



소아의 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절에 대한 수술적 치료

김연수 · 김근우 · 황일웅 · 백구현 · 김지형[✉]

서울대학교병원 정형외과

Surgical Treatment of Pediatric Intra-Articular Proximal Phalangeal Head Fracture of the Big Toe

Yeun Soo Kim, M.D., Geunwu Gimm, M.D., Il-ung Hwang, M.D., Ph.D.,
Goo Hyun Baek, M.D., Ph.D., Jihyeung Kim, M.D., Ph.D.[✉]

Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: Pediatric intra-articular proximal phalangeal head fractures of the big toe are very rare and few studies on this have been published. The purpose of this study is to present the diagnostic approach and surgical management of these extremely rare fractures, which might be easily underestimated or misdiagnosed.

Materials and Methods: The study retrospectively reviewed all the patients who were diagnosed as intra-articular proximal phalangeal head fracture of the big toe and who underwent surgical intervention in our institution. The size of the bony fragment and hallux valgus interphalangeus angle were measured on the preoperative X-rays. The size and rotation of the osteochondral fragment, the presence of avascular necrosis, ligamentous injury and soft tissue entrapment were assessed on the preoperative magnetic resonance images (MRIs). The radiologic and functional evaluation were performed at 1 year postoperatively.

Results: The average size of the bony fragments measured on the X-rays was 4.1 mm in width and 2.3 mm in length. Two cases showed hallux valgus interphalangeus. Preoperative MRI was performed in four cases and the average size of any osteochondral lesion was 5.3 mm in width, 3.9 mm in length, and 4.7 mm in height. Rotation of the osteochondral fragment was observed in one patient, and soft tissue entrapment was noted in two patients. Postoperatively, successful bony union was achieved in all the patients and the average time to union was 74.4 days.

Conclusion: Intra-articular proximal phalangeal head fractures of the big toe are very rare and often neglected due to incomplete ossification in the pediatric population. It is important to suspect the presence of this intra-articular fracture and to appropriately implement further evaluation. Nonunion of chronic cases as well as acute fractures can be successfully treated through open reduction and internal fixation using multiple K-wires.

Key Words: Great toe, Intra-articular fracture of children, Magnetic resonance imaging, Multiple K-wire insertion

Received December 6, 2019

Revised December 30, 2019

Accepted December 30, 2019

✉Correspondence to:

Jihyeung Kim, M.D., Ph.D.

Department of Orthopedic Surgery,
Seoul National University Hospital, 101
Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080,
Korea

Tel: +82-2-2072-2335

Fax: +82-2-764-2718

E-mail: jihyeungk77@gmail.com

Financial support: None.

Conflict of interests: None.

서론

족무지의 지간 관절은 굴신 운동만이 가능한 매우 안정적 인 경첩 관절로, 주된 정적 안정화 구조물인 측부 인대를 포함하여 관절막과 섬유연골판, 족무지 신전근 등이 안정성을 담당한다.¹⁾ 족무지 지간 관절의 관절 내 골절은 직접 손상이나 견열 골절의 형태로 발생하며, 발에 축성이나 각변형 스트레스가 지속적으로 가해지는 축구, 태권도나 유도 등 보호구나 신발 없이 맨발로 시행하는 스포츠에서 호발한다고 알려져 있다.²⁾

소아에서의 관절 내 골절은 성인에 비하여 드물게 나타나며, 족무지 원위부의 경우 매우 드물어 소수의 연구만이 보고되었다.³⁻⁵⁾ 소아의 경우 덜 성숙한 골과 두꺼운 연골로 인하여 X선 촬영에서 관절 내 골절을 발견하기 힘들고 신체 검진에도 어려움이 있어 진단이 늦어질 수 있다.⁶⁾ Shimizu 등⁷⁾은 근위 지간 관절의 골연골 골절 이후 발생한 지절간 무지 외반증을 보고하였으며, Gong 등⁸⁾은 태권도 선수에서 발생한 지간 관절의 내반 불안정성에 대하여 보고한 바 있다.

문헌 고찰에 따르면 현재까지 소아에서 발생하는 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절을 특징하는 연구는 없었으며, 본 연구에서 저자들은 해당 부위의 급성 및 진구성 골절에 대하여 다발성 K-강선 삽입을 이용한 수술적 치료를 소개하고자 한다.

대상 및 방법

2014년 9월부터 2018년 8월까지 본원에 내원하여 족무지 근위지골 원위부 관절 내 골절로 진단받은 소아 환자를 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 본 연구는 서울대학교병원 의학윤리심의회(Institutional Review Board)의 심의 및

승인 후 진행되었다(H-1912-029-1086).

환측 족부에 다른 골절이 동반된 경우, 분쇄 골절은 제외하였으며 18세 이상의 성인 환자와 추시 기간이 1년 미만인 경우 또한 제외하여 최종적으로 5예가 연구 대상으로 포함되었다. 대상은 모두 남아였으며 평균 연령은 7.7세였다. 4예에서 수상 후 2주 이상 지난 뒤 본원에 내원하였고 수상 후 수술까지 걸린 기간은 평균 11개월, 평균 추시 기간은 1년 10개월이었다(Table 1).

X선 촬영은 전면 촬영 및 경사 촬영, 외측 촬영을 시행하였다. 전면 촬영은 환아가 체중부하가 가능한 경우 체중부하 전후 촬영을 시행하였다. 골절면의 경화성 변화를 통하여 불유합의 여부를 확인하고 골편의 크기를 측정하였다. 전후면 촬영에서 지절간 각도(hallux valgus interphalangeus angle, HVIP angle)를 측정하여 지절간 무지 외반증(HVIP)의 여부를 확인하였다. 건측과 10도 이상의 차이를 보이는 경우



Fig. 1. Measurement of the hallux valgus interphalangeus (HVIP) angle.

Table 1. Demographics and Preoperative Radiologic Evaluations

Patient No.	Age (yr)	Side	Onset (d)	X-ray			Magnetic resonance imaging				
				Width (mm)	Length (mm)	HVIP angle (°) (right/left)	Width (mm)	Length (mm)	Height (mm)	Fragment rotation	Soft tissue entrapment
1	7	Right	19	2.5	0.5	-	7.0	4.0	3.5	+	-
2	7	Right	211	2.5	1.7	-	5.0	4.7	4.4	-	+
3	9	Left	668	4.3	2.7	+ (13.5/24.5)	4.5	3.0	4.3	-	+
4	7	Right	89	4.0	1.0	+ (27.4/14.6)	5.6	3.7	6.7	-	-
5	9	Right	1	7.0	5.5	-	-	-	-	-	-

HVIP: hallux valgus interphalangeus.

HVIP로 정의하였다(Fig. 1). 총 4예에서 술 전 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI) 촬영을 시행하였고 이를 통해 골연골 병변의 크기와 회전, 무혈성 괴사의 여부, 주변 연부조직의 손상이나 골절면으로의 감입 여부를 확인하였다(Fig. 2). 영상의학적 측정은 독립된 두 명의 정형외과 의사에 의해 시행되었다.

수술적 치료는 단일 집도의에 의해 시행되었고, 모든 예에서 관혈적 정복 및 다발성 K-강선을 이용한 내고정술을 시행

하였다. 기간 관절에 대한 표준적인 배측 접근을 통해 관절 막 절개 후 관절 내 골절 부위에 접근하였으며, 골절편이 커서 접근이 까다로운 경우 신전건을 Z 모양으로 절개한 후 접근하였다. 불유합 소견이 있는 경우 불유합 부위의 경화성 골조직을 제거한 뒤 해부학적 위치로 정복하였다(Fig. 3). 골편의 고정은 1.1 mm 굵기의 K-강선을 이용하여 시행하였는데, 골편을 고정하는 강선은 골편 측에서 삽입 후 골편의 반대 방향으로 후퇴시켜 추후 골절부에 견인력을 가하지 않으며 제

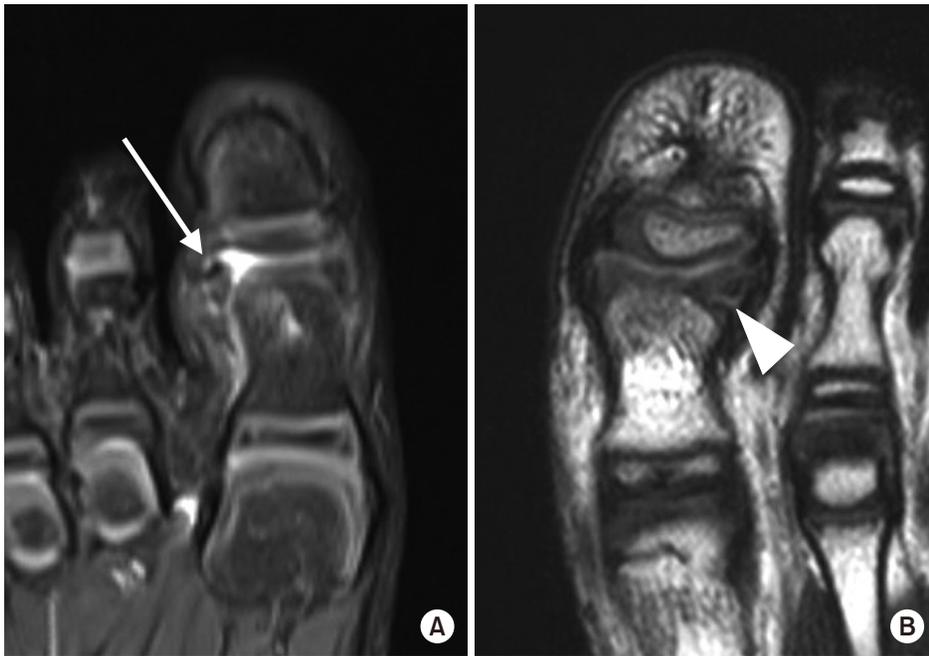


Fig. 2. (A) Rotation of the osteochondral fragment (arrow). (B) Entrapment of the periosteum in the fracture site (arrow-head).



Fig. 3. The joint surface was exposed through the dorsal approach. Sclerotic margin of the fracture site was observed.



Fig. 4. A K-wire was inserted into the fragment and retracted from the opposite side to avoid unwanted traction when removing the wire.

거할 수 있도록 하였다(Fig. 4). 추가적인 K-강선을 통해 지간 관절을 임시 고정하였으며, 신전건과 관절막, 피부를 봉합 후 단하지 부목을 적용하고 수술을 종료하였다. 수술 후 4-5주째 외래에서 K-강선을 제거하였고 부분 체중부하를 허용하였다.

골유합에 대한 방사선학적 평가는 집도의를 포함한 두 명의 정형외과 의사에 의해 이루어졌으며 전후 촬영 및 경사 촬영에서 골소주의 연결성을 확인하여 평가하였다. 임상적 평가는 집도이에 의해 이루어졌으며 체중부하 시 통증 여부, 스포츠 활동으로의 복귀 여부, 관절운동 범위의 제한, 불안정성을 평가하였다.

결 과

총 5예 중 3예의 환자에서 내원 당시 불유합 소견이 관찰되었다. 술 전 X선 촬영상 골편의 크기는 평균 $4.1\text{ mm} \times 2.3\text{ mm}$ 였으며, 2예에서 HVIP가 관찰되었다. MRI에서 측정된 골연골 병변의 크기는 평균 $5.3\text{ mm} \times 3.9\text{ mm} \times 4.7\text{ mm}$ 였으며 골연골 병변의 회전은 1예, 연부조직의 감입은 2예에서 관찰되었다. 무혈성 괴사 및 측부 인대 손상은 관찰되지 않았다.

강선 제거까지 걸린 시간은 평균 34.2일이었다. 모든 예에서 골유합이 성공적으로 이루어졌으며, 수술 후 방사선학적으로 골유합이 확인되는 데 걸린 시간은 평균 74.4일이었다. 수술일로부터 최종 추시까지의 평균 기간은 1년 10개월로, 2예의 HVIP 환자의 1년 추시에서 HVIP angle은 건측에 비해 각각 0.6° , 0.5° 크게 측정되어 각 변형이 성공적으로 교정되었다.

있음을 확인하였다. 수술 후 1년 추시에서 체중부하 시 통증, 무혈성 괴사, 불안정성, 관절운동 범위의 제한 및 불안정성은 보고되지 않았으며, 모든 환자는 일상생활 및 스포츠 활동으로 복귀하였다.

1. Case 1

7세 남아가 내원 7개월 전 태권도장에서 수상 후 발생한 우측 족무지의 통증을 주소로 내원하였다. X선 촬영에서 족무지 근위골 외측 원위부에 $2.5\text{ mm} \times 1.7\text{ mm}$ 크기의 골편이 관찰되었고 MRI에서 $5.0\text{ mm} \times 4.7\text{ mm} \times 4.4\text{ mm}$ 크기의 골연골 병변이 관찰되었다. 관혈적 정복 및 내고정 계획하에 수술을 시행하였으며 육안상 경미하게 전위된 관절 내 골절을 확인하였다(Fig. 5). 골절을 흡수성 봉합 및 K-강선으로 안정적으로 고정한 뒤 단하지 부목 고정을 시행하였고, 수술 4주째 K-강선을 제거하고 보조기로 교체하였다. 수술 후 2개월째 방사선학적 유합 소견을 관찰할 수 있었으며, 수술 후 1년째 합병증은 보고되지 않았다.

2. Case 2

7세 남아가 3개월 전 놀이기구에서 놀다가 수상 후 발생한 우측 족무지 통증을 주소로 내원하였다. 타 병원에서 X선 촬영 후 골절 소견으로 보존적 치료를 시행하였으며, 2차례 석고고정 후에도 통증이 지속되었다. 내원 당시 시행한 X선 촬영에서 $4\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 크기의 골편이 관찰되었고 HVIP angle은 건측 14.6° 에 비해 환측 27.4° 로 HVIP 소견이 관찰되었다.

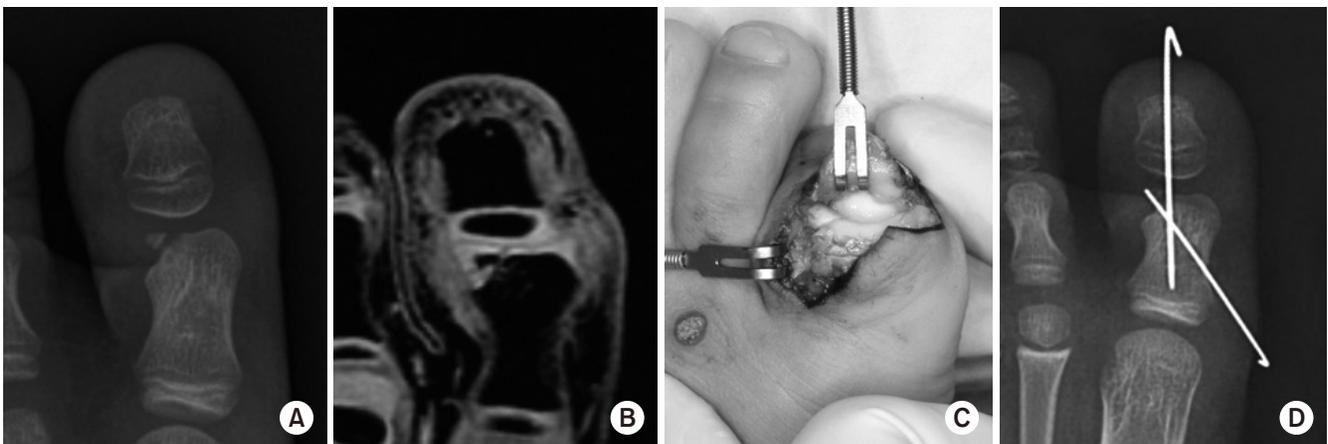


Fig. 5. (A, B) The size of the osteochondral fragment might be underestimated on the plain X-ray. (C, D) Minimally displaced osteochondral fracture was fixed with two K-wires.

MRI에서는 5.6 mm×3.7 mm 크기의 골연골 병변이 관찰되었으며 불유합에 대한 골유합술 계획하에 수술적 치료를 시행하였다. 불유합 부위의 경화성 골조직을 충분히 제거한 뒤 골편을 정복 후 K-강선으로 고정하였다. 수술 후 4주째 K-강선 제거 및 체중부하를 시행하였고 수술 후 2개월째 방사선학적 골유합을 확인하였다. 수술 후 2개월째 HVIP angle은 건측 9.8°에 비해 환측 10.3°로 감소하였고(Fig. 6), 수술 후 2년 6개월 추시 결과 합병증은 보고되지 않았다.

3. Case 3

9세 남아가 우측 발이 차 바퀴에 깔려 수상 후 발생한 전

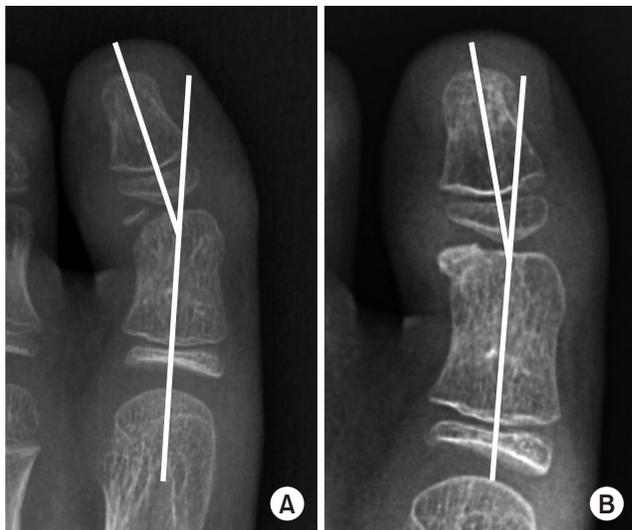


Fig. 6. Preoperative X-ray (A) and X-ray at 2 months postoperatively (B). The hallux valgus interphalangeus angle was reduced after the surgery.

족부 통증 및 열상으로 응급실에 내원하였다. 족부 배측에서부터 제2, 3, 4지 족저측에 이르는 7 cm 가량의 열상을 동반한 족부 근위지골 외측 원위부 골절이 관찰되었다. 전위는 심하지 않았지만 개방성 골절로 전신마취하 외과적 탐색술을 시행하였다. 마취하 검진에서 육안으로 확인되는 외반 불안정성이 확인되어 7 mm×5.5 mm 크기의 골연골 병변을 해부학적으로 정복한 뒤 K-강선으로 고정하였다. 수술 후 4주째 K-강선 제거 및 부분 체중부하를 시행하였고 수술 후 2년 추시 결과 통증 및 변형은 발생하지 않았다(Fig. 7).

고 찰

소아에서 족지 골절은 전체 족부 골절의 18%로 비교적 빈번하게 보고된다.⁹⁾ 이들 중 대부분은 관절 외 골절이며, 관절 내 골절 또한 성장판이 위치하는 근위부에 주로 발생하는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 이에 비해 원위부 관절 내 골절은 상대적으로 매우 드물게 발생하는데, 미성숙한 골과 두꺼운 연골로 인하여 X선 촬영에서 저평가되거나 진단을 놓치기 쉽다.

족지 골절의 합병증으로는 불유합, 골관절염, 지간 관절의 불안정성, 골편의 무혈성 괴사, 무지 외반증 및 무지 강직증 등이 있다. 지간 관절에서 관절 내 골절로 인한 무혈성 괴사의 병리에 대해서는 밝혀진 바 없지만 Kramer 등⁴⁾은 족부 지간관절의 관절 내 골절 10예를 보고하며, 그들 중 1예에서 무혈성 괴사가 있었지만 최종 추시상 증상은 호소하지 않았으며 재수술 또한 필요하지 않았다고 보고하였다. 그들은 또한 2 mm 이상의 전위가 있는 경우 수술적 치료를 고려해야 하며 배측 접근을 통한 관혈적 정복 및 내고정술이 효과적



Fig. 7. (A, B) A case of acute fracture with forefoot laceration. (C) Stable fixation was achieved using two K-wires. (D) Follow-up X-ray at 2 years postoperatively.

이라고 주장하였다. Nissenbaum¹³⁾은 수지의 원위지골에 발생한 Salter-Harris 2형 성장판 손상에 대하여 관혈적 정복 및 K-강선을 이용한 내고정 이후 골유합을 얻었으나, 무혈성 괴사와 성장판의 조기 폐쇄로 인하여 단축 변형이 발생하였음을 보고하였다. 본 연구에 포함된 5예 중 3예에서 불유합이 관찰되었지만 이들의 X선 촬영 및 MRI에서 무혈성 괴사의 증거는 관찰되지 않았다.

Shimizu 등⁷⁾은 족무지 원위 지골 외측 원위부에 발생한 골절에 대해 보존적 치료 이후 HVIP가 발생한 증례를 보고하였고, 그 원인으로 시간 관절의 불안정성과 직접 손상으로 인해 동반된 원위 지골 근위부의 성장판 손상을 가능한 원인으로 제시하였다. 이번 연구에 포함된 5예 중 2예의 환자에서 HVIP가 발생하였고 이들은 수상 이후 진단까지 각각 1년 10개월, 3개월이 걸렸다. 3개월동안 각 변형을 유발할 만큼 의미 있는 골성장이 일어나지 않았음을 미루어 보아 외측 안정성에 기여하는 골 일치성이 소실되고, 신발을 착용함으로써 지속적인 외반 스트레스가 가해지며 변형이 발생하였다고 추측할 수 있다.

Van Zeeland 등⁶⁾은 83예의 소아에서 발생한 근위 요골의 골절 중 7예에서 요골두의 관절 내 골절을 보고하였는데, 요골두 관절 내 골절이 있었던 모든 환자에서 요골-소두 관절의 관절증 및 관절운동 범위의 제한이 관찰되었으며 다른 양상의 골절에 비해 예후가 불량하였다고 하였다. 그들은 또한 연골이 대부분을 차지하는 요골두에서 X선 촬영을 통한 골절의 평가는 손상을 과소평가 할 수 있는 위험이 있기 때문에 관절 내 골절이 의심되는 경우 MRI나 초음파, 마취하 검진 등의 추가적인 검사를 적극적으로 시행해야 한다고 주장하였다. 본 연구에 포함된 5예 중 동반된 열상으로 인해 응급 수술을 시행한 1예를 제외한 4예의 환자에서 MRI를 시행하였고 이들 모두에서 X선 촬영에서 측정된 골편의 크기가 MRI에서 측정된 크기보다 작았다(Table 1).

소아 족지 관절 내 골절의 치료에 대한 연구는 많지 않지만 대부분의 저자들은 관혈적 정복 후 K-강선을 통한 고정에 동의하고 있다. 이는 소아 관절 내 골절의 특성상 조기 진단이 까다롭고 이로 인하여 수술적 치료가 뒤늦게 이루어지는 경우가 많기 때문인데, 통상적으로 수상 후 1주일 이상 경과한 수지의 관절 내 골절의 경우 도수정복이 어려운 것으로 알려져 있다.¹⁴⁾ 고정 방법으로는 K-강선이나 2.0 mm 피질골 나사 등을 사용할 수 있는데 추후의 골성장 및 제거의 용이성으로 K-강선을 통한 고정이 선호된다. 본 연구에서 저자들은 골편 측에서 강선을 삽입하여 충분히 밀어 넣은 뒤 이를 반대

측에서 후퇴시켜 거치하였는데, 이는 추후 강선을 제거할 때 골절부에 원치 않는 견인력이 가해지는 것을 방지하기 위함이었다.

소아에서 발생하는 족무지 근위 지골 원위부 골절에 대한 표준적인 진단 및 치료는 확립되지 않은 실정이고 진구성 골절의 치료에 대해서는 구체적으로 보고된 바 없다. 저자들은 본 연구에서 급성 골절뿐만 아니라 진단이 늦어진 경우라 할 지라도 관혈적 정복 및 다발성 K-강선을 이용한 내고정술을 통해 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 소아의 관절 내 골절은 골편이 작은 경우 단순 방사선 검사만으로는 진단을 놓칠 수 있기 때문에 MRI와 같은 추가 검사가 필요할 수 있다.

본 연구가 가지는 한계점으로는 첫째, 표본 수가 적어 진단 및 치료 과정을 일반화시키기에는 다소 무리가 있다. 예를 들면, 본 연구에서 급성 골절 1예에서는 개방성 골절로 인해 전위가 심하지 않았음에도 수술적 치료를 시행하였고, 이를 제외한 모든 환자들에서 수상 당시 X선 영상을 확보할 수 없었기 때문에 본 연구의 결과를 바탕으로 급성 비전위 골절에 대한 예후와 수술적 치료의 필요성을 언급하기는 힘들다. 소아의 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절은 매우 드물게 보고되고 있기 때문에 더 많은 증례를 통한 표준화된 진단 및 치료법을 제시하게 위해서는 다기관 연구가 향후 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 본 연구는 후향적 연구로서 서로 다른 진단이나 치료 방법을 비교하지 못하였다. 셋째, 추시 기간이 평균 1년 10개월로 골관절염과 같은 합병증에 대하여 분석하기에는 충분하지 않다. 이에 대해 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

소아에서 발생하는 족무지 근위지골 원위부 관절 내 골절은 매우 드물지만 맨발로 하는 스포츠 활동이나 발가락 걷어차임 등으로 발생할 수 있다. 단순 방사선 검사만으로는 진단을 놓치기 쉽고 지절간 무지 외반증이나 무혈성 괴사와 같은 합병증을 유발할 위험이 있기 때문에 이를 의심하는 것이 중요하고 MRI와 같은 적절한 추가검사를 시행하는 것이 도움이 된다. 진단 후에는 관혈적 정복과 다발성 K-강선 삽입을 통해 이를 성공적으로 치료할 수 있으며, 진구성 골절인 경우에도 수술적 치료의 결과는 만족스러울 수 있다.

요 약

목적: 족무지의 관절 내 골절은 조기 관절염이나 불안정성, 무혈성 괴사, 무지 외반증 및 지절간 무지 외반증 등의 합병증을 초래할 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 매우 드물게 보고되는 소아의 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절에 대한 진단과 수술적 치료를 소개하고자 한다.

대상 및 방법: 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절로 진단 받고 수술적 치료를 시행한 5예의 소아 환자를 대상으로, 술 전 X선 촬영과 자기공명영상을 통하여 골절 양상과 동반 병변을 확인하였다. 관혈적 정복 및 다발성 K-강선을 이용한 내고정술을 시행하였고, 술 후 1, 2, 3, 12개월째 X선 영상과 기능적 결과를 평가하였다.

결과: X선 촬영에서 측정된 골편의 크기는 평균 4.1 mm×2.3 mm였으며, 2예에서 지절간 무지 외반증이 관찰되었다. 자기공명영상에서 측정된 골연골 병변의 크기는 평균 5.3 mm×3.9 mm×4.7 mm였으며 1예에서 회전변형, 2예에서 연부조직 감압이 관찰되었다. 무혈성 괴사, 측부 인대 손상은 관찰되지 않았다. 수술 후 모든 환자에서 성공적인 골 유합을 얻었으며, 합병증은 관찰되지 않았다.

결론: 소아의 족무지 근위 지골 원위부 관절 내 골절은 매우 드물고, 진단을 놓치거나 과소평가되는 경우가 많다. 족부 외상 환자에서 이를 의심하고 적절한 추가검사를 시행하는 것이 중요하다. 급성 골절은 물론, 진단을 놓친 만성적인 경우라도 다발성 K-강선을 이용한 관혈적 정복 및 내고정을 통하여 이를 성공적으로 치료할 수 있다.

색인 단어: 족무지 골절, 소아의 관절 내 골절, 자기공명영상, 다발성 K-강선 삽입

ORCID

김연수, <https://orcid.org/0000-0001-5319-6666>
김근우, <https://orcid.org/0000-0002-7414-4125>
황일웅, <https://orcid.org/0000-0003-4033-5916>
백구현, <https://orcid.org/0000-0002-9126-7194>
김지형, <https://orcid.org/0000-0002-3182-5035>

References

1. Salleh R, Beischer A, Edwards WH: Disorders of the hallucal interphalangeal joint. *Foot Ankle Clin*, 10: 129-140, 2005.
2. Maffulli N: Epiphyseal injuries of the proximal phalanx of the hallux. *Clin J Sport Med*, 11: 121-123, 2001.
3. Kim S, Lee M, Seok S: Intra-articular fracture of proximal phalanx of great toe accompanied by valgus deformity associated with sports activities. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 25: 2309499017690324, 2017.
4. Kramer DE, Mahan ST, Hresko MT: Displaced intra-articular fractures of the great toe in children: intervene with caution! *J Pediatr Orthop*, 34: 144-149, 2014.
5. Shin YW, Choi IH, Rhee NK: Open lateral collateral ligament injury of the interphalangeal joint of the great toe in adolescents during Taekwondo. *Am J Sports Med*, 36: 158-161, 2008.
6. Van Zeeland NL, Bae DS, Goldfarb CA: Intra-articular radial head fracture in the skeletally immature patient: progressive radial head subluxation and rapid radiocapitellar degeneration. *J Pediatr Orthop*, 31: 124-129, 2011.
7. Shimizu A, Watanabe S, Kamada K, Tsuboi I, Yamamoto H: Hallux valgus interphalangeus following osteochondral fracture of the proximal phalanx: a case report. *Foot Ankle Int*, 26: 994-996, 2005.
8. Gong HS, Kim YH, Park MS: Varus instability of the hallux interphalangeal joint in a taekwondo athlete. *Br J Sports Med*, 41: 917-919, 2007.
9. Kay RM, Tang CW: Pediatric foot fractures: evaluation and treatment. *J Am Acad Orthop Surg*, 9: 308-319, 2001.
10. Bariteau JT, Murillo DM, Tenenbaum SA, Brodsky JW: Joint salvage after neglected intra-articular physeal fracture of the hallux in high-level gymnasts. *Foot Ankle Spec*, 8: 130-134, 2015.
11. Buch BD, Myerson MS: Salter-Harris type IV epiphyseal fracture of the proximal phalanx of the great toe: a case report. *Foot Ankle Int*, 16: 216-219, 1995.
12. Perugia D, Fabbri M, Guidi M, Lepri M, Masi V: Salter-Harris type III and IV displaced fracture of the hallux in young gymnasts: a series of four cases at 1-year follow-up. *Injury*, 45 Suppl 6: S39-S42, 2014.
13. Nissenbaum M: Avascular necrosis of the distal phalangeal epiphysis following physeal fracture: a case report. *J Hand Surg Am*, 24: 633-637, 1999.
14. Nellans KW, Chung KC: Pediatric hand fractures. *Hand Clin*, 29: 569-578, 2013.