

Complexity Pattern of Center of Pressure between Genders via Increasing Running Speed

달리기 속도 증가에 따른 성별 CoP (Center of Pressure)의 복잡성 패턴

Jiseon Ryu

Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 10 October 2019

Revised : 29 October 2019

Accepted : 30 October 2019

Objective: The goal of this study was to determine the center of pressure (CoP) complexity pattern in approximate entropy technique between genders at different conditions of running speed.

Background: It is conducted to evaluate the complexity pattern of CoP in the increment of running speed to have insights to injury prediction, stability, and auxiliary aids for the foot.

Method: Twenty men (age=22.3±1.5 yrs.; height=176.4±5.4 cm; body weight=73.9±8.2 kg) and Twenty women (age=20.8±1.2 yrs.; height=162.8±5.2 cm; body weight=55.0±6.3 kg) with heel strike pattern were recruited for the study. While they were running at 2.22, 3.33, 4.44 m/s speed on a treadmill (instrumented dual belt treadmills, USA) with a force plate, CoP data were collected for the 10 strides. The complexity pattern of the CoP was analyzed using the ApEn technique.

Results: The ApEn of the medial-lateral and antero-posterior CoP in the increment of running speed showed significantly difference within genders ($p<.05$), but there were not statistically significant between genders at all conditions of running speed.

Conclusion: Based on the results of this study, CoP complexity pattern in the increment of running speed was limited to be characterized between genders as an indicator to judge the potential injury and stability.

Application: In future studies, it is needed to investigate the cause of change for complexity of CoP at various running speed related to this study.

Keywords: Complexity, Center of pressure, Approximate entropy, Increment running speed, Stability, Regularity

Corresponding Author

Jiseon Ryu

Department of Health and Exercise Science, Korea National Sport University, 1239, Yangjae-daero, Songpa-gu, 05541, Seoul, South Korea

Tel : +82-2-410-6822

Fax : +82-2-418-1877

Email : jiseon@knsu.ac.kr

INTRODUCTION

달리기 속도는 스트라이드 빈도(stride frequency)와 스트라이드 길이와의 결합에 의해 결정된다(Dillman, 1975; Williams, 1985). 달리기 시 속도 변화는 경기와 훈련을 수행하는 선수들 뿐만 아니라 달리기를 즐기는 일반인들이 쉽게 경험하는 일이

다(Peterson, Kautz & Neptune, 2011).

달리기 시 발 분절은 신체를 이동시키기 위해 지면에서 추진력을 얻고, 신체를 안정하게 유지시키는 주체로서 중요한 기능을 수행하고 있다(Leardini, Benedetti, Catani, Simoncini & Giannini, 1999; Leardini, et al., 2007). 따라서 달리기 속도 변화에 따라 지면에 작용하는 발의 운동역학적 변인을 관찰하는

것은 기본적인 이동 메커니즘을 평가하는 것뿐만 아니라 잠재적 상해 예측 등 귀중한 정보를 얻는데 유용한 일이다(Nilsson & Thorstensson, 1989). 달리기 시 속도 변화에 따라 지면반력을 특징화하는 운동역학 변인 중의 하나가 압력 중심(center of pressure: CoP)이다(Keller, 1996). 운동역학적으로 이동 속도를 조절하는 것은 발의 제동력과 추진력에 의해 결정되며(Orendurff, Bernatz, Schoen & Klute, 2008), 이들 힘은 직·간접적으로 CoP에 영향을 미친다. 이동 운동 시 CoP는 한 점의 작용점으로 합 수직력 벡터로 작용하는 지지 면에 대한 위치이다(Benda, Riley & Krebs, 1994). 이동 운동 시 CoP 움직임은 자세 유지를 위한 신경근 조절의 수단으로 인식되고, 발 바닥 표면에 작용하는 모든 외부 힘의 중심으로 정의되기 때문에 다양한 관점에서 분석이 이루어지고 있다.

CoP는 달리기 시 발생하는 상해를 예측하기 위한 지표(Willems, Witvrouw, Delbaere, De Cock & De Clercq, 2005; Willems et al., 2006; De Cock, Vanrenterghen, Willems, Witvrouw & De Clercq, 2008), 보행 조건(Lugade & Aufman, 2014), 처치 효과(Scherer & Sobieski, 1994; Chesnin, Selby-Silverstein & Besser, 2000), 균형성 판단(Fernie, Gryfe, Holliday & Llewellyn, 1982; Sakaguchi, Taguchi, Miyashita & Katsuno, 1994; Karlsson & Frykberg, 2000; Onell, 2000; Carpenter, Frank, Winter & Peysar, 2001; Gribble & Hertek, 2004), 운동평가와 임상 적용(Alexander, Chao & Johnson, 1990; Hass et al., 2004; Lafond, Corriveau, Hébert & Prince, 2004; Roerdink et al., 2006; Hwang, Park, Choi & Kim, 2008), 피로(Sanjari, Boozari, Jamshidi & Nikmaram, 2016), 운동학적 변인과의 관계(Dixon, 2006) 등을 파악하는데 활용되었다. 또한 CoP는 근 신경 조절 과정의 변화를 보고자 비선형 기법인 ApEn (approximate entropy)을 이용해 연령에 따른 정적 상태에서 분석되어졌고(Pincus, 1991), 최대 Lyapunov 기법을 이용해 직립 상태에서 관찰되었다(Yamada, 1995). 그 외 젊은 사람과 노인들의 자세 과업을 보기 위해 CoP의 복잡성이 Sample entropy를 이용해 분석되어졌다(Ko & Newell, 2016).

이상에서 본 바와 같이 CoP는 다양한 목적으로 인간 움직임 분석에 적용되고 있지만, 이동 운동에서 신경근 계가 어떻게 조절되고 적용되는가에 대한 고유한 역학적 특성을 파악하기 위한 비선형 동력계를 이용한 연구(Dingwell & Cusumano, 2000)는 상대적으로 미흡한 편이다. 비선형 동력계 분석 기법 중에 하나인 ApEn은 복잡성 즉 연속성(반복성, 주기성)을 평가하는 방법으로 예상하거나 혹은 예상치 못한 동요에 적응하는데 필요한 신체 반응 발생 능력을 파악하는 것이다(Lipsitz, 2002). ApEn 값이 적은 것은 강한 규칙성 즉 일관성이 높다는 의미이며, 반대로 ApEn 값이 크다는 것은 시계열 자료가 불규칙성 즉 보다 큰 변동의 존재를 의미한다.

신체 운동은 특별한 과업 속박과 환경의 상호작용에 의해 이루어진다(Segers, Aerts, Lenoir & De Clercq, 2006). 따라서

달리기 속도 변화에 따라 CoP의 복잡성 패턴이 어떻게 변화하는가를 관찰하는 것은 달리기 과업과 속도 환경에 적응하는 신체적 기능의 자유도를 파악하는 작업이라 할 수 있다(Vaillancourt & Newell, 2002).

CoP는 전신 균형 동력학을 나타낼 수 있는 운동역학 관련 변인의 하나이므로(Sanjari et al., 2016) 시계열 관찰이 필요하다. 이동 운동 속도 증가에 따른 남녀간 CoP의 패턴을 분석하는 것은 잠재적 발의 병리학적 이론과 지식 축적에 필요한 일이고, 발 보조 장비의 개발 등에 필요한 일이다. 이동 운동 시 남녀간 잠재적 상해 발생의 원인과 기전의 차이점을 예측하기 위해 부하율(loading rate)과 수직 지면반력의 최대 수동력(passive peak)을 분석한 결과 상대적으로 여성이 남성보다 높다는 연구가 보고되고 있지만(Park et al., 2018; Park, Yoon, Park & Ryu, 2018), 시계열 CoP 자료 분석을 통한 남녀간 차이점을 특징화한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 달리기 속도 변화에 따른 CoP의 복잡성 패턴을 ApEn 기법을 이용해 남녀별 차이점을 규명하고자 한다.

METHOD

1. 대상자

본 연구에 참여한 피험자는 남성 20명(age=22.3±1.5 yrs, mass=73.9±8.2 kg, height=176.4±5.4 cm)과 여성 20명(age=20.8±1.2 yrs, mass=55.0±6.3 kg, height=162.8±5.2 cm) 총 40명이 선정되었다. 피험자들은 모두 후족 착지 유형을 지닌 자들로 하지의 손상 경험이 없는 건강한 자들이다. 연구에 앞서 피험자들에게 대학 생명윤리위원회 규정 준수에 관한 내용을 알린 후 참여 동의를 받았다.

2. 자료 수집

피험자들은 달리기 시 신체 압력 중심을 얻기 위해 지면반력기가 내장된 트레드밀(instrumented dual belt treadmills, Bertec, U.S.A) 위에서 2.22 m/s (8 km/h), 3.33 m/s (12 km/h), 4.44 m/s (16 km/h)의 속도 별 달리기를 실시하였다. 달리기 속도 조건 결정은 남성보다 상대적으로 최대 달리기 속도가 낮은 여성을 중심으로 3분 동안 최대 속도로 달릴 수 있는 속도(4.44 m/s)를 파악한 후 이를 바탕으로 1.11 m/s (4 km/h) 씩 감속한 상태에서 달리기 속도 조건이 결정되었다. 각 피험자에 대해 달리기 속도 조건 별 최소한 20스텝에 대해 샘플링 윌 1,000 Hz로 6성분(Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz)의 지면반력 신호를 수집하였다. 달리기 속도 조건 별 지면반력 자료 수집 방법은 3분간 달리는 동안 피험자가 인지하지 못한 상태에서 1분이 경과된 이후에 이루어졌다. 달리기 속도 조건 별 자료 수집은 무작위로 이

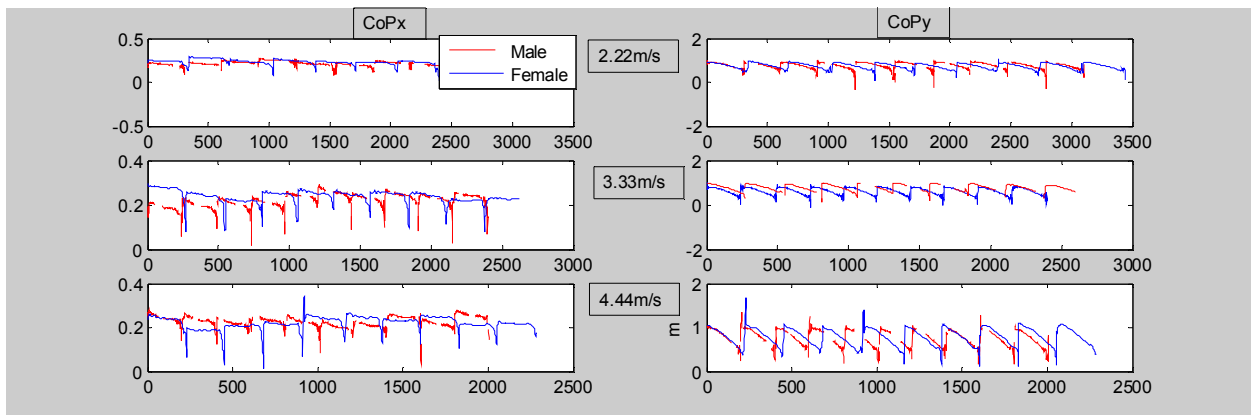


Figure 1. An individual CoP data by different running speeds between male and female.

루어졌으며, 본 연구에 참여한 모든 피험자들은 동일한 신발 (model: Flash101-103, Prospects Com.)을 착용하였다. 자료 수집은 실험 상황에 모든 피험자들이 완전하게 적응될 때까지 충분한 워밍업(warm-up) 시간이 주어진 후 이루어졌다.

3. 자료 분석

지면반력 자료는 첫 스트라이드의 오른발이 트레드밀에 접촉하는 순간부터 열 번째 스트라이드 오른발이 트레드밀에서 이지하는 순간까지 수집하였다. 지면 접촉과 이지는 수직 지면반력(F_z) 값이 10 N 이상을 기준으로 설정해 분석에 활용하였다. 나머지 성분들(F_x , F_y , M_x , M_y , M_z)의 분석 구간은 F_z 에 일치시켰다. 이렇게 정리된 지면반력 성분들로부터 CoP는 다음과 같이 산출하였다

좌우 CoP (CoPx) = $-M_y/F_z$, 전후 CoP (CoPy) = M_x/F_z 의 식을 이용해 계산하였다(Park, Ryu, Kim, Yoon & Ryu, 2019). 오른발 10 스트라이드에 대해 계산된 CoP 값은 공중 구간(swing phase)을 제외한 지지 구간(support phase)에 대해 ApEn 기법을 이용해 복잡성(complexity) 패턴을 관찰하였다. 본 연구에서 CoP 값은 필터링하지 않고 이용되었다(Kantz & Schreiber, 1997; Buzzi, Stergiou, Kurz, Hageman & Heidel, 2003; Ryu, 2006). ApEn은 동력계의 복잡성 혹은 비규칙성을 정량화하는 지수로 위상 공간 내 어떤 거리(r) 내에 있는 길이 m 의 시간 패턴을 측정한다. 비교 점에 대해 같은 거리로 남아있을 가능성이 큰 것은 ApEn 값이 낮고 반면에 데이터 점들 사이에 큰 거리를 나타내는 것은 높다. 값은 0에서 정수로 이어지며, 큰 값은 복잡성이 높다고 정의된다. 즉 낮은 주기성을 의미한다(Preatoni et al., 2014).

즉 ApEn (m , r , N)은 N 입력 데이터 점들 $u(1)$, $u(2)$, ..., $u(N)$ 과 두 입력 파라미터 m , r 이다. 입력 파라미터 m 은 비교될 반복

데이터의 길이(pattern length)이고 r 은 허용(tolerance)오차(유사성 기준)이다(Costa, Peng, Goldberger & Hausdorff, 2003; Stergiou, 2004). 구체적인 ApEn 계산 과정은 Park et al. (2019)의 연구를 참고하였다.

본 연구에서 $m=2$, $r=0.2$ 로 설정하였다(Stergiou, 2004).

4. 통계 처리

달리기 속도 증가에 따른 CoP 복잡성의 남녀 차를 보기 위한 통계적 판단은 비 모수 검증이 적용되었다(Preatoni, Ferrario, Dona, Hamill & Rodano, 2010; Ryu, 2017). 달리기 세 가지 속도 조건 별 남녀 내(within) ApEn에 대한 유의성 검증은 Kruskal-Willis test를 활용했고, 속도 별 남녀간(between) 차이 검증은 Mann-whitney를 활용하였다. 통계적 유의 수준 임계치는 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

RESULTS

달리기 속도 조건인 2.22 m/s (8 km/h), 3.33 m/s (12 km/h), 4.44 m/s (16 km/h)에 대한 한 개인의 CoPx와 CoPy 자료는 (Figure 1)과 같다. 달리기 속도 별 남녀 내(within) CoP의 ApEn 중앙 및 사분차 값과 이들의 통계적 결과는 (Table 1)과 (Figure 2)와 같다. 또한 달리기 속도 별 남녀간(between) CoP의 ApEn 중앙값 및 사분차 값과 이들의 통계적 결과는 (Table 2)와 (Figure 3)과 같다.

성별 달리기 속도 증가에 따른 복잡성 지표인 ApEn의 분석 결과는 남성 집단의 경우 CoPx의 복잡성 지표인 ApEn은 세 가지 달리기 조건에서 유의한 차이를 보였다($p<.05$). 달리기 속도 2.22 m/s 조건이 이들보다 빠른 3.33 m/s와 4.44 m/s 달리기 속도 조건보다 큰 값을 보였다. 그러나 3.33 m/s 달리기

Table 1. Median and interquartile range (IQR) of ApEn of CoP by different running speed within genders and their statistic test results

	Male						Female					
	CoPx			CoPy			CoPx			CoPy		
	2.22 m/s	3.33 m/s	4.44 m/s	2.22 m/s	3.33 m/s	4.44 m/s	2.22 m/s	3.33 m/s	4.44 m/s	2.22 m/s	3.33 m/s	4.44 m/s
Med-ian	.430	.370	.415	.355	.275	.260	.420	.375	.420	.320	.270	.280
IQR	.120	.105	.065	.080	.060	.040	.095	.060	.085	.040	.040	.040
<i>p</i>	.010			.0001			.003			.0001		

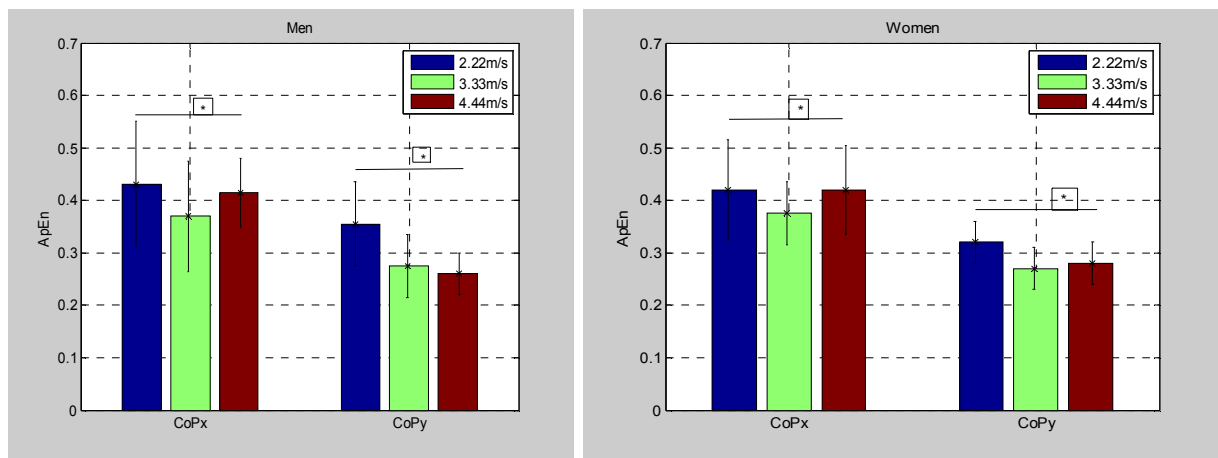


Figure 2. ApEn of CoP by different running speeds within genders.

조건은 4.44 m/s보다 작은 값을 보여 달리기 속도 증가에 따라 CoPx의 ApEn 값이 선형적으로 증가하는 현상은 보이지 않았다. 여성 집단의 경우도 남성 집단과 마찬가지로 CoPx의 ApEn 값은 세 가지 달리기 조건에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 다만 여성 집단에서는 4.44 m/s 달리기 조건이 ApEn의 평균 중앙값이 2.22 m/s 달리기 조건과 동일하게 높았지만, 3.33 m/s 달리기 속도 조건에서는 남성 집단과 같이 가장 낮은 ApEn의 평균 중앙값을 보였다.

CoPy의 경우 남성 집단의 경우 ApEn 평균 중앙값은 2.22 m/s 달리기 조건에서 가장 큰 값을 보였고, 4.44 m/s 달리기 조건에서 가장 낮은 ApEn의 평균 중앙값을 보였다. 즉 달리기 속도 증가에 따라 ApEn 값은 유의하게 감소하는 경향을 보였다($p < .05$). 여성 집단의 경우도 세 가지 달리기 조건에서 ApEn 값이 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 여성 집단에서는 3.33 m/s와 4.44 m/s 달리기 조건에서 비슷한 값을 보여 남성 집단과 같은 패턴을 보이지 않았지만, 2.22 m/s 달리기 속도 조건에서는 남성 집단과 같이 ApEn 평균 중앙값이 가장 큰 값을 보였다. 남성과 여성 두 집단에서 달리기 속도 조건에 관계없이

CoPy의 ApEn 값은 CoPx 값보다 평균값이 적어 복잡성 패턴이 상대적으로 보다 규칙적인 특징을 보였다.

남녀 모두 달리기 속도 조건에 따른 CoP의 ApEn 값은 유의한 차이를 보였다. CoPx의 경우 남성 집단은 가장 낮은 속도인 2.22 m/s에서 큰 값을 보인 반면 여성 집단의 경우 가장 빠른 4.44 m/s 조건에서 가장 큰 ApEn 값을 보였지만, 3.33 m/s 달리기 조건에서 두 집단 똑같이 가장 낮은 ApEn 값을 보였다. CoPy의 경우 남녀 모두 가장 낮은 2.22 m/s 달리기 속도 조건에서 가장 큰 ApEn 값을 보였다.

달리기 속도 별 남녀간(between) CoPx에 대한 ApEn의 평균 중앙치는 속도가 낮은 2.22 m/s 조건에서는 남성 집단이 여성 집단보다 약간 큰 값을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$). 3.33 m/s와 4.44 m/s 조건에서는 오히려 CoPx에 대한 ApEn의 평균 중앙값이 여성 집단이 남성 집단보다 약간 컸으나, 이 역시 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > .05$). CoPy의 경우 상대적으로 낮은 달리기 속도인 2.22 m/s와 3.33 m/s 조건에서 남성 집단이 여성 집단보다 ApEn의 평균 중앙치값이 약간 컸으나 통계적으로 의미있는 차는 아니었

Table 2. Median and interquartile range (IQR) of ApEn of CoP by different running speed between genders and their statistic test results

	CoPx						CoPy					
	2.22 m/s		3.33 m/s		4.44 m/s		2.22 m/s		3.33 m/s		4.44 m/s	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Med-ian	.430	.420	.370	.375	.415	.420	.355	.320	.275	.270	.260	.280
IQR	.120	.095	.105	.060	.065	.085	.080	.040	.060	.040	.040	.040
ρ	.266		1		.220		.220		.956		.183	

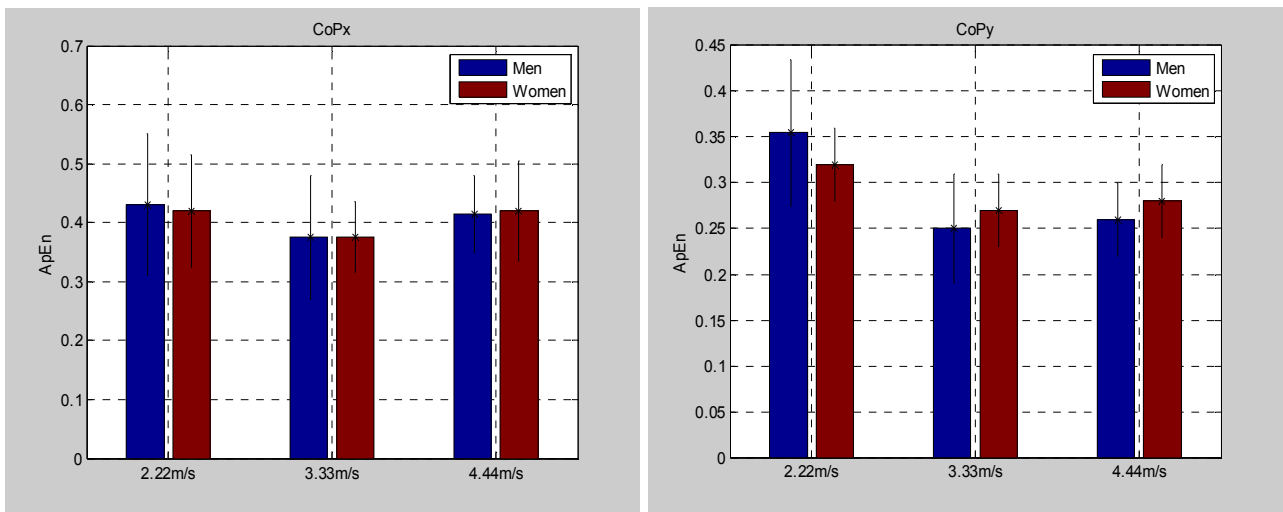


Figure 3. ApEn of CoP by different running speeds between genders.

다($p > .05$). 가장 빠른 4.44 m/s에서는 여성 집단이 남성 집단보다 ApEn의 평균 중앙값이 컸으나, 이 역시 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다($p > .05$). 본 연구에서 선정된 세 가지 달리기 속도 조건에서 남녀간 좌우 및 전후 CoP에 대한 ApEn 값은 남녀간 차이가 없는 것으로 확인되었다.

DISCUSSION

본 연구는 달리기 속도 증가의 환경 변화에 대해 다양한 동적 자세 조절 수단으로 사용되는 CoP의 시계열 자료를 비선형 기법인 ApEn을 통해 복잡성 패턴을 분석해 남녀간 차이점을 관찰하였다. CoP는 전신 균형 동력학을 나타내는 운동역학 관련 변인의 하나로 (Sanjari et al., 2016) 인간 이동 운동의 정확한 동적 분석 및 안정성을 이해하는데 유용하다(Jamshidi et al., 2010). 뿐만 아니라 다양한 조건에서 CoP 변화를 관찰하는 것은 각 조건과 관련해 상대적 상해 위험을 예측하는데 도

움을 줄 수 있다(Winter, 1995).

본 연구 결과 달리기 속도 증가에 따른 CoP의 복잡성 패턴은 CoPx 뿐만 아니라 CoPy에서 남녀 모두 유의한 차이가 보였다. 주목할 만한 결과는 CoPx와 CoPy의 복잡성 패턴은 남녀 모두 가장 낮은 달리기 속도인 2.22 m/s에서 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 달리기 시 10 스트라이드의 CoP 궤적 면적을 통해 분석한 Variability 값은 달리기 속도가 상대적으로 느린 조건이 빠른 조건보다 높게 나타났다는 Kil, Ryu, Park & Ryu (2018)의 연구와 같은 맥락이라 할 수 있다. 이를 정량적으로 논하기 위해서는 실증적인 연구의 필요성이 요구되지만, 비교적 낮은 속도 달리기 수행 시 신체는 긴장된 상태보다 비교적 편안한 상태에서 자세가 유지되기 때문에 근 시너지 형성이 다소 제한된 것으로 보여진다(Sleimen-Malkoun, Temprado & Hong, 2014). 즉 낮은 속도 달리기 시에는 두 발이 지면에 접촉할 때 저속 굴곡과 내반근들의 활동이 일정하게 활동하지 않아 발목 근육의 신경 조절이 불규칙하게 작용해 CoP의 규

칙성이 낮게 나타난 것으로 판단된다(Winter, 1995). 이는 안정성 문제보다도 신경 조절 능력의 문제로 보여진다(Fernie et al., 1982; Gribble & Hertek, 2004). ApEn 값이 높다는 것은 규칙성이 낮다는 것을 의미한다. 규칙성이 낮은 것은 불안정성이 높은 즉 복잡성이 높은 상태이다(Kim, 2008). 그러므로 본 연구 결과 가장 낮은 달리기 속도 2.22 m/s의 조건에서는 신체 동요 환경에 대한 적응력과 유연성이 상대적으로 높아 신체의 자유도를 제어하는데 견고한 것으로 판단된다(Preatoni et al., 2014). 비교적 달리기 속도가 높은 조건에서 CoP의 복잡성 패턴이 낮은 것은 빠른 속도에 신체를 안정하게 유지하기 위한 신체 근 골격 시스템의 반응으로 이는 적응 능력의 감소로 인해 나타난 결과로 보여진다(Goldberger, 1996). 이동 운동 시 신경근 골격 시스템은 운동역학, 형태학적 및 해부학적 특성, 환경, 과업 속박(Newell, Deutsch, Sosnoff & Mayer-Kress, 2006)과 같은 외적인 영향과 내적인 과정으로부터 기인될 수 있는 동요에 지배를 받는다. 그러므로 속도가 비교적 빠른 달리기 시에는 예측되든 그렇지 않든 신체 동요에 대처할 수 있는 적응 능력이 부족해 잠재적 상해 발생율이 느린 달리기 속도보다 상대적으로 클 것으로 판단된다(Lipsitz, 2002; Preatoni et al., 2010).

본 연구 결과 또 다른 특징의 하나는 선정된 달리기 속도의 중간 속도라 할 수 있는 3.33 m/s 달리기 속도 조건에서 남성 CoP를 제외한 두 집단 모두 복잡성이 낮은 즉 규칙성이 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 선정된 대상자들의 달리기 선호 속도가 3.33 m/s 전후에 수렴하기 때문에 나타난 결과가 아닌가 생각된다. 구체적으로 각 개인의 선호 속도를 측정해 확인할 필요성이 요구되지만, 본 연구에 참여한 대상자들은 남녀 모두 4.44 m/s를 달릴 수 있을 비교적 단련된 대상자들로 볼 때 3.33m/s 속도 전후에 달리기 선호 속도가 형성된 것으로 판단된다. 선호 운동 경로는 역학적으로 가장 적은 에너지 소비 경로로 모든 관절은 선호 운동 경로를 가지고 있다는 이론이다(Walter, Hart, Sutton, Mcintosh & Gauld, 1988). 선호 경로로부터 편차는 힘이 요구되며, 이 힘은 동작의 패턴 즉 복잡성에 영향을 미친다고 판단된다. 달리기 속도 조건인 3.33 m/s에서는 다른 두 달리기 속도 조건에 비해 대상자들의 선호 운동 경로이거나 선호 경로에 가깝기 때문에 운동 시 근 골격 시스템을 바꿀 힘의 편차가 상대적으로 적으므로 CoP의 복잡성 패턴이 낮게 나타나지 않았나 생각된다.

본 연구 결과 달리기 속도 증가에 따른 남녀간(between)의 복잡성 차이는 확인되지 않았다. 따라서 달리기 속도 증가에 따른 CoP 복잡성 패턴은 남녀간 잠재적 상해 발생율 차이를 특징하기 위한 지표로 활용하기에는 한계가 있다고 판단된다. 또한 달리기 속도 증가에 따른 남녀간 전신 안정성을 유지시키기 위한 중추 신경계 조절 반응의 차이는 없는 것으로 판단된다(Patterson, Papa, Knebl & Bugnariu, 2018).

CONCLUSION

이 연구는 달리기 속도 증가에 따른 CoP 복잡성 패턴의 남녀간 차이를 규명하고자 수행하였다. 본 연구 결과에 기초해 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 달리기 시 속도 증가에 따른 신체의 안정성은 남녀 모두 증가하는 경향을 보였다. 둘째, 달리기 속도 증가에 따른 잠재적 상해 발생율을 예측하기 위한 남녀간 차이점을 판단하는 지표로 CoP의 복잡성 패턴은 한계가 있다고 판단된다. 셋째, CoP의 복잡성 패턴은 달리기 속도 증가에 따른 자세 유지를 위한 신경근 조절의 남녀간 차이점을 특징화하는 변인으로 간주하는데 한계가 있다고 보여진다. 장래 본 연구와 관련한 후속 연구를 수행한다면 특정 달리기 속도에서 복잡성이 감소되는 원인을 찾기 위한 실증적 연구의 필요성을 제언한다.

REFERENCES

- Alexander, I. J., Chao, E. Y. & Johnson, K. A. (1990). The assessment of dynamic foot- to- ground contact forces and plantar pressure distribution: a review of the evolution of current techniques and clinical applications. *Foot Ankle, 11*(3), 152-167.
- Benda, B. J., Riley, P. O. & Krebs, D. E. (1994). Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2*(1), 3-10.
- Buzzi, U. H., Stergiou, N., Kurz, M., Hageman, P. A. & Heidel, J. (2003). Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clinical Biomechanics, 18*, 435-443.
- Carpenter, M. G., Frank, J. S., Winter, D. A. & Peysar, G. W. (2001). Sampling duration effects on center of pressure summary measures. *Gait Posture, 13*(1), 35-40.
- Chesnin, K. J., Selby-Silverstein, L. & Besser, M. P. (2000). Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements. *Gait Posture, 12*(2), 128-133.
- Costa, M., Peng, C. K., Goldberger, A. L. & Hausdorff, J. M. (2003). Multiscale entropy analysis of human gait dynamics. *Physica A, 330*, 53-60.
- De Cock, A., Vanrenterghen, A., Willems, T., Witvrouw, E. & De Clercq, D. (2008) The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait & Posture, 27*, 669-675.
- Dillman C. J. (1975). Kinematic analyses of running. *Exercise and Sport Science Reviews, 3*, 193-218.

- Dingwell, J. B. & Cusumano, J. P. (2000). Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos*, 10(4), 848-863.
- Dixon, S. J. (2006). Application of center-of-pressure data to indicate rearfoot inversion-eversion in shod running. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(4), 305-312.
- Fernie, G. R., Gryfe, C. I., Holliday, P. I. & Llewellyn, A. (1982). The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age and Ageing*, 11(1), 11-16.
- Goldberger, A. L. (1996). *Nonlinear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside*. *Lancet*, 347, 1312-1314.
- Gribble, P. A. & Hertek, J. (2004). Effect of Lower-Extremity Fatigue on Postural Control. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(4), 589-592.
- Hass, C. J., Gregor, R. J., Waddell, D. E., Oliver, A., Smith, D. W. & Fleming, P. (2004). The influence of Tai Chi training on the center of pressure trajectory during gait initiation in older adults. *Archives Physical Medical Rehabilitation*, 85(10), 1593-1598.
- Hwang, S. H., Park, S. W., Choi, H. S. & Kim, Y. H. (2008). Net center of pressure analysis during gait initiation in patient with hemiplegia. *13th International Conference on Bio-medical Engineering ICBME*, 1962-1964.
- Jamshidi, N., Rostami, M., Najarian, S., Menhaj, M. B., Saadatnia, M. & Salamia, F. (2010). Differences in center of pressure trajectory between normal and steppage gait. *Journal of Research in Medical Sciences*, 15(1), 33-40.
- Karlsson, A. & Frykberg, G. (2000). Correlations between force plate measures for assessment of balance. *Clinical Biomechanics*, 15(5), 365-369.
- Kantz, H. & Schreiber, S. (1997). *Nonlinear time series analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Keller, T., Weisbrger, A., Ray, J., Hasan, S., Shiavi, R. & Spengler, D. (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clinical Biomechanics*, 11, 253-259.
- Kil, H. J., Ryu, S. H., Park, S. K. & Ryu, J. S. (2018). Analysis of the area of CoP trajectories according to running speed and its correlation with ankle joint motion. *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 37(6), 691-702.
- Kim, I. H. (2008). *Nonlinear dynamical analysis of electroencephalogram in adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder during cognitive task*. A dissertation for the degree of doctor science. Graduate school Kongju National University.
- Ko, J. H. & Newell K. M. (2016). Aging and the complexity of center of pressure in static and dynamic postural tasks. *Neuroscience Letters*, 610, 104-109.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hébert, R. & Prince, F. (2004). Intra-session reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives Physical Medicine Rehabilitation*, 85(6), 896-901.
- Leardini, A., Benedetti, M. G., Berti, L., Bettinelli, D., Nativo, R. & Giannini, S. (2007). Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. *Gait & Posture*, 25, 453-462.
- Leardini, A., Benedetti, M. G., Catani, F., Simoncini, L. & Giannini, S. (1999). An anatomically based protocol for the description of foot segment kinematics during gait. *Journal of Clinical Biomechanics*, 14, 528-536.
- Lipsitz, I. A. (2002). Dynamics of stability: the physiologic basis of functional health and frailty. *The Journals of Gerontology: Series A*, 57(3), 115-125.
- Lugade, V. & Aufman, K. (2014). Center of Pressure trajectory during gait: A comparison of four foot position. *Gait Posture*, 40(1), 252-254.
- Newell, K. M., Deutsch, K. M., Sosnoff, J. J. & Mayer-Kress, G. (2006). *Variability in motor output as noise*. A default and erroneous proposition?, Movement system variability (pp.3-23). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nilsson, J. & Thorstensson, A. (1989). Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *Acta Physiologica Scandinavica*, 136, 217-227.
- Onell, A. (2000). The vertical ground reaction force for analysis of balance? *Gait Posture*, 12(1), 7-13.
- Orendurff, M. S., Bernatz, G. C., Schoen, J. A. & Klute, G. K. (2008). Kinetic mechanisms to alter walking speed. *Gait & Posture*, 27, 603-610.
- Park, S. H., Yoon, S. H., Park, S. K. & Ryu, J. S. (2018). Initial contact angle of the foot segment and GRF components by the gender difference. *Korean Journal of Physical Education*, 57(2), 625-633.
- Park, S. K., Koo, S. B., Yoon, S. H., Park, S. H., Kim, Y. C. & Ryu, J. S. (2018). Gender Differences in Ground Reaction Force Components. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 28(2), 101-108.
- Park, S. K., Ryu, S. H., Kim, J. B., Yoon, S. H. & Ryu, J. S. (2019). Complexity of comparison of center of pressure between fallers and non-fallers during gait. *Korean Journal of Sport*

Biomechanics, 29(2), 1-7.

- Patterson, R., Papa, E., Knebl, J. & Bugnariu, N. (2018). Evaluation of a more sensitive measure for prediction of changes in dynamic postural stability and fall risk. *8th World Congress of Biomechanics*. www.wcb2018.com.
- Peterson, C. L., Kautz, S. A. & Neptune, R. R. (2011). Braking and propulsive impulses increase with speed during accelerated and decelerated walking. *Gait & Posture*, 33, 562-567.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceeding National Academy Science USA*, 88, 2297-2301.
- Preatoni, E., Ferrario, M., Dona, G., Hamill, J. & Rodano, R. (2010). Motor variability in sports: A non-linear analysis of race walking. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1327-1336.
- Preatoni, E., Hamill, J., Harrison, A. J., Hayes, K., Emmerik, V. R., Wilson, C. & Rodano, R. (2014). Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports Biomechanics*, 12(2), 69-92.
- Roerdink, M., De Haart, M., Daffertshofer, A., Donker, S. F., Geurts, A. C. & Beek, P. J. (2006). Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Experimental Brain Research*, 174(2), 256-269.
- Ryu, J. S. (2006). The elderly's coupling pattern between the foot and the tibia and its variability during walking. *The Korean Journal of Physical Education*, 45(1), 747-756.
- Ryu, J. S. (2017). Relationship between CoP and local stability of the lower joint during walking in the elderly women. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 27(2), 133-140.
- Sakaguchi, M., Taguchi, K., Miyashita, Y. & Katsuno, S. (1994). Changes with ageing in head and center of foot pressure sway in children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 29(2), 101-109.
- Sanjari, M. A., Boozari, S., Jamshidi, A. A. & Nikmaram, M. R. (2016). Fatigue Effect on Linear Center of Pressure Measures during Gait in People with Flat Feet. *Asian Journal Sports Medicine*, 7(4), e34832.
- Scherer, P. & Sobiesk, G. (1994). The center of pressure index in the evaluation of foot orthoses in shoes. *Clinics in Podiatric Medicine Surgery*, 11(2), 355.
- Segers, V., Aerts, P., Lenoir, M. & De Clercq, D. (2006). Spatio-temporal characteristics of the walk-to-run and run-to-walk transition when gradually changing speed. *Gait & Posture*, 24, 247-254.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J. & Hong, S. L. (2014). Aging induced loss of complexity and dedifferentiation: consequences for coordination dynamics within and between brain, muscular and behavior levels. *Front Aging Neuroscience*, 27,. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00140>,
- Stergiou, N. (2004). *Innovative analyses of Human Movement*, Human Kinetics.
- Vaillancourt, D. E. & Newell, K. M. (2002). Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. *Neurobiology of Aging*, 23, 1-11.
- Walter, S. D., Hart, L. E., Sutton, J. R., McIntosh, J. M. & Gauld, M. (1988). Training habits and injury experience in distance runners, age and sex related factors. *The Physician and Sports Medicine*, 16, 101.
- Williams, K. R. (1985). Biomechanics of running. *Exercise and Sports Science Reviews*, 13, 389-441.
- Willems, T. M., De Clercq, D., Delbaere, K., Vanderstraeten, G., De Cock, A. & Witvrouw, E. A. (2006). Prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. *Gait Posture*, 23(1), 91-98.
- Willems, T., Witvrouw, E., Delbaere, K., De Cock, A. & De Clercq, D. (2005). Relationship between gait biomechanics and inversion sprains: a prospective study of risk factors. *Gait Posture*, 21(4), 379-387.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*, 3(4), 193-214.
- Yamada, N. (1995). Chaotic swaying of the upright posture. *Human Movement Science*, 14, 711-726.