



쇄골 간부 골절의 최소 침습적 경피적 금속판 고정술의 수술적 결과

유성호 · 강석웅* · 서재승

부산대동병원 정형외과, 양산부산대학교병원 정형외과*

Surgical Results of Minimally Invasive Percutaneous Plate Fixation in the Treatment of Clavicle Shaft Fracture

Seong-Ho Yoo, M.D., Suk-Woong Kang, M.D.*[✉], Jae-Seung Seo, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Busan Daedong Hospital, Busan,
 Department of Orthopedic Surgery, Pusan National University Yangsan Hospital*, Yangsan, Korea

Received July 20, 2018
 Revised September 20, 2018
 Accepted November 7, 2018

✉Correspondence to:

Suk-Woong Kang, M.D.
 Department of Orthopedic Surgery,
 Pusan National University Yangsan
 Hospital, 20 Geumo-ro, Mulgeum-
 eup, Yangsan 50612, Korea
 Tel: +82-51-550-9396
 Fax: +82-55-360-1098
 E-mail: redmaniak@naver.com

Financial support: None.
 Conflict of interests: None.

Purpose: This study analyzed the results of the midclavicle fracture treatment using the minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis (MIPO) technique in a retrospective manner.

Materials and Methods: Between March 2013 and March 2017, this study analyzed 40 patients who received MIPO surgery. Excluding 1 patient who underwent surgery on another body part injury, and 4 patients who were lost to follow-up over 1 year, 40 patients were analyzed for their operation time, bone union, functional American Shoulder and Elbow Surgeons score, scar lengths, pain relief (visual analogue scale), and complications.

Results: All patients over a 1 year of follow-up achieved bone union, and American Shoulder and Elbow Surgeons score 97.6 (94-100) on their shoulder functional scores. Their average operation time was 42.7 minutes, and the average scar length was 6.1 cm. Eighteen patients successfully received metal removal using the previous scar without additional incision. The clavicle length was similar in the normal and operated group.

Conclusion: Despite its small sample size, clavicle fixation using the MIPO technique can be considered an effective treatment because of its limited number of complications, such as nonunion and rotational angulations.

Key Words: Clavicle shaft fracture, Plate fixation, Minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis

서 론

최근 전위된 쇄골 간부 골절의 경우에서 보존적 치료 시 발생하는 불유합, 쇄골 길이의 단축과 회전 변형으로 인해 다양한 기능 저하 및 환자의 불만족으로 인해 수술적 치료가 증가하고 있다.^{1,2)} 흔히 이용되고 있는 고식적 개방적 금속판 고

정술의 경우 광범위한 골막 박리와 절개 부위로 인해 피부 감각 이상, 심부 감염 등의 문제가 발생할 수 있다.³⁻⁵⁾ 또한 골수강 내 고정술의 경우 금속정 파손, 회전 불안정성, 길이 단축의 문제 등으로 한정된 환자에서 사용되고 있다.^{6,7)} 다양한 골절 부위에서 최소 침습적 방법을 이용한 가교 금속판 고정술의 유용성을 보고하면서 쇄골 간부 골절에서의 최소 침습적

방법도 수술의 한 방법으로 소개되고 있다.⁸⁻¹³⁾ Kang 등¹⁰⁾은 쇄골 간부 골절의 금속판 수술 시 고식적 방법과의 최소 침습적 경피적 금속판 고정술(minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis, MIPO)의 비교 논문에서 MIPO 수술 시 방사선 노출이 더 많았다는 단점이 있지만 피부 감각 저하의 합병증이 적었으며 짧은 수술 시간과 골 이식술이 없는 효과적인 치료법으로 소개하였다. Sohn 등¹³⁾은 34명의 쇄골 간부 골절 환자를 대상으로 MIPO에서 고식적 방법 비교 시 임상적 결과는 같았으나 짧은 수술 시간과 피부 감각 이상 환자가 적음으로써 유용성에 대해 보고하였다. 이에 저자들은 중간 부분 쇄골의 치료에 최소 침습 고정판 고정술을 시행하여 수술적 결과를 분석하여 그 유용성에 대해 연구해보고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2013년 3월부터 2017년 3월까지 쇄골 간부 골절로 단일 술자가 수술을 시행한 환자 중 최소 1년 이상의 추시가 가능하였던 40예를 대상으로 하였으며, 평균 추시 기간은 13.7개월(12-24개월)이었다. 2013년 3월부터 술자는 쇄골 간부 골절에 대해 MIPO를 시작하였다. 같은 기간 내 쇄골 간부 골절로 수술을 시행한 총 48명의 환자에 대해 금속판 고정술을 시행하였다. 수술 중 MIPO 시행 과정에서 골절 정복이 안되어 개방적 방법으로 시행한 경우는 없었다. 모든 쇄골 간부 골절 환자에서 MIPO로 계획하였으나 보존적 치료를 시행하던 3예에서 수상 후 2주 이후 수술적 치료를 결정하였고 수술 전 방사선 투과기로 골절 정복이 용이하지 않을 것이라 판단하여 개방적 금속판 고정술을 시행하였다. 45명의 환자 중 반대측 상완골 간부 골절 1예, 동측의 대퇴부 골절 1예는 본 연구에서 제외하였고, 연고지 관계로 1년 이상 추시되지 않은 환자 4명을 제외한 40명의 환자에 대해 수술시간, 골 유합, 기능적 평가(American Shoulder and Elbow Surgeons [ASES] score), 수술 반흔의 길이에 대해 분석하였고, 피부 감각 이상을 비롯한 합병증에 대해 조사하였다. 40명 중 금속판 제거술을 시행한 18명의 환자에 대해 금속판 제거술 후 방사선적 결과를 측정하였다(Table 1).

수술 후 2주간 팔걸이를 착용하였고 수술 직후 통증이 없는 한 견관절 수동 운동을 시작하였으며 수술 후 2주 후부터 능동 운동을 시작하였다. 수술 직후, 1주, 2주, 4주, 8주, 12주

에 방사선 촬영을 하였고 단순 방사선상 가골이 골절 부위를 견고하게 연결하고 있으며 골절 부위 압통이 없을 시 골 유합 시기를 결정하였다. Type 2B2의 경우 큰 골절편의 양측의 가골이 골절 부위에 견고하게 연결되었을 시 골 유합 시기로 판단하였다. 통계 분석은 SPSS Statistic ver. 17.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 Mann-Whitney U-test 및 chi-square test로 시행하였으며 p값이 0.05 이하인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

2. 수술 방법

모든 환자에서 전신 마취하 beach chair position에서 시행하였고, 절개 전 C자형 영상증폭 장치하에 골절 부위 확인 및 금속판의 위치를 확인한 후 쇄골 근위부와 원위부에 각각 3 cm 정도의 절개 부위를 정하였다. 해부학적 잠김 압박 금속판(locking compression plate)을 이용하였고, 수술 전 금속판의 성형은 하지 않았으며, 절개 전 C-arm guide하에 골절 선을 고려하여 금속판의 길이를 확인한 후 선택하였다. 금속판의 절개 후 잠김 압박 금속판을 근육하 터널 내로 삽입 후 내측에 먼저 나사못 고정을 시행하였다. 이후 골절 정복을 시도한 뒤 원위부에 피질골 나사를 지연 나사로 사용하여 정렬을 맞춘 후 영상 증폭 장치로 확인하였다. 골절 정복 시 영상 증폭 장치의 전후면 상에서 위아래로의 전위 여부 및 쇄골 길이 등을 확인하였고, 측상면에서 전후로의 전위 여부를 확인하였다. 정복이 용이하지 않을 경우 금속판의 내측부를 쇄

Table 1. Demographic Data and Injury Details of the 40 Patients

Variable	Value
Age (yr)	46.8 (16-88)
Follow-up (mo)	13.7 (12-24)
Type of fractures*	
Type 2B1 (simple)	14
Type 2B1 (wedge)	15
Type 2B2 (comminuted)	11
Sex	
Male	32
Female	8
Mechanism of injury	
Simple fall down	12
Traffic accident	10
Other (sport, bicycle, etc.)	18

Values are presented as median (range) or number only. *Robinson classification.

골과 고정한 후 towel forceps를 이용하여 외측부의 쇄골을 정복하였으며, 불안정할 경우 일시적 K-강선을 이용하여 고정 후 금속판을 대고 나사못 고정을 시행하였다. 근위부와 원위부 각각 3개 이상의 나사못을 고정하고자 하였는데 쇄골의 모양과 금속판의 모양이 일치하지 않을 경우 금속판 양 끝 홀의 나사못 고정 시 피질골 나사로 방향을 달리하여 고정력을 높일 수 있도록 하였다. 모든 나사못을 고정한 후 영상 증폭 장치로 골절부의 정복 및 나사못 길이를 확인한 뒤 봉합을 시

행하였다(Fig. 1).

결 과

1년 이상 추시 관찰 가능했던 40예에서 모두 골 유합이 이루어졌으며, ASES score는 97.6점(94-100점)으로 양호한 결과를 보였다. 평균 수술 시간 42.7분, 수술 반흔의 길이는 6.1 cm였다. 합병증으로 금속 고정실패로 인한 부정 유합 1예를

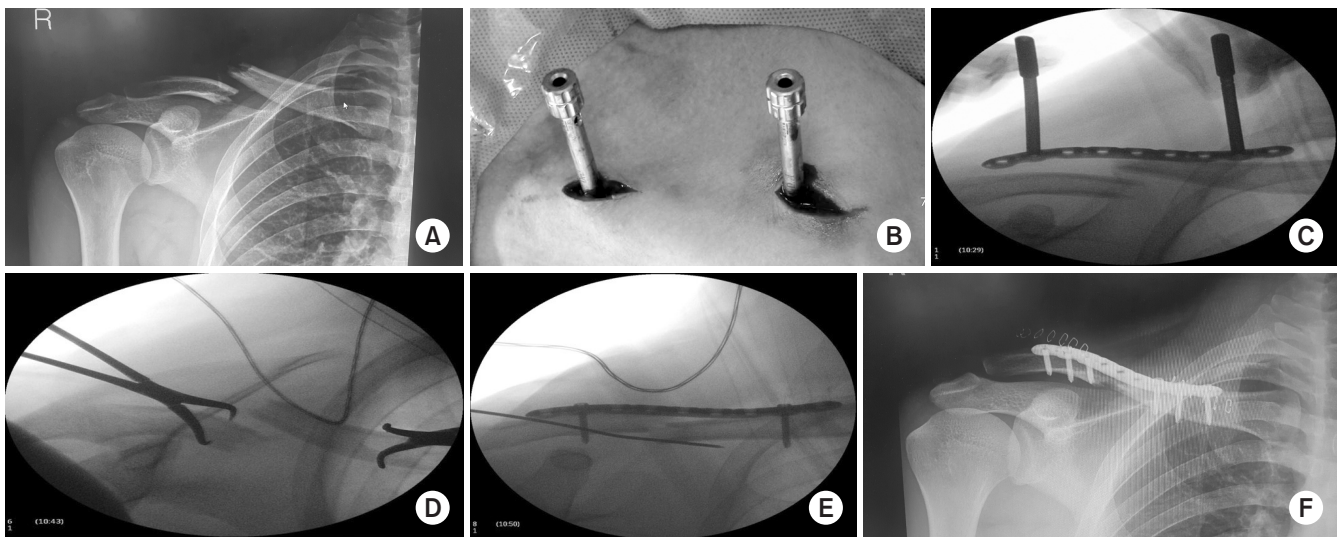


Fig. 1. (A) Preoperative radiography. (B) Plate was slid through the submuscular tunnel. (C) During operation, the anteroposterior view was checked to prevent fracture distraction. (D) Check axial view for preventing anteroposterior translation. (E) Temporary fixation by K-wire and screw fixation. (F) Postoperative radiography.

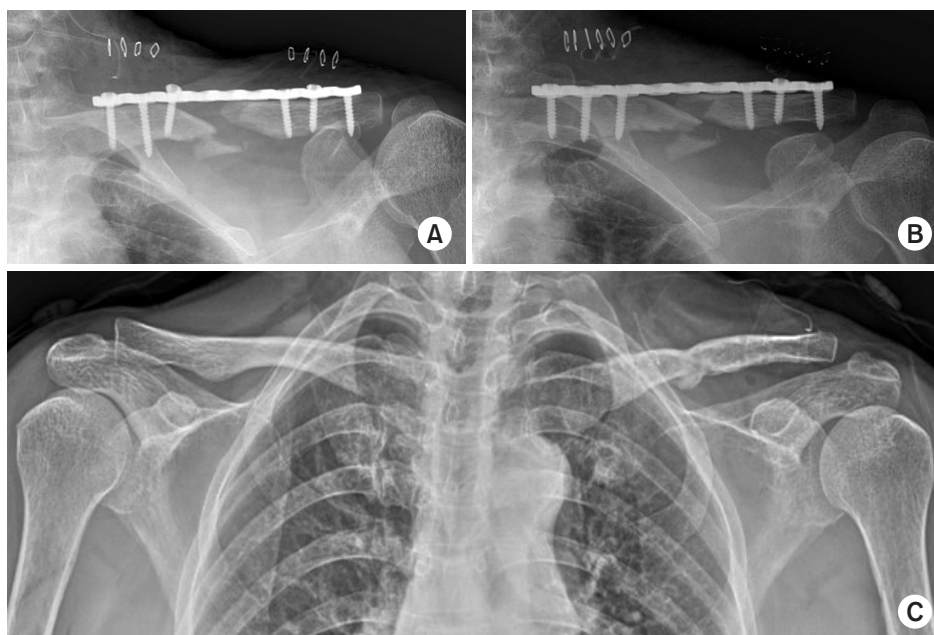


Fig. 2. (A) Postoperative day one, failure of reduction. (B) Reoperation for adequate reduction. (C) Metal removal after 1 year.

Table 2. Surgical Results of the Patients

Variable	Results
Time from injury to surgery (d)	2.7 (1-7)
Operation time (min)	42.7 (38-75)
Length of surgical wound (cm)	6.1 (5.8-7.9)
Fracture healing time (wk)	12.1 (8-20)
ASES score (last follow-up)	97.6 (94-100)
Clavicle length ratio (operation side/non-injured side)	1.02
Clavicle length ratio (18 patients of metal remove)	1.01

Values are presented as median (range) or ratio.

보였으나 금속판 제거술을 시행하였고, 기능적으로 양호한 결과를 보였다. 수술 직후 단순방사선 촬영상 부정확한 정복으로 인해 다음날 다시 MIPO를 시행하였으며, 술 후 유합되어 금속판 제거술을 시행하였다(Fig. 2). 금속판 파손 1예를 보였으나 보존적 치료로 유합되었다. 수술 절개 부위의 피부 이상 감각이 6명의 환자에서 관찰되었으나 추시 관찰 중 호전되었다. 18명의 환자에서 금속판 제거술을 시행하였으며, 수술 시 이전 절개를 통해 금속판 제거술이 가능하였고, 추가적인 절개는 가하지 않았다. 반대편의 정상 부위와의 쇄골 길이를 측정하였으며 통계적으로 차이를 보이지 않았다(Table 2).

고 찰

쇄골 간부의 골절에서 많은 저자들이 관혈적 정복술 후 금속판 고정술을 선호해 왔고, 비교적 어렵지 않게 수술을 시행하였으며, 높은 골 유합률과 우수한 임상적 결과를 보고하였다.^{1,2)} 하지만 최근 하지 골절뿐 아니라 상완골 근위부, 중간부위 골절에서도 생물학적 고정 방법을 선호하고 있다.^{8,9)} 쇄골 간부 골절에서도 광범위한 골막 박리와 비교적 큰 수술 절개 부위로 인한 문제점을 보완하고자 쇄골 간부 골절에서의 MIPO가 보고되고 있다.¹⁰⁻¹³⁾

Nathe 등¹⁴⁾은 쇄골 골절의 수술 시 상쇄골 신경의 손상으로 인해 10%~29%에서 절개 부위 및 근위 가슴벽의 피부 감각 이상을 보인다고 하였고, 외측 분지의 경우 평균 견봉쇄골 관절에서 평균 59.7 mm, 내측 분지의 경우 흉쇄 관절에서 48.2 mm에 위치한다고 하였으며, 내측에서 2.7 cm, 외측에서 1.7 cm 이내가 안정지대로 보고하였다. Jiang과 Qu¹⁵⁾는 쇄골 간부 골절 수술 시 개방적 고정술식과 MIPO와의 비교논문에서 MIPO를 시행한 환자에서 피부 감각 이상의 감소와 환자의 만족도에서 높다고 보고하였고, 저자들의 경우 역시 개방 술식보다 작은 피부 감각 이상을 보였다.¹⁶⁾ 절개선의 길

이가 각각 3 cm로, 총 6 cm 가량의 절개선으로 고식적 술식과 정확히 절대 크기가 작다고는 볼 수 없지만 상쇄골 신경의 분포를 고려했을 때 피부 감각 이상의 측면에서 유리하다고 생각된다. 하지만 관혈적 정복이 용이하지 않아 수술 시간의 연장과 과도한 피부 전인이 발생할 시 개방적 술식으로 전환하는 것이 다른 합병증을 예방할 수 있을 것으로 생각된다.

Kang 등¹⁰⁾은 MIPO 시 잠김 압박 재건 금속판을 사용하여 술 전 사체 쇄골에 금속판을 대고 형태를 맞추어 사용하였다. Bang 등¹¹⁾은 해부학적 잠김 금속판을 사용하였고, 수술 전 금속판을 성형하지 않고 사용하였다. VanBeek 등¹⁷⁾은 재건 금속판의 경우 염전 및 축성 저항력의 강도가 낮아 골절 부위에서 변형되어 불유합, 부정 유합의 원인이 되며 피부로 돌출되어 환자의 불편함과 통증의 빈도가 높다고 하였고, 최근 나온 pre-contoured anatomical plate의 low profile, beveled edge가 낮은 연부조직 자극과 해부학적 적합성을 가진다고 하였다. 저자들의 경우 해부학적 잠김 금속판으로 술 전 성형하지 않았으며, 수술 시 가장 외측과 내측의 나사못의 경우 잠김 나사못을 사용할 경우 위치가 정확히 쇄골 중간 부위에 놓이지 않는 경우가 있었고, 피질 나사못을 이용하여 방향을 달리하여 고정력을 높이려고 하였다. 한 예에서 내측 부위 금속판이 쇄골 윤곽과 맞지 않아 환자의 불편감을 보여 10개월째 골 유합 후 금속판 제거술을 시행하였다.

MIPO에서 관혈적 정복에 비해 수술 소요시간의 감소와 출혈량의 감소를 보인다고 하였는데, 이는 피부절개의 최소화 연부조직 박리 및 골막 박리가 관혈적 정복에 비해 적게 이루어졌기 때문이라고 하였다.¹¹⁾ 저자들의 경우 출혈량을 조사하지는 못했으나 관혈적 정복과의 비교 논문에서 수술 소요시간의 감소를 보고하였다. 관혈적 정복의 경우 특히 분쇄골절이나 골편이 있을 경우 자연 나사 등의 추가적인 술식이 필요한 경우가 있었다.

쇄골 간부 골절에서 골수강 내 고정술의 경우 단순 골절이나 췌기 골절 등에서 유용하나 분쇄 골절에서 사용 시 쇄골의 길이와 회전을 맞추기 힘들어 적합하지 않다고 하였다.^{6,7)} 하지만, 최소 침습 고정판의 경우 쇄골 분쇄 골절인 경우에도 유용하게 사용될 수 있다고 하였다.¹⁰⁻¹³⁾ 또한 Sohn 등¹³⁾은 쇄골 골절에서 단축과 부정 유합 등이 견갑 운동 이상증을 동반할 수 있다고 했지만, 양 군에서의 길이 차이가 없다고 하였다. 저자들의 경우 역시 쇄골 길이의 차이는 보이지 않았으며, 뚜렷한 견갑 운동 이상증을 보이는 환자는 없었다. 하지만 견갑골 이상에 대한 임상적, 정량적 검사를 시행하지 않아 추후 검사가 필요하리라 생각된다.

MIPO에서 골절 정복에 대한 저자들마다 여러 방법을 제시하고 있다. Zhang 등¹²⁾은 쇄골 정복기를 고안하여 사용하였고, Jeong 등¹⁸⁾은 3차원 프린팅을 이용하여 정복을 용이하도록 하였다. 저자들의 경우 정복이 용이하지 않을 경우 K-강선이나 정복 검자를 이용하여 임시 고정 후 금속판 내 외측에 나사못을 고정하였으며, C-arm상 전후면 상에서 전위가 얼마나 되는지 확인하며, 최대한 axial 상으로 앞뒤로 정복이 잘되어 있는지 세심히 확인하는 것이 중요하다고 생각된다.

MIPO 시 방사선 투과 촬영에 대한 위험성이 제기되고 있다. 저자들의 경우 역시 수술 절개 전 방사선 투과 촬영을 하면서 미리 절개 부위를 확인하는 작업이 선행되었고, 수술 도중 관혈적 정복에 비해 방사선 투과 시간이 많았을 것을 생각된다. 물론 방사선 노출 시간에 대한 정확한 비교를 하지 못한 한계가 있으나 여러 논문에서 이미 방사선 노출에 대한 위험성을 보고하였다. 이를 예방하기 위해 최소 침습 고정술 시 방사선 노출량을 줄이기 위해서 철저한 방사선 차폐가운 착용 및 방사선 촬영기와 적절한 거리를 유지하는 등의 노력을 해야겠다.¹⁰⁾

합병증으로 발생된 부정 유합 환자의 경우 금속판의 길이가 충분히 길지 않아 외측부 나사못의 일부가 골절선 근처에서 고정이 되어 고정력의 약화로 인해 금속판의 외측부가 전위되면서 골절부의 각 형성이 생겼다. 하지만 골 유합 후 금속 제거술을 시행하였고, 임상적으로 큰 불편감을 호소하지는 않았다. 수술 전 단순 방사선 촬영, 필요 시 컴퓨터 단층촬영 등을 참고하여 충분한 길이의 금속판을 선택해야 하겠다. 수술 후 부정확한 골절 정복으로 다음날 재수술을 시행한 환자의 경우 다음날 다시 MIPO를 먼저 시행하였는데, 금속판의 내측부 나사못은 그대로 두고 외측부 나사못을 다시 제거한 후 전이된 골절 부위를 다시 내측으로 밀어 넣은 후 고정하였다. 쇄골의 S-shape 모양으로 인해 영상 증폭기로 확인 시 정확한 골절부 접촉을 확인하기 어려운 경우 절개선으로 probe를 이용하여 골절부의 전이 소견을 확인해 볼 수 있다.

본 연구의 제한점으로 전향적으로 관혈적 정복술과 비교하지 못하였다는 한계가 있으며, 쇄골의 회전변형에 대한 정확한 연구와 견갑골 운동 이상에 대한 임상적, 정량적 조사가 이루어지지 않았다는 점이다.

결론

적은 환자군이지만 쇄골 간부 골절에서 MIPO는 불유합

등의 합병증이 적었으며, 임상적, 방사선적으로 모두 좋은 결과를 보임으로써 다른 수술 방법과 함께 고려해볼 만한 방법이라고 생각한다.

요약

목적: 쇄골 골절의 MIPO의 수술적 치료의 결과를 후향적 분석을 통해 분석하고자 하였다.

대상 및 방법: 2013년 3월부터 2017년 3월까지 쇄골 간부 골절로 최소 침습 고정술을 시행받은 45명의 환자 중 1예는 타 부위 동반 손상으로 수술적 치료를 시행하여 제외하였고, 연고지 관계로 1년 이상 추시되지 않은 환자 4명을 제외한 40명의 환자에 대해 수술시간, 골 유합, 기능적 평가(American Shoulder and Elbow Surgeons score), 수술 반흔의 길이, 술 후 통증 완화(visual analogue scale) 및 합병증에 대해 분석하였다.

결과: 1년 이상 추시 관찰 가능했던 40예에서 모두 골 유합이 이루어졌으며, ASES score는 97.6점(94-100점)으로 양호한 결과를 보였다. 평균 수술 시간 42.7분, 수술 반흔의 길이는 6.1 cm였다. 18명의 환자에서 금속판 제거술을 시행하였으며, 수술 시 이전 절개를 통해 금속판 제거술이 가능하였고, 추가적인 절개는 가하지 않았다. 반대편의 정상 부위와의 쇄골 길이를 측정하였으며 통계적으로 차이를 보이지 않았다.

결론: 쇄골 간부골절에서 MIPO 술식은 임상적, 방사선적으로 모두 좋은 결과를 보임으로써 다른 수술 방법과 함께 고려해볼 만한 방법이라고 생각한다.

색인 단어: 쇄골 간부 골절, 금속판 고정술, 최소 침습적 경피적 고정술

ORCID

유성호, <https://orcid.org/0000-0001-5955-4479>

강석웅, <https://orcid.org/0000-0003-0883-2461>

서재승, <https://orcid.org/0000-0002-4784-7829>

References

1. Robinson CM, Goudie EB, Murray IR, et al: Open reduction and plate fixation versus nonoperative treatment for displaced midshaft clavicular fractures: a multicenter, randomized, controlled trial. J Bone Joint Surg Am, 95: 156-184, 2013.
2. Canadian Orthopaedic Trauma Society: Nonoperative treatment

- compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am*, 89: 1–10, 2007.
3. Böstman O, Manninen M, Pihlajamäki H: Complications of plate fixation in fresh displaced midclavicular fractures. *J Trauma*, 43: 778–783, 1997.
4. Wijedicks FJ, Van der Meijden OA, Millett PJ, Verleisdonk EJ, Houwert RM: Systematic review of the complications of plate fixation of clavicle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*, 132: 617–625, 2012.
5. Der Tavitian J, Davison JN, Dias JJ: Clavicular fracture non-union surgical outcome and complications. *Injury*, 33: 135–143, 2002.
6. Millett PJ, Hurst JM, Horan MP, Hawkins RJ: Complications of clavicle fractures treated with intramedullary fixation. *J Shoulder Elbow Surg*, 20: 86–91, 2011.
7. Strauss EJ, Egol KA, France MA, Koval KJ, Zuckerman JD: Complications of intramedullary Hagie pin fixation for acute midshaft clavicle fractures. *J Shoulder Elbow Surg*, 16: 280–284, 2007.
8. Babst R, Hehli M, Regazzoni P: LISS tractor. Combination of the “less invasive stabilization system” (LISS) with the AO distractor for distal femur and proximal tibial fractures. *Unfallchirurg*, 104: 530–535, 2001.
9. Krettek C, Müller M, Miclau T: Evolution of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in the femur. *Injury*, 32 Suppl 3: SC14–23, 2001.
10. Kang TW, Hwang HJ, Lee DK, Han SB, Jeong WK: The usefulness of minimally invasive plate osteosynthesis to manage comminuted mid-clavicle fracture: a comparison with conventional open plating. *J Korean Orthop Assoc*, 52: 403–410, 2017.
11. Bang JY, Park BO, Seo YM, et al: Surgical treatment of clavicle midshaft fractures using a locking compression plate: conventional open reduction and plating with internal fixation versus minimal invasive plate osteosynthesis. *J Korean Orthop Assoc*, 52: 529–536, 2017.
12. Zhang T, Chen W, Sun J, Zhang Q, Zhang Y: Minimally invasive plate osteosynthesis technique for displaced midshaft clavicular fracture using the clavicle retractor. *Int Orthop*, 41: 1679–1683, 2017.
13. Sohn HS, Kim WJ, Shon MS: Comparison between open plating versus minimally invasive plate osteosynthesis for acute displaced clavicular shaft fractures. *Injury*, 46: 1577–1584, 2015.
14. Nathe T, Tseng S, Yoo B: The anatomy of the supraclavicular nerve during surgical approach to the clavicular shaft. *Clin Orthop Relat Res*, 469: 890–894, 2011.
15. Jiang H, Qu W: Operative treatment of clavicle midshaft fractures using a locking compression plate: comparison between mini-invasive plate osteosynthesis (MIPPO) technique and conventional open reduction. *J Orthop Trauma*, 98: 666–671, 2012.
16. Yoo SH, Kang SW, Kim BH, et al: A comparison between minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis and plate fixation in the treatment of clavicle midshaft fracture. *J Korean Orthop Assoc*, 52: 1–6, 2017.
17. VanBeek C, Boselli KJ, Cadet ER, Ahmad CS, Levine WN: Precontoured plating of clavicle fractures: decreased hardware-related complication? *Clin Orthop Relat Res*, 469: 3337–3343, 2011.
18. Jeong HS, Park KJ, Kil KM, et al: Minimally invasive plate osteosynthesis using 3D printing for shaft fractures of clavicle: technical note. *Arch Orthop Trauma Surg*, 134: 1551–1555, 2014.