



Original Article

Influence of Different Breathing Strategies on Plantar Pressure Distribution in Ballet Movements

Sujin Park¹ and Kyung-Ock Yi^{2*}

¹Department of Sports Science, Ewha Womans University

²Ewha Womans University

Article Info

Received 2024. 01. 19.

Revised 2024. 04. 19.

Accepted 2024. 05. 21.

Correspondence*

Kyung-Ock Yi

yikok@ewha.ac.kr

Key Words

Draw-in technique, Bracing technique, Teeth occlusion technique, Heel raises, Plantar pressure

PURPOSE This study investigated the differences in plantar pressure distribution when using three breathing techniques during heel raises. **METHODS** The subjects were 29 professional dancers aged 20 to 30 years with more than 10 years of experience. Pressure distribution according to breathing method during heel raise was measured for 10 seconds while controlling the raise speed and gaze. The three breathing techniques were randomly ordered. Peak pressure, contact area and time, displacement, and absolute velocity of the center of pressure trajectory were measured using Emed[®]-le from Novel GMBH. Plantar pressure was analyzed by dividing it into a total of 12 areas (masks): five toes, five metatarsals, the midfoot, and the hindfoot. **RESULTS** Using the teeth occlusion breathing technique, the peak pressure on the first metatarsal was significantly reduced, the contact time of the second metatarsal was significantly longer, and the displacement of the center of pressure trajectory was significantly shorter. Additionally, during the phase of the forefoot retainer, the velocity of the center of pressure trajectory was significantly reduced. **CONCLUSIONS** The teeth occlusion technique reduces peak pressure, increases contact time and area, and decreases the displacement and velocity of the center of pressure trajectory, demonstrating an efficient method for maintaining balance in ballet movements. This technique can potentially enhance stability and prevent injuries in ballet dancers.

서론

무용은 복잡하게 연결된 움직임과 동적, 정적 균형 제어를 기본으로 하는 신체적 활동 예술이다(Golomer et al., 1999). 특히 발레는 순간적인 정적 동작의 균형이 예술성을 결정짓는 요소로, 무용수들은 몸통을 직립으로 유지하면서 발뒤꿈치를 일정한 속도로 올리고 내리는 동작을 수행한다(Pinsault & Vuillerme, 2009). 이 동작들은 하체의 안정성과 균형 능력을 요구하며, 신체는 균형을 유지하기 위해 미세 조정을 수행해야 한다(Paillard, 2017). 이 과정에서 규칙적이고 안정적인 호흡은 균형 유지에 직접적인 영향을 미치는 중요한 역할을 한다(Bradley & Esformes, 2014; Hodges et al., 2007).

발레의 뒤꿈치 들기 자세는 인간이 할 수 있는 직립 자세 중 가장

좁은 지지 기저 면적과 높은 무게 중심을 갖게 하며, 이는 자세의 정확성과 안정적인 동작 구현을 위해 체간의 안정성을 필수적으로 요구한다(Park & Park, 2014). 이 자세는 무용수가 체중을 발가락이 만들어 내는 면적만으로 지탱하도록 하며, 이로 인해 좁은 지지면적과 높은 무게 중심을 유지하는 동안 정적 및 동적 균형을 지속적으로 유지해야 한다. 이 상태는 발과 발목 관절을 포함한 여러 부상의 원인이 될 수 있다(Dowling, Steele, & Baur, 2001; Juras et al., 2008).

복부 브레이싱 기법과 복부 드로우-인 기법은 복부 근전도와 초음파를 통해 몸통 근육의 활성화 변화에 중점을 두고 척추 및 체간 안정화에 기반한 연구들이 주로 진행되어 왔다(Hwang et al., 2020; Muramoto & Kuruma, 2022; Norrie & Brown, 2020). 그러나 발레 무용수의 특정 동작과 발과 지면과의 상호작용을 분석한 연구는 상대적으로 부족하다.

최근 연구에서는 치아 교합 상태가 척추와 체간의 안정성에 영향을 미칠 수 있음이 보고되었다(Didier et al., 2021; el Zoghbi et al., 2021; Ferrillo et al., 2022; Julià-Sánchez et al., 2020). 치

© 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.

아를 악물었을 때 척수관의 흥분성이 증가하여 하지 근육의 기능을 향상시키고, 이는 1번, 2번 경추의 재정렬을 유도하여 정확한 정보를 뇌에 전달한다(Álvarez Solano et al., 2023; Ebben et al., 2008; Ringhof et al., 2016). 이러한 신경학적 조절은 호흡과 균형 유지 능력 사이의 상호작용에 대한 새로운 이해를 제공한다.

본 연구는 발레 무용수가 수행하는 뒤꿈치 들기 동작 시 적용되는 다양한 호흡 기법(복부 브레이싱, 복부 드로우-인, 치아 교합)에 따른 발바닥 압력분포의 차이를 분석한다. 이를 통해 각 호흡 기법이 균형 능력에 미치는 영향을 평가하고, 무용수의 부상을 예방하며 수행 능력을 향상시키는 데 필요한 실험적 근거를 제시하고자 한다. 발바닥의 압력 분포를 측정함으로써, 무용수가 어떻게 무게를 분산하며 균형을 유지하는지 정량적으로 평가할 수 있으며, 이는 각 호흡 기법의 균형능력에 미치는 효과를 보다 명확하게 이해하는 데 도움이 된다(Rosenbaum & Becker, 1997). 이러한 연구는 무용수에게 필수적인 보다 체계적인 훈련 방법과 균형 능력 향상을 위한 방안을 개발하는 데 기여할 것이다.

연구방법

연구대상

본 연구대상자는 최근 1년간 발, 발목 등 하지의 부상 경험이 없고, 발목의 동작 가동범위에 제한을 받지 않으며, 뒤꿈치 들고 서기와 호흡 기법에 숙달된 경력 10년 이상의 만 20세~30세 사이의 전문 무용수 29명이다. 연구대상자들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

실험방법

실험 측정에 들어가기 전, 전문 무용수들에게 복부 브레이싱, 복부 드로우-인, 치아 교합 등 세 가지 호흡 기법에 대한 약 30분간의 교육을 진행하였다. 이 교육은 각 기법의 실행 방법에 대한 이론적 설명 및 실습을 포함하였다.

복부 브레이싱 기법의 설명은 서있는 상태에서 내쉬는 호흡에 풍선을 불어내듯, 복부를 바깥방향으로 밀어내면서 복부 전체를 동시에 단단하게 조이는 연습을 하였다. 이 과정에서 트레이너는 참가자들이 복압을 높여 복부전체를 단단하게 부풀리는지 확인하고, 적절한 자세를 유지하도록 지도하였다. 복부 드로우-인 기법은 내쉬는 호흡에 복부를 척추쪽으로 최대한 당기는 연습을 하였다. 트레이

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Subject Characteristics	M ± SD
Age(yr)	27.21 ± 2.99
Height(cm)	165.20 ± 4.35
Weight(kg)	50.31 ± 4.08
Foot size(mm)	245.34 ± 8.23
Dominant foot(n)	right foot 19 left foot 10

너는 참가자들에게 숨을 깊게 들이신 후 천천히 내쉬면서 복부를 내부로 당기는 방법을 지도하였다.치아 교합 기법은 턱 근육을 사용하여 치아를 살짝 교합하면서 내쉬는 숨을 치아 사이로 내보내면서 호흡을 조절하는 연습을 하였다.참여자들은 양발은 골반 너비로 평행으로 유지하고, 우세 발(Kang & Harris, 2000)을 압력 측정판 위에 올려 맨발로 측정하였다. 호흡 기법의 순서로 인한 반복 학습 효과를 배제하기 위해 무작위(randomization)로 호흡 기법 순서를 선택하여 진행하였다(Figure 1). 측정은 발뒤꿈치 들기 동작을 통해 이루어졌으며, 참가자들은 숨을 내쉬는 동안 3초간 발뒤꿈치를 올린 후, 7초간 그 상태를 유지함으로써 총 10초 동안 발뒤꿈치가 바닥에서 떨어지지 않도록 최대한 들고 유지하였다. 발뒤꿈치 들기 운동의 속도는 디지털 메트로놈(80 BPM)을 사용하여 통제하였으며, 참가자들의 시선은 전방 3미터 높이에 부착된 스티커를 통해 조절하여 시선 이동으로 인한 데이터의 오염을 최소화하였다.

측정 도구

압력분포 측정기는 노블(Novel GMBH)사의 이메드(Emed®-1e, 628×360×15mm, 2,816개의 센서)이다. 발바닥 압력은 발가락 5영역, 발 허리뼈 5영역, 중족(midfoot) 및 후족(hindfoot)의 총 12영역(mask)으로 나누어 분석하였다(Figure 2).



Fig. 1. Measurement of Foot Pressure Distribution during heel raise

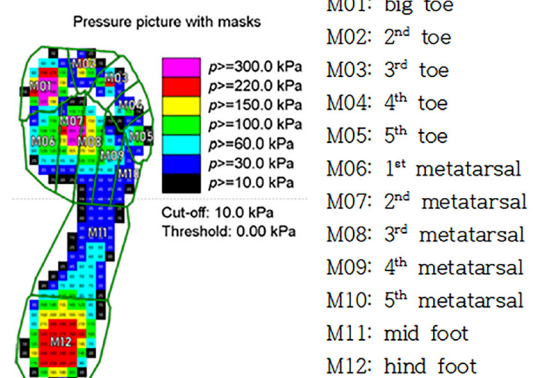


Fig. 2. 12 Masks

연구 변인

호흡 기법에 따른 발바닥 부위별 압력 변인은 피크압력(peak pressure), 발바닥 접촉면적(contact area), 발바닥 접촉 시간(contact time), 압력 중심 이동거리(displacement of center of pressure), 압력 중심 이동 궤적의 구간별 속도(velocity of each phase of center of pressure trajectory)이다. 피크 압력은 발바닥의 각 부위별 발이 지면에 닿아 있는 단위 면적당 압력의 최대 값(kPa)이다. 접촉면적은 발바닥의 각 부위가 지면에 접촉한 면적(cm^2)이고, 접촉시간은 발바닥의 각 부위가 지면과 닿는 시간이다(ms). 압력 중심 이동거리는 좌우(X), 앞뒤(Y) 방향으로 이동한 거리, 절대 거리(mm)로 구분하였다. 압력 중심 이동 궤적의 절대 속도(ft/s)는 단위시간(%)에 따른 이동거리($=\Delta XY \text{ ft}/\Delta \text{time}(\%)$)로 뒤꿈치 들기(3초), 뒤꿈치 들고 발가락 유지기(7초)로 구분하여 분석하였다.

통계처리

측정한 모든 변인의 값은 SPSS PC+ for Windows(version 24.0)를 이용하여 분석하였다. 통계적 유의성을 분석하기 위해 각 호흡 기법을 처치(treatment)로 하는 반복측정분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 수행하였고, 유의적인 차이가 나타나는 호흡 기법을 파악하기 위해 사후분석(post-hoc)을 실시했다.

먼저 세 호흡 기법 간 측정의 등분산 여부를 판단하기 위해 Mauchly의 구형성 검정을 수행했다. 구형성이 가정될 경우 구형성이 가정된 반복측정분산분석을 적용했으며, 구형성 가정이 만족하지 않을 경우 Greenhouse-Geisser의 결과로 차이를 검정했다.

연구결과

피크압력

치아 교합 기법을 적용했을 때, 피크 압력은 다섯 번째 발가락($F=7.05, p=.02$), 첫 번째 발 허리뼈($F=9.49, p=.00$), 중족($F=6.42, p=.00$)에서 유의하게 가장 낮았다. 반면, 복부 브레이싱 기법의 피크 압력은 세 번째 발 허리뼈($F=4.46, p=.01$), 네 번째 발 허리뼈($F=4.36, p=.01$)에서 유의하게 높았다(Table 2).

접촉면적

접촉면적은 치아 교합 기법을 적용하였을 때, 중족($F=3.16, p=.04$)에서 가장 좁았고, 세 번째 발 허리뼈($F=6.18, p=.00$)에서는 유의하게 넓었다(Table 3).

접촉시간

발바닥 접촉시간은 치아 교합 기법을 적용하였을 때, 두 번째 발 허리뼈($F=5.37, p=.00$)와 다섯 번째 발가락($F=3.37, p=.03$)에서 유의하게 길었다(Table 4).

압력 중심 이동거리

압력 중심 이동거리는 좌우(X), 전후(Y), 절대 거리로 구분하였다(Table 5). 발바닥 압력 중심의 좌우 방향 이동거리는 치아 교합 기법이 가장 짧았으며, 복부 브레이싱 기법, 드로우-인 기법 순으로 유의하게 길었다($F=74.43, p=.00$).

전후 방향의 이동거리는 치아 교합 기법과 복부 드로우-인 기법이 복부 브레이싱 기법보다 유의하게 짧았다($F=12.58, p=.00$). 좌우, 전후 방향의 절대 이동거리는 세 가지 호흡 기법 중 치아 교합 기법의 이동거리가 유의하게 가장 짧았다($F=20.16, p=.00$).

압력 중심 이동 궤적의 구간별 절대 속도

압력 중심 이동 궤적의 절대 속도(ft/s)는 뒤꿈치 들기(3초)와 뒤꿈치 들고 발가락으로 유지하기(7초)의 두 구간으로 나누어 분석하였다. 지면에서부터 뒤꿈치를 들어 올리는 구간($F=5.682, p=.00$)과 뒤꿈치를 들고 발가락으로 유지하는 구간($F=201.527, p=.00$) 모두에서 치아 교합 기법의 절대 이동속도가 가장 느렸다.

논의

본 연구의 목적은 발뒤꿈치 들기 시 세 가지 호흡 기법에 따른 발바닥 압력분포의 차이를 분석하여, 뒤꿈치 들기 시 균형을 잘 잡을 수 있는 호흡 방법을 구명하는 것이다. 뒤꿈치 들기는 발목이 최대로 발바닥 쪽 굽힘(plantar flexion)이 되어 발허리뼈발가락관절(metatarsophalangeal joint)이 확장된 상태가 된다(Winder et al., 2021).

특히 무용수들은 반복되는 뒤꿈치 들기로 첫 번째 발 허리뼈 관절이 과사용 되고, 이로 인해 ‘무용수의 건염’이라고 불리는 긴엄지굽힘근(flexor hallucis longus) 건염과 발 허리뼈(metatarsal bone) 기저부와 인접한 리스프랑 관절(lisfranc joint)의 과사용 증후군에 자주 노출된다(Rowley et al., 2015).

본 연구에서는 치아 교합 기법 적용 시 첫 번째 발 허리뼈의 피크 압력이 유의하게 작았고, 두 번째 발 허리뼈의 접촉시간은 유의하게 가장 길었다. 이것은 치아 교합 기법이 첫 번째 발허리뼈의 피크 압력을 줄여주고, 두 번째 발허리뼈의 접촉시간을 늘려서, 첫 번째 발 허리뼈 관절과 연결된 건과 관절의 부하를 줄여주어 과도한 사용으로 인한 염증을 예방하고, 긴엄지굽힘근의 손상을 줄일 수 있는 것을 시사한다(Harrington et al., 1993).

치아 교합 기법은 중족(mid foot)의 접촉면적과 피크압력은 유의하게 가장 낮아, 뒤꿈치로부터 발가락으로 무게 중심이동을 가볍게 하고 있음을 확인하였다(Gu et al., 2010).

뒤꿈치가 지면에서 들어 올려 지면, 상대적으로 발의 지지면적이 좁아지므로, 발목의 해부학적 특성상 내·외측 안정성에 대한 미세한 능동적 제어가 필요하며, 이때 좌우 압력중심 이동 변화는 발목 안정성과 균형을 확인하는 신뢰성 높은 지표로 사용된다(Boyas et al., 2011; Gefen et al., 2002; Ruhe et al., 2010).

압력 중심 이동 궤적의 좌우, 전후 방향의 범위 증가는 균형 능력의 감소로 해석된다(Adlerton et al., 2003). 특히 좌우(X) 압력 중심의 변화가 클수록 발목 불안정성이 커진다는 것을 의미하므로, 건염

Table 2. Differences in peak pressure according to three breathing techniques

Region	Breathing Method	N	Mean(kPa)	SD	F	P	Post Hoc
Big toe	ADT ¹⁾	29	57.01	15.65	0.06	.94	
	ABT ²⁾	29	57.36	14.01			
	TOT ³⁾	29	56.15	10.25			
2nd toe	ADT	29	254.02	99.74	1.41	.24	
	ABT	29	222.24	84.75			
	TOT	29	221.72	62.26			
3rd toe	ADT	29	438.22	145.17	1.80	.17	
	ABT	29	391.32	99.34			
	TOT	29	387.18	88.46			
4th toe	ADT	29	371.90	89.45	1.97	.146	
	ABT	29	388.62	101.28			
	TOT	29	344.37	61.53			
5th toe	ADT	29	302.01	134.17	7.05	.00	3<(1=2)**
	ABT	29	315.17	143.80			
	TOT	29	214.25	91.80			
1st metatarsal	ADT	29	202.30	143.12	9.49	.00	3<2, 3<1**
	ABT	29	230.40	147.23			
	TOT	29	161.82	66.61			
2nd metatarsal	ADT	29	353.45	84.83	1.09	.34	
	ABT	29	382.93	91.67			
	TOT	29	349.83	103.53			
3rd metatarsal	ADT	29	119.97	47.23	4.46	.01	1<2***
	ABT	29	139.28	46.53			
	TOT	29	126.44	36.61			
4th metatarsal	ADT	29	97.18	19.12	4.36	.01	1<2***
	ABT	29	110.46	15.18			
	TOT	29	104.83	17.00			
5th metatarsal	ADT	29	129.71	58.59	3.83	.02	N/A
	ABT	29	178.74	81.56			
	TOT	29	176.78	85.87			
Midfoot	ADT	29	101.09	63.61	6.42	.00	3<1, 3<2**
	ABT	29	100.40	50.47			
	TOT	29	79.02	40.81			
Hindfoot	ADT	29	170.80	51.87	2.67	.07	
	ABT	29	191.38	62.46			
	TOT	29	204.37	52.21			

1) Abdominal Draw-in with Exhalation Technique

2) Abdominal Bracing with Exhalation Technique

3) Teeth Occlusion with Exhalation Technique

*Greenhouse-Geisser's F due to failure to meet assumption of sphericity

**Used Fisher's LSD test as a post-hoc test for Repeated Measured ANOVA analysis

Table 3. Differences in contact area according to three breathing techniques

Region	Breathing Method	N	kPa	SD	F	P	Post Hoc
Big toe	ADT ¹⁾	29	14.95	7.99	0.31	.73	
	ABT ²⁾	29	15.31	6.26			
	TOT ³⁾	29	13.96	5.80			
2nd toe	ADT	29	11.937	0.61	0.95	.07	
	ABT	29	10.425	0.54			
	TOT	29	10.54	0.86			
3rd toe	ADT	29	9.91	0.68	2.87	.06	
	ABT	29	9.57	0.69			
	TOT	29	10.06	0.59			
4th toe	ADT	29	10.09	0.61	0.05	.95	
	ABT	29	10.10	0.55			
	TOT	29	8.57	0.54			
5th toe	ADT	29	8.76	0.62	0.86	.42	
	ABT	29	8.77	0.60			
	TOT	29	6.11	0.75			
1st metatarsal	ADT	29	6.11	0.76	1.43	.24	
	ABT	29	6.20	0.84			
	TOT	29	5.87	0.66			
2nd metatarsal	ADT	29	12.91	1.28	0.26	.77	
	ABT	29	13.04	0.96			
	TOT	29	12.84	0.93			
3rd metatarsal	ADT	29	4.92	1.27	6.18	.00	1<3
	ABT	29	5.30	1.47			
	TOT	29	5.54	1.28			
4th metatarsal	ADT	29	4.41	0.96	0.28	.75	
	ABT	29	4.48	0.74			
	TOT	29	4.57	0.69			
5th meatatarsal	ADT	29	4.53	0.83	1.30	.27	
	ABT	29	4.82	0.70			
	TOT	29	4.62	0.56			
Midfoot	ADT	29	3.82	1.50	3.16	.04	3<2, 3<1
	ABT	29	4.36	2.86			
	TOT	29	3.51	1.43			
Hindfoot	ADT	29	26.529	2.58	0.28	.75	
	ABT	29	26.454	2.43			
	TOT	29	26.879	1.80			

1) Abdominal Draw-in with Exhalation Technique

2) Abdominal Bracing with Exhalation Technique

3) Teeth Occlusion with Exhalation Technique

*Greenhouse-Geisser's F due to failure to meet assumption of sphericity

**Used Fisher's LSD test as a post-hoc test for Repeated Measured ANOVA analysis

Table 4. Differences in contact time according to three breathing techniques

Region	Breathing Method	N	Mean(kPa)	SD	F	P	Post Hoc
Big toe	ADT ¹⁾	29	988.05	788.65	1.59	.21	
	ABT ²⁾	29	769.20	410.61			
	TOT ³⁾	29	716.32	250.10			
2nd toe	ADT	29	9,905.98	291.64	0.19	.82	
	ABT	29	9,871.72	202.49			
	TOT	29	9,896.78	113.24			
3rd toe	ADT	29	9,919.77	290.50	0.22	.80	
	ABT	29	9,944.60	66.14			
	TOT	29	9,915.63	85.77			
M04	ADT	29	9,927.36	290.79	0.26	.76	
	ABT	29	9,957.01	52.66			
	TOT	29	9,928.28	68.21			
5th toe	ADT	29	8,754.02	2,432.78	3.37	.03	1<3
	ABT	29	9,224.39	1,997.03			
	TOT	29	9,519.54	1272.53			
1st metatarsal	ADT	29	4,595.17	2,640.58	3.08	.05	
	ABT	29	5,108.28	3,324.27			
	TOT	29	3,247.36	2,834.81			
2nd metatarsal	ADT	29	7,192.40	3,577.29	5,376	.00	1<3, 2<3
	ABT	29	8,793.10	3919,12			
	TOT	29	9,792.87	3710,92			
3rd metatarsal	ADT	29	9,586.21	470.78	0.30	.73	
	ABT	29	9,587.59	177.82			
	TOT	29	9,531.26	202.814			
4th metatarsal	ADT	29	9,384.83	662.963	0.54	.58	
	ABT	29	9,403.91	863.871			
	TOT	29	9,517.01	232.089			
5th meatatarsal	ADT	29	9,224.37	1,081.487	0.25	.77	
	ABT	29	9,318.39	751.833			
	TOT	29	9,365.06	302.695			
Midfoot	ADT	29	7,179.08	2,265.930	2.71	.07	
	ABT	29	8,124.60	1,605,324			
	TOT	29	8,174.71	1,542.136			
Hindfoot	ADT	29	760.00	394.003	0.22	.79	
	ABT	29	704.37	377.041			
	TOT	29	709.66	259.814			

1) Abdominal Draw-in with Exhalation Technique

2) Abdominal Bracing with Exhalation Technique

3) Teeth Occlusion with Exhalation Technique

*Greenhouse-Geisser's F due to failure to meet assumption of sphericity

**Used Fisher's LSD test as a post-hoc test for Repeated Measured ANOVA analysis

Table 5. Displacement of the Center of Pressure Trajectory

Direction	Breathing Method	N	Mean(ft)	SD	Levene Statistic	F	P	Post Hoc
X	ADT ¹⁾	29	4.70	1.10	0.00	74.43	.00	3<2<1*
	ABT ²⁾	29	4.65	0.97	368.63			
	TOT ³⁾	29	4.56	0.90	Sig.			
Y	ADT	29	5.82	2.62	0.08	12.58	.00	(1=3)<2***
	ABT	29	5.91	2.62	2.48			
	TOT	29	5.75	2.83	Sig.			
XY absolute	ADT	29	7.60	2.49	0.18	20.16	.00	3<(1=2)***
	ABT	29	7.64	2.46	1.69			
	TOT	29	7.46	2.66	Sig.			

*P<.05, **P<.01, X(mm):left and right center of gravity, Y(mm):Front and Back center of gravity

1) Abdominal Draw-in with Exhalation Technique

2) Abdominal Bracing with Exhalation Technique

3) Teeth Occlusion with Exhalation Technique

*Greenhouse-Geisser’s F due to failure to meet assumption of sphericity

**Used Fisher’s LSD test as a post-hoc test for Repeated Measured ANOVA analysis

Table 6. Absolute velocity of the Center of Pressure Trajectory for each phase

Phase	Breathing Method	N	Mean(ft/s)	SD	Levene Statistic	F	P	Post Hoc
Heel raises	ADT ¹⁾	29	1.01	1.61	8.070	5.68	.00	(2=3)<1**
	ABT ²⁾	29	0.92	1.60	Sig.			
	TOT ³⁾	29	0.90	1.43	0.00			
Keep heel raises	ADT	29	0.31	0.27	0.00	201.52	.00	3<(1=2)**
	ABT	29	0.31	0.27	158.69			
	TOT	29	0.25	0.21	Sig.			

*P<.05, **P<.01, X(ft):left and right center of gravity, Y(ft):Front and Back center of gravity

1) Abdominal Draw-in with Exhalation Technique

2) Abdominal Bracing with Exhalation Technique

3) Teeth Occlusion with Exhalation Technique

*Greenhouse-Geisser’s F due to failure to meet assumption of sphericity

**Used Fisher’s LSD test as a post-hoc test for Repeated Measured ANOVA analysis

지급힘근 터널의 자극과 통증의 원인이 된다(Rowley et al., 2015) 고 할 수 있다.

치아 교합 기법은 좌우, 전후, 절대 방향 모두에서 압력 중심 이동 거리가 유의하게 짧게 나타났다. 반면 좌우 압력 중심 이동 거리에서는 복부 드로우-인 기법이 유의하게 크게 나타났다. 이러한 결과는 복부 드로우-인 기법이 동적인 자세에서는 다른 근육의 정상적인 활동을 감소시키고(Faries et al., 2007), 배꼽을 척추 쪽으로 당기면서 체간에서의 입사각과 작용선 아래의 크기가 줄어들어 오히려 척추의 안정성을 감소시켜 본질적으로 다양한 상황에서 척추를 고정하지 못하여 척추 안정성을 방해한다는(Stuart McGill, 2007) 연구를 뒷받침하는 결과이다.

본 연구에서는 복부 드로우-인 기법이 복부 브레이싱 기법에 비해 세 번째 발허리뼈와 네 번째 발허리뼈의 최대압력이 유의하게 낮은 압력값을 나타냈으며, 치아교합기법 적용 시 유의한 차이가 나타

나지 않았다. 복부 브레이싱 기법은 주로 외부의 충격에 대비하여 복부 전체 근육을 강하게 활성화 시키는 방법으로 배가로근, 배빗근에 영향을 미친다(Abe et al., 2016). 이로 인해 복부 드로우-인 기법에 비해 상대적으로 복부 근육이 과도하게 긴장되어, 이 긴장이 하체에 더 많은 압력을 전달한 결과로 해석될 수 있다.(Francisco et al., 2007; Muramoto & Kuruma, 2022; Vera-Garcia et al., 2007). 또한, 복부 브레이싱 기법 시 무게중심 이동에서 전후 방향의 이동 거리가 가장 길게 나타났다. 이는 복부 브레이싱 기법이 뒤꿈치 들기 시 신체의 무게 중심을 제대로 제어하지 못하여 전후 방향으로의 이동이 증가하였음을 나타낸다.

앞꿈치 유지기에서 정적 균형을 평가할 때, 복부 드로우-인 기법과 복부 브레이싱 기법 간에 절대 속도에서 유의한 차이는 나타나지 않았다. 두 기법 모두 치아 교합 기법에 비해 속도가 유의하게 빨랐으며, 이는 이들 기법이 정적 균형 유지에 덜 효과적인 수 있음을 시

사한다(Caballero et al., 2015).

반면, 압력 중심 이동의 절대 방향에서는 세 가지 기법 중 치아 교합 기법이 가장 느리게 나타났고, 특히 뒤꿈치를 들고 하는 앞꿈치 유지기에서 치아 교합 기법의 압력 중심 이동 속도가 유의하게 느린 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 치아교합 기법이 다른 호흡 기법에 비해 균형 유지에 있어 잠재적으로 더 안정적인 수 있음을 나타내며, 치아 교합과 자세조절과의 긍정적인 관계(Sakaguchi et al., 2007)를 밝혀낸 연구를 뒷받침 하였다.

본 연구에서의 치아 교합 기법은 구강구조를 닫힌 사슬(closed kinetic chain)로 만들어 턱관절을 고정하고, 치아 교합을 통해 목 주변 근육을 활성화하여, 질량중심의 이동을 줄여준 것(Tomita et al., 2021)이 발 압력분포에 긍정적 영향을 끼친 것이라 사료 된다. 이러한 호흡 방식은 하악의 위치 변화를 통해 신체의 고유수용감각과 치주 구심신경에 변화를 유발할 수 있으며, 이는 자세의 변화를 초래할 수 있다(Bracco et al., 2004). 그러나 이러한 가정은 다양한 운동 조건에서의 무게 중심 이동 속도, 근활성도, 관절 각도 변화, 체중 분포 등을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론

결론적으로, 뒤꿈치 들기 시 세가지 호흡기법 중 가장 안정적인 호흡 기법은 치아교합기법이다. 특히, 이 기법은 뒤꿈치 들기와 유지기 모두에서 좌우, 전후, 절대 방향에서의 압력 중심 이동거리를 감소시킴으로써 세가지 호흡기법들 중 균형 유지에 가장 효과적이다.

반면 복부 드로우-인 기법은 좌우 안정성에, 복부 브레이싱 기법은 전후 방향의 균형에 불리한 영향을 미쳤다. 따라서 치아 교합 기법은 무용수가 뒤꿈치 들기를 할 때 안정성을 향상시키고 효율적인 호흡을 돕는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 각 기법에 따른 머리 위치 변화나 특정 근육의 활성도를 측정하지 않았으며, 최대 족저굴곡 유도 시 발의 각도를 설정하여 동작 분석을 진행하지 않았다. 따라서 이에 대한 분석은 추후 연구 과제로 한다.

CONFLICT OF INTEREST

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

AUTHOR CONTRIBUTION

Data curation: S Park, Formal analysis: S Park, Funding acquisition: K Yi, Methodology: S. Park and K Yi, Project administration: S. Park, Visualization: S Park, Writing -original draft: S Park, Writing-review & editing: K Yi, Investigation: S Park, Resources: S Park, K Yi, Software: S Park, Supervision: K Yi, Validation: K Yi

참고문헌

- Abe, T., Tayashiki, K., Nakatani, M., & Watanabe, H. (2016). Relationships of ultrasound measures of intrinsic foot muscle cross-sectional area and muscle volume with maximum toe flexor muscle strength and physical performance in young adults. *The Journal of Physical Therapy Science*, 28(1), 14-19.
- Adleron, A.-K., Moritz, U., & Moe-Nilssen, R. (2003). Forceplate and accelerometer measures for evaluating the effect of muscle fatigue on postural control during one-legged stance. *Physiotherapy Research International*, 8(4), 187-199.
- Álvarez Solano, C., González Camacho, L. A., Castaño Duque, S. P., Cortés Velosa, T., Vanoy Martin, J. A., & Chambrone, L. (2023). To evaluate whether there is a relationship between occlusion and body posture as delineated by a stabilometric platform: A systematic review. *CRANIO*[®], 41(4), 368-379.
- Boyas, S., Remaud, A., Bisson, E. J., Cadieux, S., Morel, B., & Bilodeau, M. (2011). Impairment in postural control is greater when ankle plantarflexors and dorsiflexors are fatigued simultaneously than when fatigued separately. *Gait & Posture*, 34(2), 254-259.
- Bracco, P., Deregiibus, A., & Piscetta, R. (2004). Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects. *Neuroscience Letters*, 356(3), 228-230.
- Bradley, H., & Esformes, J. D. (2014). Breathing pattern disorders and functional movement. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(1), 28-39.
- Caballero, C., Barbado, D., & Moreno, F. J. (2015). What COP and kinematic parameters better characterize postural control in standing balance tasks? *Journal of Motor Behavior*, 47(6), 550-562.
- Didier, H., Assandri, F., Gaffuri, F., Cavagnetto, D., Abate, A., Villanova, M., & Maiorana, C. (2021). The role of dental occlusion and neuromuscular behavior in professional ballet dancers' performance: A pilot study. *Healthcare*, 9(3), 251.
- Dowling, A. M., Steele, J. R., & Baur, L. A. (2001). Does obesity influence foot structure and plantar pressure patterns in prepubescent children? *International Journal of Obesity*, 25(6), 845-852.
- Ebben, W. P., Flanagan, E. P., & Jensen, R. L. (2008). Jaw clenching results in concurrent activation potentiation during the countermovement jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(6), 1850-1854.
- Faries, M. D., & Greenwood, M. (2007). Core training: Stabilizing the confusion. *Strength & Conditioning Journal*, 29(2), 10-25.
- Ferrillo, M., Marotta, N., Giudice, A., Calafiore, D., Curci, C., Fortunato, L., ... & de Sire, A. (2022). Effects of occlusal splints on spinal posture in patients with temporomandibular disorders: A systematic review. *Healthcare*, 10(4), 739.
- Francisco, S., Park, S., & Yu, S. (2007). The effects of abdominal draw-in maneuver on muscle activity of the trunk and legs during flat walking. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(2), 335-339.
- Gefen, A., Megido-Ravid, M., Itzhak, Y., & Arcan, M. (2002). Analysis of muscular fatigue and foot stability during high-heeled gait. *Gait & Posture*, 15(1), 56-63.
- Golomer, E., Crémieux, J., Dupui, P., Isableu, B., & Ohlmann, T. (1999). Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neuroscience Letters*, 267(3), 189-192.
- Gu, Y., Ren, X., Li, J., & Rong, M. (2010). Plantar pressure distribution during high-heeled Latin dancing. *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics*, 1(3), 296-305.
- Harrington, T., Crichton, K. J., & Anderson, I. F. (1993). Overuse ballet injury of the base of the second metatarsal: a diagnostic problem. *The American Journal of Sports Medicine*, 21(4), 591-598.
- Hodges, P. W., Sapsford, R., & Pengel, L. H. M. (2007). Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles. *Neurourology and Urodynamics*, 26(3), 362-371.
- Hwang, J.-H., Sung, K.-S., & Yi, C.-H. (2020). Effects of abdominal hollowing and bracing maneuvers on hip extension strength in prone standing position. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(2), 161-169.
- Julià-Sánchez, S., Álvarez-Herms, J., Cirer-Sastre, R., Corbi, F., & Burtscher, M. (2020). The influence of dental occlusion on dynamic balance and muscular tone. *Frontiers in Physiology*, 10, 1626.
- Juras, G., Slomka, K., Fredyk, A., Sobota, G., & Bacik, B. (2008). Evaluation of the Limits of Stability (LOS) balance test. *Journal of Human Kinetics*, 19, 39-52.
- Kang, Y., & Harris, L. J. (2000). Handedness and footedness in Korean college students. *Brain and Cognition*, 43(1-3), 268-274.
- McGill, S. M. (2007). *Low back disorders: Evidence-based prevention and rehabilitation*. Human Kinetics.
- Muramoto, Y., & Kuruma, H. (2022). Correction: Comparison between bracing and hollowing trunk exercise with a focus on the change in T2 values obtained by magnetic resonance imaging. *PLOS ONE*, 17(4), e0267928.
- Norrie, J. P., & Brown, S. H. M. (2020). Brace yourself: How abdominal bracing affects intersegmental lumbar spine kinematics in response to sudden loading. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 54, 102451.
- Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 72, 129-152.
- Park, H.-L., & Park, S.-K. (2014). Functional understanding of the lower extremity through biomechanical analysis of right and left leg during Releve Pointe. *Official Journal of the Korean Society of Dance Science*, 31(3), 95-106.
- Pinsault, N., & Vuillerme, N. (2009). Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during

- unperturbed stance. *Medical Engineering & Physics*, 31(2), 276-286.
- Ringhof, S., Stein, T., Hellmann, D., Schindler, H. J., & Potthast, W. (2016).** Effect of jaw clenching on balance recovery: Dynamic stability and lower extremity joint kinematics after forward loss of balance. *Frontiers in Psychology*, 7, 291.
- Rosenbaum, D., & Becker, H.-P. (1997).** Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot and Ankle Surgery*, 3(1), 1-14.
- Rowley, K. M., Jarvis, D. N., Kurihara, T., Chang, Y.-J., Fietzer, A. L., & Kulig, K. (2015).** Toe flexor strength, flexibility and function and flexor hallucis longus tendon morphology in dancers and non-dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 30(3), 152-156.
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2010).** The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions - A systematic review of the literature. *Gait & Posture*, 32(4), 436-445.
- Sakaguchi, K., Mehta, N. R., Abdallah, E. F., Forgione, A. G., Hirayama, H., Kawasaki, T., & Yokoyama, A. (2007).** Examination of the relationship between mandibular position and body posture. *CRANIO*[®], 25(4), 237-249.
- Tomita, Y., Tanaka, Y., Sako, K., Ono, Y., & Tanaka, M. (2021).** Effect of jaw clenching on postural adjustments to a predictable external perturbation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 57, 102512.
- Vera-Garcia, F. J., Elvira, J. L. L., Brown, S. H. M., & McGill, S. M. (2007).** Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 556-567.
- Williams, L. R., Ridge, S., Johnson, A., Arch, E., & Bruening, D. A. (2021).** The influence of the windlass mechanism on kinematic and kinetic foot joint coupling. *Journal of Foot and Ankle Research*.

뒤꿈치 들기 시 호흡 기법에 따른 발바닥 압력분포 차이

박수진¹, 이경옥²

¹이화여자대학교 체육학과 박사과정

²이화여자대학교 전 교수

[목적] 본 연구의 목적은 뒤꿈치 들기 시 세 가지 호흡 기법(복부 드로우-인 기법, 복부 브레이싱 기법, 치아 교합 기법)에 따른 족저압력분포의 차이를 구명하는 것이다.

[방법] 피험자는 경력 10년 이상의 만 20세~30세 전문 무용수 29명이다. 뒤꿈치 들기 시 호흡법에 따른 압력분포는 속도와 시선을 통제하고, 약 10초간 측정하였다. 세 가지 호흡 기법은 무작위로 순서를 정하였다. 압력분포는 노블(Novel GMBH)사의 이메드(Emed[®]-1e)를 사용하여, 피크압력, 접촉면적, 접촉시간, 압력 중심 이동곡선의 거리와 속도를 측정하였다. 족저 압력은 발가락 5개, 발 허리뼈 5개, 중족(midfoot) 그리고 후족(hindfoot)의 총 12영역(mask)으로 나누어 분석하였다.

[결과] 세 가지 호흡 기법 중 치아 교합은, 첫 번째 발허리뼈의 피크 압력이 유의하게 감소하였고, 두 번째 발허리뼈의 접촉시간이 유의하게 길었다. 또한, 압력 중심 이동거리가 유의하게 짧았다. 앞꿈치 유지기에서, 압력 중심 이동속도가 유의하게 감소하였다.

[결론] 치아 교합 기법은 피크 압력을 낮추고 접촉 시간과 면적을 늘리며, 압력 중심 이동을 줄임으로써 발바닥의 균형을 효율적으로 유지할 수 있음을 보여준다. 이는 발레 동작에서 안정성을 높이고 부상을 예방하는 데 효과적일 수 있다.

주요어

호흡 기법, 드로우-인 기법, 브레이싱 기법, 치아 교합 기법, 뒤꿈치 들기, 족저 압력분포