

고교 축구선수들의 반복 질주능력(RSA)과 Hoff test의 상관관계

선세영¹ PhD, 박병재² PhD

¹MSC 운동센터, ²휴먼케어 사이언스 연구소

Correlation between Repeated Sprint Ability (RSA) and Hoff Test of High School Soccer Plyers

Se-Young Seon¹ PhD, Byoung-Jae Park² PhD

¹MSC Exercise Center, Seoul; ²Humancare Science Lab, Cheongju, Korea

PURPOSE: This study aimed to investigate the correlation between repeated sprint ability (RSA) and Hoff test performance in high school soccer players.

METHODS: Fourteen male high school football players participated in this study. After measuring body composition, the Bangso Sprint Test for RSA and Hoff test were performed. The tests were conducted in the field to create an experimental environment similar to that during actual training and competition.

RESULTS: A significant correlation was observed between the fatigue index (FI) in the RSA and running distance in the Hoff test ($p < .05$). A high level of correlation between the performance distance and body fat percentage and muscle mass in the Hoff test was observed ($p < .001$). There was no significant relationship between the best and average RSA records using the Hoff test.

CONCLUSIONS: It was confirmed that the running distance in the Hoff test developed for event specificity affects the FI in RSA. In subsequent studies, it will be necessary to examine the variables affecting the best and average RSA records.

Key words: Repeated sprint ability, Hoff test, Soccer players, Soccer performance

서 론

높은 수준의 유산소성 능력과 함께 장시간 반복되는 무산소성 움직임 및 회복능력은 축구에서 경기력 향상을 위한 필수적인 전문체력 요인이다[1,2]. 축구선수는 경기 중 유산소성 에너지 대사를 약 90% 이용한다고 알려져 있지만 볼 경합 과정에서의 소유권 획득, 슈팅, 헤딩, 태클 등과 같은 무산소성 동작을 경기당 약 150-250회 실시한다고 보고되고 있다. 이러한 움직임들은 경기의 승패를 결정하는 중요한 요인 중 하나로 알려져 있다[3-5]. 선행연구에 따르면 세계적인 선수는 일반적인 선수보다 약 28% 많은 무산소성 움직임과 58% 높은 전력 질주능

을 보여주는 것으로 나타났다[4]. 또한 Salvo et al. [6]와 Datson et al. [7]은 경기 동안 단거리 전력질주의 반복 횟수 및 총 이동거리가 전체적인 경기력과 관련된 중요한 요소임을 주장하였다. 그러므로 유사한 수준의 반복적인 질주 능력(repeated sprint ability, RSA)을 지속해서 수행할 수 있다면 높은 수준의 체력을 가진 선수로 평가할 수 있다[8]. 이러한 RSA의 주기적인 측정은 훈련의 성과 및 선수 개인의 전문체력 평가에 대한 중요한 지표로써 활용될 수 있다[9].

한편, 이러한 RSA의 수행능력을 제한하는 생리학적 요인으로는 Phosphocreatine (PCr)의 저장량 감소 및 재합성 속도 저하, 수소이온(H^+)의 완충 능력, 젖산 역치(lactate threshold, LT) 등이 주로 인용되었

Corresponding author: Byoung-Jae Park **Tel** +82-10-2434-2954 **Fax** +82-70-8851-6221 **E-mail** rehabj@hanmail.net

Keywords 반복질주능력, 호프테스트, 축구체력, 축구퍼포먼스

Received 2 Aug 2022 **Revised** 22 Aug 2022 **Accepted** 22 Aug 2022

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

다[10-16].

RSA의 능력에 영향을 미치는 3가지 변인(PCr, 수소이온, LT)들은 유산소성 능력과 상관관계가 있다고 알려져 있으며, 이를 근거로 선행연구들은 주로 유산소성 능력(예: 최대산소섭취량)과 RSA의 상관관계를 분석하였다[2,17,18]. 예를 들면 Jones et al. [2]의 연구에서는 호흡 가스 분석기를 사용하여 최대산소섭취량(VO_{2max})과 RSA의 평균 및 총 수행시간과의 상관관계가 있다고 보고하였으며, 유산소성 능력이 RSA의 회복에 미치는 중요한 요인이라고 주장하였다. 또한, Andahu et al. [18]이 보고한 연구에 따르면 LT와 RSA의 피로 지수(fatigue index, FI), 최대산소섭취량과 RSA의 평균 속도와 유의한 수준의 상관관계를 관찰하였기에 고강도 운동 후 유산소 능력이 좋은 선수들의 회복속도가 뛰어나다는 것이 입증되었다.

그러나 과학적 장비를 활용한 실험실 연구는 대부분의 아마추어 팀들에게 비용 및 시간적인 측면에서 매우 제한적이기에 현장접근성이 뛰어난 필드테스트가 그 대안이 되고 있다[3,19-21]. 또한, 기존의 선행 연구에서 유산소성 능력을 평가하는 방법들이 축구의 특정한 움직임(예: 점프, 가속, 감속, 방향전환 등)을 고려하지 않아 그 타당성에 한계가 있다고 보고되고 있다[22].

Hoff test는 이러한 제한사항을 해결하기 위해 고안된 방법으로 종목 특이성에 맞게 개발된 측정 및 훈련 방법이다. Hoff test는 현장에서 간편하게 실시할 수 있는 필드테스트로 축구선수들의 체력적 요인과 기술적인 요인을 결합하여 볼을 드리블하며 정해진 Track을 10분간 최대의 속도로 수행하는 방법으로 훈련과 평가를 동시에 할 수 있는 장점이 있다[3,19,23,24]. Hoff test는 선행연구에서 과학적 장비를 활용한 최대산소섭취량 및 축구종목에서 전통적으로 사용해오던 유산소 능력 측정 방법(예: YO-YO test)과 상관관계를 나타내 타당성을 입증하였다[3,19,24]. 또한, Castagna et al. [25]은 Hoff test의 수행거리와 경기 중 전력질주 거리 사이에 유의한 상관관계를 입증하였다. 이러한 선행연구의 결과들은 Hoff test가 축구 선수들의 유산소성 능력을 평가하는 데 있어 매우 효과적인 측정 방법으로 활용될 수 있다는 것을 보여준다.

그러나, Hoff test가 실험실 연구의 대안으로 제시되고 있음에도 불구하고 축구전문체력인 RSA와의 상관관계를 분석한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 Hoff test를 이용한 유산소성 체력 수준과 RSA의 상관관계 분석을 통해 훈련 프로그램 및 필드테스트를 통한 체력지표로 활용할 수 있는 기초자료를 제공하는 것이다.

연구 방법

1. 연구 대상

이 연구는 서울지역의 K고등학교 축구선수 14명을 대상으로 선정하였다. 대상자는 엘리트 축구선수 경력 5년 이상을 가진 엘리트 선수로

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Variables	n = 14
Age (yr)	15.36±0.48
Height (cm)	173.86±6.27
Weight (kg)	64.94±8.68
Body fat (%)	14.24±3.85
Muscle mass (kg)	31.10±4.02
Muscle mass (%)	47.96±2.26

최근 3개월간 수술이나 부상이 없는 선수로 선정하였다. 실험 전 연구의 목적과 연구 참여에 대한 상세한 내용을 모든 대상자에게 충분히 설명하였고 자발적인 참여 희망자에게 동의서 및 서명을 받고 연구를 진행하였다. 연구에 참여한 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 절차

이 연구는 축구선수들에게 필요한 주요 체력요인 중 반복 질주 능력(RSA)과 유산소성 축구 기술체력 측정방법인 Hoff test 수행거리의 상관관계를 분석하고자 하였다. 대상자는 실내 실험실에 도착하여 충분한 휴식을 취한 후 신체 조성을 측정하였다. 체력요인의 측정은 실제 훈련 및 경기중의 상황과 유사한 실험환경을 조성하기 위해 평소 진행했던 실외 운동장에서 실시하였으며, 측정에 앞서 부상 예방을 위한 준비운동 프로그램을 20분간 실시하였다. 대상자들은 미리 준비한 tool에 의해 7회의 RSA 수행력을 측정하였다. RSA test 후 Hoff test의 수행능력에 영향을 최소화 하기 위해 근 피로가 제거되는 10분간의 능동적 휴식시간을 가진 후 유산소성 능력을 측정하였다[26,27].

3. 측정 항목

1) 신체조성

대상자들은 신체 조성 측정 전 충분히 안정을 취한 후 생체 전기저항 분석법(BIA)을 활용한 신체 조성 측정 장비(In body 720, Korea)에 맨발로 올라선 후 전극 판을 잡고 양팔을 벌려 측정을 시행하였다. 측정의 신뢰도를 높이기 위해 신체에 부착된 금속 물질은 사전에 제거하였다. 음식물 섭취는 2시간 이전에 종료하였으며, 신체 조성 측정을 통해 신장(cm), 체중(kg), 체지방률(%), 근육량(kg, %) 등의 데이터를 분석하였다.

2) 반복 질주 능력(RSA)

RSA 측정은 Bangsbo [28]가 축구선수를 대상으로 제시한 “Bangsbo Sprint Test” 방법을 사용하였다. 대상자는 출발선에서 시작해 표시된 마커 사이로 질주하였으며, 마지막 지점으로 가장 빠르게 이동하도록 독려했다(Fig. 1). RSA는 총 7회를 실시하였으며, 마지막 지점부터 출발선으로 돌아오는 동안 25초의 휴식시간을 제공하였다. 측정 7회 중

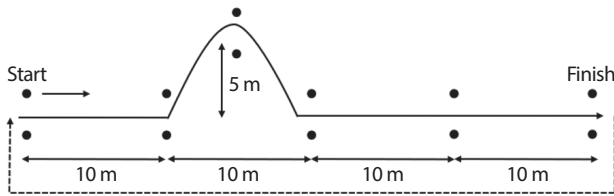


Fig. 1. Bangsbo sprint test.

$$FI(\%) = \left\{ \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_{final}}{S_{best} \times 7} - 1 \right\} \times 100$$

Fig. 2. RSA fatigue index calculation formula.

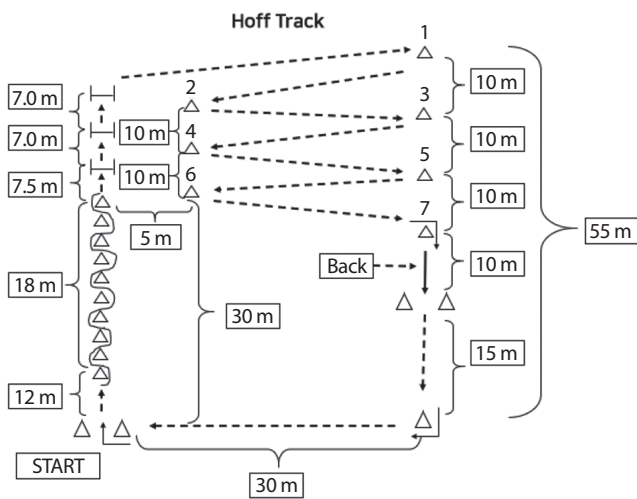


Fig. 3. Hoff test.

우수기록, 7회의 평균기록 및 피로 지수(fatigue index, FI)를 데이터로 활용하였다. 피로 지수의 산출공식은 Bishop et al. [29]이 제시한 방법을 통해 산출하였다. 산출공식은 Fig. 2와 같다.

3) Hoff test

Hoff test는 축구 종목의 특이성에 맞게 개발된 유산소성 체력 훈련 및 평가 방법으로 정해진 track (290 m)에서 선수가 직접 공을 가지고 드리블하여 수행하는 방법이다[23] (Fig. 3). 실제 경기에서 나올 수 있는 다양한 움직임(점프, 방향전환, 가속, 감속)과 체력을 평가하기 위해 많은 장애물들이 있다. 대상자들에게 충분한 측정요령을 설명하였으며, 총 10분간 수행한 거리를 측정하여 통계에 반영하였다.

4. 자료 처리

이 연구에서 측정된 변인의 자료처리는 SPSS 22.0 ver. 통계 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 측정된 모든 변인의 자료는 기술통계를 활용하여 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출하였다. RSA와 Hoff test 및

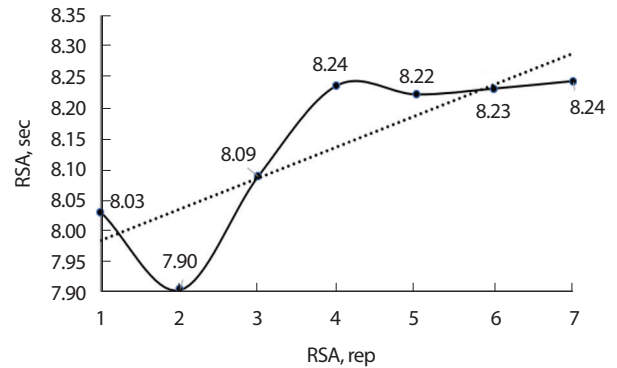


Fig. 4. RSA fatigue index tendency.

Table 2. RSA & Hoff test

Variables	n=14
RSA best (sec)	7.77 ± 0.37
RSA average (sec)	8.14 ± 0.41
RSA fatigue index (%)	4.94 ± 2.12
Hoff test (m)	1631.14 ± 140.105

Table 3. RSA Sprint

RSA sprint number	n=14
1 (sec)	8.03 ± 0.46
2 (sec)	7.90 ± 0.43
3 (sec)	8.09 ± 0.61
4 (sec)	8.24 ± 0.46
5 (sec)	8.22 ± 0.49
6 (sec)	8.23 ± 0.47
7 (sec)	8.24 ± 0.37

신체 조성의 상관관계를 확인하기 위해 Pearson Product Moment를 이용하였다. 이 연구의 통계적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

연구결과

1. 반복 질주 능력

RSA 측정은 총 7회 수행되었으며, 가장 우수한 기록(RSA best)과 평균기록(RSA average), 피로 지수(RSA fatigue index)를 통계에 반영하였다. 그 결과 가장 우수한 기록은 7.77 ± 0.37 seconds, 평균기록은 8.14 ± 0.41 seconds으로 기록되었으며, 피로 지수는 4.94 ± 2.12%가 관찰되었다(Table 2). RSA 측정 중 각 회차에 대한 평균기록은 Table 3과 같으며, 회차가 진행될수록 기록이 저하되는 피로도의 경향성은 Fig. 4와 같다.

2. Hoff test

축구 종목 특이성에 맞게 개발된 유산소성 체력측정 방법인 Hoff test는 10분간 실시하였으며, 결과는 1,634.14 ± 140.10 m로 나타났다

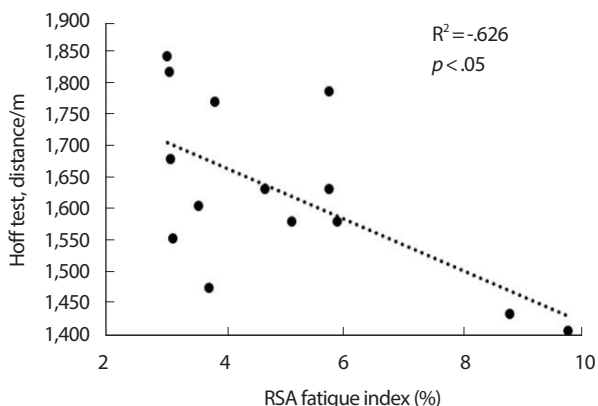


Fig. 5. Correlation between RSA FI & Hoff test.

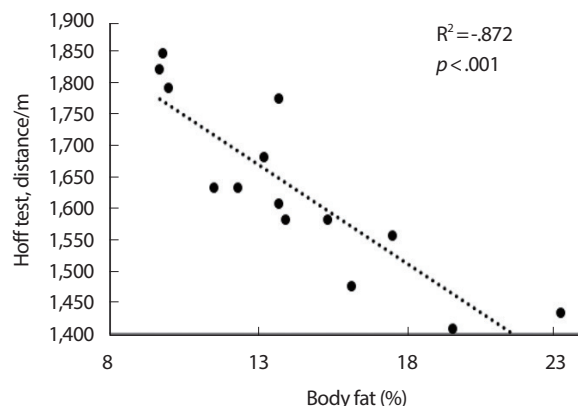


Fig. 6. Correlation between Hoff test & body fat.

Table 4. Correlation between variables

Correlation between variables	n = 14	
Variables	Hoff test (distance, m)	
	R ²	p < .05
RSA best (sec)	-0.256	.378
RSA average (sec)	-0.496	.071
RSA fatigue index (%)	-0.626	.017*
Body fat (%)	-0.872	.000**
Muscle mass (%)	0.793	.001**

*p < .05, **p < .01.

(Table 2).

3. 변인 간의 상관관계

본 연구에서 실시한 RSA와 Hoff test 수행 거리의 상관관계를 분석한 결과 RSA의 FI와 Hoff test의 수행거리는 $R^2 = -.626$ ($p < .05$)으로 유의한 수준의 상관관계가 관찰되었다(Fig. 5). 또한, Hoff test와 체지방률(%) 및 근육량(%)은 각각 $R^2 = -.872$ ($p < .001$), $R^2 = -.793$ ($p < .001$)로 높은 수준의 상관관계가 관찰되었다(Fig. 6). 그 외 RSA의 최고 기록과 평균 기록은 Hoff test와 상관관계가 발견되지 않았다(Table 4).

논 의

RSA의 능력을 저하시키는 생리학적 요인으로는 PCr 저장량의 감소 및 재합성 속도, 수소이온의 완충 능력, 젖산 역치(LT) 3가지가 주요 요인으로 보고되고 있다. 이 3가지 변인은 유산소성 능력에 영향을 받는다고 보고되고 있기에 본 연구에서는 RSA와 축구 종목 특이성에 맞게 개발된 유산소성 측정방법인 Hoff test 수행 거리의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 RSA의 FI와 Hoff test 수행 거리 간 유의한 수준의 상관관계가 관찰되었으며($p < .05$), Hoff test와 신체 조성 중 체지방률의 상관관계가 관찰되었다($p < .001$). 이러한 결과를 바탕으로 유산소성

능력이 RSA의 FI에 미치는 데 대해 다음과 같은 의견을 전개하고자 한다.

PCr의 저장량 감소 및 재합성 속도는 RSA의 수행력 저하에 주된 요인으로 자주 인용되었다[30]. 이러한 주장을 뒷받침하듯 Bogdanis et al. [31]의 연구에 의하면 PCr의 재합성과 전력 질주 후 회복능력 사이의 높은 상관관계가 관찰되었다고 보고하였다. 이와 관련된 선행연구에서는 최대 6초의 전력 질주 후 PCr의 저장량은 휴식수준의 약 35-55%까지 감소할 수 있으며, PCr 저장량의 완전한 회복까지는 최대 5분이 이상이 필요할 수 있다고 보고하였다[11,12,32]. 또한, Takahashi et al. [33], McCully et al. [34]은 PCr의 재합성 속도는 지구력 훈련을 받은 운동선수가 훈련을 받지 않은 선수보다 빠르며, 이를 근거로 지구력 훈련에 의해 향상될 개연성이 있다고 주장하였다. 그러므로 유산소성 능력이 높은 선수는 RSA 시 짧은 휴식시간 동안 PCr의 재합성 속도가 빠르며, 이로 인해 다음 회차 질주 시 속도가 감소되는 폭이 적어 FI에 긍정적인 영향을 미치는 생리학적 요인으로 추정된다.

또한, RSA 수행 시 근육과 혈액 내의 수소이온(H^+)의 증가는 ATP 생성의 억제를 통해 RSA의 수행능력에 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있다[13,15,16]. 수소이온의 증가는 해당과정의 phosphofructokinase (PFK)와 포도당 인산화효소(glycogen phosphorylase)에 부정적인 영향을 미친다고 보고되고 있다[35]. 이와 관련된 선행연구로 Bishop et al. [30]의 연구에서는 근육 및 혈액 내 수소이온의 농도와 RSA의 FI 간 유의한 수준의 상관관계가 관찰되었다. 이러한 결과는 전력 질주 동안 근육 및 혈액 내 수소이온의 농도가 높아져 세포 내 산증을 유발하게 되면 해당과정의 속도가 저하되고 이로 인해 ATP 생성량이 감소하게 되며, PCr의 재합성 능력이 떨어지는 것으로 추측할 수 있다. 또한 수소이온의 증가로 인한 산증(pH 감소)은 근원섬유 내 Ca^{2+} 의 민감성(sensitivity)을 감소시켜 Troponin과의 결합력을 약화시키며, 그로 인해 Acto-myosin에 의한 Cross bridge에 부정적인 영향을 미쳐 근 수축력을 감소시킬 수도 있다[36].

즉, 세포의 수소이온 완충 능력(buffering capacity)이 높은 선수들은 최대의 전력 질주 동안 수소이온의 축적을 줄여 pH 농도의 감소를 방지할 수 있다. 이러한 수소이온은 해당 과정(glycolysis)에서 파생되며, 유산소성 능력이 높은 수준의 선수들은 짧은 휴식시간에 산소(O₂)를 적극적으로 이용하여 Type I 근육의 개입을 빠르게 도와주는 것으로 알려져 있다[2,37]. 그러므로 Hoff test의 수행 거리가 우수한 선수들은 RSA 수행 동안 상대적으로 해당과정 사용률이 적기에 FI가 낮은 것으로 추측할 수 있다.

다른 한편으로, LT 또한 RSA의 저하에 주된 원인이라고 알려져 있다[2,30]. 해당 과정에 의해 생성된 피루브산은 무산소성(혐기성) 상태에서 젖산(lactic acid)으로 전환된다. 이러한 젖산의 제거는 탈수소효소(LDH)에 의해 피루브산(pyruvic acid)으로 전환되는 일련의 화학적 과정을 거치며 약 65%는 크렘스회로와 전자전달계 시스템을 통해 유산소성(aerobic system)분해를 하게 된다. 전환되지 않은 약 35%는 소변과 땀으로 분비되거나 단백질로 전환된다[38]. 그러므로 유산소성 능력이 향상되어 미토콘드리아의 호흡 능력이 증가한다면, LT의 증가 및 젖산 제거능력을 향상시킬 수 있다는 결론을 도출할 수 있다[2,10,39].

반면, Hoff test의 수행거리와 RSA의 최고기록 및 평균기록과는 통계적으로 유의한 수준의 상관관계가 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 Hoff test가 유산소성 능력 및 종목 특이성에 맞는 기술적인 측면을 포함한 필드테스트 이므로 RSA의 최고기록 및 평균기록과 상관관계를 분석하는 데 있어 개개인의 기술적인 능력이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

종합하자면, 축구선수의 RSA의 FI는 유산소 능력과 밀접한 상관관계를 가지고 있는 것으로 판단된다. 특히 PCr, 수소이온의 완충작용 및 LT가 RSA에 영향을 미치는 주된 요인으로 생각되기에 훈련 시 고려해야 할 중요한 항목으로 판단된다. 기존의 선행연구에서 축구선수들의 유산소성 능력을 평가하는 방법은 현장 환경에 제한이 있고, 종목 특이성을 충분히 고려하지 못한 단점이 있으므로 종목 특성 및 현장활용도 부분의 장점을 갖고 있는 Hoff test가 대안이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hoff test를 통한 유산소성 체력능력과 RSA의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 RSA의 FI와 Hoff test의 수행거리간 상관관계가 관찰되었다. 이는 유산소성 능력이 RSA의 FI에 영향을 미친다는 기존 선행연구들과 일치된 결과를 보여주었다. 따라서 축구선수들은 RSA의 FI를 개선시키기 위해서 유산소성 능력을 향상시킬 필요성이 있다고 판단된다.

결론

본 연구에서 시행된 RSA와 Hoff test의 수행거리는 유의한 수준의 상관관계가 관찰되었다. 축구선수들의 경기력 향상을 위한 체력적 요

인 중 RSA의 FI를 개선하기 위해서는 유산소성 지구력 훈련을 운동프로그램에 포함해야 하며, 종목 특이성에 맞게 개발된 Hoff test는 축구 선수들의 유산소 능력 향상에 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 Hoff test와 체지방률(%) 및 근육량(%)과의 상관관계가 관찰되었기에 축구 선수들은 지구력 훈련과 적절한 근력운동을 통해 적정 체지방 및 근육량을 유지할 필요성이 있다. 그러나 본 연구에서 RSA의 최고 기록과 평균기록은 Hoff test와 유의한 수준의 상관관계가 관찰되지 않았다. 그러므로 후속연구에서는 유산소성 능력 및 신체조성과는 별개로 근력 및 파워, 민첩성 등이 RSA 수행에 어떠한 영향을 미치는지 규명할 필요성이 있다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: SY Seon, BJ Park; Data curation: SY Seon; Formal analysis: SY Seon; Methodology: SY Seon, BJ Park; Project administration: SY Seon; Writing original draft: SY Seon, BJ Park.

ORCID

Byoungjae Park <https://orcid.org/0000-0003-1519-2933>
Seyoung Seon <https://orcid.org/0000-0003-2494-632X>

REFERENCES

1. Svensson M, Drust B. Testing soccer players. *J Sports Sci.* 2005;23(6):601-18.
2. Jones RM, Cook CC, Kilduff LP, Milanović Z, James N, et al. Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *Sci World J.* 2013.
3. Zagatto AM, Miyagi WE, Brisola GMP, Milioni F, da Silva ASR, et al. Correlation between hoff test performance, body composition and aerobic and anaerobic fitness in professional soccer players. *Sport Sci. Health.* 2015;11(1):73-9.
4. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J*

- Sports Sci. 2003;21(7):519-28.
5. Yoo DH. Correlation between isokinetic peak torque and anaerobic ability in middle school soccer players. *Int J Exerc Sci.* 2016;25(2):120-6.
6. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *Int J Sports Med.* 2009; 30(03):205-12.
7. Datson N, Drust B, Weston M, Gregson W. Repeated high-speed running in elite female soccer players during international competition. *Sci Med Football.* 2019;3(2):150-6.
8. Rampinini E, Bishop D, Marcora SM, Bravo DF, Sassi R, et al. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med.* 2007;28(3):228-35.
9. Wragg CB, Maxwell NS, Doust JH. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(1):77-83.
10. Bishop D, Edge J, Goodman C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92(4):540-7.
11. Dawson B, Goodman C, Lawrence S, Preen D, Polglaze T, et al. Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scand J Med Sci.* 1997;7(4):206-13.
12. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 2001; 31(1):1-11.
13. Bishop D, Edge J. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *Eur J Appl Physiol.* 2006;97 (4):373-9.
14. Spencer M, Dawson B, Goodman C, Dascombe B, Bishop D. Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103(5):545-52.
15. Bishop D, Lawrence S, Spencer M. Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *J Sci Med Sport.* 2003;6(2):199-209.
16. Ratel S, Williams CA, Oliver J, Armstrong N. Effects of age and recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *Int J Sports Med.* 2006;27(01):1-8.
17. Aziz AR, Chia M, Teh KC. The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *J Sports Med Phys Fit.* 2000;40(3):195.
18. Archiza B, Andaku DK, Beltrame T, Libardi CA, Borghi-Silva A. The relationship between repeated-sprint ability, aerobic capacity, and oxygen uptake recovery kinetics in female soccer athletes. *J Hum Kinet* 2020;75(1):115-26.
19. Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamari I, et al. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2005;39(1):24-28.
20. Redkva PE, Paes MR, Fernandez R, da-Silva SG. Correlation between match performance and field tests in professional soccer players. *Hum Kinet.* 2018;62(1):213-9.
21. Metaxas TI, Koutlianos NA, Kouidi EJ, Deligiannis AP. Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):79-84.
22. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports Med.* 2005;35(6):501-36.
23. Hoff J, Wisløff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med.* 2002;36(3):218-21.
24. Kemi OJ, Hoff J, Engen LC, Helgerud J, Wisløff U. Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *J Sports Med Phys Fit.* 2003;43(2):139.
25. Castagna C, Manzi V, Impellizzeri F, Weston M, Alvarez JCB. Relationship between endurance field tests and match performance in young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010;24(12):3227-33.
26. Seitz LB, Haff GG. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 2006;46(2):231-40.
27. Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front Physiol.* 2019;10: 1359.
28. Bangsbo J. Fitness training in soccer: a scientific approach. Reedswain Inc. 2004.
29. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability—Part I. *Sports Med.* 2011;41(9):741-56.
30. Bishop D, Edge J, Goodman C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur J Appl Physiol.* 2004;92(4):540-7.
31. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol.* 1996;80(3):876-84.
32. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1993;75 (2):712-9.

33. Takahashi H, Inaki M, Fujimoto K, Katsuta S, Anno I, et al. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. *Eur J Appl Physiol.* 1995;71(5): 396-404.
34. McCully KK, Kakihiro H, Vandenborne K, Kent-Braun J. Noninvasive measurements of activity-induced changes in muscle metabolism. *J Biomech.* 1991;24:153-61.
35. Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, Heigenhauser GJ, Jones NL. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol.* 1989;66(1):8-13.
36. Chin ER, Allen DG. The contribution of pH-dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres. *J Appl Physiol.* 1998;512(3):831-40.
37. Sahlin K, Henriksson J. Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiol Scand.* 1984;122(3):331-9.
38. Parkhouse WS, McKenzie DC. Possible contribution of skeletal muscle buffers to enhanced anaerobic performance: a brief review. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16(4):328-38.
39. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol.* 1984;56(4): 831-8.