

Original Article

Ball Speed and Kinematic, Kinetic Differences According to Stride Length During Pitching

Dong Chul Park¹, Sae Yong Lee¹, Joon Haeng Cho², Kiwoong Cho² and Byong Hun Kim^{3*}

¹Department of Physical Education, Yonsei University

²Sports Science Technology Company

³Department of Sports Medicine, Dongguk University, Wise Campus

Article Info

Received 2024. 07. 16.

Revised 2024. 12. 18.

Accepted 2024. 12. 24.

Correspondence*

Byong Hun Kim

bhkim2022@dongguk.ac.kr

Key Words

Pitcher, Ground reaction force,

Pelvis, Trunk

PURPOSE This study analyzed differences in ball speed and kinematic, kinetic characteristics according to stride length. **METHODS** Forty participants recruited for the study were divided into two groups based on stride length: an over stride group (overstride, OS) and an under stride group (understride, US). Independent sample *t*-tests were conducted to analyze differences in pelvis and trunk kinematics, ground reaction forces (GRF), and timing of pitch between groups. **RESULTS** Significant differences were found between groups in drive leg GRF impulse, pelvis, trunk closed angle and pelvic angular velocity ($p < .05$). Furthermore, the OS had statistically later pitching timings than the US at stride foot contact, maximal external rotation, and ball release phases ($p < .05$). **CONCLUSIONS** The maximized drive leg GRF impulse created a wider stride, significantly increasing the pelvis and trunk's opening angles. Additionally, the OS displayed characteristics of later pitching timings compared to the US. However, since no significant differences in ball speed were observed between groups based on stride length, perhaps stride length does not contribute directly to ball speed. Future research should investigate optimal stride length tailored to individual flexibility and physical characteristics.

서론

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).

구속에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위한 많은 연구 중 두 발 사이의 보폭은 구속과 관련이 있다고 보고된다(Lee et al., 2021). Manzi et al.(2021)의 연구에 따르면 투구 시 보폭이 10% 증가할 때마다 공의 구속이 0.9m/s 증가하며, Ramsey et al.(2014)의 연구에서도 보폭 증가가 선형운동량(linear momentum)의 증가로 이어진다고 보고하였다. 극대화된 보폭은 공의 구속을 증가시키는 역할을 하기 때문에 보폭은 마운드의 경사를 이용하여 큰 에너지를 생성하기 위한 중요한 역학적 변수 중 하나이다(Fortenbaugh et al.,

2009; Ramsey et al., 2014).

투구 시 보폭과 축발, 디딤발의 지면반력과의 관계에 대해 분석한 Ramsey & Crotin(2019)의 연구에 따르면 보폭이 넓은 투구 동작이 보폭이 좁은 투구 동작보다 축발의 추진력과 충격량, 디딤발의 제동력과 충격량이 더 컸음을 나타냈다. 축발의 추진력과 충격량이 보폭을 넓히는 데 중요한 역할을 하며, 넓어진 보폭은 디딤발의 제동력과 충격량에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 보폭의 증가와 공의 구속 사이에는 유의미한 관계가 발견되지 않았다. 이는 보폭이 공의 구속과 직접적인 관계가 없을 수 있음을 나타내며, 이에 따라 보폭과 공의 구속과의 관계에 대한 추가적인 연구가 필요함을 시사했다.

또한 보폭은 골반과 몸통의 운동학적 움직임에도 큰 영향을 미친다. Stodden et al.(2006)의 연구에 따르면, 보폭은 선형운동량과 운동량의 전달에 영향을 미치며, 이를 통해 골반과 몸통의 회전 움직임에도 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. Solomito et al.(2023)의 연구에서는 보폭이 10% 증가할 때, 골반과 몸통이 홉플레이트 방향으로 각각 6°와 7° 더 열렸지만, 보폭에 따른 골반과 몸통의 각도

© 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.

변화가 공의 구속과 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 이와 관련하여, Dowling et al.(2022)의 연구에서도 디딤발의 최초 접지 시 골반의 각도에 따른 집단 간 보폭을 비교하였으며, 골반이 홉플레이트 방향으로의 열림 각도가 큰 집단이 골반의 열림 각도가 적은 집단보다 넓은 보폭을 가지고 있는 것을 확인하였다. 집단 간 골반의 각속도에 따른 차이는 나타나지 않았지만, 골반의 열림 각도가 크고 보폭이 넓은 집단이 골반의 열림 각도가 적고 보폭이 좁은 집단에 비해 공의 구속이 더 빠른 특성을 갖는 것을 보였다. 기존 연구들은 공통적으로 넓은 보폭이 골반과 몸통의 열림에 관여한다고 보고되지만, 넓어진 보폭으로 인한 골반과 몸통의 열림이 공의 구속과도 관계가 있는지에 대한 결과는 상이하기 때문에 추가적인 연구가 필요함을 시사한다. 또한 투구 시 팔에 운동량을 전달하는 골반과 몸통의 움직임은 공의 구속에 중요한 역할을 하며, 골반과 몸통의 각속도는 궁극적으로 팔과 공까지 전달되는 운동량을 증가시켜 공의 구속 증가에 기여한다고 보고된다(Stodden et al., 2005). 또한 디딤발이 지면에 닿는 시점에 나타나는 골반과 몸통의 분리각(pelvis-trunk separation)은 팔까지 에너지 전달의 효율을 높여 공의 구속에 기여한다(Luera et al., 2020). 이처럼 투구 동작 중 나타나는 골반과 몸통에서의 움직임은 투구 동작에서 중요한 요소라고 할 수 있기에, 본 연구에서는 보폭에 따른 집단 간 골반과 몸통의 운동학적 요인을 파악하고자 하며, 이와 함께 공의 구속에도 유의미한 차이가 나타나는지 확인하고자 한다.

대부분 투수의 보폭과 관련된 기존 연구는 서양인을 대상으로 하였으며 프로 선수들을 대상으로 진행한 연구는 제한적이며, 선행연구에 따르면 서양인과 동양인의 투구 동작은 다르게 나타날 수 있다고 보고된다(Oi et al., 2019). 따라서 본 연구에서는 동양인 프로 선수를 대상으로 하여 동양인에게 일반화 될 수 있는 실험 결과를 도출하고자 하였으며, 선수의 숙련도에 따른 차이에서 나타날 수 있는 제한점을 보완하고자 하였다.

또한 Crotin et al.(2015)의 연구에 따르면 투구 시 보폭에 따라 투구 동작의 각 시점에서 나타날 수 있는 시점이 달라질 수 있다고 보고된다. 투구 시 각 시점에 따른 차이에 따라 신체의 운동학적 요인에서 변화가 발생할 수 있기에, 본 연구에서는 보폭에 따른 투구 동작의 시점도 함께 파악하여 집단 간 투구 동작의 각 시점에서 나타날 수 있는 차이도 함께 확인하고자 하였다. 위와 같은 목표를 달성하기 위해 보폭이 넓은 집단(overstride, OS)과 보폭이 좁은 집단(understride, US)으로 나눠 실험을 진행하였다. 본 연구의 목적은 보폭에 따른 두 집단 간 공의 구속과 운동학적 및 운동역학적 특성, 투구 시점의 차이를 확인하는 것이며, 이에 따른 연구 가설은 다음과 같다.

Hypothesis 1: OS가 US보다 공의 구속이 더 빠를 것이다.

Hypothesis 2: OS가 US보다 골반과 몸통의 열림 각도가 더 클 것이다.

Hypothesis 3: OS가 US보다 축발과 디딤발의 지면반력이 더 클 것이다.

Hypothesis 4: OS가 US보다 지연된 투구 시점을 나타낼 것이다.

연구방법

연구대상

연구에 필요한 연구대상자의 수를 산정하기 위해 G-power 분석을 수행하였다. 연구대상자 수의 선정 기준은 $\alpha = .05$ 및 $1-\beta = .90$ 의 양측 검정을 시행하였고, 총 37명을 제안하였으며, 중도 탈락 확률을 고려하여 총 40명을 모집하였다. 본 연구의 대상자는 한국야구위원회(Korea baseball organization)에 등록되어있는 프로야구선수들을 대상으로 연구가 진행되었다. 모집된 40명의 연구대상자 중 27명은 우투수, 13명은 좌투수였으며, 모두 오버핸드(overhand) 투수들이 모집되었다. 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). 신장에 따라 정규화된 보폭을 기준으로 보폭이 넓은 순서에 따라 두 집단으로 나누었다. 집단의 인구통계학적 특성은 OS 20명(age: 22.35 ± 2.56 year, height: 184.75 ± 4.25 cm, weight: 94.7 ± 11.29 kg), US 20명(23.9 ± 2.79 year, 182.7 ± 6.72 cm, 91.35 ± 8.75 kg)이 모집되었다.

실험 측정 장비

본 연구를 수행하기 위해 총 10대의 카메라를 통해 동작분석이 진행되었다(Vicon NEXUS 2 system, Oxford Metric Ltd, Oxford, UK). 두 개의 지면반력기를 통해 지면반력을 측정하였으며(OPT-SC AMTI Watertown, MA, USA), 스피드건(speed gun)을 통해 공의 구속을 함께 측정하였다(STALKER PRO II RADAR, USA).

실험절차

실험과정

본 연구는 연세대학교 연구윤리위원회의 승인 후 진행되었다(7001988-202411-HR-2425-03). 모든 연구대상자에게 실험 전 연구에 대한 목적을 충분히 설명하고 연구대상자의 동의 후에 실험을 진행하였다. 공을 던지기 전, 연구대상자는 시간 제약 없이 개별적인 워밍업(warming up)을 진행하였다(Scarborough et al., 2021). 투구는 18.44m 거리의 마운드에서 이루어졌고, 연구대상자는 공을 네트에 투구하였다. 지면반력을 측정하기 위해 투구 시 축발(drive leg)은 지면반력기 위에 놓인 상태에서 투구하였다(Figure 1).

데이터 수집

VICON(Oxford Metrics, London, UK) 전신 플러그인 보행 모델(Plug in gait full-body model)을 기반으로 연구대상자에게 반사 마커를 부착하고 동작분석을 수행했다(Crotin et al., 2014). 총 38개의 반사 마커를 부착하였으며, 마커는 right/left front head (RFHD, LFHD), right/left back head (RBHD, LBHD), clavicle (CLAV), sternum (STRN), right/left shoulder (RSHO, LSHO), right/left upper arm (RUPA, LUPA), right/left elbow



Fig. 1. Experimental environment

(RELB, LELB), right/left forearm (RFRM, LFRM), right/left wrist (RWRA, RWRB, LWRA, LWRB), right/left finger (RFIN, LFIN), 7th cervical vertebra (C7), 10th thoracic vertebra (T10), right/left anterior superior iliac spine (RASI, LASI), right/left posterior superior iliac spine (RPSI, LPSI), right/left thigh (RTHI, LTHI), right/left knee (RKNE, LKNE), right/left tibia (RTIB, LTIB), right/left ankle (RANK, LANK), right/left heel (RHEE, LHEE), right/left toe (RTOE, LTOE)에 부착하였다. 모든 운동학 및 운동역학 변수는 10번의 투구 중 속도가 가장 빠른 3번의 시도를 기준으로 분석되었다. 모든 데이터는 스트라이크존에 들어가는 투구만 수집하였다. 지면반력 데이터는 1200Hz로 수집하였으며, 운동학적 데이터는 300Hz에서 수집하였다. 4차 저역통과 필터(fourth order, zero-lag Butterworth filter, cutoff frequency of 13.4 Hz)를 적용하였으며(Luera et al., 2020), 디딤발 GRF의 초기 접지 시점을 결정하기 위해 디딤발의 VGRF가 10N이 넘어가는 시점부터 데이터를 수집하였다. 지면반력 데이터는 체중으로 정규화하였다(Kageyama et al., 2014; Oyama et al., 2014). 골반과 몸통의 각도는 값이 양수일수록 흉플레이트 쪽으로의 열림각을, 값이 음수일수록 닫힘각을 나타냈다. 투구 동작은 선행 연구에 따라 디딤발의 무릎이 가장 높게 올라가는 시점을 와인드업(wind up), 디딤발 초기 접지 시점을 (stride foot contact, SFC), 투구하는 어깨가 최대 외회전 되는 시점을 (maximal external rotation, MER), 손목 관절 중심이 팔꿈치 관절 중심을 지나간 3프레임 이후의 시점을 볼 릴리즈(ball release, BR), 투구하는 어깨가 최대 내회전 되는 시점을 팔로우스루(follow through)로 정의하였으며(Calabrese, 2013; Fleisig et al., 2022), 모든 투구 동작을 0%에서 100%까지 정규화하여 각 구간의 시점을 나타냈다.

통계 분석

본 연구에서 투구 시 보폭에 따른 집단 간 골반, 몸통의 운동학적 변인 및 축발, 디딤발의 지면반력의 비교를 위해 Levene 검정을 통해 정규분포를 확인 후($p \geq .05$), 독립표본 t -검정을 수행하였다. Cohen's d 를 통해 효과크기를 산출하였으며, 효과크기는 다음과 같은 기준으로 해석된다: 1) 작음, $.2 \leq d \leq .49$; 2) 중간, $.5 \leq d \leq .79$; 3) 큼, $d \geq .8$. 통계 분석은 SPSS 프로그램을 이용하였다(SPSS Statistics 27, IBM Corp, NY, USA).

연구 변인 및 데이터 분석

본 연구에서 분석한 운동학, 운동역학적 변인은 <Table 1>과 같다. 모든 데이터 프로세싱은 Labview 6.1 (National Instruments, USA)을 사용하여 변인들을 추출하였다.

결과

독립표본 t -검정 결과 축발 충격량, 골반 닫힘각, 몸통 닫힘각, 골반 각속도는 보폭에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타났다<Table 2>. 구속, 축발 추진력, 디딤발 제동력, 디딤발 충격량, 골반 몸통 분리각, 몸통 각속도는 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 보폭에 따른 집단 간 투구 시점에서 SFC와 MER, BR에서 OS가 US보다 통계적으로 더 늦은 투구 시점을 나타내는 것을 확인하였다<Table 3>, <Figure 2>.

논의

본 연구에서는 OS가 US보다 축발의 충격량이 더 큰 것을 확인할 수 있었으며, SFC 시 골반과 몸통이 OS가 US보다 더 흉플레이트 쪽으로 열린 상태를 나타내는 것을 확인하였다. 골반 각속도에서도 OS가 US보다 더 빠른 각속도를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 각 투구 시점을 나타내는 지표인 SFC, MER, BR에서 OS가 US보다 더 늦은 투구 시점을 갖는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 축발의 추진력이 OS와 US 사이에서 유의미한 차이가 나타나지 않았지만, 축발의 충격량은 OS가 US보다 더 컸다. 본 결과는 보폭이 넓은 집단의 충격량이 보폭이 좁은 집단보다 충격량이 더 높았음이 확인된 Ramsey & Crotin(2019)과 같은 결과를 나타냈으며, 이는 축발의 순간적인 추진력보다 지속적으로 지면을 밀어내는 투구 전략을 취하는 것이 보폭의 증가에 기여했을 수 있음을 유추할 수 있다.

OS는 디딤발 접지 시 US보다 골반과 몸통이 더 열렸음을 확인할 수 있었다. 본 결과는 디딤발 접지 시 보폭과 골반, 몸통의 각도와 관계에 대해서 파악한 선행연구와 같은 결과를 나타냈다(Solomito et al., 2023). 골반 열림 각도에 따라 두 집단으로 나뉜 공의 구속과 어깨와 팔꿈치에 가해지는 force와 torque의 관계에 대해 확인한 Manzi et al.(2022)의 연구에 따르면 골반 열림의 각도에 따라 어깨 및 팔꿈치에 가해지는 force와 torque는 유의미한 관계가 나타나지 않았으며, Solomito et al.(2023)의 연구에서도 보폭에 따른 집단 간 팔꿈치와 어깨에 가해지는 moment와는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구에서는 어깨와 팔꿈치의 운동역학적 변인에 대해서 파악하지 않았지만, 보폭이 넓어짐에 따라 골반과 몸통의 열림 각이 컸던 결과를 보았을 때, 투수들이 하지의 운동학적 특성에 의존하기보다 개인의 신체적 특성에 맞춰 투구 동작에 대한 기술을 개발해 나가는 것이 필요할 수 있음을 유추할 수 있다.

공의 구속에서는 보폭에 따른 두 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 보폭이 독립적으로 공의 구속에 기여하지 않을 가능성이 있음을 시사한다. 본 결과는 Solomito et al.(2023)와 Crotin et al.(2014)의 연구에서 보폭과 공의 구속이 유의미한 결과

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 closed angle, (°)	The angle of the pelvis and trunk at the stride leg initial contact to the ground.	(Oi et al., 2018)
	Pelvic closed angle, (°)	The angle of the pelvis and trunk at the stride leg initial contact to the ground.	
	Pelvis-trunk separation angle, (°)	The pelvis-trunk separation angle is measured when the stride leg initial contact to the ground.	(Lin et al., 2021)
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)
	Drive leg anterior GRF impulse, (Ns/BW)	The integrated value of anterior GRF from the drive leg during the wind-up to when the stride leg initial contact to the ground was calculated.	
	Stride leg posterior GRF, (N/BW)	The data from the stride leg initial contact to the follow-through phase was extracted.	
	Stride leg posterior GRF impulse, (Ns/BW)	The integrated value of the posterior GRF from the stride leg was calculated.	
	Drive leg VGRF, (N/BW)	The data from the wind-up to the follow-through phase were extracted.	
Stride leg VGRF, (N/BW)	The data from the stride leg initial contact to the follow-through phase was extracted.		
	Stride length, (%BH)	The stride length was calculated at the moment the stride leg initial contact to the ground, based on the marker attached to the heel between the drive leg and stride leg.	(Crotin et al., 2014)

BW, Body weight; BH, Body height; N, Newton; Ns, Newton-second.

가 나타나지 않았다는 선행연구와 같은 결과를 나타냈다. 이는 투구 동작 중 나타나는 다양한 운동학적 변인들이 종합적으로 공의 구속에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. Crotin et al.(2014)의 연구에 의하면 투구 시 넓은 보폭이 되려 심박수와 생리적 요구를 증가시키며, 이는 신체적 피로에 더 쉽게 노출되게 할 수 있다고 보고한다. 따라서 보폭을 과도하게 극대화하는 투구 전략을 취하는 것은 신중하게 고려되어야 할 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 모든 투구 시점에서 OS가 US보다 더 늦은 타이밍을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 선행연구와 같은 흐름을 나타냈다(Solomito et al., 2023). 선행연구에 따르면 투구 시 운동사슬(kinetic chain)에 의해 신체의 순차적인 움직임으로 만들어내는 적절한 투구의 타이밍은 매우 중요한 역할을 한다고 보고된다(Seroyer et al., 2010). 보폭에 따라 투구 시점이 달라지는 본 연구 결과는 전체적인 투구의 효율에 영향을 미칠 수 있으며, 넓어진 보폭에 따른 지연된 투구 시점이 투수와 타자 및 주자의 경기전략 수립에도 영향

을 미칠 수 있음을 시사한다.

본 연구는 자신의 신체에 맞는 최적화된 투구 동작을 갖추고 있을 것으로 예상되는 프로 선수들을 대상으로 실험을 진행하였으며, 이는 연구의 재현성에 대한 신뢰도를 높일 것으로 기대된다. 또한 본 연구는 동양인을 대상으로 한 실험이었기에, 동양인의 신체적 특성을 고려한 투구 동작에 대한 이해를 높이는 데 기여할 수 있으며, 추후 연구에서는 개인의 유연성과 신체적 특징을 고려한 개별적인 특성에 맞는 최적화된 보폭을 찾는 방법에 대한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

결론 및 제언

본 연구에서는 투구 시 보폭에 따른 집단 간 축발의 충격량과 골반, 몸통 닫힘각, 골반 각속도에서 유의미한 차이가 났지만, 구속, 축발

Table 2. Differences in kinematic and kinetic variables between groups based on stride length

Variables	Group	M±SD	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Ball speed, (km)	OS(n=20)	135.18±3.87	.900	.374	.28
	US(n=20)	136.6±5.95			
Stride length, (%BH)	OS(n=20)	102.42±7.85	-5.008	<.001**	1.62
	US(n=20)	92.9±3.26			
Drive leg anterior GRF, (N/BW)	OS(n=20)	70.54±10.94	-.688	.496	.22
	US(n=20)	68.03±12.16			
Drive leg anterior GRF impulse, (Ns/BW)	OS(n=20)	22.67±2.38	-2.802	.008**	.89
	US(n=20)	20.37±2.79			
Stride leg posterior GRF, (N/BW)	OS(n=20)	100.33±10.96	-1.303	.201	.41
	US(n=20)	95.55±12.22			
Stride leg posterior GRF impulse, (Ns/BW)	OS(n=20)	12.28±1.52	-.431	.669	.14
	US(n=20)	12.06±1.69			
Trunk closed angle, (°)	OS(n=20)	-84.95±11.32	-2.71	.01**	.86
	US(n=20)	-94.57±11.13			
Pelvic closed angle, (°)	OS(n=20)	-50.93±10	-2.768	.009**	.88
	US(n=20)	-59.79±10.26			
Pelvis-trunk separation angle, (°)	OS(n=20)	-34.03±5.59	-.367	.715	.12
	US(n=20)	-34.78±7.18			
Trunk angular velocity, (°/s)	OS(n=20)	1019.03±88.59	1.186	.243	.38
	US(n=20)	1047.89±63.21			
Pelvic angular velocity, (°/s)	OS(n=20)	704.97±71.5	2.825	.008**	.89
	US(n=20)	639.13±75.85			

* $p < .05$, ** $p < .01$; OS, overstride; US, understride.

Table 3. Differences in pitching phase between groups based on stride length

pitching phase (%)	M±SD	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
OS (SFC)	71.2±5.836	-2.593	.014*	.82
US (SFC)	65.05±8.858			
OS (MER)	80.8±5.012	-2.695	.011*	.85
US (MER)	75.35±7.527			
OS (BR)	83.4±4.773	-2.713	.01**	.86
US (BR)	78.05±7.416			

* $p < .05$, ** $p < .01$; OS, overstride; US, understride; SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release.

추진력, 디딤발 제동력, 디딤발 충격량, 골반 몸통 분리각, 몸통 각속도는 집단 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 축발의 극대화된 충격량이 넓은 보폭을 만들어 골반과 몸통의 열림 각을 크게 만들 수 있음을 시사한다. 하지만 보폭에 따른 집단 간 공의 구속에서 유의미한 차이가 나타나지 않았기 때문에, 보폭이 직접적으로 공의 구

속에 기여하지 않을 가능성이 있음을 시사하며, 개인의 신체적 특징에 맞는 보폭을 찾아 투구 동작에 접목시키는 것이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 개인적 신체적 특성에 맞춰 최적화된 보폭에 대한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

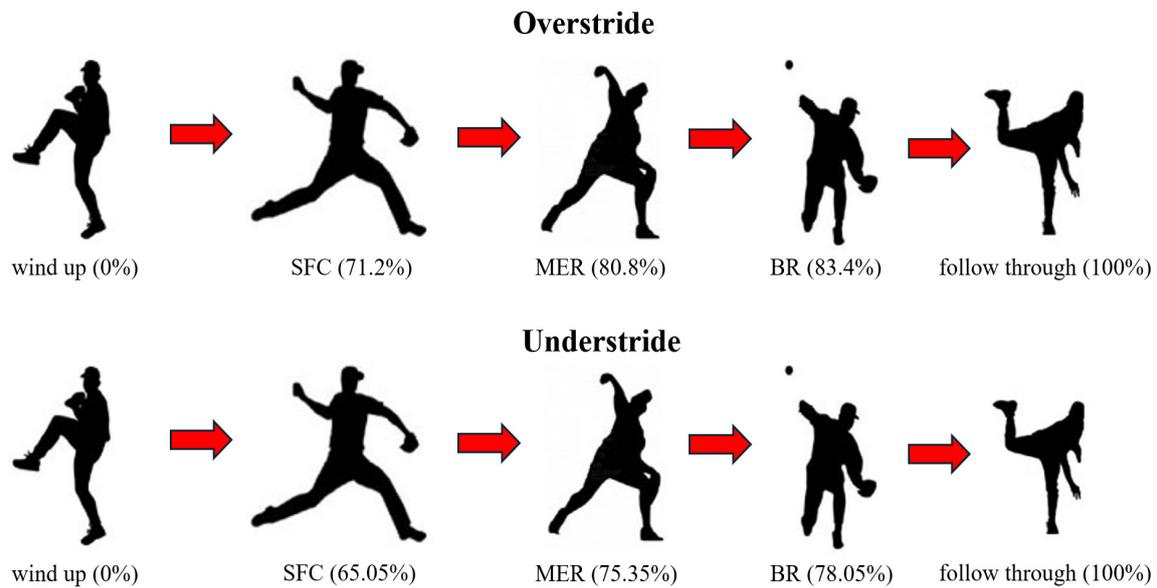


Fig. 2. Differences in pitching phase between groups based on stride length: SFC, stride foot contact; MER, maximal external rotation; BR, ball release. (The figure was adapted from Crotin et al., 2015)

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: Dong Chul Park, Data curation: Kiwoong Cho, Formal analysis: Joon Haeng Cho, Methodology: Dong Chul Park, Project administration: Sae Yong Lee, Visualization: Dong Chul Park, Writing-original draft: Dong Chul Park, Writing-review & editing: Byong Hun Kim

참고문헌

- Calabrese, G. J. (2013). Pitching mechanics, revisited. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(5), 652.
- Crotin, R. L., Bhan, S., & Ramsey, D. K. (2015). An inferential investigation into how stride length influences temporal parameters within the baseball pitching delivery. *Human Movement Science*, 41, 127-135.
- 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.
- Dowling, B., Knapik, D. M., Luera, M. J., Garrigues, G. E., Nicholson, G. P., & Verma, N. N. (2022). Influence of Pelvic Rotation on Lower Extremity Kinematics, Elbow Varus Torque, and Ball Velocity in Professional Baseball Pitchers. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 10(11), 23259671221130340.
- 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*, 1-10.
- Fortenbaugh, D., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (2009). Baseball pitching biomechanics in relation to injury risk and performance. *Sports Health*, 1(4), 314-320.
- 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.
- Lee, J. H., Cho, J. H., Kwon, S. M., Park, D. C., Park, S. M., Baek, S. H., Lee, M. W., & Kim, B. H. (2021). Kinetics and Kinematic Correlation Analysis Affecting the Ball Speed of Middle and High School Baseball Pitchers. *The Korean Journal of Physical Education*, 60(6), 207-220.
- Lin, Y. C., Chou, P. P. H., Lin, H. T., Shih, C. L., Lu, C. C., & Su, F. C. (2021). A new method for evaluating pelvic and trunk rotational pitching mechanics: From qualitative to quantitative approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 905.
- Luera, M. J., Dowling, B., Muddle, T. W., & Jenkins, N. D. (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.
- Manzi, J. E., Zeitlin, J. H., Dowling, B., Roberts, N., Ruzbarsky, J. J., Ciccotti, M. C., & Dines, J. S. (2022). Evaluating pelvis rotation style at foot contact: a propensity scored biomechanical analysis in high school and professional pitchers. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(8), 2271-2280.
- Manzi, J. E., Dowling, B., Dines, J. S., Wang, Z., Kunze, K. N., Thacher, R., McElheny, K. L., & Carr, J. B. (2021). The association of stride length to ball velocity and elbow varus torque in professional pitchers. *Journal of Sports Sciences*, 39(23), 2658-2664.
- McNally, M. P., Borstad, J. D., Oñate, J. A., & Chaudhari, A. M. (2015). Stride leg ground reaction forces predict throwing velocity in adult recreational baseball pitchers. *The Journal of Strength & 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.
- Oi, T., Takagi, Y., Tsuchiyama, K., Hashimoto, K., Tanaka, H., Inui, H., ... & Yoshiya, S. (2018). Three-dimensional kinematic analysis of throwing motion focusing on pelvic rotation at stride foot contact. *JSES Open Access*, 2(1), 115-119.
- Oi, T., Yoshiya, S., Slowik, J., Diffendaffer, A., Takagi, Y., Tanaka, H., ... & Fleisig, G. S. (2019). Biomechanical differences between Japanese and American professional baseball pitchers. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(2), 2325967119825625.
- Orishimo, K. F., Kremenik, 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., 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.
- Ramsey, D. K., & Crotin, R. L. (2019). Stride length: the impact on propulsion and bracing ground reaction force in overhand throwing. *Sports Biomechanics*, 18(5), 553-570.
- 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.
- Seroyer, S. T., Nho, S. J., Bach, B. R., Bush-Joseph, C. A., Nicholson, G. P., & Romeo, A. A. (2010). The kinetic chain in overhand pitching: its potential role for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health*, 2(2), 135-146.
- Solomito, M. J., Cohen, A. D., & Garibay, E. J. (2023). Influence of stride length on upper extremity joint moments and ball velocity in collegiate baseball pitchers. *Sports Biomechanics*, 22(11), 1460-

1469.

- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., & Andrews, J. R. (2005).** Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: Within pitcher variation. *Journal of Applied Biomechanics*, *21*(1), 44-56.
- Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (2006).** Kinematic constraints associated with the acquisition of overarm throwing part I: step and trunk actions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *77*(4), 417-427.
- 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 보폭에 따른 공의 구속과 운동학적, 운동역학적 차이

박동철¹, 이세용², 조준행³, 조기웅⁴, 김병훈⁵

¹연세대학교 체육학과 박사과정

²연세대학교 체육학과 정교수

³스포츠과학연구소 대표

⁴스포츠과학연구소 부대표

⁵동국대학교 조교수

[목적] 본 연구의 목적은 보폭에 따른 공의 구속과 운동학적, 운동역학적 차이를 분석하는 것이다.

[방법] 총 40명의 연구대상자가 모집되었다. 연구대상자는 보폭에 따라 보폭이 넓은 집단(overstride, OS)과 보폭이 좁은 집단(understride, US)으로 나뉘어 실험을 진행하였다. 집단 간 골반, 몸통의 운동학적 변인과 지면반력, 투구 시점에 따른 차이를 분석하기 위해 독립표본 *t*-검정을 수행하였다.

[결과] 출발 충격량, 골반 닫힘각, 몸통 닫힘각, 골반 각속도는 보폭에 따른 집단 간 유의미한 차이가 나타났다($p < .05$). 또한 각 투구 시점인 stride foot contact(SFC)과 maximal external rotation(MER), ball release(BR)에서 OS가 US보다 통계적으로 더 늦은 투구 시점을 나타내는 것을 확인하였다($p < .05$).

[결론] 출발의 극대화된 충격량이 넓은 보폭을 만들어 골반과 몸통의 열림 각을 크게 만들 수 있으며, OS가 US보다 더 늦은 투구 시점을 나타내는 특성이 있었다. 하지만 보폭에 따른 집단 간 공의 구속에서 유의미한 차이가 나타나지 않았기 때문에, 보폭의 공의 구속에 직접적으로 기여하지 않을 가능성이 있으며, 추후 연구에서는 개인의 유연성과 신체적 특징을 고려한 개별적인 특성에 맞는 최적화된 보폭을 찾는 방법에 대한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

주요어

투수, 지면반력, 골반, 몸통