조정선수의 임계파워 예측을 위한 측정법의 비교분석

김지현, 하수민, 하민성, 김도연

부산대학교 체육교육과

Comparative Analysis of Measuring Methods for Prediction of Critical Power in Rowers

Ji-Hyeon Kim, Soo-Min Ha, Min-Seong Ha, Do-Yeon Kim

Department of Physical Education, Pusan National University, Busan, Korea

PURPOSE: This study aims to carry out a comparative analysis of measuring methods to predict a critical power in rowers.

METHODS: Three types of tests were performed for seven male university rowers: 1) a critical power determination test, 2) a 3- and 6-minute all-out rowing test, 3) a 2,000 m simulated rowing test. The CP and W' were determined from the regression between work and time to exhaustion, derived from two exhaustive trials at 60, 70% of the maximal power, and 3-, 6-minute all-out rowing test to estimate the EP and WEP. The test data were analyzed by paired *t*-test, one-way ANOVA, and Pearson correlation.

RESULTS: Comparing the differences between the 3- and 6-minute all-out tests, EP ($p < .001$) showed that the 6-minute test was lower than the 3-minute test and WEP ($p < .001$) was higher. There was a significant ($p < .01$) difference between the EP of the 3, 6-minute test and CP of 60%, 70% Pmax, WEP of the 3, 6-minute test and W' of 60%, 70% Pmax. The 2,000 m mean power of 2,000 m was positively correlated with 3-minute EP, 6-minute EP, 60% CP and 70% CP. The 6-minute EP had a positive correlation with the 3-minute EP, 60% CP and 70% CP, but 3-minute EP did not have a correlation with 60% CP and 70% CP.

CONCLUSIONS: A non-invasive 6-minute all-out critical power test using a rowing ergometer can be a practical protocol for monitoring the effectiveness of the training program during the off-season or evaluating the 2,000 m record. Additionally, 6-minute EP and WEP have moderate reliability, and are able to appropriately estimate the aerobic capacity and anaerobic capacity in rowers.

Key words: Critical power, Anaerobic work capacity, 3-minute all-out rowing test, 6-minute all-out rowing test

서론

환경, 심리, 유·무산소성 에너지 생산, 근력, 협응 및 효율성 등의 개인적 능력은 특정 스포츠나 경기종목에서 성공에 기여하는 요인으로 작용한다[1]. 스포츠 현장에서 과학적인 접근을 통한 운동수행능력의 평가는 선수의 장점과 단점에 관한 정보제공과 훈련프로그램 설계는 물론 운동처방 및 훈련프로그램 결과 분석의 근거자료가 되어 선수와 지도자에게 피드백을 제공해준다[2].

지구성 운동수행능력과 유산소성 체력 예측을 위한 방법으로 환기역치, 젖산역치, 혈중젖산축적시점, 최대젖산정상상태 등이 있으며[3], 비침습적인 형태로는 임계파워가 대표적으로 사용되고 있다[4-6].

임계파워(critical power, CP)의 개념은 운동 시 피로 없이 가장 높은 파워를 유지할 수 있는 수준을 말하며, 수행된 총 일량과 탈진까지 걸린 시간과의 관계(work-time)를 변환시켜 나타낸 것으로서 선형 회귀선의 기울기를 CP라고 한다[7].

CP는 산소섭취량, 혈중 젖산농도 및 pH 값이 생리학적 정상상태에

Corresponding author: Do-Yeon Kim Tel +82-51-930-7766 Fax +82-51-515-1991 E-mail kdy4955@pusan.ac.kr

Keywords 조정, 임계파워, 무산소성 작업능력, 3분 측정법, 6분 측정법

Received 18 Oct 2017 **Revised** 28 Nov 2017 **Accepted** 14 Dec 2017

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 유지될 수 있는 운동의 상한선을 나타내고[8], 유산소성 에너지 시스템에 의한 ATP합성 속도를 나타내는 것으로 볼 수 있다[9].

이와 함께 y 절편은 개인의 무산소성 능력을 나타내는 것으로 무산소성 작업능력(anaerobic work capacity, AWC; W')이라고 하며, 인산 반응과 무산소성대사를 통해 생성된 에너지 자원의 반영으로 볼 수 있다[10]. W' 는 CP 이상에서 수행할 수 있는 운동의 최대량이고, CP 이상의 운동수행은 산소결핍과 관련된 대사산물의 축적과 피로를 발생시킨다[11].

임계파워(CP)와 무산소성 작업능력(W')의 산출 공식은 3가지 모델로써 동일한 의미로 사용되고 있으며, 첫 번째 비직선형 시간-파워 모델($\text{Time} = W'/(P - CP)$), 두 번째 직선형 파워-1/시간 모델($\text{Power} = CP - W'/T$), 세 번째 직선형 일-시간 모델($\text{Work} = W' + CP \times T$)이 있다[12].

임계파워는 젖산역치, 최대산소섭취량과 함께 운동수행능력을 예측하는 데 동일한 능력을 가지고 있음은 물론[13], 근전도에 의한 근 피로시점과도 높은 상관성이 있다[14]. 그러나 기존의 임계파워 측정법은 서로 다른 운동부하를 여러 날에 걸쳐 측정해야 하기에 실용적인 측정 방법이라고 볼 수 없다는 것을 감안하여[6,15], 최근 3분간의 사이클 측정법으로 CP를 간단히 설정할 수 있는 방법이 개발되었으며[16], 이 개념에 따르면 W' 를 완전히 고갈시키는 방법이 있다면 나머지 파워는 CP와 같다는 것으로써 이것을 end-test power (EP)라고 한다[15,17]. 3분 all-out 사이클 측정법에서 결정된 EP는 시간-파워 모델 및 직선형 파워-1/시간 모델에 의해 계산된 CP와 높은 상관관계가 있으며[18], 젖산역치 및 환기역치와도 상관관계를 나타내었다[19]. 이 외에도 3분간의 측정시간보다 짧은 시간에 측정이 가능한 CP측정법이 제안되었으며[20], 개인 파워의 특징 분석을 이용한 3분 이하의 단일 세션의 CP측정법 또한 보고되었다[6].

특별한 분석 장비가 필요 없는 비침습적 방법인 임계파워는 경제성과 효율성을 함께하기 때문에 스포츠현장에서 유용하게 사용할 수 있어, 기존 측정법의 단점들을 보완한 CP측정법의 개발이 계속적으로 이루어지고 있으나 모든 운동종목에서 같은 방법의 CP측정법이 사용될 수 있다는 것은 다소 무리가 있다. 수영[21], 달리기[22], 사이클[23], 무도종목[24]과 같이 종목의 특성에 맞는 CP측정법은 운동선수들의 운동수행능력 및 훈련강도 설정에 대한 중요한 기준이 되기 때문에[21], 해당 종목의 특성에 맞는 CP측정법의 개발은 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 유·무산소성 운동능력이 경기력에 밀접한 관계가 있는 대표적인 고강도 지구성 종목인 조정선수를 대상으로 전통적인 CP측정법[25] 및 3분 all-out 측정법[15]과 조정 경기 거리가 2,000 m 이고, 경기에 걸리는 시간이 대략 6분이라는 것을 감안하여 새롭게 고안한 6분 all-out 측정법을 비교분석하여 보다 더 정확한 임계파워 측정 방법을 알아내고자 수행하였다

Table 1. Physical characteristics of subjects

Variables	Male Rowers (N = 7)
Age (yr)	20.7 ± 1.0
Height (cm)	183.5 ± 4.3
Weight (kg)	83.9 ± 10.8
BMI (kg/m ²)	24.9 ± 2.8
2,000 m time (sec)	396.7 ± 12.5
2,000 m mean power (W)	361.28 ± 35.56
Career (yr)	5.7 ± 1.34

Value are presented as Mean ± SD.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 B광역시 남자대학 조정선수로 연구에 대한 목적과 내용을 충분히 이해하고 자발적 참여 의사를 밝힌 7명이 참여하였다. 선수의 운동 수행능력이 연구결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해 운동경력 4년 이상, 전국대회에 입상경험이 있으며, 로잉 에르고미터(Concept II, USA)를 사용하여 정기적으로 훈련을 실시하는 대상으로 실시하였다. 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정 방법

1) 체격

신장과 체중은 간편한 복장을 착용한 후 X-SCAN PLUS II (JAWON Medical, Korea)를 이용하여 자동으로 측정하였다.

2) 전통적 CP 측정

CP측정법은 로잉 에르고미터(Concept II, USA)를 사용하여 최대파워의 60%와 70%를 측정하였다[25]. 최대파워는 10회 stroke를 3 set 실시하여 에르고미터 모니터에 표시되는 가장 높은 값으로 설정하였으며, 이를 이용하여 각 대상자들의 60%와 70% Pmax의 CP 측정법을 실시하였다. 측정법의 종료는 각각의 목표 강도보다 10% 이상 떨어지는 지점에서 5초 이상 운동을 지속하지 못할 때로 간주하였으며, 대상자들이 가능한 오랫동안 목표 강도를 유지하도록 구두의 격려를 제공하였다. 또한 각 대상자들은 서로 다른 목표 강도를 무작위 순서로 수행하였으며, 측정결과에 영향을 주는 요인을 최소화 하기 위해 각 목표 강도의 수행은 24시간의 충분한 휴식 후 실시되었다.

CP와 W' 의 값은 선형회귀(linear regression)를 사용하여, Work-Time model ($\text{Work} = W' + CP \times T$)로 산출하였다. 이때, CP는 일과 탈진 시간 사이의 선형 회귀의 기울기 값, W' 는 y 절편으로 설정하였다[7].

3) 3분 및 6분 all-out 측정

6분 all-out 측정법은 3분 all-out 측정법[15]을 수정·보완하였으며, 3

Table 2. Results of 60%, 70% Pmax CP test

CP test	Time to exhaustion (sec)	Mean power (W)	Work (kJ)	CP (W)	W' (kJ)
60% Pmax	268.9±95.7	362.8±60.9	95.1±26.3	369.2±61.6	10.4±2.3
70% Pmax	146.7±51.6	420.7±70.6	56.4±14.2	405.9±42.1	9.0±2.1

Value are presented as Mean ± SD.

Table 3. Comparison of 3-minute, 6-minute all-out rowing test

Variables	3 min all-out RT	6 min all-out RT	t
Distance (m)	944.1±23.4	1,796.4±44.8	-100.552***
Mean power (W)	404.7±29.9	348.6±26.3	21.189***
Stroke rate (1 min-1)	35.4±1.7	32.1±1.2	5.811**
EP (W)	377.9±20.1	319.4±21.1	14.022***
WEP (kJ)	12.9±3.7	17.9±3.2	-7.182***

Value are presented as Mean ± SD, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

EP, end-test power output; WEP, work done above end-test power output.

분 및 6분 all-out 측정법은 각각의 검사 실시 전 충분한 안정을 취한 후 부하가 없는 상태로 로잉 에르고미터(Concept II, USA)를 이용하여 3분간의 준비운동을 실시한 뒤 수행되었으며, 평균 파워는 20초 간격으로 모니터링하였다. 각각의 all-out 측정 시 대상자들은 가능한 한 최대역량의 스트로크 레이트(s/m)를 유지하도록 하였다. 이때, 구두의 격려를 지속적으로 제공하였으며, 대상자의 의식적 페이스 조절을 방지하기 위해 에르고미터의 모니터를 보이지 않게 하여, 수행되고 있는 분당 스트로크 파워와 남은 시간은 대상자에게 피드백되지 않았다. 또한 3분 및 6분 all-out 측정은 대상자에 따라 무작위 순서로 수행하였으며, 24시간의 충분한 휴식을 취한 뒤 실시하였다.

3분, 6분 all-out 측정의 EP값은 마지막 60초 구간의 스트로크 파워의 평균으로 설정하였으며, WEP (work done above EP)는 Work-Time model ($Work = W' + CP \times T$)로 산출하였다.

4) 2,000 m 로잉 에르고미터 측정

2,000 m 측정법은 충분한 준비운동을 실시한 후 안정을 취한 뒤 로잉 에르고미터(Concept II, USA)를 사용하여 2,000 m 기록을 측정하였다. 이때, 대상자의 최대역량을 발휘하도록 하였으며, 2,000 m 평균 파워와 시간을 기록하였다.

3. 자료처리

본 연구의 자료처리는 SPSS ver 23.0 (Chicago, IL, USA)을 이용하여 측정항목에 대한 평균값(M)과 표준편차(SD)를 산출하고, 3분 및 6분의 all-out 측정법의 비교와 20초 간격에 각각의 구간 비교는 paired t-test, 3분 및 6분 all-out 측정법과 60%, 70% 임계파워 측정법의 CP와 W'의 비교는 one-way ANOVA를 실시하였으며, 사후검증은 Duncan을 실시하였다. 또한, 2,000 m 로잉 기록과 각 측정법 CP, W' 간의 관계는 피어슨 상관분석을 실시하였으며, 유의수준(α) .05로 설정하였다.

Fig. 1. Power averaged every 20 seconds during the 3-min all-out rowing test.

연구 결과

1. 전통적인 CP측정

최대파워는 623 ± 116 W로 나타났으며, 임계파워 측정법의 60%, 70% Pmax의 결과는 Table 2와 같다. 60% Pmax의 CP는 369 ± 61 W, W'는 10.4 ± 2.3 kJ로 나타났으며, 70% Pmax의 CP는 406 ± 42 W, W'는 9 ± 2.1 kJ로 나타났다.

2. 3분 및 6분 all-out 측정의 비교

3분과 6분 all-out 측정법의 차이를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 거리는 6분 all-out 측정법이 3분 all-out 측정법보다 유의하게 높은 것으로 나타났으며($p < .001$), 평균파워($p < .01$), 스트로크 레이트($p < .001$)는 유의하게 낮은 것으로 나타났다. EP는 6분 측정법이 3분 측정법보다 유의하게 낮은 것으로 나타났으며($p < .001$), WEP는 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < .001$).

3분 all-out 측정 시 20초 구간별 파워와 EP, WEP는 Fig. 1, Table 4와 같으며, 각 구간별 차이 비교는 40-60초($p < .05$), 60-80초($p < .01$), 80-100초($p < .05$)에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 6분 all-out 측정 시 20초 구간별 파워와 EP, WEP는 Fig. 2, Table 4와 같으며, 각 구간별 차이 비교는 20-40초($p < .01$), 40-60초($p < .05$), 60-80초($p < .01$), 80-100초($p < .05$), 100-120초($p < .05$), 120-140초($p < .05$), 160-180초($p < .05$),

Table 4. Comparison of power averaged every 20 seconds during the 3-minute all-out and 6-minute all-out rowing test

Time (sec)	3 min all-out RT	6 min all-out RT
20	448.86 ± 84.75	425.71 ± 71.85
40	464.14 ± 58.19	451.14 ± 74.21
60	428.29 ± 41.90	426.29 ± 52.53
80	410.14 ± 33.56	405.71 ± 39.61
100	395.00 ± 32.53	376.71 ± 25.20
120	381.71 ± 25.65	362.57 ± 25.41
140	378.00 ± 18.92	340.29 ± 30.27
160	376.29 ± 18.51	334.43 ± 23.94
180	375.86 ± 24.65	329.14 ± 23.26
200		327.43 ± 20.35
220		324.57 ± 21.95
240		317.57 ± 17.63
260		314.00 ± 18.03
280		317.43 ± 17.85
300		317.86 ± 20.59
320		319.43 ± 20.35
340		319.57 ± 22.67
360		321.00 ± 21.52

Value are presented as Mean ± SD.

Table 5. Comparison of critical power of 3-minute, 6-minute all-out test and 60%, 70% Pmax test

Subject	Critical power				W'			
	3-min RT	6-min RT	60% Pmax	70% Pmax	3-min RT	6-min RT	60% Pmax	70% Pmax
	EP (W)	EP (W)	CP (W)	CP (W)	WEP(kJ)	WEP (kJ)	W'(kJ)	W'(kJ)
Male rowers (N=7)	377.9 ± 20.1	319.4 ± 21.1	369.2 ± 61.6	405.9 ± 42.1	12.9 ± 3.7	17.9 ± 3.2	10.4 ± 2.3	9 ± 2.1
F (Duncan)		5.672**				12.888***		
		6-min < 3-min, 60%, 70%				70% < 3-min < 6-min		

Value are presented as Mean ± SD.

** $p < .01$; *** $p < .001$.

220-240초($p < .05$)에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. CP와 W'의 비교

3분, 6분 all-out 측정법과 60%, 70% Pmax의 임계파워와 무산소성 작업능력의 차이를 비교한 결과는 Table 5와 같다. 3분, 6분 all-out 측정법의 EP와 60%, 70% Pmax의 CP는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과 6분 all-out 측정법보다 3분 all-out 측정법의 EP, 60%, 70% Pmax의 CP가 더 높은 것으로 나타났다.

또한 3분, 6분 all-out 측정법의 WEP와 60%, 70% Pmax의 W'는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과 70% Pmax의 W'보다 3분 all-out 측정법의 WEP, 6분 all-out 측정법의 WEP 순으로 높은 것으로 나타났다.

3. 2,000 m 기록, CP 및 W'의 상관관계

2,000 m 기록과 각각의 임계파워의 상관관계는 Table 6과 같다.

Fig. 2. Power averaged every 20 seconds during the 6-minute all-out rowing test.

2,000 m 시간은 2,000 m 평균파워($r = -.999, p < .001$), 3분 EP ($r = -.814, p < .05$), 6분 EP ($r = -.980, p < .001$), 60% CP ($r = -.769, p < .05$), 70% CP ($r = -.769, p < .01$)와 부적 상관관계가 있으며, 2,000 m 평균파워는 3분 EP ($r = .804, p < .05$), 6분 EP ($r = .976, p < .01$), 60% CP ($r = .757, p < .05$), 70% CP ($r = .921, p < .01$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 각 측정법의 경우 3분 EP는 6분 EP ($r = .858, p < .05$)와 정적 상관관계가 있으며, 6분 EP는 60% CP ($r = .856, p < .05$), 70% CP ($r = .965, p < .001$)와 정적 상관이 있는 것으로 나타났다.

2,000 m 기록과 각각의 무산소성 작업능력의 상관관계는 Table 7과 같다. 2,000 m 시간은 3분 WEP ($r = -.819, p < .05$), 6분 WEP ($r = -.775, p < .05$)와 부적 상관관계가 있으며, 2,000 m 평균 파워는 3분 WEP ($r = .812, p < .05$), 6분 WEP ($r = .765, p < .05$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 각 측정법의 경우 3분 WEP는 6분 EP ($r = .867, p < .05$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Correlation of 2,000 m data with CP variables

Variables	2,000 m	2,000 m	3-min RT	6-min RT	60% Pmax	70% Pmax
	Time	Power average	EP	EP	CP	CP
2,000 m Time	1	-0.999***	-0.814*	-0.980***	-0.769*	-0.925**
2,000 m Power average		1	0.804*	0.976**	0.757*	0.921**
3-min RT EP			1	0.858*	0.619	0.731
6-min RT EP				1	0.856*	0.965***
60% Pmax CP					1	0.950**
70% Pmax CP						1

Value are presented as Mean $\pm$ SD.

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < 0.01$.

Table 7. Correlation of 2,000 m data with W' variables

Variables	2,000 m	2,000 m	3-min RT	6-min RT	60% Pmax	70% Pmax
	Time	Power average	WEP	WEP	W'	W'
2,000 m Time	1	-0.999***	-0.819*	-0.775*	0.067	-0.701
2,000 m Power average		1	0.812*	0.765*	-0.110	0.686
3-min RT WEP			1	0.867*	0.174	0.739
6-min RT WEP				1	0.300	0.412
60% Pmax W'					1	0.100
70% Pmax W'						1

Value are presented as Mean $\pm$ SD.

* $p < .05$; *** $p < .001$.

논 의

본 연구는 조정선수의 임계파워예측을 위해 로잉 에르고미터를 이용하여 전통적인 CP측정법과 3분 및 6분 all-out 측정법을 비교분석한 결과 다음과 같이 논의하였다.

모든 경기종목에 특성에 맞는 운동강도의 정확한 측정은 선수들의 운동수행능력 및 훈련강도에 관한 기준으로써 중요한 의미를 갖는다[21,24]. 조정경기는 대표적인 고강도 지구성 종목으로 경기 초반부와 후반부에는 무산소성 운동능력을 필요로 하며, 중반부에는 유산소성 운동능력이 중요하다[26]. 따라서 유산소성과 무산소성능력을 함께 측정할 수 있는 대표적인 비침습적 방법인 CP측정법은 유용하게 사용될 수 있다[15,25].

로잉 에르고미터를 이용한 최대 파워 측정법의 경우 훈련되지 않은 대상은 숙련된 조정선수에 비해 운동 시 근 활성의 차이를 보이기 때

문에 개인 차이의 영향을 줄이기 위해서 훈련된 조정선수를 대상으로 실시할 것을 권장한다[15,27]. 이에 따라서 본 연구에서도 운동경력 4년 이상의 조정선수를 연구에 참여하도록 한 것이 합리적인 결과를 가져오는 데 도움이 되었을 것으로 판단된다. 이와 함께 전신운동을 이용한 임계파워의 측정 시 운동수행의 지속시간은 임계파워의 과대평가를 예방하기 위해서 10분 이내에 이루어져야 하기에[3,8] 본 연구에서 실시된 전통적인 CP 측정법(60%, 70% Pmax) 및 3분, 6분 측정법 역시 10분 이내로 실시되었다.

전통적인 CP측정법을 조정선수에게 적용한 결과 CP와 VO_{2max} 는 강한 상관관계가 있으므로 조정선수의 유산소성능력이 운동수행능력과 밀접한 관련이 있고, W'보다 CP에 더 큰 영향을 받으며[25,28], 조정선수의 유산소성능력은 VO_{2max} 를 측정하지 않아도 CP를 통해 평가할 수 있다는 것이 제안되었다[25].

본 연구에서 전통적인 CP측정법을 실시한 결과 6분 all-out 측정법

의 CP보다 높게 나타난 반면, W'는 3분 및 6분 all-out 측정법의 WEP보다 낮은 것으로 나타났다. 또한 전통적인 CP측정은 2,000 m 기록 및 평균파워와 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, W'는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

3분 all-out 측정법은 임계파워를 결정하는 데 타당성과 신뢰성이 있으며[19,29], 조정선수를 대상으로 로잉 에르고미터를 이용한 3분 all-out 측정법 역시 수행 시 파워가 점차 줄어들어 크게 변화하지 않는 안정화된 구간의 평균을 통한 EP의 수준이 CP로 측정될 수 있어[18], 임계파워를 결정하는 데 신뢰가 있다[15]. Cheng et al. [15]은 로잉 에르고미터를 이용하여 3분 all-out 측정을 수행한 결과 EP는 CP 및 VO_{2max} 와 관련이 있음을 보여주며, 대상자의 유산소성 능력을 추정할 수 있으므로 기존의 전통적 CP검사와 점증적 운동부하 검사의 대안이 될 수 있음을 보고하였다.

본 연구결과 3분 all-out 측정법의 CP는 6분 all-out의 CP보다 높게 나타난 반면, W'는 6분 all-out의 W'보다 낮은 것으로 나타났고, 전통적인 CP 측정법보다 높은 것으로 나타났다. 또한 3분 all-out 측정법의 CP는 2,000 m 기록 및 평균파워와 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, W'도 2,000 m 기록 및 평균파워와 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

여자대학 조정선수를 대상으로 로잉 에르고미터를 이용한 파워와 거리에 따른 임계속도가 높을수록 2,000 m 기록은 단축되는 것으로 나타났으며, 이와 함께 훈련되지 않은 대상에 비해 훈련된 대상이 더 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다[30]. 또한 Kennedy & Bell [31]은 대학 및 클럽의 남자 조정선수의 임계속도 추정치와 2,000 m 속도 사이에 강한 상관관계를 보고한 바 있다.

본 연구에서 6분 all-out 측정법을 실시하여 전통적인 CP와 3분 all-out 측정법을 비교분석한 결과 임계파워(CP, EP)는 4가지의 측정법 중 6분 all-out 측정법의 임계파워가 가장 낮은 수준을 보였고, 무산소 작업능력(W', WEP)은 6분 all-out 측정법에서 가장 높은 수준으로 나타났다.

3분 all-out 측정법의 경우 100초에 걸쳐 파워 출력이 점차 감소하는 경향을 보였으며, 6분 all-out 측정법의 경우 240초에 걸쳐 파워 출력의 감소를 보였다. 또한 3분과 6분 all-out 측정법의 마지막 구간 60초 동안 출력된 파워는 비교적 안정적이었다. 이러한 결과는 Burnley et al. [16]과 Cheng et al. [15]의 연구와 일치하는 것으로 나타난다.

로잉 에르고미터 수행 시 동작은 구동단계, 회복단계로 구분되는데[32], 이때 대부분의 근육은 구동단계에서 활성화되고, 회복단계에서는 근육의 움직임이 저하되기 때문에 무산소성 작업능력의 차이는 조정운동의 동작 유형에 의한 차이로도 설명될 수 있다[15,27]. 즉, 교대로 실시되는 구동과 회복단계의 동작에서 근육활동에 휴식의 시간을 제공하고, 파워 출력의 감소를 지연시키게 됨으로써 WEP 용량이 증가하게 된다[15]는 것으로 미루어 볼 때, 본 연구에서 6분 all-out 측정법

(32.1 ± 1.2)의 분당 스트로크 횟수 평균이 3분 all-out 측정법(35.4 ± 1.7)보다 더 낮았던 것이 6분 all-out 측정법의 WEP에 영향을 준 것으로 사료된다.

3분 all-out 측정법을 통해 결정된 WEP는 전통적인 임계파워 CP 측정법의 무산소성 작업능력 수준보다 더 높게 나타났다는 연구결과[15]와 본 연구의 3분, 6분 all-out 측정법 결과는 유사하게 나타났다. 특히, 본 연구의 3분 all-out 측정법의 평균 파워(404.7 ± 29.9)와 6분 all-out 측정법의 평균 파워(348.6 ± 26.3)로 로잉 에르고미터 2,000 m 기록을 예측해보면, 6분 all-out 측정법이 실제 2,000 m 기록(361.28 ± 35.56)에 더 근접한 것으로 나타났다. W'는 CP 이상에서 할 수 있는 운동의 최대량이라는 Murgatroyd & Wylde [11]의 개념으로 볼 때 6분 all-out 측정법을 통해 결정된 WEP와 EP에 신뢰성을 더해준다.

본 연구에서 2,000 m 로잉 에르고미터 수행 시 시간 및 평균파워는 4가지 측정법의 임계파워(CP, EP)와 모두 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 특히 주목할 점은 4가지 측정법 중 6분 all-out 측정법은 2,000 m 시간($r = -.980$)과 평균파워($r = .976$) 모두 가장 강력한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 4가지 측정법의 무산소성 작업능력(W', WEP)과 2,000 m 로잉 에르고미터 수행 시 시간 및 평균 파워는 3분, 6분 all-out 측정법에서 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 그와 반대로 전통적인 임계파워 측정법으로 산출된 무산소성 작업능력은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 3분, 6분 all-out 측정법의 신뢰성을 더해준다. 또한 6분 all-out 측정법은 모든 측정법의 임계파워와 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 3분 all-out 측정법은 전통적인 CP 측정법과 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 6분 all-out 측정법을 통한 EP와 WEP가 조정선수의 운동수행능력을 평가하기 위한 예측지표로써 더 가깝다는 것을 보여주는 결과라 생각된다.

결론

본 연구는 대학 남자 조정선수를 대상으로 3분과 6분 all-out 측정법과 전통적인 임계파워 측정방법을 실시하여, 가장 적합한 임계파워 측정방법을 구명하고자 4가지 측정법의 임계파워, 무산소성 작업능력을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 3분과 6분 all-out 측정법의 차이를 비교한 결과 EP ($p < .001$)는 6분 측정법이 3분 측정법보다 낮은 것으로 나타났으며, WEP ($p < .001$)는 높은 것으로 나타났다.

둘째, 3분, 6분 all-out 측정법의 EP와 60%, 70% Pmax의 CP는 유의한 차이가 나타났다(6분 all-out 측정법 < 3분 all-out 측정법, 60%, 70% Pmax). 3분, 6분 all-out 측정법의 WEP와 60%, 70% Pmax의 W'는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(70% Pmax < 3분 all-out 측정법 < 6분 all-out 측정법).

셋째, 2,000 m 시간은 3분 EP ($r=-.814$), 6분 EP ($r=-.980$), 60% CP ($r=-.769$), 70% CP ($r=-.769$)와 부적 상관관계가 있으며, 2,000 m 평균 파워는 3분 EP ($r=.804$), 6분 EP ($r=.976$), 60% CP ($r=.757$), 70% CP ($r=.921$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 6분 EP는 3분 EP ($r=.858$), 60% CP ($r=.856$), 70% CP ($r=.965$)와 정적상관이 있는 것으로 나타났다.

넷째, 2,000 m 시간은 3분 WEP ($r=-.819$), 6분 WEP ($r=-.775$)와 부적 상관관계가 있으며, 2,000 m 평균 파워는 3분 WEP ($r=.812$), 6분 WEP ($r=.765$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 6분 WEP는 3분 WEP ($r=.867$)와 정적 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

이를 종합해볼 때 로잉 에르고미터를 이용한 6분 all-out 측정법의 EP와 WEP는 조정선수의 유·무산소성 운동능력을 추정할 수 있는 신뢰도를 가지고 있으며, 훈련 프로그램의 효과를 모니터링하거나 조정 선수의 운동수행능력평가를 위한 실용적인 측정방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Powers SK, Howley ET. Exercise physiology: theory and application to fitness and performance. McGraw-Hill; 2004.
2. MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. Physiological testing of the high-performance athlete. Champaign, Ill.: Human Kinetics Books; 1991.
3. Jung ST, Lee BK. Relationship between critical power and aerobic power of primary and middle school students. *Exerc Sci*. 1999;8(3): 313-21.
4. Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, Morton RH, Poole DC. Critical power: implications for determination of VO_{2max} and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(10):1876-90.
5. Poole DC, Barstow TJ. The critical power framework provides novel insights into fatigue mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev*. 2015;43(2):65-6.
6. Jang SW, Kim DH. Determination of critical power using the first low steady state in the power profile of a 3-min all-out test. *Exerc Sci*. 2015; 24(3):225-32.
7. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*. 1965;8(3):329-38.
8. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*. 1988;31(9):1265-79.
9. McLellan TM, Cheung K. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(5):543-50.
10. Bishop D, Jenkins DG, Howard A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med*. 1998;19(02):125-9.
11. Murgatroyd SR, Wylde LA. The power-duration relationship of highintensity exercise: from mathematical parameters to physiological mechanisms. *J Physiol*. 2011;589(10):2443-5.
12. Gaesser G, Carnevale T, Garfinkel A, Walter D. 95 Modeling of the power-endurance relationship for high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(2):S16.
13. Kolbe T, Dennis SC, Selley E, Noakes TD, Lambert MI. The relationship between critical power and running performance. *J Sports Sci*. 1995;13(3):265-9.
14. Moritani T, Nagata A, Muro M. Electromyographic manifestations of muscular fatigue. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(3):198-202.
15. Cheng CF, Yang YS, Lin HM, Lee CL, Wang CY. Determination of critical power in trained rowers using a three-minute all-out rowing test. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(4):1251-60.
16. Burnley M, Doust JH, Vanhatalo A. A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(11):1995-2003.
17. Deckerle J, Vanhatalo A, Burnley M. Determination of critical power from a single test. *Science & Sports*. 2008;23(5):231-8.
18. Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(3):548-55.
19. Francis JT, Quinn TJ, Amann M, Laroche DP. Defining intensity domains from the end power of a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(9):1769-75.
20. Constantini K, Sabapathy S, Cross TJ. A single-session testing protocol to determine critical power and W' . *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(6):1153-61.
21. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, et al. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;64(2):153-7.
22. Kachouri M, Vandewalle H, Billat V, Huet M, Thomaids M, et al. Critical velocity of continuous and intermittent running exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;73(5):484-7.
23. Jenkins DG, Quigley BM. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;

- 61(3):278-83.
24. Kim EY. Development of regression equation for critical power prediction of martial players using field test. *The Journal of Research Institute for Basic Sciences Hoseo Univ.* 2011;19(1):35-42.
25. Shimoda M, Kawakami Y. Critical power determination with ergometry rowing: relation to rowing performance. *Int J Sport Health Sci.* 2005;3:21-6.
26. Yoo DH. Correlation between isokinetic peak torque and wingate test variables in high school rower athletes. *Exerc Sci.* 2013;22(4):343-50.
27. Turpin NA, Guevel A, Durand S, Hug F. Effect of power output on muscle coordination during rowing. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(12):3017-29.
28. Hagerman F, Connors M, Gault J, Hagerman G, Polinski W. Energy expenditure during simulated rowing. *J Appl Physiol.* 1978;45(1):87-93.
29. Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(9):1693-9.
30. Kendall KL, Smith AE, Fukuda DH, Dwyer TR, Stout JR. Critical velocity: a predictor of 2000-m rowing ergometer performance in NCAA D1 female collegiate rowers. *J Sports Sci.* 2011;29(9):945-50.
31. Kennedy MD, Bell GJ. A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in predicting simulated rowing performance. *Can J Appl Physiol.* 2000;25(4):223-35.
32. Janshen L, Mattes K, Tidow G. Muscular coordination of the lower extremities of oarsmen during ergometer rowing. *J Appl Biomech.* 2009;25(2):156-64.