순환기 : 제25권 제6호 1995

운동선수 및 비선수에서 treadmill 속도 및 경사도에 따른 산소섭취량*

지방공사 강남병원 내과,** 경북대학교 의과대학 생리학교실
최정희** · 김형진 · 양은경 · 박윤엽 · 박재식

= Abstract =

Oxygen Consumption at Different Treadmill Speed and Grade in Athletes and Nonathletes

Jeong-Heui Choe, M.D.,** Hyeong-Jin Kim, M.D., Eun-Kyoung Yang, M.D., Yoon-Yub Park, M.D., Jae-Sik Park, M.D.

*Department of Internal Medicine, Kangnam General Hospital Public Corporation, Seoul, Korea** Department of Physiology, School of Medicine, Kyungpook National University, Taegu, Korea*

This study was aimed to elucidate the relationship between combinations of treadmill speed-grade and oxygen consumption(Vo_2).

Twenty athletic and 20 non-athletic male college students aged 19-24yr were employed to exercise on a treadmill using 4 speeds(4.02, 5.47, 6.76 and 8.05km/h) and 5 grades(0, 8, 12, 16 and 20%). A fixed speed was selected for each session with the grade increased every 3 min. The Vo_2, heart rate, stride frequency and stride length were measured during the last min of each 3-min stage.

Vo_2 increased linearly with increasing speed and grade showing significant multiple correlations in nonathletes($Vo_2 = 3.64x + 0.831y + 0.031xy - 7.03$, $R = 0.98$, $P < 0.01$) and athletes ($Vo_2 = 3.48x + 0.324y + 0.112xy - 5.74$, $R = 0.99$, $P < 0.01$). Stride frequency and length tended to increase with increasing speed except for the transition from walking to running at 8.05km/h at which the stride frequency ran up much higher with the stride length getting lower than at 6.76km/h. Heart rate increased linearly with increasing Vo_2. The rate of increase was higher during walking than during running.

These results indicate that athletes have higher rate of increase in Vo_2 than nonathletes at near-maximal exercise and may be used as a guideline in predicting maximum oxygen consumption and in prescribing exercise intensity.

KEY WORDS : Heart rate · Multiple regression · Stride frequency.

서 론

심폐기능, 혈관계의 산소운반능력 및 근육의 산소소비능력을 종합하여 생리학적으로 전신지구력을 평가할 수 있는 가장 유용한 하나의 척도는 최대산소섭취량(Vo_2max)이다[1,2]. Vo_2max의 직접측정을 위해서는 최대운동을 하면서 산소섭취량을 측정해야 하므로 기술적인 어려움과 아울러 노약자에 대한 안전상의 문제가 따른다. 따라

*이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

서 비교적 안전한 최대하운동을 통해 Vo_2max를 추정하는 방법이 많은 연구자들에 의해 소개되었다[3,4]. 이러한 추정이 가능한 것은 산소섭취량, 심박수, 및 주행속도 등 운동부하량 사이에는 밀접한 상관관계가 존재하기 때문이다[4-6].

Treadmill 운동은 속도와 경사도를 바꿈으로써 운동부하를 임의로 조절할 수 있으므로 심폐질환의 진단 또는 심폐적성 평가를 위한 운동부하검사 및 운동처방에 널리 이용되고 있다. Treadmill 운동을 통한 Vo_2max의 결정 또는 운동부하량의 처방을 위해서는 특정 부하에 따르는 산소섭취량을 예측할 수 있어야 한다. 즉 treadmill의 속도 및 경사도와 같은 역학적 양을 산소섭취량으로 환산할 수 있는 체계가 필요하게 된다.

Margaria등[7]은 평지를 달릴 때 산소섭취량(Vo_2, ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$)은 속도(v, km/h)에 비례하며 그 관계는 $Vo_2=3.5 \cdot v$라 한 바 있다. Treadmill의 속도 또는 경사도가 증가할수록 산소섭취량이 증가함은 잘 알려져 있고, 상용되는 treadmill 운동법(protocol)에 대해서는 운동지속시간으로부터 산소섭취량을 예측할 수 있는 회귀방정식들[8-12]이 제시되어 있다. 서양인에 있어서 임의의 treadmill 속도 및 경사도로부터 산소섭취량을 예측할 수 있는 표와 회귀방정식은 American College of Sports Medicine[5]에 의해 제시된 바 있다. 국내에서는 배옥석등[12]이 고등학생 운동선수 및 비선수에 대하여 Bruce 법에 따른 최대하 treadmill 운동중 속도 및 경사도와 산소섭취량 사이에 회귀식을 구하였다. 그러나 한국인에 대하여 임의의 treadmill 속도-경사도 조합과 산소섭취량 사이의 상관관계를 밝힌 연구는 없다.

Haskell등[13]은 treadmill 운동중 산소섭취량의 추정시 산소섭취량과 심박수 또는 심박수+신체운동(body motion)과의 회귀식을 이용함으로써 정확도를 높일 수 있다고 하였고 신체운동의 지표로서는 상지운동 및 하지운동을 사용하였다.

따라서 본 연구에서는 한국인 남자 대학생 운동선수 및 비선수를 대상으로 하여 treadmill의 네 가지 속도와 다섯 가지 경사도를 조합한 20 가지 운동부하를 사용하여 산소섭취량, 심박수, 보수(stride frequency) 및 보폭(stride length)의 변화를 측정하고, 속도-경사도 조합과 산소섭취량 사이의 상관관계를 밝힘을 목적으로 하였다.

연구대상 및 방법

19~24세의 남자 대학생 40명을 연구대상으로 하여 야구, 테니스, 육상 등 종목에서 수년 이상의 운동경력을 가진 운동선수군 20명과 규칙적인 운동경험이 없는 비선수군 20명으로 구분하였다. 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다. 피검자들은 실험전 24시간 동안 격렬한 운동을 피하고 실험전 3시간 이상 식사, 음주 및 흡연을 금하게 하였다. 실험 중 실내온도는 16~21℃, 습도는 67~88%로 유지하였다.

각 피검자는 4.02 또는 5.47km/h 중 하나의 속도를 선택하여 15분간 treadmill(24-49B, Quinton) 운동을 하고 안정심박수로 회복된 후 6.76 또는 8.05km/h 중 하나의 속도를 선택하여 다시 15분간 운동하였다. 위의 네 가지 속도는 운동부하검사에 많이 사용되는 Bruce 법[8]의 Ⅱ-Ⅴ 단계의 속도와 같도록 정하였고 피검자들이 속도를 무작위로 선택하되 되도록 네 가지 속도가 균등하게 사용되게 하였다. Treadmill의 경사도는 수평(0%)에서 시작하여 3분마다 8, 12, 16, 20%의 순으로 바꾸었다. 모든 측정은 각 부하에서 3분간의 운동중 마지막 1분동안 시행하였다.

산소섭취량의 측정을 위하여 Douglas bag에 45초 또는 30초간 호기를 채집한 후 gas meter(W-75, American)와 원격온도계(44TA, YSI)로써 그 용적과 온도를 측정하고 가스분석기(model 175, Corning)로써 Pco_2 및 Po_2를 측정하였다. 이들 측정치와 실험실내 공기의 기압, 온도, 습도, Pco_2 및 Po_2로부터 피검자의 산소섭취량을 계산하였다[14]. 전흉부에 부착한 전극을 사용하여 운동중 계속 쌍극유도 심전도를 oscilloscope(Narcotrace, Narco Biosystems)로써 monitor하는 한편 3분마다 10 심주기

Table 1. Physical characteristics and sports career of athletic and non-athletic subjects

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	HRmax (beats / min)	Career (yr)
Nonathletes(n=20)	21.8 ± 1.0	174.6 ± 5.5	65.7 ± 7.8	200.2 ± 0.8	
Athletes(n=20)	20.6 ± 1.2	176.9 ± 4.2	70.4 ± 4.7	201.2 ± 0.9	8.05 ± 2.89

Values are means ± S.D.
HRmax=predicted maximum heart rate calculated as[15] : 217 - 0.77Age.

이상의 심전도를 physiograph(MK-IV-P, Narco Biosystems)에 기록하여 심박수를 측정하였다. 오른발의 움직임을 계수하여 1분간의 보수(stride frequency)로 환산하고 이것과 속도로부터 보폭(stride length)을 계산하였다.

모든 측정치는 평균과 표준오차로 표시하였고, treadmill 속도 사이 및 경사도 사이의 차이를 분산분석법과 최소유의차법으로 검정하였다. 속도-경사도-산소섭취량 사이에 중회귀분석을 시행함으로써 회귀식을 유도하였다.

결 과

Treadmill 주행중 산소섭취량의 변화는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 비선수군에 있어서 산소섭취량은 속도 4.02km/h에서는 경사도 0%에서 $8.8 \pm 1.0 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$였고 경사도 20%에서 $27.4 \pm 2.4 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$로서 경사도에 비례하여 증가하였다. 속도 5.47 및 6.76km/h에서 산소섭취량은 경사도 0~12% 범위에서는 경사도에 비례하여 증가하였으나, 이 두 속도에서 경사도 12% 이상의 산소섭취량 사이에는 유의한 차이가 없이 평균 $28.1 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$로서 고평부를 형성하였다. 속도 8.05km/h에서는 경사도 8% 이후에 더 이상의 유의한 증가가 없이 평균 $35.1 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$의 값으로서 고평부를 형성하였고, 이 값은 속도 5.47 및 6.76km/h에서 형성된 고평부 값보다는 유의하게 높았다. 고평부를 제외한 범위에서 산소섭취량(Vo_2, $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), 속도(x, km/h) 및 경사도(y, %) 사이에는 식 (1)에 따르는 유의한 중상관관계($R=0.98$, $P<0.01$)가 존재하였다.

$$Vo_2 = 3.64x + 0.831y + 0.031xy - 7.03 \quad (1)$$

선수군에 있어서 산소섭취량은 최저 부하인 속도 4.02km/h, 경사도 0%에서 $9.6 \pm 0.6 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$였고, 최고 부하인 8.05km/h, 20%에서 $46.3 \pm 2.1 ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$였다. 선수군에 있어서 산소섭취량은 속도 및 경사도가 증가함에 따라 각각에 비례하여 증가하였고 이들 변수 사이에는 식 (2)에 따르는 유의한 중상관관계($R=0.99$, $P<0.01$)가 존재하였다.

$$Vo_2 = 3.48x + 0.324y + 0.112xy - 5.74 \quad (2)$$

Treadmill 속도가 증가함에 따라 보수와 보폭은 함께 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2, 3). 비선수군에 있어서 속도 4.02km/h에서 보수와 보폭은 경사도에 관계 없이 일정하였으며 각각 56.3 ± 0.6steps/min 및 119.7 ± 1.3cm였다. 속도 5.47km/h에서도 보수 62.9 ± 1.0steps/min 및 보폭 146.3 ± 2.1cm로서 경사도에 따른 차이를 보이지 않았다. 속도 6.76km/h에서 경사도 16%의 보수

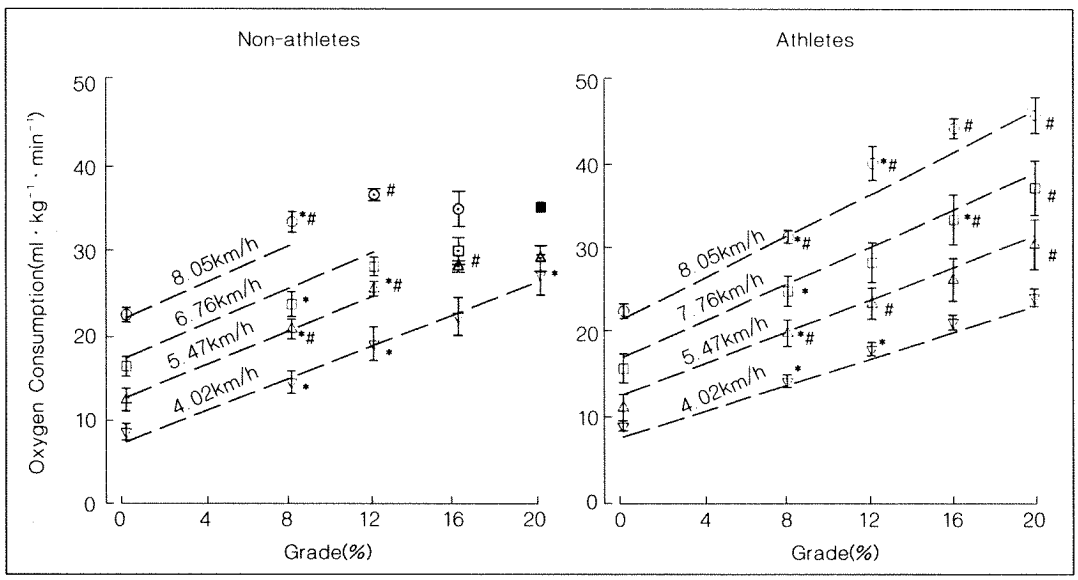

Fig. 1. Oxygen consumption(Vo_2) during treadmill exercise at 4 speeds(x) and 5 grades(y) in non-athletes and athletes. Vertical bars represent standard errors. Multiple regression equations derived among the variables are shown as dashed lines. Five dotted symbols were excluded from the regression analysis because they deviated from the linear relationship as Vo_2 reaching its maximum. The filled square represents data from 1 case. *$P < 0.05$ vs. next lower grade. #$P < 0.05$ vs. next lower speed.

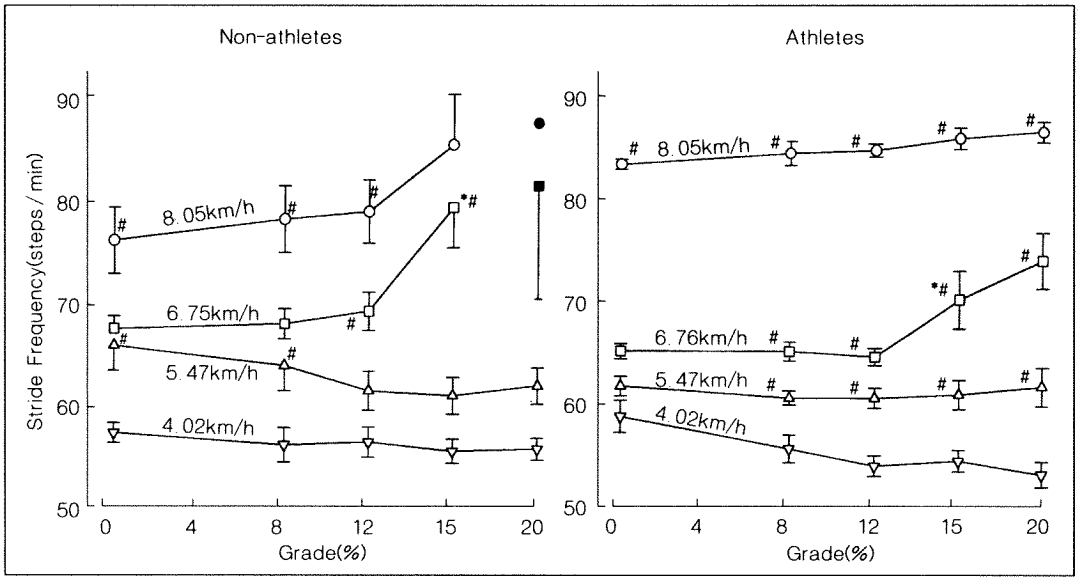

Fig. 2. Stride frequency during treadmill exercise at 4 speeds and 5 grades in non-athletes and athletes. Vertical bars represent standard errors. The filled square and circle represent data from 2 cases and 1 case, respectively. *P $<$ 0.05 vs. next lower grade. #P $<$ 0.05 vs. next lower speed.

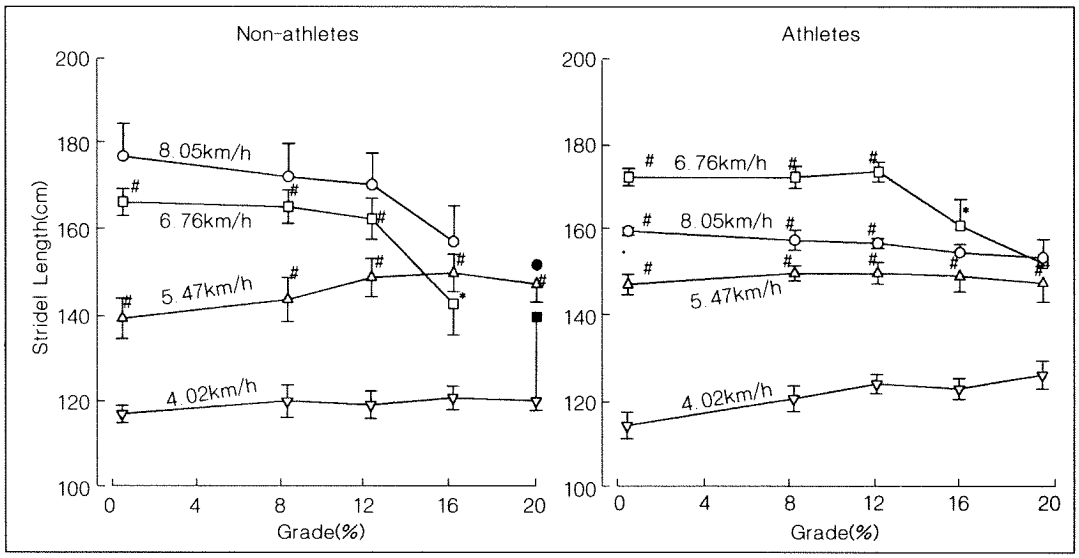

Fig. 3. Stride length during treadmill exercise at 4 speeds and 5 grades in non-athletes and athletes. Vertical bars represent standard errors. The filled square and circle represent data from 2 cases and 1 case, respectively. *P $<$ 0.05 vs. next lower grade. #P $<$ 0.05 vs. next lower speed

는 79.7±4.0steps/min로서 경사도 12%의 69.4±1.9에 비해 유의하게 높았고 보폭은 163.1±4.8에서 143.2±7.4cm로 유의하게 감소하였다. 속도 8.05km/h에서는 6.76km/h에 비해 보수는 유의하게 높았으나 보폭은 유의한 차이를 나타내지 않았고, 경사도 12%의 79.2±3.1steps/min 및 171.1±7.4 cm에 비해 경사도 16%에서는 85.8±5.0steps/min 및 157.8±8.5cm로서 보수가 증가하고 보폭이 감소하는 경향을 보였다. 비선수군에 있어서 대체로 보수 76.4 이상을 나타낸 속도 6.76km/h, 경사도 16~20% 및 속도 8.05km/h의 모든 경우는 달리기 동작으로 인정된다.

선수군에 있어서도 속도가 증가함에 따라 보수와 보폭

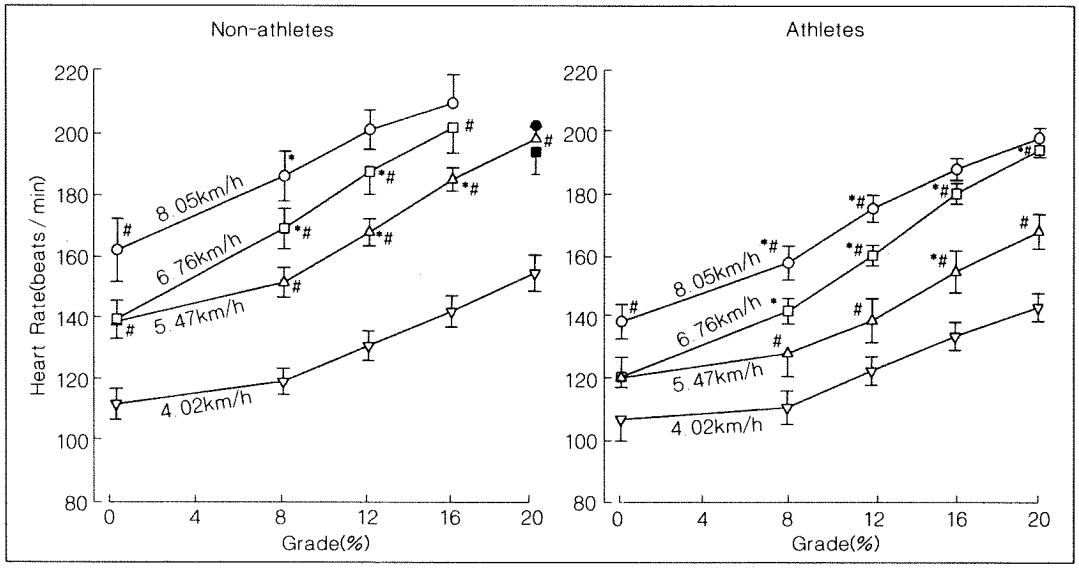

Fig. 4. Heart rate during treadmill exercise at 4 speeds and 5 grades in non-athletes and athletes. Vertical bars represent standard errors. The filled square and circle represent data from 3 cases and 1 case, respectively. *P < 0.05 vs. next lower grade. #P < 0.05 vs. next lower speed.

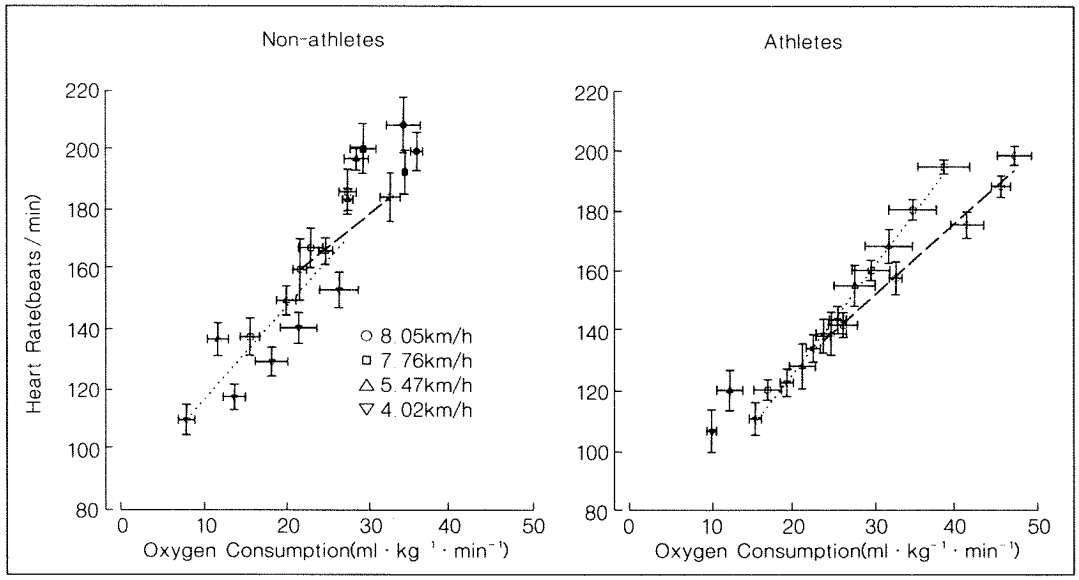

Fig. 5. Linear regression analysis between oxygen consumption(Vo_2) and heart rate(HR) during treadmill exercise at 4 speeds and 5 grades in non-athletes and athletes. Vertical and horizontal bars represent standard errors. The dotted lines were drawn among data for walking motion (at 6.76 km/h or slower). The dashed lines were drawn for running motion (at 8.05 km/h). The filled symbols were excluded from the regression analysis because they deviated from the linear relationship.

은 함께 증가하는 경향을 보였으나 속도 8.05km/h에서는 6.76km/h에 비해 보수가 월등히 높아지면서($P<0.05$) 보폭은 오히려 감소하였다. 속도 6.76km/h에서는 경사도 16% 이상에서 보수가 증가하고 보폭이 감소하기 시작하였다. 따라서 선수군에 있어서 속도 6.76km/h 이하에서는 걷기 동작을, 속도 8.05km/h에서는 달리기 동작을 취한 것으로 나타났다.

Treadmill 주행중 심박수는 대체로 산소섭취량의 증가에 비례하여 증가하였으나 그 증가 양상은 걷기 동작의 경우와 달리기 동작의 경우가 서로 다르게 나타났다(Fig.

4, 5). 비선수군에 있어서 달리기 동작의 경우들은 대부분 산소섭취량이 고평부에 도달한, 즉 최대운동에 도달한 경우들로서 산소섭취량의 증가 없이 심박수만 계속 증가하는 양상을 나타내었다. 산소섭취량의 고평부를 제외한 부분에 대하여 산소섭취량(Vo_2, ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$)과 심박수(HR, beats/min) 사이에 회귀분석을 실시함으로써 식 (3)과 같은 회귀식(r=0.87, P<0.01)을 얻었다.

$$HR = 3.13 \cdot Vo_2 + 83.5 \quad (3)$$

달리기 동작에서 산소섭취량의 고평부를 제외하면 8.05km/h, 경사도 0 및 8%의 두 점만 남으므로 회귀분석은 하기 어려우나 이 두 측정치들 사이의 기울기를 구하면 2.22로서 달리기 동작의 심박수 증가율이 걷기 동작에 비해 낮음을 알 수 있다. 비선수군에 있어서 심박수의 최저치는 속도 4.02km/h, 경사도 0%에서 110.9±5.1beats/min였고, 최고치는 8.05km/h, 16%에서 209.7±9.2beats/min였다.

선수군에 있어서 산소섭취량과 심박수 사이의 회귀분석 결과 걷기 동작을 취한 속도 6.76km/h 이하의 측정치들은 식 (4)에, 달리기 동작을 취한 속도 8.05km/h의 측정치들은 식 (5)에 따르는 유의한 상관관계(각각 r=0.99, P<0.01)를 나타내었다.

$$HR = 3.68 \cdot Vo_2 + 55.4 \quad (4)$$

$$HR = 2.48 \cdot Vo_2 + 80.8 \quad (5)$$

산소섭취량이 가장 낮은 두 측정치들(속도 4.02 및 5.47km/h, 경사도 0%)의 경우 산소섭취량에 비해 심박수가 비교적 높게 나타나 회귀직선에서 현저히 벗어났으므로 회귀분석에서 제외하였다. 선수군에 있어서 심박수의 측정치는 최저 부하인 4.02km/h, 0%에서 107.5±7.2beats/min였고, 최고 부하인 8.05km/h, 20%에서 200.2±3.2beats/min였다.

고 안

본 연구에서 사용한 운동부하는 treadmill의 속도를 고정하고 3분마다 경사도를 증가시킨 것으로 연속시험의 형태에 속한다. 비선수군에 있어서 속도 5.47km/h 이상의 경우 경사도가 증가함에 따라 산소섭취량이 고평부를 형성한 것은 그 운동이 최대운동이었음을 보여준다. 한편 운동중 도달한 심박수의 최대치는 속도 6.76 및 8.05km/h에서 각각 201.8±8.3 및 209.7±9.2beats/min로서 박희명등[15]의 회귀식(217-0.77×연령)에 따라 계산한 대상자의 예측 최대심박수 200.2±0.2beats/min에 도달하였고, 속도 5.47km/h의 경우에는 198.4±3.9로서 최대심박수에 근접하였으므로 역시 최대운동이었음을 뒷받침한다. 그러나 속도 5.47 및 6.76km/h에서 얻어진 산소섭취량의 고평부 값 28.1 ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$은 속도 8.05km/h에서 형성된 고평부 값 35.1ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$보다 유의하게 낮았다. 이 결과는 경사도만을 증가시키는 treadmill 연속시험에서 얻어지는 산소섭취량의 최대치(Vo_{2peak})는 사용된 속도에 따라 달라짐을 시사한다. 선수군에 있어서 최고부하인 8.05km/h, 20%에서 심박수는 200.2±3.2beats/min로서 예측 최대심박수인 201.2±0.2에 거의 도달하였고, 이 부하에서 측정된 산소섭취량(Vo_{2peak})은 46.3±2.1ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$으로서 비선수군보다 높았다.

Weltman등[16]은 Bruce 법과 유사한 연속시험에서 관찰된 Vo_{2peak}는 속도를 9.6km/h로 고정하고 경사도만을 증가시키는 연속시험(inclined protocol)에서 얻어진 Vo_{2peak}에 비해 약 5% 낮다고 하였다. Kim등[17]은 젊은 한국인 남녀에서 Bruce 법에서 얻어진 Vo_{2peak}는 속도를 8.05km/h로 고정하고 경사도만을 증가시키는 inclined protocol에서 얻어진 Vo_{2peak} 43.0±2.8ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$에 비해 약 12~13% 낮음을 보고하였다. 이러한 보고들을 통해서 볼 때 inclined protocol에서 얻어진 Vo_{2peak}가 Bruce 법에서 얻어진 Vo_{2peak}보다 높음을 알 수 있다. 한편 본 연구의 비선수군에서 얻어진 결과로 볼 때 inclined protocol에서 측정된 Vo_{2peak}는 treadmill의 속도가 빠른 경우에 속도가 느린 경우보다 높게 나타남을 보여준다. 뿐만 아니라 속도 8.05km/h에서 2분 간격으로 경사도를 증가시킨 Kim등[17]의 Vo_{2peak}가 같은 속도에서 3분 간격으로 경사도를 증가시킨 본 연구의 경우보다 높은 점은 각 단계 사이의 시간 간격에 따라서도 Vo_{2peak} 값이 달라짐을 시사한다.

본 연구에서 사용된 운동부하량은 비교적 가벼운 부하로부터 최대 부하에 이르는 범위를 망라하고 있다. 이러한 범위의 treadmill 운동중 산소섭취량(Vo_2, ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$)과 속도(x, km/h) 및 경사도(y, %) 사이의 관계는 비선수군 및 선수군에 있어서 각각

$$Vo_2 = 3.64x + 0.831y + 0.031xy - 7.03 \quad (1)$$

$$Vo_2 = 3.48x + 0.324y + 0.112xy - 5.74 \quad (2)$$

으로 나타났다.

Treadmill 수평주행시 속도와 에너지 소모량의 관계에

대하여 일찌기 Margaria등[7]은 '$Vo_2=3.5x$'의 관계식으로써 표시하였다. 본 연구의 회귀식 (1), (2)에 y=0을 대입하면 '$Vo_2=3.64x-7.03$' 및 '$Vo_2=3.48x-5.74$'가 되므로 Margaria등[7]의 식과 비교할 때 비례상수는 거의 같으나 절편의 값에 차이가 있음을 알 수 있다.

속도가 일정할 때 경사도의 증가에 따른 산소섭취량의 증가 양상을 비교하기 위해 이들 회귀식에 x=4.02, 5.47, 6.76 및 8.05(km/h)를 차례대로 대입하고 y의 계수를 구하면 (1)의 경우 0.96, 1.00, 1.04 및 1.08(ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$/%)로, 식 (2)의 경우는 0.77, 0.94, 1.08, 1.23으로 나타나므로 비선수에 비해 운동선수는 낮은 속도에서는 경사도에 따른 산소섭취량 증가율이 낮으나 높은 속도에서는 이 증가율이 더 높아짐을 알 수 있다. 또 경사도가 일정할 때 속도의 증가에 따른 산소섭취량의 증가 양상을 비교하기 위해 y=0, 8, 12, 16 및 20(%)를 대입했을 때 x의 계수는 식 (1)의 경우 3.64, 3.89, 4.01, 4.14, 4.26(mg · kg $^{-1}$ · min/km · h $^{-1}$)이고 식 (2)의 경우는 3.48, 4,38, 4,82, 5,27, 5,72로서 선수군에서는 수평주행시는 속도에 따른 산소섭취량의 증가율이 더 낮으나 상행경사도가 있는 경우에는 그 증가율이 더 높음을 알 수 있다. 이러한 결과는 최대하 운동부하에서는 운동선수의 산소섭취량이 더 낮으나 최대산소섭취량은 운동선수가 비선수보다 높음[12,18]을 시사한다.

Pate등[19]은 일정한 속도의 treadmill 주행중 에너지 소모량은 피검자의 Vo_2max, 심박수, 폐환기량, 연령 등과 상관관계를 가진다고 하였다. Haskell등[13]은 treadmill 운동중 산소섭취량의 추정시 산소섭취량과 심박수 또는 심박수-신체운동과의 회귀식을 이용함으로써 정확도를 높일 수 있다고 하였고 신체운동의 지표로서는 상지운동 및 하지운동을 사용하였다.

본 연구에서 산소섭취량과 심박수는 대체로 직선적인 양의 상관관계를 가졌으나 그 관계식은 보수에 따라 다르게 나타났다. 즉 걷기 속도에 있어서 비례상수는 비선수군 및 선수군에서 각각 3.13 및 3.68(beats · min $^{-1}$/ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$로서 달리기 속도의 2.22 및 2.48보다 높게 나타났다. 이것은 속도 또는 경사도를 증가시킬 때 걷기 동작중의 심박수가 달리기 동작의 경우보다 더 빨리 증가함을 의미한다. 따라서 treadmill 운동중 측정된 심박수로부터 산소섭취량을 추정할 때는 보수를 기준하여 걷기와 달리기 동작을 구분하여 적절한 회귀식을 사용함으로써 정확도를 높일 수 있겠다.

이상의 결과를 통해 19~24세의 남자 비선수 및 운동선수에 있어서 속도 4~8km/h, 경사도 0~20% 범위의 treadmill 운동중 산소섭취량은 식 (1) 및 (2)에 의해 예측할 수 있으며, 아울러 걷기 및 달리기 동작중 심박수의 증가 양상은 식 (3)~(5)에 따름을 알 수 있었다. 비선수군에 비해 선수군은 고부하 운동에서 산소섭취량의 증가율이 더 높게 나타남으로써 강도 높은 운동에 대한 능력이 발달되었음을 보여 주었다. 이러한 결과는 운동부하검사시 최대산소섭취량의 용이한 결정과 운동처방시 대상자에게 적합한 운동부하량을 결정하는 데 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 운동선수 및 비선수에 있어서 임의의 treadmill 속도-경사도 조합과 산소섭취량 사이의 상관관계를 밝힘을 목적으로 하였다.

19~24세의 남자 대학생 운동선수 및 비선수 각 20명을 대상으로 하여 속도 4.02, 5.47, 6.76 및 8.05km/h와 경사도 0, 8, 12, 16 및 20%를 조합한 20 가지 운동부하로써 운동하였다. 각 주행시 treadmill의 속도는 고정한 채 3분마다 경사도를 증가시켰으며 각 단계의 마지막 1분 동안 산소섭취량, 심박수, 보수(stride frequency) 및 보폭(stride length)의 변화를 측정하여 다음의 결과를 얻었다.

1) Treadmill 주행중 산소섭취량(Vo_2, ml · kg $^{-1}$ · min $^{-1}$)은 속도(x, km/h) 및 경사도(y, %)가 증가함에 따라 각각에 비례하여 증가하였고 비선수군 및 선수군에서 이들 변수 사이에는 각각 식 (1) 및 (2)에 따르는 유의한 중상관관계가 존재하였다.

$Vo_2=3.64x+0.831y+0.031xy-7.03$ (1)

$Vo_2=3.48x+0.324y+0.112xy-5.74$ (2)

2) Treadmill 속도가 증가함에 따라 보수와 보폭은 함께 증가하는 경향을 보였으나 비선수군에 있어서 속도 6.76km/h, 경사도 16% 이상에서, 선수군에 있어서 속도 8.05km/h에서는 보수가 월등히 증가하고 보폭이 감소하는 경향을 보였다.

3) Treadmill 주행중 심박수는 대체로 산소섭취량의 증가에 비례하여 증가하였으나 걷기 동작(속도 6.76km/h 이하) 시에는 달리기 동작(속도 8.05km/h) 시에 비해 산소섭취량의 증가에 따른 심박수가 증가가 더 급하였다.

이상의 결과는 비선수군에 비해 선수군은 고부하 운동에서 산소섭취량의 증가율이 더 높음을 보여 주었고, 운동부하검사시 최대산소섭취량의 용이한 결정과 운동처방시 대상자에게 적합한 운동부하량을 결정하는 데 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

References

1) Wolthuis RA, Froelicher VF, Fischer J, Noguer I, Davis G, Stewart AJ and Triebwasser JH : *The response of healthy men to treadmill exercise. Circulation 55 : 153-157, 1977*
2) Heyward VH : *Designs for fitness. Minneapolis, Burgess, 1984*
3) Pollock ML, Wilmore JH and Fox SM Ⅲ : *Health and fitness through physical activity. New York, John Wiley and Sons, 1987*
4) McArdle, WD, Katch F I and Katch VL : *Exercise physiology : energy, nutrition and human performance. Philadelphia, Lea and Febiger, 1981*
5) American College of Sports Medicine : *Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription. Philadelphia, Lea and Febiger, 1980*
6) Fox EL and Mathews DK : *The physiological basis of physical education and athletics. Philadelphia, Saunders, 1981*
7) Margaria R, Cerreteli P, Aghemo P and Sassi G : *Energy cost of running. J Appl Physiol 18 : 367-370, 1963*
8) Bruce RA, Kusumi F and Hosmer D : *Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J 85 : 546-562, 1973*
9) Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, Ayres JJ, Ward A, White SR, and Linnerud AC : *A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. Am Heart J 92 : 39-46, 1976*
10) Liang MTC, Alexander JF, Stull GA and Serfass RC : *The use of the Bruce equation for predicting Vo $_2$max in healthy young men. Med Sci Sports Exerc 14 : 129, 1982*
11) Foster C, Jackson AS, Pollock ML, Taylor MM, Hare J, Sennett SM, Rod JL, Sarwar M and Schmidt DH : *Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. Am Heart J 107 : 1229-1234, 1984*
12) 배옥석 · 김형진 · 박재식 · 주영은 : 고등학교 운동선수에서 최대하 *treadmill* 운동시 심폐기능의 변화와 산소섭취량의 추산법. 경북의대지 *31(3) : 242-253, 1990*
13) Haskell WL, Yee MC, Evans A and Irby PJ : *Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. Med Sci Sports Exerc 25 : 109-115, 1993*
14) Wasserman K, Hansen JE, Sue DY and Whipp BJ : *Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, Lea and Febiger, 1987*
15) 박희명 · 김유진 · 김유영 · 김유문 · 김종석 · 이봉렬 · 김창호 · 박재용 · 채성철 · 전재은 · 정태훈 · 박의현 : 한국인의 최대운동부하에 대한 심폐기능의 반응에 관한 연구 : 최대산소섭취량, 심기능반응 및 심폐적성 평가기준을 중심으로. 한국체육학회지 *32(2) : 329-346, 1993*
16) Weltman A, Snead D, Stein P, Seip R, Schurrer R, Rutt R and Weltman J : *Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and Vo$_2$max. Int J Sports Med 11 : 26-32, 1991*
17) Kim KH, Kim HJ and Kim KS : *Maximum oxygen consumption determined by the Bruce and inclined treadmill protocols. Korean J Physiol 27 : 209-215, 1993*
18) 강두희 · 황수관 · 연동수 · 유선희 · 김덕원 : *Treadmill* 최대운동시 *impedance* 심장기록법의 개선에 의한 마라톤 선수의 심박출량과 산소소비량과의 관계. 대한생리학회지 *24(2) : 249-260, 1990*
19) Pate RR, Macera SP, Bailey SP, Bartoli WP and Powell KE : *Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. Med Sci Sports Exerc 24 : 1128-1133, 1992*