemetry) 방식으로 최대거리 1000 m까지 전송이 가능하여 실시간으로 데이터를 수집, 분석 할 수 있다. 이 장비는 트레이드밀과 연결하여 프로토콜(protocol)을 설정할 수 있다. MetaMax 3B 호흡가스분석기는 호흡상의

산소(O<sub>2</sub>)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도를 측정할 수 있는 감지기가 있어 이를 컴퓨터와 연결시켜 안정시와 운동시 호흡순환기능의 변인들을 혼합 챔버(mixing chamber)인 호기가스 추출법으로 호흡당(breath by breath) 평균 10초 단위로 측정할 수 있고, 자동분석 소프트웨어 프로그램(MetaSoft 2.6)으로 산소섭취량, 최대산소섭취량, 호흡교환율, 심박수 등을 산출할 수 있다.

#### 라. 트레이드밀

운동부하검사를 위하여 트레이드밀 장비를 사용하였다. 이 트레이드밀(STEX 7025T)<sup>5)</sup>은 개인용 컴퓨터와 Metasoft 2.6 프로그램과 연결하여 프로토콜을 설정할 수 있다.

### 3. 실험방법

#### 가. 신체적 활동수준 평가

신체적 활동수준(physical activity status)은 NASA와 Johnson Space Center(JSC)에서 피험자의 신체적 상태를 평가하기 위해 개발된 설문지를 이용하였다(Jackson 등, 1990). 이 설문지는 신체적 활동 참여도를 0에서 7까지의 척도로 구분하여 지난 한달 동안 대상자의 신체적 활동 상태를 질문하여 순서로 나타낸 것이다. 0에서 1은 정규적으로 신체적 활동을 하지 않는 것이고, 2에서 3은 중강도 활동을 나타내는 것이며, 4에서 7은 정규적으로 강한 신체적 활동에 참여하는 것으로 나타낸다. 실험 전 피험자에게 설문지를 나누어 주어 해당하는 항목에 체크하게 하였다.

#### 나. 안정시심박수와 최대심박수 측정

안정시심박수를 측정하기 위하여 Polar System을 이용하여 가슴에 부착하는 송신기를 몸에 부착하고 손목에는 수신기인 손목시계를 착용하게 했다. 누운 자세에서 충분히 안정을 시킨 후 5분간 측정하여 각 1분을 평균한 값 중 가장 낮은 값으로 정하였다. 안정시심박수와 연령으로 추정된 Tanaka 등(2001)의 방법에 의한 최대심박수(HR<sub>max</sub>=208-.7×나이)를 이용하여 최대심박수/안정시심박수(HR<sub>max</sub>/HR<sub>rest</sub>)의 비율을 산출하였다.

1) Polar Electro Oy, Kempele, Finland.  
2) GL-150, (주)지테크 인터내셔널, Korea.  
3) Inbody 3.0, (주)바이오스페이스, Korea.  
4) CORTEX, Germany.  
5) 태화메카트로닉스(주), Korea.

#### 다. 체격과 체성분의 측정

실험 전에 대상자는 신장·체중 자동측정기를 이용하여 체중과 신장을 측정하였으며, 체지방률, 체질량지수는 체성분 분석기로 측정하였다. 측정오차를 줄이기 위해 평가 전 4시간 동안은 식사 섭취를 삼가하게 하고, 측정 12시간 안에는 심한 신체활동을 피하도록 피검자에게 설명하였다. 체격과 체성분의 측정을 위해 간편하고 가벼운 옷을 착용 하였으며, 검사 전에 담배, 알코올, 카페인의 섭취를 피하게 교육시켰다.

#### 라. 최대산소섭취량 측정

점진적으로 운동부하를 증가시키는 단계적 운동실험을 통한  $VO_{2max}$ 를 측정하기 위하여 개인용 컴퓨터와 연동하여 트레드밀을 사용하였다. 남자는 Balke 프로토콜(백일영, 2002)로 1분에 2% 경사도로 매분 1%씩 증가시켰으며, 속도는 3.4 mph를 유지하였다. 여자인 경우에는 Modified Balke 프로토콜(백일영, 2002)로 3분마다 2.5%씩 증가로 속도는 3.0 mph를 유지하였다.

산소소모량은 호흡가스분석기로 측정하였고, 10초당 산소섭취량, 심박수, 호흡교환률(respiratory exchange ratio: RER) 등의 데이터를 실시간으로 측정하였다. 운동 종료 시점은 실험자에 의한 구두 격려에도 불구하고 피검자가 계속 진행할 수 없을 때로 정하였다. 산소섭취량의 최대값은 각 대상자가 다음에 나오는 조건 중 2가지 이상을 만족할 때 최대산소섭취량값의 지표로 삼았다.

- 고원상태(leveling off)로 산소소모량이 최대에 이룬 후 더 이상 증가하지 않고 약간 감소
- 최고심박수( $HR_{max}=208-7\times 나이$ )의  $\pm 10$  범위에 도달
- 호흡교환율( $RER$ )  $\geq 1.1$
- 운동자각도( $RPE$ )  $\geq 7$

호흡교환률은 폐포내에서의 실제적인 가스교환을 나타내며, 안정상태에서는 호흡상과 동일하게 나타난다. 그러나 힘든 운동시에는 약간의 차이를 보인다. 운동자각도(rating perceived exertion: RPE)(Borg, 1982)는 운동하는 동안 자신이 주관적으로 느끼는 수준을 짐작하기 위해 개발되었으며, 이를 통해 개인의 체력수준, 환경조건 및 일반적인 피로 수준을 고려할 수 있다. 현재 고유 척도(original scale)와 범주 척도(category scale)로써 고유 척도는 6에서 20까지로 등급을 나눈 것이고, 개정된 범주-비(category-ratio)척도는 0에서 10까지로

나는 것이다. 본 실험에서는 개정된 범주-비척도를 사용하였다.

#### 4. 분석 방법

비운동  $VO_{2max}$  추정식을 만들기 위하여 종속변수는  $VO_{2max}$ 이었고 독립변수는 성별, 나이, 신장, 체중, 체지방률, 체질량지수, 신체활동수준, 안정시심박수, 최대심박수/안정시심박수( $HR_{max}/HR_{rest}$ )를 선택하였다. 통계분석은 독립변수들 중에서 가장 설명력이 높은 독립변수를 선택 또는 제거하여 가장 좋은 독립변수군을 찾는 단계선택법(stepwise)으로 다중선형회귀분석(multiple linear regression analysis)을 사용하였다. 추정식의 정확도를 알아보기 위하여 다중상관관계(multiple R), 표준 추정오차(standard error of estimate: SEE), 결정계수( $R^2$ )를 산출하였다. 최대산소섭취량과 신체활동수준의 상관성은 스피어맨 순위 상관계수(Spearman's rank order correlation coefficient)로 분석하였으며, 최대산소섭취량과 나이, 신장, 체중, 체지방률, 체질량지수, 안정시심박수,  $HR_{max}/HR_{rest}$  비율 간의 상관성을 알아보기 위하여 피어슨 적률 상관계수(Pearson product moment correlation)로 분석하였다. 자료의 통계처리를 위해 윈도우용 SPSS version 12.0 프로그램을 사용하였으며 유의수준  $\alpha$ 는 .05로 하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상자의 신체 및 생리학적 특성

연구대상자의 신체 및 생리학적 특성은 표 1과 같다. 대상자 총 101명 중 남자는 52명, 여자는 49명이었다. 평균 나이는 24세, 신장은 167 cm, 체중은 62 kg이었다. 남자의 최대산소섭취량 범위는 31~54 ml/kg/min이고 여자는 25~46 ml/kg/min 이었다. 모든 대상자는 최대산소섭취량을 얻는 기준으로 3가지 기준에서 2가지 기준 이상을 모두 만족했으며, 최대노력의 운동자각도는 Borg 척도(0~10) 범위에서 "매우 힘들"에 해당하는 7 이상을 만족하였다.

안정시심박수는 분당 평균 69.4회이었고, 최대심박수는 평균 191.2이었다. 신체활동수준 지수는 전체 평균 3.4점으로 중강도 체력수준이었고, 여자인 경우는 평균 2.5점, 남자인 경우는 4.2점으로 여자보다는 높은 수준이었다. 남녀간의 나이, 최대심박수, 운동자각도, 호흡교환률

을 제외한 다른 변수에서는 유의한 차이가 있었다(표 1).

### 2. 최대산소섭취량과 추정변수들 간의 상관관계

101명을 대상으로 독립변수를 성별, 나이, 체중, 신장, 체지방률, 체질량지수, 신체활동수준 지수, 안정시심박수, HR<sub>max</sub>/HR<sub>rest</sub> 비율로 선택한 결과 종속변수인 VO<sub>2max</sub>와 관련된 독립변수의 추정변수들 간의 상관관계는 표 2와 같다.

VO<sub>2max</sub>와 체지방률은 유의한 역상관관계(r=-.77)가 있었으며, 신체활동지수와도 유의한 상관관계(r=.47)를 보였다. 안정시심박수와 신체활동지수도 유의한 역상관

관계(r=-.29)를 보였다. VO<sub>2max</sub>은 체지방률과 가장 높은 역상관관계를 보였다. 그러나 안정시심박수와 HR<sub>max</sub>/HR<sub>rest</sub> 비율은 VO<sub>2max</sub>와 유의한 상관관계가 없었다.

### 3. 비운동 VO<sub>2max</sub> 추정식의 회귀모형

회귀식의 독립변수는 심박수 변수를 제외한 성별, 나이, 신장, 체중, 체지방률, 체질량지수, 신체활동지수와 안정시심박수와 HR<sub>max</sub>/HR<sub>rest</sub>의 비율을 추가하여 회귀 분석한 결과 두 모형으로 제시되었다. 모형 1은 독립변수로 체지방률, 성별, 신체활동지수가 채택되었으며, 모형 2는 심박수 관련변수를 추가하였을 때 체지방률, 성

표 1. 연구대상자의 신체 및 생리학적 특성

| 변수  | 전체<br>(N=101)            | 남자<br>(n <sub>1</sub> =52) | 여자<br>(n <sub>2</sub> =49) | t-값    |
|---|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|
| 나이(세)                                     | 24.35(3.94) <sup>a</sup> | 25.00(3.42)                | 23.65(4.35)                | 1.73   |
| 신장(cm)                                    | 167.67(9.32)             | 174.87(6.31)               | 160.04(4.82)               | 13.21* |
| 체중(kg)                                    | 62.80(12.06)             | 71.19(9.83)                | 53.89(6.58)                | 10.33* |
| 체지방률(%)                                   | 20.82(7.35)              | 15.87(5.27)                | 26.07(5.34)                | -9.66* |
| 체질량지수(kg/m <sup>2</sup> )                 | 22.18(2.70)              | 23.24(2.48)                | 21.05(2.48)                | 4.42*  |
| 신체활동지수(점)                                 | 3.40(2.23)               | 4.21(2.13)                 | 2.53(2.01)                 | 4.08*  |
| 안정시심박수(회/분)                               | 69.41(8.14)              | 67.69(9.47)                | 71.22(7.32)                | -2.09* |
| 최대심박수(회/분)                                | 191.17(3.22)             | 190.92(3.39)               | 191.44(3.05)               | -.82   |
| HR <sub>max</sub> /HR <sub>rest</sub>     | 2.80(.37)                | 2.88(.43)                  | 2.72(.28)                  | 2.24*  |
| 운동자각도(점)                                  | 7.75(.75)                | 7.77(.78)                  | 7.73(1.01)                 | .22    |
| 호흡교환률(VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub> ) | 1.15(.05)                | 1.15(.05)                  | 1.16(.05)                  | 1.47   |
| VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)            | 39.02(6.72)              | 43.88(4.97)                | 33.86(3.88)                | 11.26* |

HR/HR<sub>rest</sub>: 최대심박수/안정시심박수, 최대심박수: 208-.7×나이

\*p<.05

<sup>a</sup>평균(표준편차)

표 2. 최대산소섭취량과 추정변수들 간의 상관관계수

|                                       | 신체활동지수 | 안정시심박수 | HR <sub>max</sub> /HR <sub>rest</sub> | VO <sub>2max</sub> |
|---------------------------------------|--------|--------|---------------------------------------|--------------------|
| 체지방률                                  | -.39** | .20*   | -.18                                  | -.77**             |
| 신체활동지수                                |        | -.29** | .26**                                 | .47**              |
| 안정시심박수                                |        |        | -.97**                                | -.09               |
| HR <sub>max</sub> /HR <sub>rest</sub> |        |        |                                       | .09                |

\*p<.05

\*\*p<.01

별, 신체활동지수,  $HR_{max}/HR_{rest}$ 로 채택되었다. 모형 1, 모형 2의 다중상관계수는 .84, .85이고, 표준추정오차는 각각 3.74, 3.63이었다(표 3).

심박수 변수를 추가한 모형 2의 비운동 추정식의 결정계수는 .72로 독립변수인 체지방률, 성별, 신체활동지수,  $HR_{max}/HR_{rest}$  비율이 종속변수의  $VO_{2max}$ 에 도출된 예측식의 72%를 설명하였다. 모형에서 순차적으로 체지방률, 성별, 신체활동지수까지의 결정계수는 .70으로  $HR_{max}/HR_{rest}$ 의 비율이 추가됨에 따라 결정계수가 2% 증가되는 것을 알 수 있었다. 모형 1에서 상수는 48.47이고 체지방률의 회귀계수는 -.41, 성별의 회귀계수는 -5.12, 신체활동지수의 회귀계수는 .45이었다. 그러므로 모형 1에 대한 비운동  $VO_{2max}$  추정식은 다음과 같이 표현된다.

모형 1: ( $R=.84$ ,  $SEE=3.74$ ,  $R^2=.70$ ,  $p=.000$ : 심박수 관련변수 제외)

전체:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=48.47-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})-5.12(\text{남}=0, \text{여}=1)$

여자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=43.35-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})$

남자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=48.47-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})$

모형 2에서 상수는 55.58이고 체지방률의 회귀계수는 -.41, 성별의 회귀계수는 -5.36, 신체활동지수의 회귀계

수는 .59,  $HR_{max}/HR_{rest}$ 의 회귀계수는 -2.69이었다. 그러므로  $VO_{2max}$ 와 독립변수들간의 비운동  $VO_{2max}$  회귀식은 다음과 같이 표현된다.

모형 2: ( $R=.85$ ,  $SEE=3.63$ ,  $R^2=.72$ ,  $p=.000$ : 심박수 관련변수 추가)

전체:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=55.58-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})-5.36(\text{남}=0, \text{여}=1)$

여자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=50.22-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})$

남자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=55.58-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})$

#### IV. 고찰

본 연구에서는 Jackson 등(1990)의 연구와 같이 추정변수를 신체적 특성과 신체적 활동지수를 사용하여 비운동  $VO_{2max}$  추정식을 알아보고, 개인의 선천적 및 후천적 심폐기능 요인을 반영하는 심박수 관련변수(안정시심박수, 안정시심박수/최대심박수의 비율)를 추가 하였을 때 비운동  $VO_{2max}$  추정식의 추정력이 향상되는지를 알아보았다. 기존의 비운동  $VO_{2max}$  추정식에 선택된 추정변수의 선행연구 결과는 표 4와 같다.

표3. 비운동  $VO_{2max}$  회귀식

(N=101)

| 계수                   | 모형 1   |       | 모형 2   |       |
|----------------------|--------|-------|--------|-------|
|                      | 비표준화계수 | 표준화계수 | 비표준화계수 | 표준화계수 |
| 상수                   | 48.47  |       | 55.58  |       |
| 체지방률                 | -.41*  | -.45* | -.41*  | -.44* |
| 성별(남=0,여=1)          | -5.12* | -.38* | -5.36* | -.44* |
| 신체활동지수               | .45*   | .15*  | .59*   | .19*  |
| $HR_{max}/HR_{rest}$ |        |       | -2.69* | -.15* |
| 통계량                  |        |       |        |       |
| R                    | .84    |       | .85    |       |
| SEE                  | 3.74   |       | 3.63   |       |

모형 1(추정변수): 상수, 체지방률, 성별, 신체활동지수

모형 2(추정변수): 상수, 체지방률, 성별, 신체활동지수,  $HR_{max}/HR_{rest}$

R: 다중상관계수, SEE: 표준추정오차

\* $p<.05$

G: 성별, PA-R: 신체활동지수, fat: 체지방률, BMI: 체질량지수

$HR_{max}/HR_{rest}$  ( $HR_{max}: 208-.7 \times age$ ): 최대심박수/안정시심박수

$VO_{2max}$ 를 측정하기 위한 운동부하 방법은 남자는 Balke 프로토콜, 여자는 Modified Balke 프로토콜을 사용하였다. 기존 연구에서는 운동부하 방법으로 남녀 구분 없이 Bruce 프로토콜을 흔히 사용하고 있다. 이 검사는 젊은 사람이거나 혹은 신체적으로 활동량이 많은 사람들을 검사하는데 적합하나 신체적인 활동이 적은 피검자는 Balke 프로토콜을 사용하는 것이 적당하다고 생각된다. 왜냐하면 Bruce 프로토콜은 상대적으로 3분마다 증가로, 결과적으로 피검자들은 종종 생리적 반응의 균일화 혹은 고원상태를 얻지 못하고, 운동능력을 운동시간 혹은 운동강도로 예상했을 때 과대평가될 수 있기 때문이다(American College of Sports Medicine, 1995). 따라서 본 연구의 실험대상자들은 생리적 반응의 균일화와 고원상태까지 일정한 속도가 유지하게 하도록 남자는 Balke 프로토콜을 사용하였고, 여자는 신체적 활동량이 남자보다 적기 때문에 여자에게 적합한 속도가 느린 Modified Balke 프로토콜을 사용하였다(백일영, 2002).

심폐기능이 정상인 경우  $VO_{2max}$ 는 성별, 나이, 체중, 평상시 활동량, 민족, 유전적 인자에 의해 차이가 나타나며, 남자의  $VO_{2max}$ 는 여자보다 많고, 연령별로는 10대 후반에 최고치에 달한 후 연령증가에 따라 감소한다(McDonough 등, 1970; Mitchell과 Blomqvist, 1971). 본 연구에서도 여자보다는 남자의  $VO_{2max}$ 가 높았으며 남녀 간의 신장, 체중, 체지방률, 체질량지수, 신체활동

지수에서도 유의한 차이가 있었다(표 1). 서구인의  $VO_{2max}$ 는 평균 연령이 18~29세인 경우 평균 44 ml/kg/min이고 18~70세일때 평균 39 ml/kg/min이다(표 4). 본 연구에서도 한국 젊은 성인의 평균 연령이 19~35세인 경우  $VO_{2max}$ 는 평균 39 ml/kg/min이었다. 남자의 경우 평균  $VO_{2max}$ 가 44 ml/kg/min로 20~29세의  $VO_{2max}$  평가기준치상 보통에 해당되고, 30~39세의  $VO_{2max}$  평가기준치상 좋음에 해당되었다. 여자의 평균  $VO_{2max}$ 는 34 ml/kg/min로 20~29세와 30~39세의  $VO_{2max}$  평가기준치상 모두 보통에 해당되었다(백일영, 2002). 이러한 결과는 평상시의 신체적 활동량이 여성이 남성에 비해 적고 체지방률이 많은 이유 때문으로 보여진다.

본 연구에서 신체적 활동량이 남자가 여자에 비해 높은 것과 관련하여 안정시심박수는 남자가 여자보다 낮게 나타났다. 남녀에 따른 평균 안정시심박수, 평균 최대심박수/안정시심박수 비율은 각각 남자의 경우 68회/분, 2.9이었고, 여자는 71회/분, 2.7로 나타났다(표 1). 일반적으로 성인의 안정시심박수는 분당 60~80회이다. 또한 활동량이 아주 작고 주로 좌식생활을 하는 성인층에서는 안정시심박수가 분당 100회인 경우도 있으며 지구력 훈련으로 단련된 사람은 분당 40~60회까지 낮다(백일영, 2002). 이것은 안정시심박수가 주로 부교감 신경이 조절하게 되어, 이러한 훈련에 의해 서맥이 나타나게 된다. 서맥은 본질적으로 심방조절기나 동방결절에서 시작되는데 만약 동방결절의 내재율이 훈련에 의해 재조절 되었다면 심박수는 느려질 것이며, 자율신경계의 영향으로부터 독립적으로 조절될 것이다. 또한 훈련에 의해 심장의 크기가 변함으로써 기계적인 영향을 받을수 있다(Shi 등, 1995; Smith 등, 1989). 본 연구에

표 4. 비운동  $VO_{2max}$  추정식의 관련된 추정변수 비교

| 비운동 $VO_{max}$ 추정식 연구 | 추정변수                               | 연령    | 대상수  | $VO_{max}(ml/kg/min)$ | R   | SEE  |
|-----------------------|------------------------------------|-------|------|-----------------------|-----|------|
| 본 연구                  | G, PA-R, fat                       | 19~35 | 101  | 39.02±6.72            | .84 | 3.74 |
|                       | G, PA-R, fat, $HR_{max}/HR_{rest}$ |       |      |                       | .85 | 3.63 |
| Geroge 등. 1997        | G, PFA, PA-R, BMI                  | 18~29 | 100  | 44.05±6.6             | .86 | 3.34 |
| Jackson 등. 1990       | G, age, PA-R, fat                  | 18~70 | 1543 | 38.99                 | .81 | 5.35 |
| Heil 등. 1995          | G, age, PA-R, fat                  | 20~79 | 374  | 38.62±10.36           | .88 | 4.90 |

서 최대산소섭취량과 추정변수들 간의 상관관계를 연구해 본 결과 체지방률은  $VO_{2max}$ 와 상당히 높은 상관관계( $r=-.77$ )가 있었다. 체지방률은 체중에 차지하는 상대적인 비율로 과다한 체지방은 고혈압, 관상동맥질환, 당뇨병 등 여러 가지 합병증이 발생하여 건강의 문제를 일으키며, 또한 근육격의 에너지 생산에 기여를 하지 못함으로써 신체활동을 방해한다(Kannel 등, 1979). 따라서 심혈관 질병의 위험요인인 체지방률이 상대적으로 높은 사람은 낮은 사람에 비하여 신체활동과 연관이 있으므로  $VO_{2max}$ 를 추정하는 가장 중요한 예측인자로 볼 수 있다.

여러 연구에서  $VO_{2max}$ 와 피험자의 신체적 활동량에 대한 관련성은 제시되어 있다(Siconolfi 등, 1985; Taylor 등, 1978). 본 연구에서 한국 젊은 정상성인의  $VO_{2max}$ 와 신체적 활동지수(0~7)의 상관관계는 .47로 Jackson 등(1990)에 의해 제시된 .59보다 낮았다. 이러한 이유는 인종적인 차이도 있겠지만, 실험 대상자의 연령수준의 차이와 운동습관 때문으로 생각한다.

본 연구에서 안정시심박수와 최대심박수/안정시심박수의 비율은  $VO_{2max}$ 와 상관성이 없는 것으로 나타났다. 산소섭취량은 심박출량(cardiac output)에 동맥혈과 정맥혈의 산소 분압의 차를 곱한 것이다. 심박출량은 운동 강도에 비례하여 증가하므로 산소섭취량 또한 운동의 강도에 비례하여 증가한다고 할 수 있다(Franks와 Howley, 1998). 심박출량은 1회 박출량에 심박수를 곱한 것이므로 심박수는 산소섭취량에 크게 영향을 미치는 요소이다. 따라서 심박수는 운동시에 영향을 미치지 않지만, 안정시심박수는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. Uth 등(2004)에 의하면 잘 단련되어진 훈련자들에게 있어서 최대산소섭취량과 최대심박수/안정시심박수의 비율은 상관성이 높다고 하였다. 따라서 비운동  $VO_{2max}$  추정식에 심박수 관련변수를 추정변수로 사용하고자 할 때는 대상자 집단의 특성을 고려하여 사용하는 것이 중요하다.

비운동  $VO_{2max}$  추정식의 정확도는 높은 상관계수(R)와 낮은 표준추정오차(SEE)로 나타내었다. 다중상관계수는 직접측정한 값과 추정된  $VO_{2max}$  사이의 선형적 관계를 표시하는 반면, 표준추정오차는 구해진 모형에서  $VO_{2max}$ 의 값을 예측하는 평균 오차이다. 심박수 변수를 추가하지 않은 신체적 특성(성별, 체지방률)과 신체활동지수를 추정변수로 나타낸 비운동  $VO_{2max}$  추정식의 다중상관계수는 .84, 표준추정오차는 3.74이었다.

심박수 변수인  $HR_{max}/HR_{rest}$  비율을 추정변수로 추가하였을 때 다중상관계수는 .85와 표준추정오차는 3.63로 많은 향상은 보이지 않았다. 표준화된 회귀계수의 크기는  $VO_{2max}$ 를 예측하는 주어진 변수의 크기로 영향력을 미치는 것으로 해석된다(George 등, 1997). 본 연구에서 표준화된 회귀계수로 성별, 체지방률, 신체활동지수,  $HR_{max}/HR_{rest}$ 은 각각 -.44, -.44, .19, -.15로 체지방률과 성별이  $VO_{2max}$ 를 예측하는 중요한 변수임을 알 수 있었다. 그러므로 한국 젊은 정상성인에게 있어 성별과 체지방률, 신체활동지수는 중요한 비운동 추정식의 인자로 사용될 수 있다(George 등, 1997; Heil 등, 1995; Jackson 등, 1990). 그러나 안정시심박수와  $HR_{max}/HR_{rest}$  비율은  $VO_{2max}$ 를 예측하는 추정변수로 영향력은 작지만 어느 집단에 속하는가에 따라 중요한 인자가 될 수 있다고 생각된다.

Jackson 등(1990)의 비운동 추정식에 사용된 변수는 성별, 나이, 신체적 활동지수, 체지방률이었다. 그러나 본 연구에서는 대상자의 연령대가 비슷하므로 나이로 추정한 최대심박수와 관련된  $HR_{max}/HR_{rest}$ 의 비율이 비운동 추정식에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. 또한 나이가 추정변수로 추가 되지 않은 이유는 연령대의 범위가 제한적이어서 나이가 확대될 때 추정변수로 나이의 중요성에 대한 고려를 하지 못했다. 연구의 다른 제한점으로는 신체적 활동지수의 설문은 다소 제한적이고, 일상생활의 습관이나 활동량에 대해 자세하게 설명되지 않았고, 지난 한달 간의 전반적인 신체적 활동량만 설문하여 그 이전의 상태는 고려하지 못하였다.

앞으로 심폐지구력 평가를 위한 정확한 비운동  $VO_{2max}$  추정식들을 구하고 한국성인에 맞는 회귀식 개발을 위해 다양한 집단을 대상으로한 연구가 필요하며 정확한 비운동  $VO_{2max}$  추정식을 구할 수 있는 추정변수들을 찾는 노력이 필요할 것이다.

## V. 결론

본 연구의 결과 한국 젊은 정상성인에게 비운동  $VO_{2max}$  추정식은 심박수 관련변수를 제외한 다음과 같은 모형 1의 추정식을 사용하고, 신체적 활동이 많고 단련된 자는 모형 2의 추정식을 사용하는 것이 효과적이라고 생각한다.



모형 1: ( $R=.84$ ,  $SEE=3.74$ ,  $R^2=.70$ ,  $p=.000$ : 심박수 관련변수 제외)

전체:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=48.47-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})-5.12(\text{남}=0, \text{여}=1)$

여자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=43.35-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})$

남자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=48.47-.41(\text{체지방률})+.45(\text{신체활동지수})$

모형 2: ( $R=.85$ ,  $SEE=3.63$ ,  $R^2=.72$ ,  $p=.000$ : 심박수 관련변수 추가)

전체:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=55.58-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})-5.36(\text{남}=0, \text{여}=1)$

여자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=50.22-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})$

남자:  $VO_{2max}(ml/kg/min)=55.58-.41(\text{체지방률})+.59(\text{신체활동지수})-2.69(\text{최대심박수/안정시심박수})$

앞으로 한국성인을 위한 비운동  $VO_{2max}$  추정식의 정확성을 향상시키기 위해서 더욱 다양한 연령층에 대한 연구가 필요할 것이다.

## 인용문헌

백일영, 운동생리학과 운동처방. 서울, 대한미디어, 2002.

Ainsworth BE, Berry CB, Schnyder VN, et al. Leisure-time physical activity and aerobic fitness in African-American young adults. *J Adolesc Health*. 1992;13(7):606-611.

American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. PA, Williams & Wilkin, 1995.

Blomqvist CG, Saltin B. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol*. 1983;45:169-189.

Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):377-381.

Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional

aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J*. 1973;85(4):546-562.

FranksD, Howley ET. Health Fitness Instructor's Handbook. 3rd ed. Champaign, Ill, Human Kinetics, 1998.

Foster C, Jackson AS, Pollock ML, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *Am Heart J*. 1984;107(6):1229-1234.

George JD, Stone WJ, Burkett LN. Non-exercise  $VO_{2max}$  estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(3):415-423.

Heil DP, Freedson PS, Ahlquist LE, et al. Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(4):599-606.

Heyward VH, Stolarczyk LM. Body Composition Assessment. Champaign, Ill, Human Kinetics, 1996.

Jackson AS, Blair SN, Mahar MT, et al. Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(6):863-870.

Kannel WB, Gordon T, Castelli WP. Obesity, lipids, and glucose intolerance. The Framingham Study. *Am J Clin Nutr*. 1979;32(6):1238-1245.

Katona PG, McLean M, Dighton DH, et al. Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *J Appl Physiol*. 1982;52(6):1652-1657.

McDonough JR, Kusumi F, Bruce RA. Variations in maximal oxygen intake with physical activity in middle-aged men. *Circulation*. 1970;41(5):743-751.

Mitchell JH, Blomqvist G. Maximal oxygen uptake. *N Engl J Med*. 1971;284(18):1018-1022.

Paffenbarger RS, Hyde RT, Hsieh CC, et al. Physical activity, other life-style patterns, cardiovascular disease and longevity. *Acta Med Scand Suppl*. 1986;711:85-91.

Potempa K, Lopez M, Braun LT, et al. Physiological outcomes of aerobic exercise training in hemiparetic stroke patients. *Stroke*. 1995;26(1):101-105.

Shi X, Stevens GH, Foresman BH, et al. Autonomic nervous system control of the heart: Endurance

- exercise training. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(10):1406-1413.
- Siconolfi SF, Lasater TM, Snow RC, et al. Self-reported physical activity compared with maximal oxygen uptake. *Am J Epidemiol.* 1985;122(1):101-105.
- Smith ML, Hudson DL, Graitzer HM, et al. Exercise training bradycardia: The role of autonomic balance. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(1):40-44.
- Snell PG, Mitchell JH. The role of maximal oxygen uptake in exercise performance. *Clin Chest Med.* 1984;5(1):51-62.
- Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37(1):153-156.
- Taylor HL, Jacobs DR, Schucker B, et al. A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *J Chronic Dis.* 1978;31(12):741-755.
- Uth N, Sorensen H, Overgaard K, et al. Estimation of  $VO_{2max}$  from the ratio between  $HR_{max}$  and  $HR_{rest}$ -the heart rate ratio method. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(1):111-115.

---

|         |              |
|---------|--------------|
| 논문 접수일  | 2005년 4월 21일 |
| 논문게재승인일 | 2005년 7월 28일 |