최대산소섭취량 측정 시 측정간격에 따른 정체현상의 변화와 종료기준의 적용

윤병곤¹ · 곽이섭*

동의대학교 레저스포츠학과, ¹연세대학교 사회체육학과

Received July 12, 2007 / Accepted August 14, 2007

The Effect of Sampling Intervals on VO₂ Plateau and Reinvestigation of Other Criteria During VO₂max Test. Byung Kon Yoon¹ and Yi Sub Kwak*. *Department of Leisure and Sports science, Dong-Eui University, Eomgwangno, Busanjin-gu, Busan, Korea, ¹Department of Sports and Leisure study, Yonsei University, 134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, Korea.* - The purpose of this study was to elucidate incidence of VO₂ plateau by comparing data derived from different time averaging intervals during incremental cycling exercise to VO₂max. Seventeen subjects (age: 23.5±3.3 years and VO₂max: 3.65±0.73 L/min, respectively) completed VO₂max tests on cycle ergometer which breath by breath gas exchange data were obtained. These data were time-averaged into 11-breath, 15, 30 and 60 s sampling intervals. The incidence of plateau were 100, 35, 24 and 6% for the 11 breath, 15 s, 30 s and 60 s averaging, respectively. No correlation was between Δ VO₂ at VO₂max and VO₂max ($r=-0.008$). 53% (maximal HR within 10 b/min) and 100% (RER≥1.15) of subjects met the criteria for attainment of VO₂max. This data indicate that shorter sampling intervals (11 breath) is the most suitable for detection of the VO₂ plateau and RER can be used for the criteria for attainment of VO₂max but not maximal HR. Also, the incidence of a plateau is not related to training status or physical fitness of subjects.

Key words – Cycle ergometer, VO₂ plateau, RER, heart rate

서 론

최대산소섭취량(VO₂max)은 운동 강도가 증가함에도 불구하고 더 이상 산소 섭취량이(VO₂) 증가 하지 않을 때의 VO₂ 수치를 일컫는다. Hill and Lupton[10]이 VO₂max와 산소 섭취량 정체 (VO₂ plateau) 개념들을 소개한 이후로 VO₂max는 유산소 운동 수행능력(aerobic capacity), 훈련강도(intensity) 결정, 심폐기능(cardiovascular capacity) 또는 훈련의 효과 측정에 가장 유효한 척도로서 사용되고 있다[15]. 최근의 VO₂max 측정 시 고려되는 사항으로는 일반적으로 점증적 운동부하 프로토콜(ramp protocol), 많은 근육을 사용할 수 있는 운동 (트레드밀 또는 자전거 에르고미터) 그리고 10분 내외의 (10±2 min) 검사시간 등을 들 수 있다[7,8]. VO₂max 실험 시 검사 종료기준들은 아직 명확한 종료기준들이 확립되지 않았지만 일반적으로 산소 섭취량 정체가 가장 대표적인 기준으로 사용되고 있다. 그러나 산소섭취량 정체현상은 각 연구별로 33%에서 94%까지 검사 프로토콜, 피 실험자들의 다양성(운동수행능력, 성별 및 연령), 다른 종료기준의 사용, 그리고 실험샘플의 측정간격(sampling interval)의 차이에 따라 다양한 범위로 나타나고 있고[21], 또한 정체 현상이 모든 피 실험자에게 나타나지 않으므로 호흡 교환 비율(respiratory exchange ratio; RER) 1.15 이상[13], lactate 수치

8 mmol/L 이상[4], 또는 최대예상 심박수치[14] 등이 실험종료기준으로 제안되고 있다.

과거에는 Taylor[24]의 척도가 VO₂ 정체 측정에 널리 사용되었다. 1955년 Taylor는 112명 중 94%(108명)의 피 실험자가 산소섭취량 정체 현상을 보였다고 보고하였다. 이 연구는 실험 중 산소섭취량의 증감이 2.1 mL/kg/min 또는 150 mL/min 보다 적게 나타날 때 산소섭취량 정체 현상이 나타난 것으로 정의하고 있다. 그러나 이 연구는 비 점증적 프로토콜의 사용과 여러 번의 실험으로 얻어진 결과 이다. 현재에는 산소섭취량의 변화수치 50-60 mL/min을 일반적인 산소섭취량 정체 현상 기준으로 삼고 있다[11]. 하지만 이 역시 샘플 측정간의 시간 간격이 산소섭취량 정체 현상의 유무에 영향을 미치는 것으로 보고 되고 있다[2]. 과거의 많은 연구들이 30초 혹은 1분의 실험샘플 측정간격을 산소섭취량 정체 현상 실험측정에 널리 사용해 왔다. Astorino et al.[2]의 연구에 따르면 짧은 실험샘플 측정간격을 사용 하였을 때 100%의 산소섭취량 정체 현상이 관찰 되었다고 한다. 또한 이 연구는 30초 와 60초의 실험샘플 측정간격들에서는 57% 와 8%의 피 실험자만이 산소섭취량 정체현상을 보였다고 보고하고 있다. 반면 Myers et al.[17]는 ramp 프로토콜을 사용한 트레드밀 연구에서 호흡 대 호흡 실험샘플 측정간격에도 불구하고 산소섭취량 정체 현상과 VO₂max와는 상관이 없다고 보여 주고 있다. 이 연구는 시간에 따른 VO₂ 기울기 변화의 차이를 이용하여 산소섭취량 정체 현상을 측정하였다. 이와 같이 VO₂max 측정에 있어 산소섭취량 정체 현상의 유무와

*Corresponding author

Tel : +82-51-890-2213, Fax : +82-51-890-2643

E-mail : ysk2003@deu.ac.kr

측정방법에 관한 논란은 계속되고 있다. 본 연구에서는 자전거 에르고미터를 사용한 최대산소섭취량 측정 시 다른 실험 샘플 측정간격과 VO_2 변화 기울기를 이용 했을 때 산소섭취량 정체 현상의 유무와 차이의 비교 및 운동수행능력과 산소섭취량 정체 현상의 연관성과 다른 검사종료기준의 적합성을 관찰하였다.

재료 및 방법

연구대상

이 연구에는 평균이상의 운동수행능력을 가진 17명의 젊은 남녀(10명의 남성, 7명의 여성)가 자발적으로 참여하였다. 모든 대상자들은 자신의 건강상태를 묻는 질문지 작성과 실험절차를 설명들은 후 실험동의서에 서명하였고 다음과 같은 대상자들은 제외 시켰다. a) 격한 운동 및 피로로 인하여 최대운동능력을 발휘하기 어려운 자 b) 실험전날 카페인이나 알코올을 흡수한 자 c) VO_{2max} 수치가 40 ml/kg/min 이하인 자 d) 실험에 영향을 줄 수 있는 질병을 가진 자

연구 절차

모든 위의 조건을 만족한 대상자들은 신체지수(키, 몸무게)와 Jackson/Pollock 공식을 이용한 skinfold 체지방 측정을 하였다. 피 실험자들은 두 번의(예비 실험과 본 실험) 자전거 에르고미터를 이용한 VO_{2max} 실험에 응하였다. 예비 실험은 피 실험자들의 VO_{2max} 측정 및 운동 강도 결정과 실험과정에 친숙해지기 위하여 진행되었고 본 실험은 적어도 24시간의 격차를 두고 행해졌다. 두 번의 실험은 75 Watt 강도에서 10분간의 준비운동 후에 실시되었다. 본 실험에서는 피 실험자들이 8분에서 12분의 검사시간을 준수 할 수 있도록 예비 실험결과를 토대로 각자에 맞는 ramp protocol을 사용하였다. 실험동안의 모든 배출 가스는 자동 분석기(AEI Technologies, Model S-3A and Model CD-3H, Pittsburgh, PA)에서 수집되고 분석되었다. 모든 호흡 대 호흡(breath by breath) 가스 배출 결과와 ECG(Quinton 4000, Quinton, Seattle, WA)를 통한 심장박동수치가 Labview(National Instruments, Austin, TX) 프로그램을 통해 계측되었다. 피 실험자들은 페달 속도를 80-100 rpm을 유지하였고 실험종료 속도는 40 rpm 로 정하였다.

자료 분석 및 통계

모든 가스분석 data는 엑셀(Microsoft Excel XP Professional) 프로그램으로 전환되어 11 breath, 15, 30, 60초의 실험샘플 측정간격으로 나누어 분석 되었다. 최대산소섭취량은 다음에 조건 중 두 가지 이상을 만족 하였을 때 측정되었다: (1) 산소섭취량 정체 현상이 나타날 때(최고 산소섭취량 주위의 $\Delta VO_2 \leq 50$ mL/min), (2) $RER \geq 1.15$ 일 때, (3) 최

대 예상 심장 맥박수치(220-나이) ± 10 bpm. 최대산소섭취량 수치는 실험종료 전 가장 높은 수치들의 평균으로 구하였다.

본 연구에서는 SPSS 통계 프로그램(Version 13.0)을 이용하여 기술통계량을 측정하였고, 모든 결과는 평균과 표준편차로 표시하였다. VO_{2max} 와 산소섭취량 정체 현상에서의 VO_2 변화량과 실험샘플 측정간격들과의 차이를 알기위하여 대응표본의 t 검정을 실시하였다. 또한 단순선형 회귀분석을 이용하여 시간변화에 따른 산소섭취량 변화의 기울기를 구하였다. VO_2 기울기와 운동수행능력간의 연관성을 조사하기 위해 피어슨의 상관관계를 알아보았다. 본 연구의 유의수준은 $p \leq .05$ 로 설정하였다.

결 과

피실험자들의 특성

<표 1>에서는 피실험자들의 다양한 연령 및 신체적 특성을 보여주고 있다. 모든 남성 및 여성 피실험자들은 ACSM에서 제안하는 심폐지구력 분류표[1]를 기준으로 80% 이상의 심폐지구력능력을 가지고 있었다.

산소 섭취량 정체

표<2>에서 보여주는 것과 같이 모든 대상자들은 11 breath 평균을 이용한 측정에서 산소섭취량 정체현상을 보여주고 있고 15초, 30초, 60초 그리고 마지막 30초간의 산소섭취량 변화 기울기를 이용한 측정에서는 35%, 24%, 6%, 및 24%의 산소섭취량 정체 현상을 보였다. 이 결과는 산소섭취량 변화는 짧은 측정간격(11breath)에서는 변화가 적고 변화량이 50 mL/min 보다 작은 산소섭취량 정체 현상을 보여주고 있음을 말하고 있다. 샘플 측정간격에 따른 평균 산소 섭취량 변화는 통계적으로 30초 간격과 60초 간격대응표본 t 검정($p=0.151$)을 제외한 모든 대응표본 t 검정들에서 차이가 있음을 보여주었다($p \leq .05$). 11 breath, 15초, 30초, 및 60초 샘플측정 간격에 따른 평균 산소섭취량 변화량은 19.5 ± 13.4 , 81.4 ± 65.8 , 156.0 ± 116.7 그리고 203.6 ± 114.4 mL/min 이었다. 최대산소 섭취량 수치 또한 모든 샘플 측정간격에 따른 대응표본 t 검정들에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(모든 검정에서 $p \leq 0.01$) <그림 1>. 또한 산소섭취량 기울기와 최

Table 1. The characteristics of subjects

Subjects (N=17)	mean $\pm$ S.D	range
years(ys)	23.5 $\pm$ 3.3	20-29
height(cm)	172.5 $\pm$ 10	157.7-187.7
weight(kg)	67.8 $\pm$ 10.4	47.3-82.3
body fat(%)	15.1 $\pm$ 5.9	8.1-26.3
VO_{2max} (L/min)	3.65 $\pm$ 0.73	2.51-4.55
exercise intensity (Watt)	297.3 $\pm$ 70.4	188-399

Table 2. The change of oxygen consumption following after exercise interval and exercise mode

subjects	11 breath (mL/min)	15 second (mL/min)	30 second (mL/min)	60 second (mL/min)	30 second inclined (mL/min/min)
1	8	128	155	320	400
2	20	40	58	78	-80
3	41	228	236	166	0
4	27	238	397	333	360
5	25	138	2	215	200
6	14	3	271	334	-60
7	11	59	260	384	110
8	21	62	282	117	680
9	3	20	20	345	290
10	1	38	9	194	-150
11	7	42	143	50	-140
12	4	67	96	97	270
13	24	50	96	247	270
14	27	73	296	304	790
15	46	70	132	74	190
16	16	67	158	101	830
17	36	61	46	102	100

Fig 1. The mean VO₂max in different sampling intervals

대산소섭취량 비교를 통해 운동수행능력과 산소섭취량 정체 현상과는 관련이 없는 것으로 나타났다 ($r=-0.008$) <그림 2>.

호흡 교환 비율과 최대 심박수

모든 대상자들이 호흡 교환 비율(>1.15) 종료기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 최대예상 심박수(220-나이)에서 ± 10 beat/min 종료기준을 만족한 피 실험자들은 9명에 불과 했다. 그 결과는 <표 3>과 같다.

고 찰

본 연구에서는 샘플 측정간격과 30초 산소 변화량 기울기 방법에 따른 산소섭취량 정체현상을 측정하였다. 그 결과 11 breath 샘플 평균을 이용한 방법 외에는 35%(15초), 24%(30초), 6%(60초) 그리고 24%(산소 섭취량 변화 기울기)만의 산

Fig 2. The relationship between VO₂max and VO₂slope

Table 3. The maximal heart rate and respiratory ratio

subjects	expected maximal heart rate (beat/min)	maximal heart rate (beat/min)	respiratory ratio
1	197	183	1.18
2	198	191*	1.3
3	194	177	1.28
4	191	168	1.19
5	198	188*	1.28
6	191	185*	1.17
7	194	177	1.37
8	193	177	1.28
9	200	193*	1.37
10	200	198*	1.28
11	200	180	1.29
12	199	189*	1.17
13	191	184*	1.36
14	199	181	1.39
15	198	199*	1.18
16	197	196*	1.35
17	200	182	1.19
평균	196	185	1.27

* = conditioned subjects

소섭취량 정체 현상을 발견하였다. 또한 높은 유산소 운동능력을 가진 것과 산소섭취량 정체현상과는 상관이 없는 것으로 밝혀졌다.

Hill과 Lupton [10]이 산소섭취량 정체에 관한 개념을 소개한 이후로 산소 섭취량 정체현상의 유무에 많은 논란이 있어 왔다. Noakes [18-20]와 Bassett and Howley [11]는 심지어 모든 피 실험자에게서 산소섭취량 정체현상이 일어나지 않으므로 산소섭취량 정체 개념자체를 부정하고 있다. 사실 산소 섭취량 정체현상을 결정하는 적당한 기준이 규정되어 있지 않아 최대산소섭취량 실험 시 정체현상은 많게는 94%에서 적게는 30%까지 다양한 수치를 보여주고 있다. 이러한 현상을 Robergs [21]는 검사 프로토콜, 피 실험자들의 다양성(운동수행능력, 성별 및 연령), 다른 종료기준의 사용, 그리고 실험샘플의 측정간격의 차이로 기인한다고 설명하고 있다.

본 연구에서는 최고 산소섭취량 주위의 $\Delta VO_2 \leq 50$ mL/min를 정체현상으로 규정했을 때 실험샘플의 측정간격에 따라 6%에서 100%의 정체현상을 보여주고 있다. 1955년 Taylor et al. [24]의 연구에서 산소섭취량의 변화가 150 mL/min 보다 적을 때를 산소섭취량 정체현상으로 규정하여 115명의 피 실험자중 108명이 정체현상을 보였다. 그러나 트레드밀을 이용한 이 실험의 프로토콜은 비 점증적으로 최대산소 섭취량에 도달할 때 까지 여러 번에 걸친 실험의 결과이다. 이 밖에 많은 연구들이 150 mL/min 또는 2.1 mL/kg/min를 정체현상 유무의 기준으로 사용하고 있으나 이 역시 프로토콜에 따라 50%에서 77%의 정체현상을 보여주고 있다[9,16]. Stamford [23]는 산소섭취량 정체 수치를 112 mL/min로 사용하였다. 이 밖에 Astrand [5]의 연구에서는 80 mL/min를 기준으로 사용하였고 Issekutz et al. [13]은 100 mL/min를 사용하였다. 과거의 대부분 산소섭취량 정체현상 연구들에서는 점증적 프로토콜 또는 호흡 대 호흡 샘플 측정 방식을 사용하고 있지 않다. Robergs [21]는 트레드밀이나 자전거 에르고미터 사용 시 호흡 대 호흡 측정방식과 점증적 프로토콜의 사용이 최대산소섭취량과 정체현상 측정에 보다 정확한 방법이라고 주장하고 있다. 또한 Howley et al. [11]은 산소섭취량 수치는 50-60 mL/min를 기준으로 사용하여야 한다고 제안하고 있다. 이러한 다른 기준수치의 사용은 최대산소섭취량과 정체현상 개념의 부정적인 요소와 더불어 각 실험실마다 다른 기준을 사용하여 실험오류와 신뢰도에 영향을 미친다. 이와 같이 현재까지 산소섭취량 정체에 관한 명확한 기준수치가 규정되어 있지 않으므로 이러한 산소섭취량 정체의 기준수치에 관한 추후 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 시간에 따른 산소섭취량 변화 기울기를 이용하여 정체현상을 조사해 보았다. Myers et al. [17]의 연구에서도 이와 같은 방법을 이용하여 정체현상을 관찰하였으나 이 연구결과는 정체현상의 개념을 다시 평가해야만 한다고 제시하고 있다. 이 연구는 호흡 대 호흡 측정방식과 시간에 따른 산소섭취량 변화 기울기를 이용해 6명의 피 실험자들의 정체현상을 관찰하였다. Myers et al.의 연구는 피 실험자의 수가 적어 통계적 문제를 가지고 있다. 본 연구에서도 이와 같은 조건을 사용했을 때 유사한 결과(24%)를 얻었다. 이러한 현상은 본 연구에서 사용한 시간 간격(30초 간)으로 설명할 수 있을 것이다. Ramp 프로토콜에서 최대산소섭취량에 다다랐을 때 피 실험자들은 높은 강도로 운동을 하게 된다. 이러한 이유로 30초란 시간이 피 실험자들이 정체현상을 보이기에 너무 긴 시간이 아닌가 사료된다.

호흡 대 호흡 측정 방식은 불규칙한 데이터의 산출로 인하여 최대산소 섭취량 결정이나 정체현상을 관찰할 때 어려움이 있는 게 사실이다. 이러한 이유로 대부분의 연구들이 호흡들의 평균을 이용하거나 15초, 30초, 내지 60초간의 평균 수치를 이용하여 최대산소섭취량과 정체현상을 관찰하고 있다.

Robergs [21]는 최대산소섭취량측정 실험에서 극한의 테이터를 제외하거나 7번 내지 11번 호흡의 평균산출방식을 이용하여 최대산소섭취량 수치나 정체현상을 결정하는 것이 가장 이상적인 방법이라고 말하고 있다. 그러나 많은 연구들이 아직도 30초 내지 60초 샘플측정간격을 사용하고 있다. 본 연구에서는 실험샘플 측정간격이 최대산소 섭취량과 정체현상에 영향을 미칠 수 있음을 발견하였다. 이러한 결과는 Astorino et al. [2]의 연구와 유사한 결과를 보여주었다. Astorino et al.의 연구는 세 가지 다른 프로토콜(25 watt/min ramp protocol, 75 watt/min step protocol, 저기압 환경에서의 25 watt/min ramp protocol)을 사용하여 실험샘플의 측정간격이 정체현상 유무에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다. 16명의 남녀 대상자 모두 11번 호흡평균과 15초 측정간격을 이용한 측정에서 정체현상($\Delta VO_2 \leq 50$ mL/min)을 보여주었다. 그러나 30초 간격과 60초 간격을 이용한 측정에서는 57%와 8%의 대상자만이 정체현상을 보였다. 이 연구는 짧은 측정간격(11 breath 와 15초 간격)을 사용했을 때 실험 프로토콜에 상관없이 산소섭취량 정체현상을 관찰할 수 있다고 보고하고 있다. 그러나 본 연구에서는 같은 방식으로 산소섭취량 정체를 관찰했을 때 11번 호흡평균을 사용했을 때는 모든 피 실험자들이 정체현상을 보였으나 15초 간격을 사용했을 때는 6명만이 정체현상을 보였다. 비록 Astorino et al. [2]에서는 15초 간격을 이용한 측정방식 또한 정체현상을 관찰할 수 있을 만큼 충분한 데이터를 제공한다고 하지만 이 또한 충분치 않음을 본 연구에서는 보여주고 있다.

또한 주목할 점으로는 최대 산소섭취량 수치역시 측정간격에 따른 방식에 따라 통계적으로 다르게 나타났다는 것이다. 즉, 한 실험에서 최대산소섭취량 수치와 정체현상이 샘플 측정간격에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 최대산소섭취량 수치의 차이는 최대산소섭취량을 이용한 훈련강도나 심폐지구력 결정에 영향을 미칠 것이다. 본 연구의 흥미로운 결과는 운동수행능력과 산소섭취량 변화와는 상관이 없는 것으로 나타났다($r=-0.008$). 높은 유산소 운동능력을 지닌 대상자라 할지라도 산소섭취량 정체 현상을 보인다고 말할 수 없을 것이다. Astorino et al. [3]의 또 다른 연구에서도 같은 결과를 보여주고 있다. 이 연구는 13명의 대상자들을 트레드밀을 이용하여 최대산소섭취량과 최대산소섭취량 때의 산소섭취량 변화와의 관계를 연구하였으나 아무런 상관관계가 없는 것으로 결론지었다($r=0.05$). 이러한 결과들을 토대로 볼 때 산소섭취량 정체현상은 프로토콜이나 유산소 운동능력과는 전혀 상관이 없이 실험샘플의 측정간격과 산소섭취량 변화 기준에 따라 달라 질 수 있다고 결론내릴 수 있을 것이다. 또한 정체현상이 최대산소섭취량 측정점사종료기준으로 절대적인 기준이라고 결론 지을 수 없을 것이다.

본 연구에서는 산소섭취량 정체 이외에 최대 심박수와 호

흡교환율을 관찰하여 검사종료기준에 적합한지를 관찰해 보았다. 17명의 피 실험자 중 9명이 예상 최대 심박수 종료기준을 만족하였고 호흡 교환 비율 종료기준은 모든 대상자가 만족하였음을 보여주고 있다. 예상 최대 심박수 종료기준은 Gibson et al. [12]과 Shephard et al. [22]의 연구들에서 하나의 종료기준으로 제시되었으나 최대산소섭취량 측정실험에 적합한 종료기준이 아님을 Duncan et al. [9]의 연구는 보여주고 있다. 본 연구에서도 약 53%의 피 실험자들만이 이 종료기준을 만족한 것으로 나타났다. 호흡교환율 종료기준은 다른 연구와 마찬가지로 최대산소섭취량 측정실험에 적합한 종료기준임을 보여주고 있다.

결론적으로 본 연구에서는 산소섭취량 정체현상이 최대산소섭취량 측정실험에 절대적인 종료기준이 아님을 보여주고 있다. 산소섭취량 정체현상과 최대산소섭취량 수치는 실험 샘플의 측정간격에 따라 영향을 받으며 정체현상을 종료기준으로 사용 시에는 짧은 측정간격(11 breath)을 사용해야만 한다고 결론 내릴 수 있을 것이다. 또한 운동수행능력과 산소섭취량 정체현상과는 상관이 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 또한 산소섭취량 정체현상이외에 예상 최대 심박수보다는 호흡교환율을 종료기준으로 사용하는 것이 적합하다고 제안한다.

참 고 문 헌

- American, College of Sports Medicine. 2000. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 6th ed. Franklin BA, ed. pp. 77, Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, Pa.
- Astorino, T. A., R. A. Robergs, F. Ghiasvand, D. Marks and S. Burns. 2000. Incidence of the oxygen plateau at VO_2max during exercise testing to volitional fatigue. *Journal of Exercise Physiology Online* **3**, 1-12.
- Astorino, T. A., J. Willey, J. Kinnahan, S. M. Larsson, H. Welch and L. C. Dalleck. 2005. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at VO_2max . *British Journal of Sports Medicine* **39**, 655-660.
- Astrand, P. 1952. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen: *Ejnar Munksgaard* 23-27.
- Astrand, I. 1960. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta. Physiol. Scand.* **49**, 1-92.
- Bassett, D. R. and E. T. Howley. 1997. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoint. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **29**, 591-603.
- Buchfuhrer, M. J., J. E. Hansen, T. E. Robinson, D. Y. Sue, K. Wasserman and B. J. Whipp. 1983. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology* **55**, 1558-1564.
- Davis, J. A., B. J. Whipp, N. Lamarra, D. J. Huntsman, M. H. Frank and K. Wasserman. 1982. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **14**, 339-343.
- Duncan, G. E., E. T. Howley and B. N. Johnson. 1997. Applicability of VO_2max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **29**(2), 273-278.
- Hill, A. V. and H. Lupton. 1923. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Quarterly Journal of Medicine* **Jan**, 135-171.
- Howley, E. T., D. R. Bassett and H. G. Welch. 1995. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **27**(9), 1292-1301.
- Gibson, T. M., M. H. Harrison and R. M. Wellicome. 1979. An evaluation of a treadmill work test. *British Journal of Sports Medicine* **13**, 6-11.
- Issekutz, B., N. C. Birkehead and K. Rodahl. 1962. Use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *Journal of Applied Physiology* **17**, 47-50.
- Maritz, J. S., J. F. Morrison, J. Peter, N. B. Strydom and C. H. Wyndham. 1961. A practical method of estimating an individual's maximum oxygen intake. *Ergonomics* **4**, 97-122.
- McConnell, T. R. 1988. Practical considerations in the testing of VO_2max in runners. *Sports Medicine* **5**, 57-68.
- Mitchell, J. H., B. J. Sproule and C. B. Chapman. 1958. The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *Journal of Clinical Investigation* **37**, 538-547.
- Myers, J., D. Walsh, N. Buchanan and V. F. Froelicher. 1989. Can maximal cardiopulmonary capacity be recognized by a plateau in oxygen uptake? *Chest* **96**, 1312-1316.
- Noakes, T. D. 1988. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **20**, 319-603.
- Noakes, T. D. 1997. Challenging beliefs: ex Africa simper aliquid novi. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **29**(5), 571-590.
- Noakes, T. D. 1998. Maximal oxygen uptake: "Classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **30**, 1381-1398.
- Robergs, R. A. 2001. An exercise physiologist's "contemporary" interpretations of the "ugly and creaking edifices" of the VO_2max concept. *Journal of Exercise Physiology Online* **4**(1), 1-44.
- Shephard, R. J., C. Allen, A. J. Benade, C. T. Davies, P. E. Di Prampero, R. Hedman, J. E. Meriman, K. Myhre and R. Simmons. 1968. The maximal oxygen intake-an international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bulletin of the World Health Organization* **38**, 757-764.
- Stamford, B. A. 1976. Step increment versus constant load tests for determination of maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol.* **35**, 89-93.
- Taylor, H. L., E. Buskirk and A. Henschel. 1955. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *Journal of Applied Physiology* **8**, 73-80.