

투수 피치클락 도입과 부상 위험 간의 인과추론 분석

1. 목표: 피치클락 도입이 투수 부상에 미치는 인과적 효과 분석

- 2023시즌 메이저리그(MLB)에 도입된 피치클락(Pitch Clock) 제도는 경기 시간 단축을 위해 투수의 투구 준비 시간을 제한하는 규정이다. 제도 도입 이후 투수들의 팔이나 어깨 부상이 증가했다는 현장의 우려가 있으나, 이것이 단순한 우연인지 제도로 인한 필연적 결과인지에 대한 통계적 검증이 필요했다.
- 단순히 연도별 부상자 수를 비교하는 것을 넘어, 투구 템포(Tempo)와 투구 수(Pitches) 등 부상에 영향을 줄 수 있는 변수들을 통제하여, 피치클락 도입이 부상 발생에 미치는 순수 효과를 수치로 산출할 예정이다.
- 인과추론의 필요성: 단순 비교는 투수들의 개별적인 투구 습관이나 시즌별 경기 양상의 차이를 반영하지 못한다. 따라서 성향 점수(Propensity Score)를 활용하여 비슷한 조건을 가진 투수들끼리 비교함으로써, 유사한 환경을 조성하여 분석의 신뢰도를 높였다.

2. 인과추론 모델 구축

● 집단정의(Treatment)

- Treat=0(대조군): 2022 시즌 투수(피치클락 도입 전)
- Treat=1(처치군): 2023 시즌 투수(피치클락 도입 후)

● 결과변수(Outcome)

- Injury: 0=부상없음, 1=부상

● 공변량(Covariates)

- Tempo: 투구 간 평균 소요 시간, Pitches: 시즌 총 투구 수

● 분석방법

- 로지스틱 회귀분석으로 성향 점수 산출
- 공통 지지 영역 확보를 위한 Trimming 적용
- 성향 점수 기반 5개 구간으로 나누어 계층화(Stratification) 분석 수행

3. 분석 방법

● 성향 점수(Propensity Score) 추정

로지스틱 회귀모형으로 '어떤 투수가 2023(피치클락 환경)에 속할 확률'을 추정

- 기본 모형: Tempo, Pitches로 성향점수 추정

- 확장 모형: Tempo, Pitches, Velocity로 성향점수 추정

-> 2022와 2023의 성향점수 분포가 상당히 분리되어 문제가 발생할 수 있음을 확인(Tempo 변화가 큼)

● Subclassification으로 ATE, ATT 추정

- ATE(평균 처치 효과): 0.1535, 전체 투수 집단을 기준으로 피치클락 도입 시 부상 확률이 약 15.35% 증가하는 효과가 있음. 이는 개인의 특성과 무관하게 제도 자체가 투수 전반의 부상 위험도를 상당히 높이는 요인이라는 것을 알 수 있음.

- ATT(처치군 처치 효과): 0.1305, 실제로 제도를 적용받은 2023년 투수들에게서 약 13.05% 증가하는 것으로 추정됨. 이는 2023시즌 현장에서 발생한 부상 증가의 상당 부분이 피치클락 제도의 직접적인 영향인 것으로 해석

● 모델 평가 및 데이터 균형성 점검

성향 점수 매칭 및 Trimming 후에도 두 집단 간의 구조적 차이가 존재하는지 확인하기 위해 표준화 된 평균 차이(SMD) 확인

- Tempo SMD: -2.1584(불균형 심각), 피치클락 제도가 투구 템포를 강제로 앞당기는 강력한 개입이었기에, 2023년에 투수들의 템포가 구조적으로 훨씬 빠름을 의미, 보정 후: 0.3106, 크게 개선되었지만 잔여 불균형 존재

- Pitches SMD: -0.8733(불균형 존재), 투구 수 역시 두 시즌 간 차이가 존재하여, 단순 비교보다는 계층화 분석이 필수적임을 시사, 보정 후: -0.0315, 균형달성

-> Pitches는 비교 가능 수준으로 맞춰졌으나, Tempo는 제도 자체가 강하게 바꾸는 변수라 완전한 균형이 어려웠고, 잔여 불균형이 남아있다.

4. 추가분석: 보직(선발/불펜) 이질적 효과

	Group	N	Rate_2022	Rate_2023	Diff
0	Low (불펜급)	321	0.152439	0.305732	0.153293
1	High (선발급)	321	0.290749	0.223404	-0.067345

불펜급 투수는 부상률이 약 15.3% 증가, 선발급 투수는 오히려 약 6.7% 감소

-> 피치클락의 영향은 모든 투수에게 동일하지 않고, 짧은 시간 안에 전력 투구 빈도가 높은 보직(불펜)에서 부상 증가가 더 크게 나타남

5. 구속(Velocity) 추가 + Trimming 적용 결과

분석 대상: 560명(구속 결측 제거)

Trimming 수행 후: 560명 -> 230명(330명 탈락)

최종 추정치: ATE=0.2083, ATT=0.0425

해석: 구속을 추가로 통제하면 "2023년에 실제로 피치클락을 경험 한 투수" 기준 효과(ATT)가 기본 모형(0.1305) -> 확장 모형(0.0425)로 약 4.25% 감소했다. 즉, 구속이 부상과 강하게 연결된 교란 요인일 가능성이 있고, 이를 통제하면 피치클락의 순수 효과 추정치가 작아진다.

● 모델 검증

- Velocity: -0.1576(비교적 양호)

- Pitches: -0.8214(불균형 잔존)

- Tempo: -1.6397(불균형 심각)

-> 확장 모형에서도 구속은 어느 정도 맞춰졌지만, Tempo와 Pitches에서 구조적 차이가 크게 남아 있어 확장 모형의 추정치(ATT/ATE)는 해석에 주의가 필요하다.

6. 결론 및 제언

결론

● 기본 모형 기준

- ATT = 0.1305 -> 피치클락 도입 후 부상 확률 약 13.1% 증가

- Pitches는 균형이 잘 맞았고, Tempo는 잔여 불균형이 남음

● 이질적 분석

- 불펜에서 부상 증가(15.3%)가 크게 관측되었으며 선발에서는 부상이 감소(6.7%)하였다.

● 구속 포함 확장 모형

- ATT가 0.0425로 감소했지만, Tempo와 Pitches의 불균형이 커서 결과 해석에 제약

제언

- Tempo는 제도에 의해 직접 변화하는 변수이므로, 가능하다면 도입전 특성(과거 템포, 투구 스타일 등)을 중심 공변량으로 설계하거나, 동일 투수의 연도별 변화를 활용하는 구조를 고려할 수 있다.
- 불펜 투수에서 부상 증가가 크게 나타난 만큼, 불펜 운용 시 투구 준비 루틴과 회복 관리를 강화하거나 연투, 등판 간격, 워밍업 방식의 조정 같은 대응이 필요하다.
- 구속, 구종, 회전수 등 더 많은 요인들을 포함해 공변량 균형을 개선하면, 피치클락의 순수 효과를 더 신뢰도 높게 추정할 수 있다.