

등속성 에르고미터 운동을 이용한 수정된 생리적 부담 지수와 산소소비량 변화량과의 상관성

박호준

연세대학교 대학원 재활학과

조상현, 이충휘

연세대학교 보건과학대학 재활학과 및 보건과학연구소

박정미

연세대학교 원주의과대학 재활의학교실

Abstract

Relationship Between Modified Physiological Cost Index for Isokinetic Ergometer Exercise Test and Oxygen Consumption

Park Ho-joon, M.Sc., P.T.

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

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

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

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

Institute of Health Science, Yonsei University

Park Jung-mi, Ph.D., M.D.

Dept. of Rehabilitation Medicine, Wonju Christian Hospital, Wonju College of Medicine,
Yonsei University

The purpose of this study was to establish modified physiological cost index (PCI) for predicting energy consumption by heart rate (HR) at isokinetic ergometer exercise testing. The subjects were twenty-eight healthy men in their twenties. All of them performed upper and lower extremity isokinetic ergometer exercise tests which had six loads (400, 500, 600, 700, 800, and 900 kg-m/min) and five loads (400, 500, 600, 700, and 800 kg-m/min) respectively. The exercise sessions were finished when HR was in plateau. HR and oxygen consumption were determined during the final minute. Resting heart rate and oxygen consumption were used for calculating heart rate, oxygen consumption changes and modified PCI. Regression analysis established the relationship between each variable to work load, HR and oxygen consumption. The results were as

follows: 1) In the lower extremity ergometer exercise test, oxygen consumption increased continuously as work load increased, but in the upper extremity ergometer test, oxygen consumption only increased until work load was 700 kg-m/min. 2) HR increased as work load increased in both exercise tests, but in the upper extremity ergometer test, HR decreased from the 700 kg-m/min. 3) The modified PCI increased as work load increased until the 700 kg-m/min point in the lower extremity ergometer test and until the 500 kg-m/min point in the upper extremity ergometer test when it started to decrease in both tests. 4) In the lower extremity ergometer exercise test, regression analysis established the relation as $dVO_2 = -.0215HR - .2141$ where dVO_2 is given in l/min and HR in beat/min ($R^2 = .2677$, $p = .000$). In the upper extremity ergometer exercise test, regression analysis established the relation as $dVO_2 = -.0115HR + .2746$ ($R^2 = .1308$, $p = .000$). The results of this study were similar to previous studies but were different under high work load conditions. So modified PCI should be used with only low intensity work load testing. Subjects for upper extremity ergometer exercise testing should complete a prescribed training course prior to testing, and only low intensity work load should be used for safety considerations.

Key Words: Modified physiological cost index: Upper and lower isokinetic ergometer.

I. 서론

운동 중 사용한 에너지에 대한 수행한 일량의 비를 나타내는 에너지 효율은 환자의 운동능력을 평가하는 지표로서 중요한 역할을 한다(김봉옥 등, 1996). 운동장애가 있는 환자가 독립적인 일상생활동작을 수행하는데 과도한 에너지 소모는 심각한 장애로, 재활치료분야에서 환자들의 에너지 효율을 높이는 것은 중요한 치료목표가 된다(Butler 등, 1984).

에너지 소모를 측정하는 방법은 직접 측정인 통 열량계(bomb calorimeter)를 이용한 방법과 간접 측정인 산소소모량을 이용한 방법, 그리고 심박수를 이용한 측정 방법 등이 있다(김광희 등, 1992). 직접 측정인 통 열량계를 이용한 방법은 매우 높은 정확도를 가지고 있으나, 측정 방법이 복잡하고 비용이 많이 들며, 측정 환경이 폐쇄적이어서 매우 비실용적이다. 간접 측정 방법에는 산소소모량을 이용한 측정이 흔히 이용되는데, 측정 정확도가 높음에 비해 기구장착의 번거로움, 상대적으로 높은 측정비용, 호기를 수집하기 위한 더글라스 백(douglas bag)의 측정 대상

에 대한 호흡제한, 그리고 측정 대상의 활동 제한으로 인해 임상영역에서 쉽게 이용되지 못하고 있다(김광희 등, 1992; 김봉옥 등, 1996; Ghosh 등, 1980; McGregor, 1981; Shepherd, 1975). 반면, 심박수를 이용한 측정 방법은 산소소모량을 이용한 방법보다 측정이 간편하고, 측정 중 대상의 활동을 제한하지 않으므로 널리 이용되고 있다(김봉옥 등, 1996; Butler 등, 1984; McGregor, 1981; Mossberg 등, 1990).

Astrand와 Ryhming(1954)은 트레드밀 운동, 자전거 에르고미터 운동, 그리고 계단오르기 운동 시 분당 산소소모량과 분당 심박수가 선형관계를 갖는다는 것을 밝혔다(Astrand와 Rodhal, 1970). McGregor(1981)는 이를 근거로 보행을 포함한 다양한 일상생활동작에서 에너지 소모를 측정의 필요성을 제기하였으며, 이를 위해 심박수를 이용하여 에너지 소모를 나타내는 생리적 부담 지수를 제시하였다(Mossberg 등, 1990). 생리적 부담 지수(physiological cost index: PCI)는 보행속도에 따른 심박수의 증가비로 나타내며, 보행 시 에너지 소모를 알 수 있는

지표이다. 이것은 측정이 간편하고 타당성이 뛰어나 에너지 효율을 측정하는 연구에 많이 사용되고 있다(Mossberg 등, 1990; Rose 등, 1985; Rose 등, 1991).

그러나 생리적 부담 지수는 보행 운동검사를 기준으로 만들어져 있다는 제한점이 있다. 재활치료의 대상이 되는 환자들 중에는 보행 속도가 매우 느리거나 보행이 불가능한 환자가 많아 보행 이외의 활동에서도 에너지 소모율을 알 수 있는 지표의 개발은 중요한 과제라 할 수 있다. McGregor(1981)가 보행을 포함한 다양한 일상생활동작에서 에너지 소모율 측정의 필요성을 제기하며 이를 위해 제시한 생리적 부담 지수는 보행 이외의 활동에서 실험적으로 검증되지 않았다. 산소소모량을 이용하여 에너지 효율을 측정한 이전의 연구에서는 운동의 종류와 사용되는 근육군에 따라 산소소모량, 심박수의 신체적 반응이 다르다는 보고가 있었다(Astrand와 Saltin, 1961; Bruce, 1974; Clausen 등, 1970; Miyamura와 Honda, 1972; Secher 등, 1974). 트레드밀 운동과 자전거 에르고미터 운동을 비교한 결과 산소소모량은 차이가 있으나 심박수는 차이가 없었다(Hermansen과 Saltin, 1969; Hermansen 등, 1970). Nagel 등(1971)은 운동검사 시 시행하는 운동의 종류가 다를 경우 검사결과를 직접 비교하거나 호환할 수 없다고 하였다. 따라서 보행 운동검사를 기준으로 만들어진 생리적 부담 지수를 보행 이외의 활동에서 사용하기 위해서는 새로운 지수가 개발되어야 할 것이다. 그러기 위해서는 보행속도를 대체할 변수가 필요하며 상·하지 등속성 에르고미터 운동 시 속도의 개념을 포함하는 일량(Watt)은 적절한 대체 변수라고 생각된다.

본 연구에서는 상·하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 심박수를 이용한 산소소모량의 추정가능성을 검증하여 상·하지 등속성 에르고미터 운동을 위해 수정된 생리적 부담 지수의 타당성을 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서는 연세대학교에 재학 중인 18세에서 24세까지의 남성 28명을 대상으로 하였다. 연구대상자들은 심혈관계 질환이 없고, 이전에 정기적인 운동프로그램이나 유사한 실험을 경험하지 않은 대상으로 하였다. 평균 나이는 20.2 ± 2.1 세, 키는 173.7 ± 4.3 cm, 몸무게는 65.1 ± 10.4 kg이었다(표 1).

2. 실험기기

가. 등속성 에르고미터(isokinetic cycle-ergometer)¹⁾

연구대상자의 상·하지운동 시 산소소모량과 심박수를 측정하기 위한 최대하운동검사에 하지 등속성 에르고미터와 상지 등속성 에르고미터를 사용하였다. 상·하지 등속성 에르고미터는 각속도를 일정하게 고정할 수 있으며, 연구대상자가 현재 수행중인 일량을 볼 수 있도록 전방에 계기판이 있다. 의자와 손잡이의 높이를 연구대상자의 체격에 맞추어 조절할 수 있고, 타이머가 부착되어 운동 시간을 측정할 수 있다. 일량의 단위는 kg-m/min (kilogram meter per minute)로 표시된다.

나. MP100WSW²⁾

연구대상자의 산소소모량과 심박수를 측정하기 위해 다양한 생리적 신호를 동시에 검출하여, 디지털(digital) 처리 할 수 있는 다용도 기록계(polygraph)의 일종인 MP100WSW를 이용하였다.

1) CYBEX, U.S.A.

2) BIOPAC Systems Inc., U.S.A.

심박수를 측정하기 위해 심전도(electrocardiogram: ECG)용 전극³⁾ 2개와 직경 2.5 cm의 접지 전극⁴⁾ 1개를 사용하였다. 신호는 sampling rate 200 Hz로 수집하였다. 심전도 신호는 17 Hz band pass filter, 절대값 변환, 10 Hz low pass filter, 그리고 분당 peak 수 산출의 과정을 차례로 자동연산하여 분당 심박수를 실시간으로 기록하였다(그림 1).

총 호기량의 측정을 위해 TSD107B

Pneumotach Transducer⁵⁾를 사용하였으며, 산소농도를 측정하기 위해 O₂100A Oxygen Measurement Module⁶⁾을 사용하였다. 이들의 신호는 sampling rate 100 Hz로 수집하였다. 공기 중 산소 농도 20.9%에서 O₂100A Oxygen Measurement Module(그림 2)을 통해 구한 호기시 산소농도를 뺀 후 분당 호기량을 곱하여 분당 산소소모량을 구하였다.

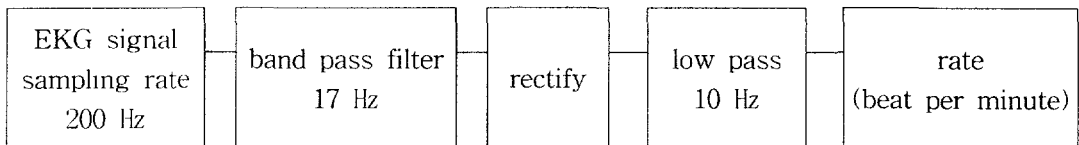


그림 1. 심박수 처리과정

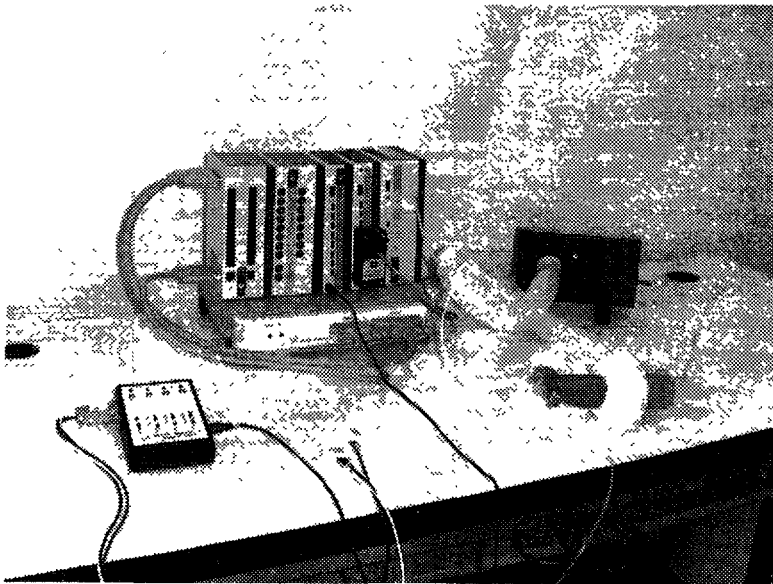


그림 2. TSD107B Pneumotach Transducer, O₂100A Oxygen Measurement Module

3) Niko Medical Products, Denmark.
4) Nicolet Biomedical Inc., U.S.A.

5) BIOPAC Systems Inc., U.S.A.
6) BIOPAC Systems Inc., U.S.A.

3. 실험과정

대상자는 28명이었으며, 모든 대상자들은 하지 등속성 에르고미터를 이용한 최대하운동검사와 상지 등속성 에르고미터를 이용한 최대하운동검사에 참여하였다. 운동검사의 순서는 대상자가 직접 체비뿔기를 하여 무작위로 결정하였다.

대상자가 에르고미터에 앉아서 운동을 수행할 때 체간의 움직임이 유발되지 않고 대상자 스스로 가장 편안한 높이가 되도록 에르고미터의 좌석 높이를 조절하였다.

분당 심박수 측정을 위한 심전도 전극은 최대하운동검사 시 상·하지 근육에서 발생하는 전기적 신호의 간섭과 전선으로 인한 운동방해를 줄이기 위해서, 팔과 다리의 지정된 부착 위치보다 몸통 쪽으로 접근하여 참고전극은 복장뼈자루(manubrium), 나머지 전극은 큰 가슴근을 피해 젖꼭지의 외하방 10 cm에 부착하였다(강두희, 1988), (그림 3).

연구대상자들은 하지 등속성 에르고미터 (그림 4)에서 각각 400, 500, 600, 700, 800, 900 kg-m/min의 운동강도로 최대하운동검사를

를 실시하였고, 상지 등속성 에르고미터(그림 5)에서는 각각 400, 500, 600, 700, 800 kg-m/min의 운동강도로 최대하운동검사를 실시하였다. 각각의 검사는 심박수가 1분 이상 변화하지 않는 순간까지 진행되었고, 실험자가 심박수가 안정되었다고 판단한 1분간의 평균 분당 심박수와 산소소모량을 측정하였다. 대상자들은 검사 전 정해진 운동강도를 계기판을 보며 유지하도록 지시 받았으며 운동검사 중 실험자의 구두격려(verbal command)도 함께 받았다. 실험자의 구두격려는 계기판의 바늘이 정해진 운동강도를 벗어나는 경우 “바늘이 정해진 눈금을 유지하도록 하세요”라고 즉각 주어졌다. 각 검사 사이에는 30분 동안 휴식을 취하였다. 운동검사가 모두 종결된 후 하루 이상 경과한 다음 대상자들의 안정 시 산소소모량과 심박수를 측정하였다. 대상자들은 30분 동안 앉은 자세에서 휴식을 취한 후 5분 동안 산소소모량과 심박수를 측정하였으며, 마지막 1분 동안의 값을 측정값으로 취하였다. 실험장소는 실내온도 18~20 ℃를 유지하였고 통풍이 잘 되는 곳에서 실시하였다.

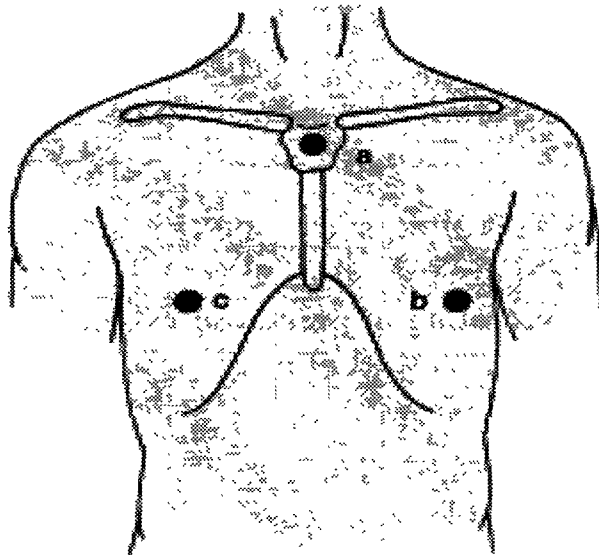


그림 3. 심전도 전극 위치



그림 4. 하지 등속성 에르고미터



그림 5. 상지 등속성 에르고미터

4. 자료분석

연구대상자들에게 두 가지 방식의 운동검사를 실시하여 분당 심박수와 분당 산소소모량을 각 강도당 1회 측정하였다. 산소소모량과 심박수는 개인의 체력수준에 따라 차이가 있으므로, 변화량을 구하여 개인간 체력수준차를 보상하고자 하였다. 각각의 운동종류와 운동강도에서 측정된 분당 산소소모량과 분당 심박수에서 안정 시 분당 산소소모량과 분당 심박수를 감산하여 운동 시 산소소모 변화량(dVO₂)과 심박수 변화량(dHR)을 결정하였다.

수정된 생리적 부담 지수(modified PCI)는 심박수 변화량을 운동강도로 나누어 구하고 수식은 다음과 같았다.

$$\text{modified PCI} = \frac{\text{운동시심박수} - \text{안정시심박수}}{\text{운동강도}}$$

심박수의 산소소모량 예측 가능성을 보기 위해 분당 산소소모 변화량과 분당 심박수 변화량을 단순회귀분석하였으며 이를 운동종류별로 나누어 분석하였다. 또한 운동강도의 증가에 따른 분당 산소소모 변화량, 분당 심박수 변화량, 그리고 modified PCI의 변화 경향을 그래프로 분석하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성은 표 1과 같다. 대상자의 안정 시 분당 산소소모량의 평균은 .25, 표준편차는 .08, 안정시 심박수의 평균은 77.75, 표준편차는 11.69이었다. 연구대상자의 체력수준을 나타내는 최대산소소모량의 평균은 2.29, 표준편차는 .45이었다.

2. 운동강도 증가에 따른 분당 산소소모량의 변화

하지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모량과 변화량의 평균은 운동강도가 증가함에 따라 함께 증가하였으나 상지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모량과 변화량의 평균은 운동강도 700 kg-m/min까지 증가하다가 감소하였다(그림 6, 그림 7). 하지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모 변화량과 운동강도의 단순회귀식은 'Y = .003265X - .618'이고 설명력을 나타내는 R²값은 .260이었다(p<.05). 상지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모 변화량과 운동강도의 단순회귀식은 'Y = .001266X + .620'이고 설명력을 나타내는 R²값은 .057이었다(p<.05). 분당 산소소모량의 표준편차는 상지 등속성 에르고미터 운동검사 시 운동강도가 증가함에 따라 값이 커졌고, 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시에도 운동강도에 따라 증가하는 경향을 보였다.

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (n=28)

나이(세)	키(cm)	몸무게(kg)
20.21 ± 2.08	173.71 ± 4.31	65.09 ± 10.41

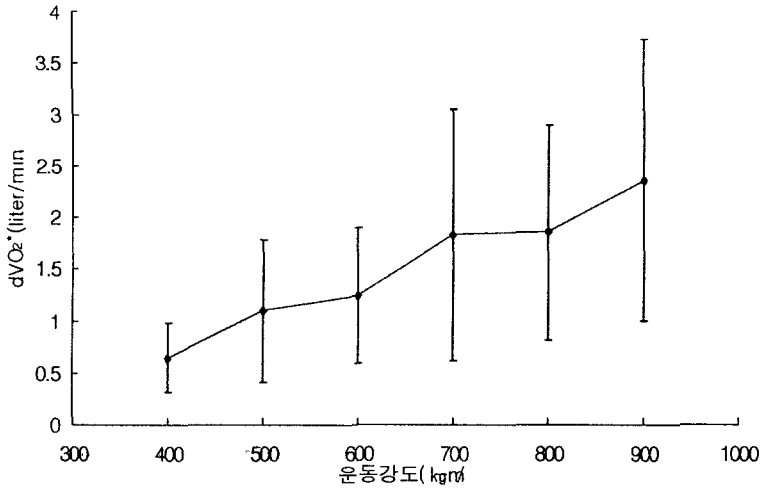


그림 6. 하지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 분당 산소소모량의 변화
 *dVO₂: 운동전후 분당 산소소모량의 변화

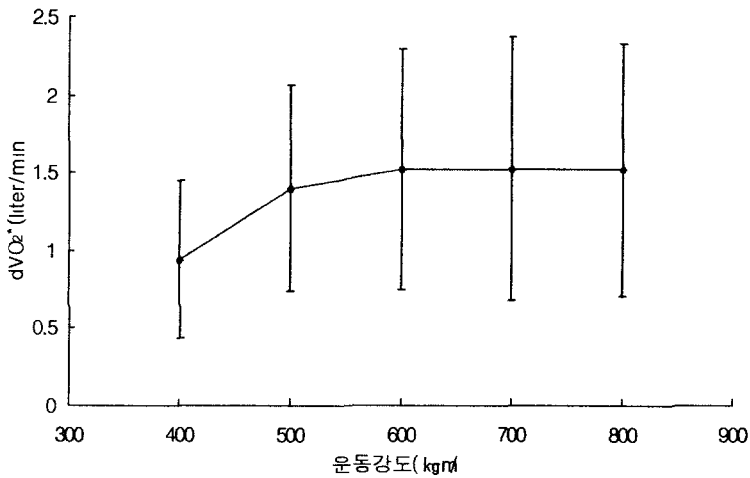


그림 7. 상지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 분당 산소소모량의 변화
 *dVO₂: 운동전후 분당 산소소모량의 변화

3. 운동강도 증가에 따른 분당 심박수의 변화

상·하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 분당 심박수의 평균과 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 분당 심박수 변화량은 운동강도가 증가함에 따라 함께 증가하였으나 상지 등속성 에르고미터 운동검사시 분당 심박수 변화량은 증가하다가 운동강도 700 kg-m/min에서 감소하였다(그림 8, 그림 9). 하지

등속성 에르고미터 운동 시 분당 심박수 변화량과 운동강도의 단순회귀식은 $Y = .132X - 6.056$ 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 .738이었다($p < .05$). 상지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 심박수 변화량과 운동강도의 단순회귀식은 $Y = .07898X + 48.562$ 이고 설명력을 나타내는 R^2 값은 .224이었다($p < .05$). 분당 심박수의 표준편차는 운동강도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

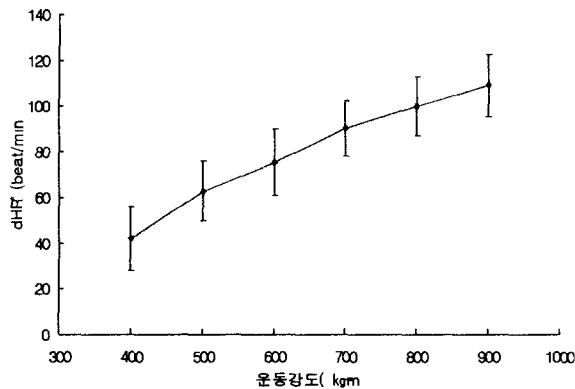


그림 8. 하지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 분당 심박수의 변화
*dHR: 운동전후 분당 심박수의 변화

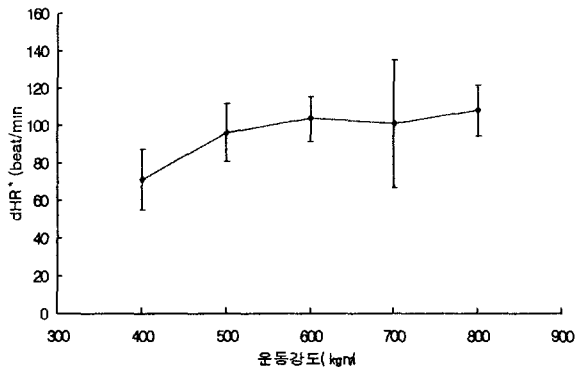


그림 9. 상지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 분당 심박수의 변화
*dHR: 운동전후 분당 심박수의 변화

4. 운동강도 증가에 따른 modified PCI의 변화

하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 modified PCI의 평균은 운동강도가 700 kg-m/min까지 운동강도를 따라 증가하다가 감소하였고, 상지 등속성 에르고미터 운동검사 시는 500 kg-m/min까지 증가하다가 감소하였다(그림 10, 그림 11). 하지 등속성 에르고미터 운동 시 modified PCI와 운동강도의

단순회귀식은 'Y = .000002479X + .01083'이고 설명력을 나타내는 R²값은 .030이었다(p<.05). 상지 등속성 에르고미터 운동 시 modified PCI와 운동강도의 단순회귀식은 'Y = -.00001355X + .02488'이고 설명력을 나타내는 R²값은 .228이었다(p<.05). 상·하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 modified PCI의 표준편차는 운동강도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

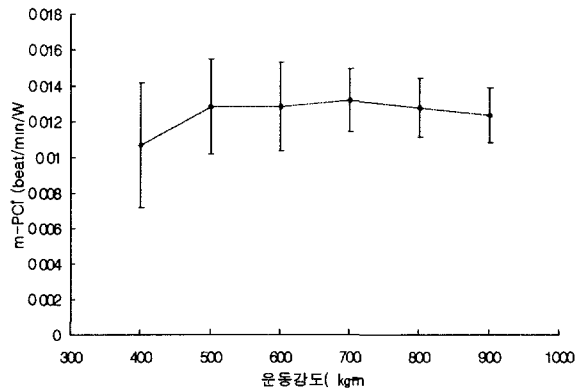


그림 10. 하지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 modified PCI의 변화
*m-PCI: modified PCI

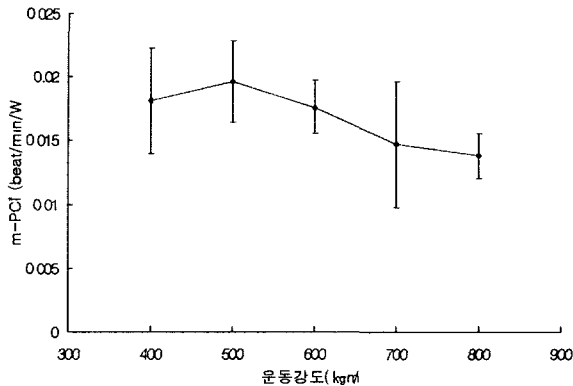


그림 11. 상지 등속성 에르고미터 운동시 운동강도증가에 따른 modified PCI의 변화
*m-PCI: modified PCI

5. 분당 심박수 증가에 따른 분당 산소 소모량의 변화

분당 산소소모 변화량과 분당 심박수 변화량의 단순회귀방정식은 하지 등속성 에르고미터 운동의 경우는 'Y = -.0215X - .2141'이

다. 설명력을 나타내는 R²값은 .2677 이다. 상지 등속성 에르고미터 운동의 경우는 'Y = .0115X + .2746'이다. R²값은 .1308로 하지 등속성 에르고미터 운동 시 보다 떨어졌다 (p<.05)(그림 12, 그림 13).

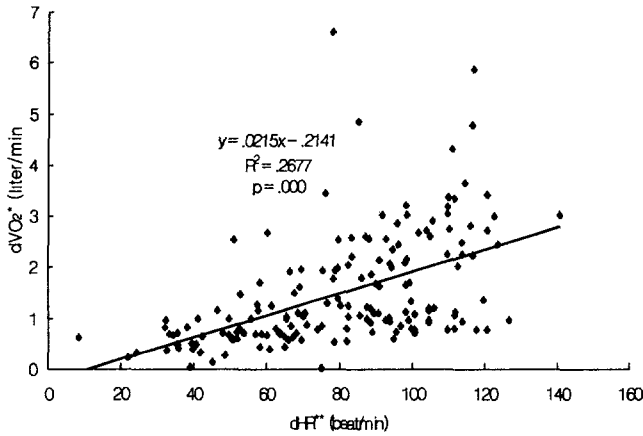


그림 12. 하지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모 변화량과 분당 심박수 변화량 단순회귀모형
*dVO₂: 운동전후 분당 산소소모량의 변화
**dHR: 운동전후 분당 심박수의 변화

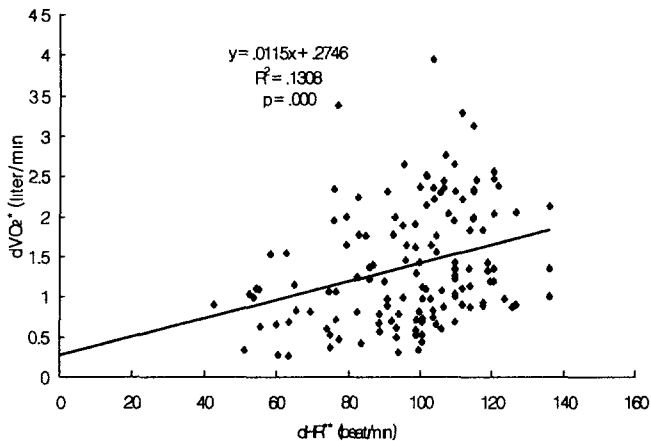


그림 13. 상지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모 변화량과 분당 심박수변화량의 단순회귀모형
*dVO₂: 운동전후 분당 산소소모량의 변화
**dHR: 운동전후 분당 심박수의 변화

IV. 고찰

McGregor(1981)는 다양한 속도의 보행 운동 시 분당 산소소모량의 변화와 분당 심박수의 변화가 선형의 상관관계를 갖는다는 사실에 근거하여 생리적 부담 지수를 새로운 에너지 소모측정지수로 제시하였으며, 다양한 일상생활 동작 중 에너지 소모측정 가능성을 주장하였다. 이후 많은 연구에서 생리적 부담 지수를 사용하였으며 측정도구로서의 생리적 부담 지수의 효용성을 입증하였으나 대부분 측정-재측정 신뢰도에 대한 검증으로(김봉옥 등, 1996; Butler 등, 1984; Mossberg 등, 1990; Rose 등, 1991) 에너지 소모를 측정하는 다른 측정방법과의 직접적인 비교는 없었다. 다양한 속도의 보행 운동검사 시 분당 산소소모량과 분당 심박수의 변화가 선형의 상관관계를 갖는다는 것은 트레드밀 운동검사 시 특별히 정해진 운동검사과정에서 가능한 것으로 이전 연구에서 운동검사시 운동종류, 운동시간 등에 따라 산소소모량, 심박수 등 신체적 반응이 다르게 나타난다는 보고가 있었다(Astrand와 Saltin, 1961; Bruce, 1974; Clausen 등, 1970; Miyamura와 Honda, 1972; Secher 등, 1974). 이것은 운동검사 시 분당 산소소모량과 분당 심박수의 선형적 상관관계를 모든 종류의 운동검사로 일반화시키기에는 문제가 있다는 것을 보여준다. 따라서 에너지 소모를 알기 위한 측정지수는 측정 시 주어지는 활동에 대해 정확한 묘사가 있어야 하며 각각의 활동에서 산소소모량의 변화와 심박수의 변화가 선형의 상관관계를 갖는다는 것이 실험적으로 확인되어야 한다.

본 연구에서는 최대하운동검사를 실시하였고 운동강도는 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 400, 500, 600, 700, 800, 900 kg-m/min의 운동강도를, 상지 등속성 에르고미터 운동검사시 400, 500, 600, 700, 800 kg-m/min의 운동강도를 사용하였다. 운동강도의 범위는 등속성 에르고미터에서 시행할 수 있는 가장 낮은 강도부터 예비실험을 통해

정해진 가능한 최대 운동강도까지를 택하였다. McGregor(1981)는 PCI가 일상생활 동작 중 에너지 소모를 측정할 수 있을 것으로 예상하였으며, 따라서 본 실험의 운동강도는 일상생활 동작에 근접한 운동강도를 적용하고자 하였다.

생리적 부담 지수와 보행속도의 관계를 나타내는 그래프는 측정대상자가 가장 편안하게 걸을 수 있는 보행속도에서 가장 낮은 값을 나타내는 오목한 형태의 곡선을 나타낸다(McGregor, 1981; Rose 등, 1991). 본 연구에서 modified PCI와 운동강도간의 관계를 나타내는 그래프는 볼록한 형태의 곡선을 나타내고 있다. Rose 등(1991)은 생리적 부담 지수가 측정대상자가 가장 편하게 걸을 수 있는 보행속도보다 증가할수록 PCI도 함께 증가한다고 하였다. 본 연구에서 modified PCI가 낮은 운동강도에서 운동강도에 따라 증가하는 것은 위의 결과와 일치한다고 할 수 있다. 그러나 강도가 높아짐에 따라 modified PCI가 감소한 것은 운동시간과 관련이 있다고 생각된다. 본 연구에서는 심박수를 관찰하여 심박수가 계속 증가하다가 1분간 안정되는 때를 분당 산소소모량과 분당 심박수의 측정시기로 채택하였다. 따라서 개인마다 운동시간이 일정하지 않았으며 이것이 실험결과에 영향을 주었을 것으로 생각된다.

Mossberg 등(1990)은 보행시간이 증가함에 따라 PCI가 계속 증가한다고 보고하였다. 이것은 PCI가 운동시간에 영향을 받는다는 것을 의미하며 본 연구의 높은 운동강도에서 상대적으로 짧은 운동시간은 PCI가 감소하는 원인이 될 것이다. 또한 본 연구에서 연구대상자 중 일부는 운동강도가 900 kg-m/min 이하일 때 자신의 최대심박수에 도달하는 경우가 있었으며, 그 이후 운동강도가 증가함에 따라 심박수는 증가하지 않지만 산소소모량은 계속 증가하는 경우가 관찰되었다. 이것은 운동시간에 따른 심박수의 변화곡선과 산소소모량의 변화곡선이 일치하지 않으며 심박수가 상대적으로 빠르게 증가함을 의미한다.

따라서 심박수의 변화를 기준으로 운동시간을 정하는 것은 운동검사에 부적절하다고 할 수 있다. Astrand와 Ryhming(1954)은 신체의 산소운반체계가 적용할 시간을 고려하여 운동검사 시 5~6분의 운동시간이 적절하다고 하였다. 이후의 연구에서는 운동시간에 따른 분당 산소소모량의 변화에 대한 관찰을 통해 각 운동강도에 맞는 운동시간을 알아보는 것이 필요하겠다.

본 연구결과 상·하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 분당 산소소모량과 분당 심박수의 단순회귀분석결과 설명력이 비교적 낮게 나타났다. Astrand와 Ryhming(1954)은 잘 훈련된 운동선수를 대상으로 최대하운동강도에서 트레드밀 운동검사, 하지 에르고미터 운동검사, 계단오르기 운동검사를 실시하여 심박수와 산소소모량의 관계가 양의 선형관계를 갖는다고 보고하였다. 또한 이들의 실험에 참여한 대상 중 67%가 평균을 기준으로 $\pm 6\%$ 범위에서 심박수와 수행한 운동강도로 산소소모량을 추정할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 하지 등속성 에르고미터 운동검사시 심박수, 연령, 체중을 고려한 단순회귀분석결과 설명력 26.77%에서 분당 산소소모량을 추정할 수 있었는데 Astrand와 Ryhming(1954)의 연구결과에 못미치는 설명력이다. Astrand와 Ryhming(1954)의 실험은 연구대상이 훈련된 경우인 반면 본 연구에서는 훈련되지 않은 대학생들을 대상으로 하여 각 대상간의 운동능력의 차이가 상대적으로 컸다고 볼 수 있다. 또한 본 연구에 참여한 연구대상들은 하지 등속성 에르고미터 운동검사시 900 kg-m/min의 운동강도에서 평균 3분 동안 유지한 반면 Astrand와 Ryhming(1954)의 실험에서는 여자의 경우 900 kg-m/min의 운동강도에서 평균 6분, 남자의 경우 1,200 kg-m/min의 운동강도에서 평균 6분 동안 운동검사를 실시하였다. 이것은 본 연구에 참여한 연구대상자의 체력수준이 상대적으로 이전 연구의 연구대상자들 보다 낮았다는 것을 의미하며, 적용한 운동강도도 적정수준보다

높았음을 의미한다. 따라서 본 연구에서 제시한 modified PCI를 실제로 적용하기 위해서는 본 연구에서 사용한 운동강도보다 낮은 운동강도를 적용해야 할 것이며 이후의 연구에서 적절한 운동강도에 대한 연구가 되어져야 할 것이다.

본 연구에서 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 단순회귀방정식의 설명력이 26.77%로 상지 등속성 에르고미터 운동검사 시 설명력 13.08%보다 높았다. Secher 등(1974)은 상지 에르고미터 운동 시 젖산농도의 증가가 하지 에르고미터 운동시보다 상대적으로 높았으며, 이는 상지 에르고미터 운동시 무산소운동의 요소가 하지 에르고미터 운동시보다 많다는 것을 의미한다고 보고하였다. 또한 상지 에르고미터 운동검사시 운동능력을 제한하는 요인은 산소소모능력보다는 젖산축적으로 인한 국소적인 근피로가 우선할 것이라고 보고하였다. Astrand와 Ryhming(1954)은 운동검사시 심박수와 산소소모량의 양의 선형상관관계가 형성되는 조건으로 큰 근육군을 사용하는 운동종류를 택해야 한다고 보고하였다. 본 연구에서 연구대상자들은 상지 등속성 에르고미터 운동검사시 하지 등속성 에르고미터 운동검사보다 높은 피로도를 호소하였다. 이것은 앞에 언급한 원인과 함께 상대적으로 낮은 신체적 활동에서 오는 피로요인이 있는 것으로 보여진다. Secher 등(1974)은 상지 에르고미터 운동검사와 하지 에르고미터 운동검사를 비교할 경우 상지 에르고미터 운동검사가 대상자의 훈련여부에 상대적으로 많은 영향을 받는다고 보고하였다. 따라서 상지 에르고미터 운동검사는 낮은 운동강도와 긴 운동시간으로 설정해야 하며 운동검사 전 훈련기간을 두어 측정대상자가 상지 에르고미터 운동에 익숙해져야 할 것이다.

본 연구에서 제안한 modified PCI는 에너지 소모를 추정하는 산소소모량을 예측하는 설명력이 기존의 연구결과보다 미흡한 것은 상대적으로 높은 운동강도, 상지 운동검사 시 훈련받지 않은 점, 운동시간의 다양성 때문으

로 사려된다. 따라서 이후에는 본 연구의 제한점을 보완하는 연구를 통해 modified PCI의 산소소모량 예측성을 검증하여야 할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 상·하지 등속성 에르고미터 운동검사시 심박수를 이용한 산소소모량의 추정가능성을 검증하여 상·하지 등속성 에르고미터 운동을 위해 수정된 생리적 부담지수의 타당성을 알아보았다.

20대의 훈련받지 않은 건강한 남자 대학생을 대상으로 하였으며, 연구대상자들은 6단계 운동강도의 하지 등속성 에르고미터 운동검사와 5단계 운동강도의 상지 등속성 에르고미터 운동검사를 수행하였다. 운동시간은 심박수가 안정되는 시기까지 지속되었으며 운동시간의 마지막 1분간 심박수와 산소소모량을 측정하였다. 운동으로 인한 분당 심박수 변화값을 운동강도(Watt)로 나누어 modified PCI를 구하고 각 변수들과 운동강도간의 관계를 단순회귀분석 처리하였고 분당 심박수 변화량과 분당 산소소모 변화량도 단순회귀분석 처리하였다.

결과는 다음과 같다.

1. 하지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모량과 변화량의 평균은 운동강도가 증가함에 따라 함께 증가하였으나, 상지 등속성 에르고미터 운동 시 분당 산소소모량과 변화량의 평균은 운동강도 800 kg-m/min에서 다소 감소하였다

2. 상·하지 등속성 에르고미터 운동검사시 분당 심박수의 평균과 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 분당 심박수 변화량은 운동강도가 증가함에 따라 함께 증가하였으나, 상지 등속성 에르고미터 운동검사 시 분당 심박수 변화량은 운동강도 700 kg-m/min에서 감소하였다.

3. 하지 등속성 에르고미터 운동검사 시 modified PCI의 평균은 운동강도가 700 kg

-m/min까지 운동강도를 따라 증가하다가 감소하였고, 상지 등속성 에르고미터 운동검사는 500 kg-m/min까지 증가하다가 감소하였다.

4. 분당 산소소모 변화량과 분당 심박수 변화량의 단순회귀방정식은 하지 등속성 에르고미터 운동의 경우는 $Y = -.0215X - .2141$ 이다. 설명력을 나타내는 R^2 값은 .2677이었다. 상지 등속성 에르고미터 운동의 경우는 $Y = .0115X + .2746$ 이었다. R^2 값은 .1308로 하지 등속성 에르고미터 운동 시 보다 떨어졌다.

본 연구에서 사용한 modified PCI는 낮은 운동강도에서는 기존의 PCI를 사용한 연구와 유사한 결과를 보였으나 높은 운동강도에서 차이를 보였다. 따라서 modified PCI는 낮은 운동강도에서 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 상지 등속성 에르고미터 운동검사는 하지 등속성 에르고미터 운동검사보다 기존의 연구결과에 대해 상대적으로 큰 차이를 보였다. 상지 등속성 에르고미터 운동검사는 사전 훈련과정이 필요하며 하지 등속성 에르고미터 운동보다 낮은 운동강도가 적용되어야 할 것이다.

인용문헌

- 강두희. 생리학. 신광출판사, 1988.
김광희, 남상남, 여남희 등. 운동생리학. 태근출판사, 1992.
김봉옥, 홍주형, 윤승호. 편마비환자에서 보행 중 에너지 소모와 Physiological Cost Index의 유용성. 대한재활의학회지. 1996; 20:39-44.
Astrand PO, Rodhal K. Textbook of Work Physiology. New York: McGraw Hill, 1970.
Astrand PO, Ryhming IB. A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. J

- Appl Physiol. 1954;7:218-221.
- Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various type of muscular activity. J Appl Physiol. 1961;16:977-981.
- Bruce RA. Methods of exercise testing: Step test, bicycle, treadmill, isometrics. Am J Cardiol. 1974;33:715-720.
- Butler P, Engelbrecht M, Major RE, et al. Physiological cost index of walking of normal children and its use as an indicator of physical handicap. Dev Med Child Neurol. 1984;26:607-612.
- Clausen JP, Trap-Jensen J, Lassen NA. The effects of training on the heart rate during arm and leg exercise. J Clin Lab Invest. 1970;26:295-301.
- Ghosh AK, Tibarewala DN, Chakraborty S, et al. An improved approach for performance evaluation in lower extremity involvement. J Biomed Eng. 1980;2:121-125.
- Hermansen L, Ekblom B, Saltin B. Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. J Appl Physiol. 1970;29:82-86.
- Hermansen L, Saltin B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J Appl Physiol. 1969;26:31-37.
- McGregor J. The Evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment. Physiother. 1981;67:30-33.
- Miyamura M, Honda Y. Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. J Appl Physiol. 1972;32:185-188.
- Mossberg KA, Linton KA, Friske K. Ankle-foot orthoses: Effect on energy expenditure of gait in spastic diplegic children. Arch Phys Med Rehabil. 1990;71:490-494.
- Nagel FJ, Balke B, Baptista G, et al. Compatibility of progressive treadmill bicycle and step tests based on oxygen uptake response. Med Sci Sports Exerc. 1971;3:149-154.
- Rose J, Gamble JG, Lee J, et al. The energy expenditure index: A method to quantify and compare walking energy expenditure for children and adolescents. J Pediatr Orthop. 1991;11:571-578.
- Rose J, Medeiros JM, Parker R. Energy cost index as an estimate of energy expenditure of cerebral-palsied children during assisted ambulation. Dev Med Child Neurol. 1985;27:485-490.
- Secher NH, Ruberg-Larsen N, Binkhorst RA, et al. Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. J Appl Physiol. 1974;36:515-518.
- Shepherd R. Efficiency of muscular work. Phys Ther. 1975;55:476-481.