



Original Article

Relationship of Ball Speed with Kinematic and Kinetic Patterns during Pitching

Dong Chul Park¹, Se Jong Kim¹, Ji Ho Kang², Hyunggyu Jeon¹, Hyeong Jun Choi¹ and Sae Yong Lee^{1,3,4*}

¹Department of Physical Education, Yonsei University

²Health and Kinesiology, University of Nebraska at Omaha

³International Olympic Committee Research Centre Korea

⁴Institute of Convergence Science, Yonsei University

Article Info

Received 2024. 02. 07.

Revised 2024. 03. 25.

Accepted 2024. 06. 12.

Correspondence*

Sae Yong Lee

sylee1@yonsei.ac.kr

Key Words

Pitcher, Ground reaction force,

Drive leg, Stride leg

PURPOSE This study aimed to analyze the differences in ground reaction forces (GRF) and pelvis and trunk kinematic patterns between groups based on ball speed during pitching. **METHODS** Twenty-nine males were recruited for this study. Participants were categorized based on ball speed into high (HG), medium (MG), and low (LG) ball speed groups. Statistical analysis was performed using one-dimensional statistical parametric mapping (SPM1D) one-way analysis of variance to compare GRF and pelvis and trunk kinematic patterns, followed by Bonferroni post-hoc tests. **RESULTS** Drive leg anterior and resultant GRF were greater in the HG than in the LG ($p<0.001$). The posterior GRF of the stride leg in the HG was greater than in the LG ($p<0.008$). Additionally, the vertical GRF of the stride leg was greater in the HG than in the LG ($p<0.003$), as was the resultant GRF of the stride leg ($p<0.003$). **CONCLUSIONS** The GRF of the drive and stride legs was significantly related to ball speed, indicating that a pitching strategy to maximize the GRF of the drive and stride legs is required.

서론

효과적인 투구 동작은 디딤발과 축발의 지면반력(Ground reaction force, GRF)과 체간의 회전을 통해 운동량을 공까지 전달시켜 궁극적으로 빠른 공과 제구력을 갖추는 것을 목표로 한다(Calabrese, 2013). 빠른 구속과 제구력은 투수의 성공을 가능하는 가장 중요한 척도 중 하나이며(Whiteside et al., 2016), 그중에서도 투수의 성공은 공의 구속에 달려있다고 보고된다(Dillman et al., 1993).

구속 증가를 위한 많은 연구들 중 GRF는 공의 구속을 만들어 내는데 중요한 역할을 한다고 보고된다(Oyama & Myers, 2018). 투구 동작은 지면을 밀어 선형운동량(linear momentum)을 만들어 내며 상체로 전달되고, 디딤발이 땅에 닿은 후에 각운동량(angular momentum)을 만들어 낸다(Ramsey et al., 2014). 특히 하지에서부터 시작된 운동량은 골반과 몸통을 거쳐 궁극적으로 어깨, 팔꿈치, 손 순서대로 에너지가 전달되는 것을 목표로 한다(Calabrese,

2013). 따라서 최초의 운동량을 만들어내는 두 다리를 안정적으로 지지해주는 디딤발과 축발에서의 GRF는 중요하다.

디딤발(Stride leg)의 GRF와 구속과의 관계에 대해 파악한 McNally et al.(2015)의 연구에 따르면 디딤발의 수직지면반력(vertical ground reaction force, VGRF)과 제동력은 던지는 손목의 속도와 유의미한 관계를 나타냈으며, 디딤발의 VGRF와 제동력의 합력에서도 던지는 손목의 속도와 유의미한 관계를 보였다. 이는 디딤발의 GRF가 공의 구속과 관계될 수 있음을 시사했다. 축발의 GRF와 공의 구속과의 관계에 대해 파악한 Oyama & Mymer(2018)의 연구에 따르면 축발의 VGRF와 추진력은 각각 구속과 유의미한 관계가 관찰되지 않았지만, 축발의 VGRF와 추진력의 합력(resultant ground reaction force)은 공의 구속과 유의미한 관계가 있다고 보고되었기 때문에, 투구 시 축발의 GRF를 활용하는 것은 공의 구속 증가를 위해 중요한 요인이 될 수 있다.

GRF뿐 아니라 하지에서 생성된 운동량을 전달하는 축이 되는 골반과 몸통은 팔의 움직임을 만드는 기반을 만든다(Burkhart et al., 2003). 특히, 투구 시 나타나는 몸통 수평면(horizontal plane)의 각속도는 공의 구속에 기여한다고 보고된다(Luera et al., 2020). 몸통의 수평면의 움직임뿐만 아니라 시상면(sagittal plane)의 움직임

© 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.

에 대해 파악한 Matsuo et al.(2001)의 연구에 따르면 ball release 시 몸통의 굽힘 각속도에서 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다고 보고된다. 반면 Kageyama et al.(2014)의 연구에 따르면 몸통의 굽힘 각속도에서 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타났다고 보고되기 때문에 몸통의 움직임에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

기존의 연구는 공을 던질 때 특정 시점의 GRF와 관절의 움직임에 초점을 맞추었다. 이러한 특정 시점에서의 분석은 투구 동작에 대한 이해를 제공하지만, 전체적인 투구 동작에 대한 포괄적인 분석을 제한한다. 따라서 본 연구에서는 투수의 구속을 효과적으로 증가시키기 위해 와인드업(wind up)부터 팔로우스루(follow through)에 이르기까지 각 단계에서의 운동학적 및 운동역학적 패턴을 면밀히 분석하고자 하였다. 본 연구의 목적은 구속에 따른 집단 간 투구 동작 중 나타나는 운동학적, 운동역학적 패턴의 차이를 확인하는 것이다. 위와 같은 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- H1. 공의 구속이 높아짐에 따라 축발의 추진력, VGRF, 합력이 더 클 것이다.
- H2. 공의 구속이 높아짐에 따라 디딤발의 제동력, VGRF, 합력이 더 클 것이다.
- H3. 공의 구속이 높아짐에 따라 수평면에서 골반과 몸통의 각속도, 시상면에서 몸통의 각속도가 더 빠를 것이다.

연구방법

연구대상

본 연구는 연구대상자 모집공고문을 통해 총 29명을 모집하였으며, 중도 탈락자는 없었다. 연구대상자 포함 기준은 두 시즌 이상 투수 경험이 있고(Nissen et al., 2013), 근골격계 부상을 입지 않았거나 실험 참여 당시 이전 부상에서 완전히 회복된 성인 남성 엘리트 야구 선수가 모집되었다(Ramsey et al., 2014). 부상을 겪고 있거나, 통증 또는 근육통이 있는 연구대상자는 실험에서 제외되었다(Oyama et al., 2014). 연구대상자 29명 중 23명은 우투수, 6명은 좌투수였다. 본 연구에서는 공의 구속이 높은 순에서 낮은 순으로 3집단으로 분류하였다. 공의 구속이 높은 집단(high ball speed group, HG) 10명(ball speed: 122.25 ± 2.73 km, Age: 21.6 ± 2.99 years, Height: 176.99 ± 4.28 cm, Weight: 76.51 ± 5.73 kg), 공의 구속이 중간인 집단(medium ball speed group, MG) 10명(113.18 ± 2.41 km, 21.3 ± 1.77 years, 176.65 ± 4.87 cm, 85.01 ± 8.99 kg), 공의 구속이 낮은 집단(low ball speed group, LG) 9명(104.5 ± 2.09 km, 21.22 ± 1.79 years, 174.82 ± 4.85 cm, 78.71 ± 4.79 kg)을 모집하였다.

실험 측정 장비

본 연구를 수행하기 위해 총 8대의 카메라를 통해 동작분석이 진행되었다(VICON, MX-FX20, Oxford Metric LTD, Oxford, UK). 두 개의 지면반력기를 통해 GRF를 측정하였으며(ORG-6 AMTI, Watertown, MA, USA), 스피드건(speed gun)을 통해 공의 구속을

함께 측정하였다(Bushnell speed radar gun, CHN). 통계 분석은 매트랩 프로그램을 이용하였다(Mathworks, Natick, MA, USA).

실험절차

1. 실험과정

본 연구는 연세대학교 연구윤리위원회의 승인 후 진행되었다(7001988-202209-HR-1669-02). 실험 전 연구대상자의 동의 후에 체중, 신장이 측정되었다. 공을 던지기 전, 연구대상자는 시간 제약 없이 개별적인 워밍업(warming up)을 진행하였다(Scarborough et al., 2021). 투구는 6m 거리의 평지에서 이루어졌고, 연구대상자는 공을 네트에 투구하였다. GRF를 측정하기 위해 투구 시 축발은 지면반력기 위에 놓인 상태에서 투구하였다.

2. 데이터 수집

VICON(Oxford Metrics, London, UK) 전신 플러그인 보행 모델을 기반으로 연구대상자에게 반사 마커를 부착하고 동작분석을 수행했다(Crotin et al., 2014). 모든 운동학 및 운동역학 변수는 5개의 투구 중 속도가 가장 빠른 3번의 시도를 기준으로 분석되었다. GRF 데이터는 2000Hz로 수집하였으며, 체중으로 정규화되었다(Kageyama et al., 2014; Oyama et al., 2014). 운동학적 데이터는 250Hz에서 수집하였다. 디딤발 GRF의 초기 접지 시점을 결정하기 위해 디딤발의 VGRF가 10N이 넘어가는 시점부터 데이터를 수집하였다. 투구 동작은 선행연구에 따라 디딤발의 무릎이 가장 높게 올라가는 시점을 wind up, 디딤발 초기 접지 시점을 stride foot contact(SFC), 투구하는 어깨가 최대로 외회전 되는 시점을 maximal external rotation, (MER), 손목 관절 중심이 팔꿈치 관절 중심을 지나간 3프레임 이후의 시점을 ball release(BR), 어깨가 최대로 내회전 되는 시점을 maximal internal rotation(MIR)으로 정의하였다. 각 시점에 따른 phase로는 wind up부터 SFC까지 stride phase, SFC부터 MER까지 arm cocking phase, MER부터 BR까지 arm acceleration phase, BR부터 MIR까지 follow through phase로 정의하였다(Calabrese, 2013; Fleisig et al., 2022).

3. 통계 분석

본 연구에서는 공의 구속에 따라 투수들의 운동학 및 운동역학적 특성을 확인하였고, 각 구간에 필요한 투구 전략을 수립하기 위해 운동학 및 운동역학적 패턴의 차이를 통계적으로 검증할 수 있는 SPM1D(One dimensional statistical parametric mapping)를 이용한 일원 배치 분산 분석이 수행되었다(Pataky, 2010). 유의수준은 .05로 설정하였고, 집단 간 비교를 위해 Bonferroni 사후 검정이 수행되었다.

4. 연구 변인 및 데이터 분석

본 연구에서 분석한 운동학, 운동역학적 변인은 <Table 1>과 같다.

결과

SPM1D 분석 결과 축발의 추진력이 47%~57% 구간에서 HG가 LG보다 더 컸다(Figure1). 축발의 합력에서도 41%~59% 구간에서 HG

Table 1. Study variables

| Category | Variable | Criteria | Reference |
|-----------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|
| Ball speed, (km) | | | |
| Trunk & Pelvis | Trunk angular velocity, (°/s) | The angular velocity of the trunk was calculated from the initial contact of the stride leg to the ball release. | (Orishimo et al., 2023) |
| | Pelvic angular velocity, (°/s) | The angular velocity of the pelvis was calculated from the initial contact of the stride leg to the ball release. | |
| | Trunk flexion angular velocity, (°/s) | The angular velocity of trunk flexion from maximal shoulder external rotation to ball release was calculated. | (Matsuo et al., 2001) |
| Ground reaction force | Drive leg anterior GRF, (N/BW) | The data from the wind-up to the follow-through phase were extracted. | (Howenstein et al., 2020) |
| | Stride leg posterior GRF, (N/BW) | The data from the stride leg initial contact to the follow-through phase was extracted. | |
| | Drive leg VGRF, (N/BW) | The data from the wind-up to the follow-through phase were extracted. | (McNally et al., 2015) |
| | Stride leg VGRF, (N/BW) | The data from the stride leg initial contact to the follow-through phase was extracted. | |
| | Drive leg resultant GRF, (N/BW) | The data from the wind-up to the follow-through phase, the resultant GRF (VGRF and anterior GRF) were extracted. | (Oyama & Mymer, 2018) |
| | Stride leg resultant GRF, (N/BW) | The data from the stride leg initial contact to the follow-through phase, the resultant GRF (VGRF and posterior GRF) were extracted. | |

BW, Body weight; N, Newton

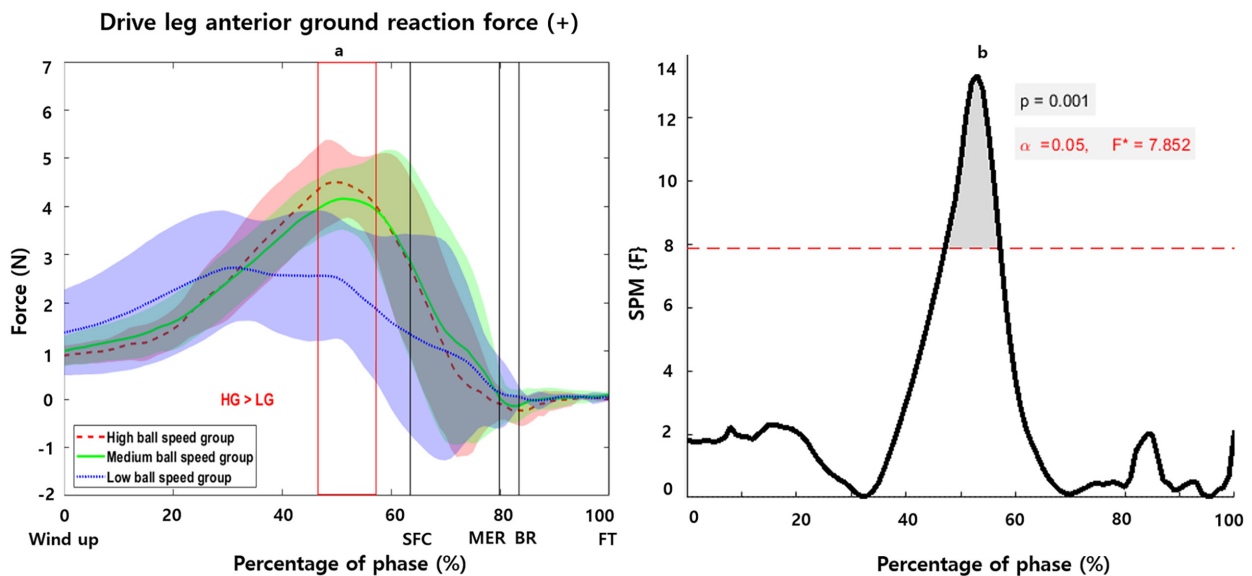


Fig. 1. SPM analysis results of drive leg anterior GRF, mean±SD

a, Group-based graphs of drive leg anterior GRF according to ball speed; b, Analysis of significant inter-group differences in drive leg anterior GRF; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release; FT, Follow through; The red interval highlights the significant region.

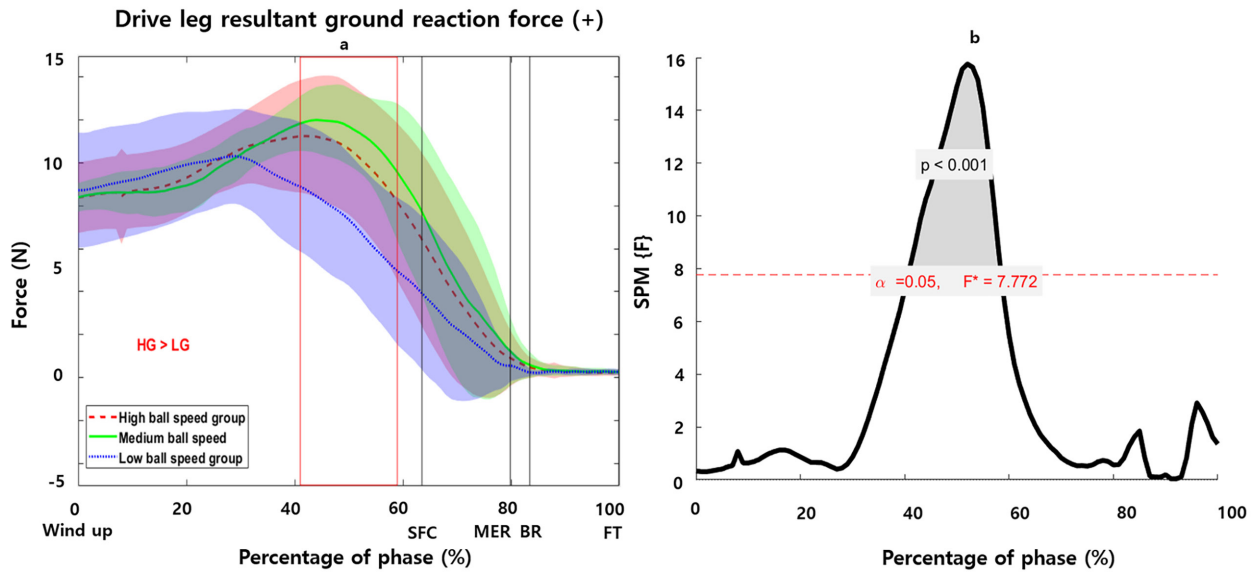


Fig. 2. SPM analysis results of drive leg resultant GRF, mean±SD
 a, Group-based graphs of drive leg resultant GRF according to ball speed; b, Analysis of significant inter-group differences in drive leg resultant GRF; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release; FT, Follow through; The red interval highlights the significant region.

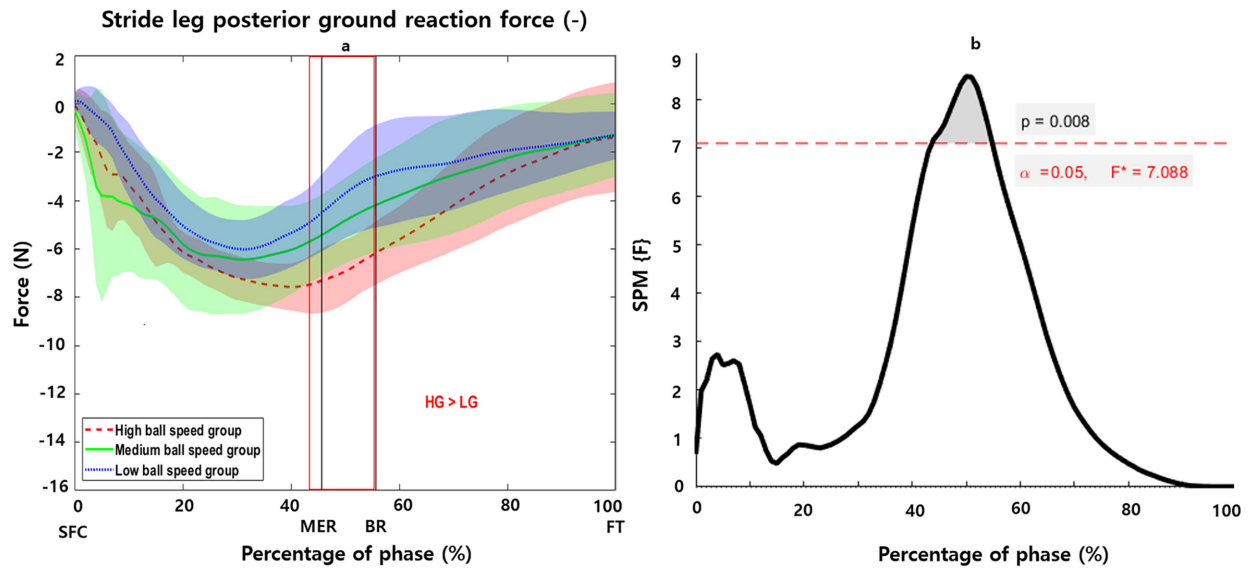


Fig. 3. SPM analysis results of stride leg posterior GRF, mean±SD
 a, Group-based graphs of stride leg posterior GRF according to ball speed; b, Analysis of significant inter-group differences in stride leg posterior GRF; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release; FT, Follow through; The red interval highlights the significant region.

가 LG보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다(Figure 2). 디딤발의 제동력은 44%~55% 구간에서 HG가 LG보다 더 컸고(Figure 3), 디딤발의 VGRF는 48%~58% 구간에서 HG가 MG보다 더 컸다(Figure 4). 또한 디딤발의 합력은 48%~59% 구간에서 HG가 MG와 LG보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다(Figure 5). 축발의 VGRF, 수평면에서 골반

과 몸통의 각속도, 시상면에서 몸통의 각속도는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

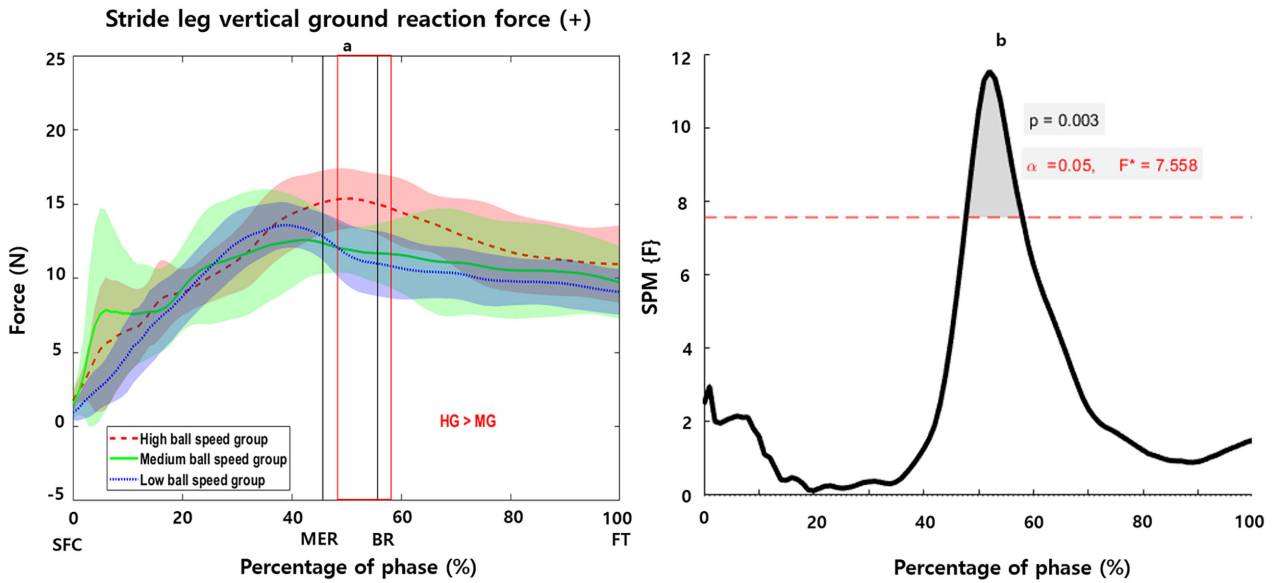


Fig. 4. SPM analysis results of stride leg VGRF, mean±SD
 a, Group-based graphs of stride leg vertical GRF according to ball speed; b, Analysis of significant inter-group differences in stride leg vertical GRF; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release; FT, Follow through; The red interval highlights the significant region.

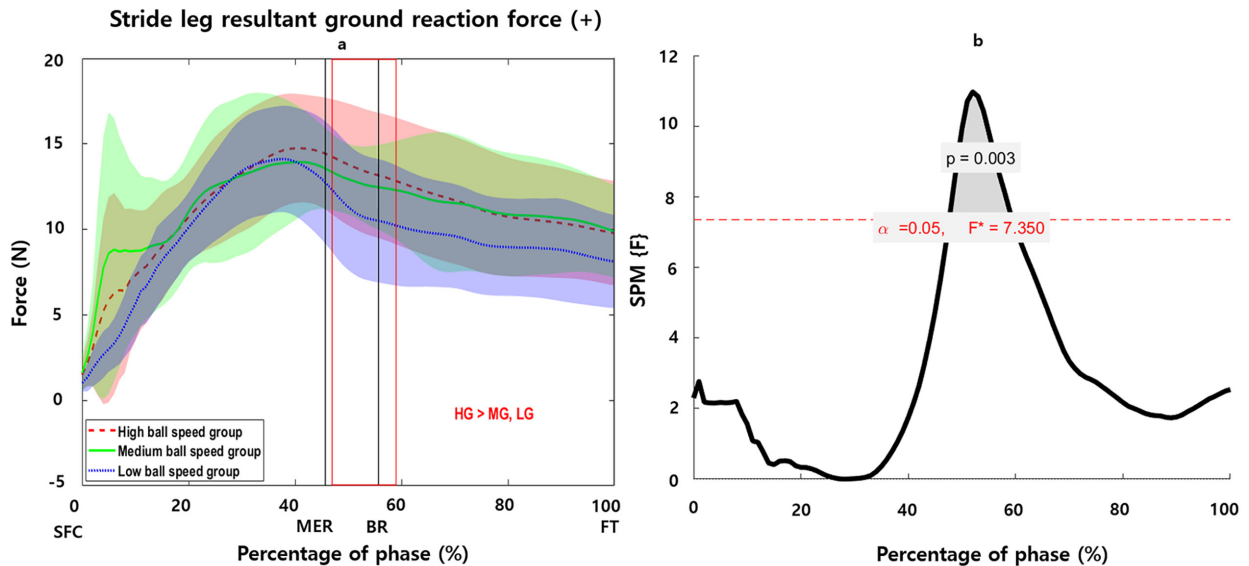


Fig. 5. SPM analysis results of stride leg resultant GRF, mean±SD
 a, Group-based graphs of stride leg resultant GRF according to ball speed; b, Analysis of significant inter-group differences in stride leg resultant GRF; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release; FT, Follow through; The red interval highlights the significant region.

논의

본 연구에서는 축발의 추진력, 디딤발의 제동력과 합력이 HG가 LG보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 축발의 합력은 HG가 MG와 LG보다 더 큰 것을 확인할 수 있었고, 디딤발의 VGRF는 HG가 MG보

다 더 컸다.

본 연구 결과에 따르면 최초의 운동량을 만들어내는 축발의 GRF는 중요하며 특히 수직으로 눌러주는 힘과 동시에 앞을 향한 추진력 커질수록 구속과 관계될 수 있음을 시사한다. 본 연구 결과는 축발의 VGRF와 추진력의 합력이 구속과 관계가 있음이 보고된 선행연

구와 같은 결과를 나타냈다(Oyama & Myers, 2018). 디딤발의 제동력은 HG가 LG보다 더 큰 것을 확인할 수 있었으며, 디딤발의 제동력이 구속과 관계가 있음이 보고된 선행연구와 같은 결과를 나타냈다(Wasserberger & Giordano, 2023). 또한 본 연구에서 디딤발의 제동력과 VGRF의 합력이 HG가 MG와 LG보다 더 컸다. 본 연구 결과는 디딤발의 VGRF와 제동력의 합력이 공의 구속과 관계가 있다고 보고된 선행연구와 같은 결과를 나타냈으며(Kageyama et al., 2014), 이는 투구 시 디딤발의 VGRF와 제동력을 동시에 극대화하는 투구 전략을 취하는 것은 공의 구속 향상에 도움이 될 수 있음을 시사했다. 반면 디딤발의 VGRF는 HG가 MG보다 더 큰 것으로 나타났지만, HG와 LG에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 디딤발의 VGRF가 독립적으로 공의 구속 향상에 기여하지 않을 수 있다는 것을 확인할 수 있으며, 디딤발의 VGRF 외에 축발의 추진력과 합력, 디딤발의 제동력과 합력이 복합적으로 작용하여 공의 구속 향상에 기여했을 수 있음을 유추할 수 있다.

본 연구는 기존 연구와 다르게 투구 시 어떤 구간에서 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타나는지 확인하고자 하였다. 따라서 본 연구 결과는 현장에서 투구 시 어떤 시점에서 GRF를 극대화해야 하는지에 대한 기초자료로 제시될 수 있다. 선행연구에 따르면 투구 시 하지의 활용이 공의 구속, 정확성 및 안정적인 투구 동작을 달성하는데 중요하다고 보고되며(Friesen et al., 2021), 특히 투수의 경기력 향상과 부상 방지를 위해 하지와 체간의 적절한 활용이 필요하다고 보고된다(Barrentine et al., 1998; Burkhart et al., 2003). 본 연구에서도 축발과 디딤발의 GRF가 구속과 관계될 수 있다는 결과를 나타냈기 때문에 두 다리를 지지하며 GRF를 만들어내는 축발과 디딤발의 역할은 중요하고, 축발과 디딤발의 GRF를 극대화 시킬 수 있는 투구 전략이 필요하다.

수평면에서 골반과 몸통의 각속도는 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았으며, 본 결과는 Luera et al.(2020)의 연구에서 몸통의 각속도가 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이를 나타냈음이 보고된 선행연구와 상이한 결과를 나타냈다. 또한 본 연구는 몸통의 굽힘 각속도에서도 구속과 유의한 차이가 나타나지 않았다. 본 결과는 몸통의 굽힘 각속도가 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다고 보고된 Matsuo et al.(2001)의 연구와 동일한 결과를 나타냈지만, 몸통의 굽힘 각속도가 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타났다고 보고된 Kageyama et al.(2014)의 연구와는 상이한 결과가 나타났다. 선행연구에 따르면 디딤발의 최초 접지 시 투수마다 골반이 회전되는 정도가 차이가 있음을 나타냈으며(Dillman et al., 1993; Stodden et al., 2001), 이는 디딤발이 지면에 접지하는 시점에 따라 골반과 몸통의 운동학적 특성이 달라질 수 있음을 시사했다. 본 연구는 실제 마운드의 높이(25.4cm)에서 실험이 진행되지 않았기 때문에 지면과 디딤발의 접지 시점에 차이가 발생하여 골반과 몸통의 운동학적 움직임이 달라졌을 가능성이 존재한다. 따라서 추후 연구에서는 실제 마운드 높이가 조성된 환경에서 골반과 몸통의 운동학적 패턴에 대한 분석이 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구는 투수 경험이 있는 성인 엘리트 야구 선수들을 대상으로 실험이 진행되었기에, 연구의 재현성에 대한 신뢰도를 높일 것으로 기대된다. 하지만 본 결과를 모든 연령대에 적용하기에는 제한적일 수 있기 때문에 추후 연구는 청소년 투수들을 대상으로 연구 범위를 확장하여 실험을 진행할 필요가 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 투구 시 활용되는 축발과 디딤발의 GRF가 공의 구속과 관계될 수 있음을 시사하며, 투구 시 어떤 시점에서 축발과 디딤발의 GRF를 극대화할 수 있을지에 대한 통찰을 얻을 수 있다. 추후 연구에서는 투구 시 GRF를 높이기 위한 효과적인 훈련에 대한 고찰이 필요하며, 실제 마운드와 투수 거리가 갖춰진 환경과 다양한 연령대를 대상으로 한 추가적인 연구가 필요하다.

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

Conceptualization: DC Park, SY Lee, Data curation: DC Park, Formal analysis: SJ Kim, Methodology: SY Lee, Project administration: DC Park, HJ Choi, Visualization: JH Kang, Writing-original draft: DC Park, Writing-review & editing: HG Jeon

참고문헌

- Barrentine, S. W., Fleisig, G. S., Whiteside, J. A., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1998). Biomechanics of windmill softball pitching with implications about injury mechanisms at the shoulder and elbow. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 28(6), 405-414.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D., & Kibler, W. B. (2003). The disabled throwing shoulder: Spectrum of pathology part I: pathoanatomy and biomechanics. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 19(4), 404-420.
- Calabrese, G. J. (2013). Pitching mechanics, revisited. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(5), 652-660.
- Crotin, R. L., Kozlowski, K., Horvath, P., & Ramsey, D. K. (2014). Altered stride length in response to increasing exertion among baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(3), 565-571.
- Dillman, C. J., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (1993). Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(2), 402-408.
- Fleisig, G. S., Slowik, J. S., Wassom, D., Yanagita, Y., Bishop, J., & Diffendaffer, A. (2022). Comparison of marker-less and marker-based motion capture for baseball pitching kinematics. *Sports Biomechanics*.
- Friesen, K. B., Shaw, R. E., Shannon, D. M., Dugas, J. R., Andrews, J. R., & Oliver, G. D. (2021). Single-leg squat compensations are associated with softball pitching pathomechanics in adolescent softball pitchers. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(3).
- Howenstein, J., Kipp, K., & Sabick, M. (2020). Peak horizontal ground reaction forces and impulse correlate with segmental energy flow in youth baseball pitchers. *Journal of Biomechanics*, 108, 109909.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H., & Maeda, A. (2014). Kinematic and kinetic profiles of trunk and lower limbs during baseball pitching in collegiate pitchers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(4), 742-750.
- Luera, M. J., Dowling, B., Muddle, T. W. D., & Jenkins, N. D. M. (2020). Differences in rotational kinetics and kinematics for professional baseball pitchers with higher versus lower pitch velocities. *Journal of Applied Biomechanics*, 36(2), 68-75.
- Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 1-13.
- McNally, M. P., Borstad, J. D., Oñate, J. A., & Chaudhari, A. M. W. (2015). Stride leg ground reaction forces predict throwing velocity in adult recreational baseball pitchers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2708-2715.
- Nissen, C. W., Solomito, M., Garibay, E., Öunpuu, S., & Westwell, M. (2013). A biomechanical comparison of pitching from a mound versus flat ground in adolescent baseball pitchers. *Sports Health*, 5(6), 530-536.
- Orishimo, K. F., Kremenec, I. J., Mullaney, M. J., Fukunaga, T., Serio, N., & McHugh, M. P. (2023). Role of pelvis and trunk biomechanics in generating ball velocity in baseball pitching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(3), 623-628.
- Oyama, S., & Myers, J. B. (2018). The relationship between the push off ground reaction force and ball speed in high school baseball pitchers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1324-1328.
- Oyama, S., Yu, B., Blackburn, J. T., Padua, D. A., Li, L., & Myers, J. B. (2014). Improper trunk rotation sequence is associated with increased maximal shoulder external rotation angle and shoulder joint force in high school baseball pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(9), 2089-2094.
- Pataky, T. C. (2010). Generalized n-dimensional biomechanical field analysis using statistical parametric mapping. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1976-1982.
- Ramsey, D. K., Crotin, R. L., & White, S. (2014). Effect of stride length on overarm throwing delivery: A linear momentum response. *Human Movement Science*, 38, 185-196.
- Scarborough, D. M., Leonard, N. K., Mayer, L. W., Oh, L. S., & Berkson, E. M. (2021). The association of baseball pitch delivery and kinematic sequence on stresses at the shoulder and elbow joints. *Journal of Sports Science & Medicine*, 20(1), 94-100.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., Lyman, S. L., & Andrews, J. R. (2001). Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(2), 164-172.
- Wasserberger, K. W., & Giordano, K. A. (2023). Ground reaction forces in baseball pitching: Temporal associations with pitch velocity among high-velocity pitchers. *Sports Biomechanics*.
- Whiteside, D., Martini, D. N., Zernicke, R. F., & Goulet, G. C. (2016). Ball speed and release consistency predict pitching success in Major League Baseball. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1787-1795.

투구 시 공의 구속과 관계되는 운동학적, 운동역학적 패턴 분석

박동철¹, 김세종¹, 강지호², 전형규¹, 최형준³, 이세용⁴

¹연세대학교 박사과정

²네브라스카 대학교 석사과정

³연세대학교 석사과정

⁴연세대학교 정교수

[목적] 본 연구의 목적은 공의 구속에 따른 집단 간 지면반력(ground reaction forces, GRF)과 골반 및 몸통에서 나타나는 각속도의 패턴을 비교하는 것이다.

[방법] 총 29명의 연구대상자가 모집되었다. 연구대상자는 공의 구속이 높은 순서대로 high ball speed group(HG), medium ball speed group(MG), low ball speed group(LG) 총 3그룹으로 분류되었다. 집단 간 GRF와 골반, 몸통의 운동학적 비교를 위해 SPM1D 일원 배치 분산 분석 및 Bonferroni 사후 검정이 수행되었다.

[결과] 축발의 추진력과 합력이 HG가 LG보다 더 큰 결과를 나타냈다($p < .001$). 디딤발의 제동력은 HG가 LG보다 더 큰 결과를 나타냈으며($p < .008$), 디딤발의 수직 지면반력은 HG가 MG보다 더 큰 결과를 나타냈다($p < .003$). 또한 디딤발의 합력에서는 HG가 MG와 LG보다 더 큰 결과를 나타냈다($p < .003$).

[결론] 축발과 디딤발의 GRF는 구속에 따른 집단 간 유의미한 차이가 있었다. 따라서 공의 구속과 관계되는 축발과 디딤발의 GRF를 극대화하기 위한 투구 전략이 필요하다.

주요어

투수, 지면반력, 축발, 디딤발