

쇄골 원위부 골절에 대한 변형긴장대선 수술의 안정력 강화를 위한 K-강선 및 추가 봉합의 효과

채승범 · 최창혁[✉] · 김동영

대구가톨릭대학교병원 정형외과

Usefulness of the Additional K-Wire Fixation and Suture for Reinforce the Treatment of Distal Clavicle Fracture Using Modified Tension Band Wiring

Seung-Bum Chae, M.D., Chang-Hyuk Choi, M.D.[✉], Dong-Young Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Daegu Catholic University Medical Center, Daegu, Korea

Purpose: We attempted to evaluate the clinical results of modified tension band wiring (MTBW) with additional K-wire fixation and suture for distal clavicle fracture.

Materials and Methods: Fifty-nine patients with a distal clavicle fracture from May 2009 to December 2013 treated with MTBW were enrolled in this study. Their fracture types were type 2, 12; and type 3, 33; type 4, 8; and type 5, 6 according to Craig classification group II; average age was 47.2 years with a mean follow-up period of 27.9 months. The operations were performed within a mean of 3.1 days after trauma. The clinical results were evaluated using University of California at Los Angeles scores (UCLA), American Shoulder and Elbow Surgeons scores (ASES) and Korean Shoulder Society scores (KSS) at 1 year after surgery.

Results: Radiographic bone union was achieved at a mean of 3.7 months after the operation. In the last observation, their range of motion was forward flexion 159.0°, external rotation 59.8°, and internal rotation 4.3 points, and there were 2 cases of nonunion. Each average functional score was UCLA 31.3 points, KSS 91.6 points, and ASES 93.0 points.

Conclusion: For the surgical treatment of distal clavicle fractures, MTBW with additional K-wire fixation and suture is a useful technique allowing early range of motion exercises, minimizing soft tissue damage, and preserving the acromio-clavicular joint.

Key Words: Clavicle, Distal clavicle fracture, Modified tension band wiring

서론

쇄골골절은 성인골절의 2%-5%를 차지하는 비교적 흔한 골절 중 하나로 견갑부 손상 중에 35%-44%를 차지한다.^{1,2)} 이 중 골절은 쇄골의 외측부위에서 21%-28%, 중간부위에서 69%-82%, 내측부위에서 2%-3% 정도 발생한다.³⁻⁶⁾ 쇄골의 간부골절 및 소아의 쇄골골절은 관혈적 정복을 하지 않아도 합병증 없이 유합이 잘되는 반면에 원위 쇄골골절은

Received March 25, 2015

Revised (1st) April 26, 2015, (2nd) August 18, 2015,
(3rd) November 2, 2015

Accepted December 31, 2015

✉Address reprint requests to: Chang-Hyuk Choi, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Daegu Catholic University Medical Center, 33 Duryugongwon-ro 17-gil, Nam-gu, Daegu 42472, Korea
Tel: 82-53-650-4276 · Fax: 82-53-652-4272
E-mail: chchoi@cu.ac.kr

Financial support: None. Conflict of interest: None.

Copyright © 2016 The Korean Fracture Society. All rights reserved.

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.

보존적 치료 시 불유합이 약 30%에서 발생한다고 보고되어 수술적 치료를 요하는 경우가 많다.^{7,8)} 원위 쇄골골절의 치료방법으로 다양한 수술적 치료방법들이 소개되어 왔으나 아직까지 어떤 수술방법이 더 나은지에 대하여는 논란의 여지가 있다. 금속판 등의 고정은 연부조직의 손상을 줄 수 있고 원위 골편의 고정이 어려울 때가 많다. 그리고 금속 고정을 자체가 문제를 일으키는 경우가 있다. 그리고 Phemister 술식의 경우 견봉 쇄골관절을 침범하는 문제가 있고 근본적으로 안정적인 고정이 힘들다는 한계가 있다. 본 연구에서는 기존의 변형긴장대선 고정술의 한계인 고정력 약화의 문제를 해결하기 위해 K-강선 및 비흡수성 봉합사를 추가하여 안정성을 증가시키고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2009년 5월부터 2013년 12월까지 쇄골 원위부 골절로 진료를 받은 77명의 환자들 중 동측 상완골 동반 골절이 있는 환자 16명과 보존적 치료를 시행한 환자 2명, 총 18명을 제외한 59명을 대상으로 하였다.

대상환자는 남자 39명, 여자 20명이었고, 우측이 26예, 좌측이 33예였다. Craig 분류에 따른 골절양상은 제1형 0명, 제2형 12명, 제3형 33명, 제4형 8명, 제5형 6명이었고, 연령 분포는 15세에서 78세로 평균 47.2세였으며, 수상 후 수술하기까지 걸린 기간은 1일에서 18일로 평균 3.1일에 수술적 치료를 시행하였다. 수술 후 1년에 어깨 관절 운동 범위 측정 및 UCLA 점수(shoulder rating scale of the University of California at Los Angeles),⁹⁾ ASES 점수(American Shoulder and Elbow Surgeons scores),¹⁰⁾ KSS 점수(Korean Shoulder Society scores)¹¹⁾를 이용하여 임상

적 평가를 측정하였다.

2. 수술방법

전신마취 후 해변의자(beach chair) 자세를 유지하였고 쇄골의 원위부 골절 부위로 랑거선을 따라 피부절개를 시행하였다. 골절부위를 노출시킨 후에 연부조직 손상을 최소화하며 큐렛을 이용하여 골절부위의 혈종을 제거한 후 세척하였다. 그 후에 골절부위의 근위부와 원위부 골편에 타올 클립으로 정복 후 K-강선을 전방에서 후방을 향하여 삽입하였다. 16 G의 강선을 근위부와 원위부에 삽입한 K-강선에 걸어 정복을 유지한 상태로 긴장을 주어 고정하였다(Fig. 1). 골절의 양상이 비스듬하거나 modified tension band wiring (MTBW)만으로는 안정적인 고정이 힘든 경우 주골절편을 K-강선으로 정복한 후에 MTBW를 시행하였다(Fig. 2). 전위된 골편들은 K-강선을 이용하여 정복하거나 작은 골편들은 비흡수성 봉합사(ethibond)를 이용하여 연부 조직과 함께 정복 및 고정하였다(Fig. 3). 고정 후 C-arm으로 만족할 만한 고정을 이루었는지 확인하였다. 각 층별로 봉합술 시행 후 수술을 종료하였다. 모든 예에서 수술 후 어깨보조기를 착용하여 보호하였고 수술 직후부터 주관절의 능동보조운동 및 등척성운동을 시행하였다. 술 후 4주부터 건관절의 수동운동을 시행하였고 술 후 6주에 어깨 보조기를 제거하고 건관절의 능동보조운동을 시행하였다.

3. 통계 분석

통계 분석은 IBM SPSS ver. 19.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용하였다.

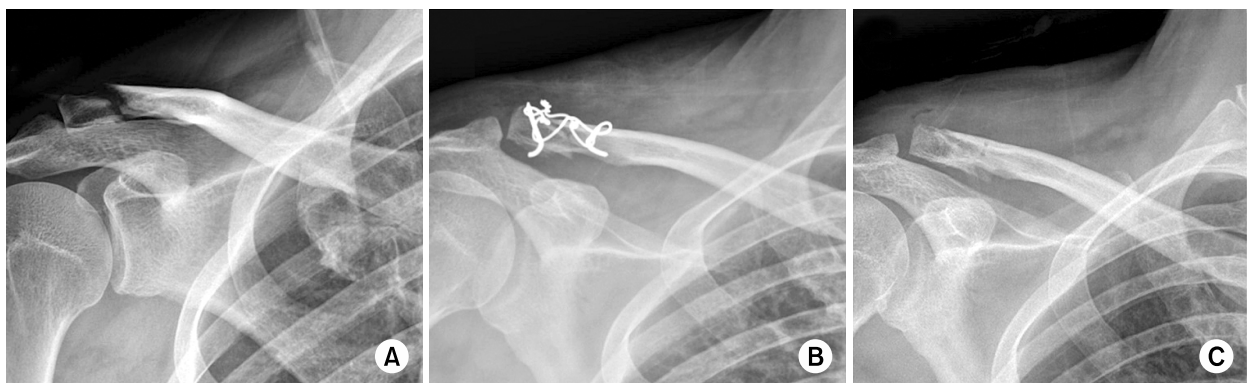


Fig. 1. (A) A 46-year-old male sustained a Neer type IIb right distal clavicle fracture. (B) The fracture was reduced with modified tension band wiring. (C) The last follow-up (postoperative day 4 months) radiograph shows solid union.



Fig. 2. (A) A 16-year-old male sustained a Neer type IIb left distal clavicle fracture. (B) The fracture was reduced with modified tension band wiring (MTBW). Ahead of MTBW, K-wire fixation on the displaced bone fragment (arrow). (C) The last follow-up (postoperative day 5 months) radiograph shows solid union. (D) K-wire fixation on the displaced bone fragment (arrow), which affords additional stability maintaining reduction of the displaced fracture segment.

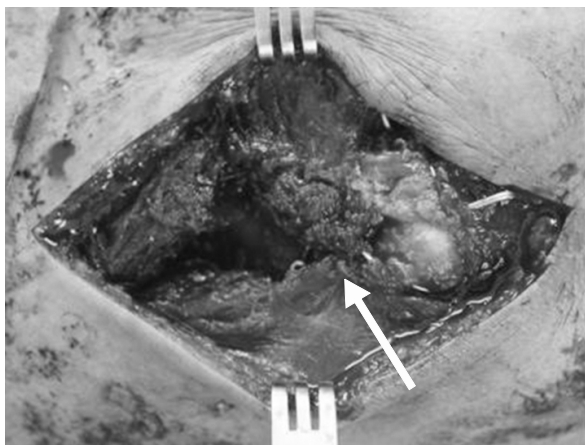


Fig. 3. Small bone fragment fixation with non-absorbable suture material (arrow), which affords stability of the fracture site as well as soft tissue healing.

결 과

1. 방사선 및 임상적 평가

쇄골의 전후방경사 및 두경사 방사선 사진을 촬영하여 수술 후 방사선적 골유합을 확인하였다. 골유합은 가골이 골절부의 상, 하 모두를 연결하거나 가골의 형성이 없는 경우는 골절선이 없어지고 골소주가 골절부를 통과하는 소견이 있을 때로 판정하였다. 임상적 골유합은 골절부 압통 유무와 견관절 운동 시 통증 유무로 판단하였다. 방사선적, 임상적 골 유합은 술 후 평균 3.6개월(2개월-5개월)에 확인 되었으며 고정물의 제거는 전 예에서 시행되었고, 술 후 평균 6.4개월(3개월-13개월)에 시행되었다. 수술을 받은 환자들 중 변형긴장대선 고정술만 시행한 환자 22명 중 Craig 분류에 따른 골절양상은 제2형 골절은 12명, 제3형

7명, 제4형 3명이었다. K-강선이나 비흡수성 봉합사를 사용하여 추가고정을 시행한 환자 37명 중 Craig 분류에 따른 골절양상은 제3형 골절 26명, 제4형 5명, 제5형 6명이었다. 수술을 시행받은 59예 중 2예에서 불유합 소견을 보였다. 불유합된 2예의 경우 초기 수술시 K-강선 추가 및 비흡수성 봉합사를 이용하지 않았고 술 후 각각 8개월, 16개월에 장골 골이식 및 금속판 고정을 통한 재수술을 시행하였다. 수술 후 1년에 시행한 임상적 평가는 전체 군에서 측정된 평균운동범위는 굴곡 159.0도(120-170도), 외회전 59.8도(30-80도), KSS상 내회전점수 4.3점이었고,¹²⁾ UCLA 점수는 평균 31.3점(25-3점), ASES 점수는 평균 93.0점(83-100점), KSS 점수는 평균 91.6점(84-100점)으로 만족할 만한 회복을 보여주었다. 변형긴장대선 고정술만 시행한 군의 평균 KSS 점수는 90.5점, UCLA 점수는 30.6점, ASES 점수는 92.8점이었고 변형긴장대선 고정술에 추가고정을 시행한 군의 평균 KSS 점수는 92.6점, UCLA 점수는 31.6점, ASES 점수는 93.0점으로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

고 찰

원위 쇄골골절은 견봉 쇄골관절에 인접한 부분으로 내측 골편과 오구 쇄골인대의 연속성이 단절되어 불안정한 경우가 많다. 이러한 원위 쇄골골절은 수술적 치료가 필요한 것으로 여러 연구에서 밝혀왔다.¹³⁻¹⁵⁾ 수술적 치료의 방법으로 다양한 방법들이 소개되어 왔으나 이는 각각의 장단점을 가지고 있고 무엇이 최적의 방법인지에 대하여는 논란의 여지가 있다. 골절편의 정복 및 고정방법에 따라 고찰해보면, 견봉 쇄골관절과 원위 쇄골골절 부위를 K-강선을 이용하여 고정시키는 Phemister 술식은 고식적으로 많이 사용되어온 방법이었다.¹⁶⁾ 이 경우 약 50%에서 K-강선이 이동한다는 보고도 있으며, 골절부의 견고한 고정이 힘들고, 견봉 쇄골 관절염을 유발하는 등 합병증이 발생할 수 있어 최근에는 잘 쓰이지 않고 있다.^{15,17-19)} 또 오구돌기 쇄골 간 나사못 고정술은 골절부위를 노출하지 않는 간접적 고정법으로 수술술기가 어렵고 나사못의 이완과 수술 후 재활치료가 늦어지는 단점이 있지만 골절유합과 어깨기능 회복에 좋다는 보고가 있다.^{5,20,21)} 금속판을 이용한 고정방법으로는 잠김금속판 또는 hook 금속판이 널리 사용되고 있다. 금속판은 적어도 나사가 두 개, 이상적으로는 세 개 이상 고정할 수 있을 정도로 외측골편이 큰 경우에 사용할 수 있으며, 좋은 고정력을 얻을 수 있지만 골편이 작거나 분쇄골절이 있는 경우 사용할 수 없다는 단점이 있다. Hook 금속판은 오프셋이 있는 바깥쪽 hook를 견봉의 하후방에 위치하여 고정하며, 외측골편이 나사못을 고정할 수 없을 만큼 작을 때 사용할 수 있다. 하지만 금속판을

이용한 고정의 경우 관절강직 또는 견봉 쇄골관절의 골관절염이 발생할 수 있다는 우려가 있고 금속판에 의한 골침식 또는 용해, 견봉하 충돌증후군 등의 합병증이 있을 수 있다.²²⁻²⁴⁾

최근에는 이를 보완하여 T 금속판이나 해부학적 금속판을 이용한 고정술이 유용하다는 보고가 있다.²⁵⁾ 작은 골절편이 동반되어 골고정이 힘든 경우 endobutton이나 polydioxanone suture를 사용한 경관절목음술을 사용하여 손상된 오구 쇄골인대나 견봉 쇄골인대를 재건해주는 방법도 사용되고 있는데 이는 빠른 재활을 할 수 있다는 장점이 있지만 고정력이 강력하지 않다는 단점이 있다.^{14,26)} 이러한 방법들을 전반적으로 비교분석한 임상적 결과에 대한 보고는 없는 실정으로 원위 쇄골골절에 대한 표준적인 치료는 정해지지 않았다.

Chun 등²⁷⁾은 이에 대한 대안으로 변형장력대강선 고정술을 개발하였다. 변형장력대강선 고정술을 이용한 원위 쇄골골절의 치료는 견봉 쇄골관절을 관통하지 않기 때문에 전형적인 장력대 강선 고정기법과 달리 견봉 쇄골 관절염을 유발하지 않고 수술 술기가 쉽다는 장점이 있다. 또한 내고정물의 유연성과 연부조직손상을 최소화하고 비교적 안정적인 고정을 얻을 수 있어 조기에 견관절 운동이 가능하다.^{18,27)} 그러나 Phemister 술식과 마찬가지로 견고한 고정은 얻을 수 없다는 한계점이 있다. 이에 저자는 기존의 변형장력대강선 고정술에 K-강선 및 비흡수성 봉합사를 이용한 적절한 추가 고정을 통해 안정성을 증가시켜 골절정도가 심한 Craig 제3형, 제4형, 제5형 골절에 대하여도 제2형 골절에 대하여 변형장력대강선 고정술을 시행한 것과 비슷한 결과를 나타내었다. 변형장력대강선 고정술에 적절한 추가 고정을 시행하는 술식은 다른 저자들의 금속판을 이용한 원위 쇄골골절의 치료와 비슷한 결과를 나타내었으며,²²⁻²⁵⁾ 또한 조기 관절운동 및 견봉 쇄골 관절염을 피할 수 있는 유용한 술식으로 생각된다.

본 연구에서도 거의 모든 환자에서 만족할 만한 결과를 얻었지만, 불유합된 2예의 경우 초기 증례로서 최초 골편 전위가 심하여 변형장력대강선 고정술식만으로 안정적인 고정이 힘들었던 것이 불유합의 원인으로 생각된다. 따라서 이후의 증례에서는 K-강선고정과 비흡수성 봉합사를 이용한 연부조직의 봉합을 추가함으로써 안정적인 고정을 시행할 수 있었고, 분쇄 골절과 인대손상이 있는 증례에서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 분쇄골절 양상과 인대 손상이 심한 경우 변형장력대강선 고정술을 적용하는 것은 한계가 있다고 생각된다. 하지만 이러한 경우에 고식적인 금속판을 이용한 고정 또한 제한점이 있을 것으로 생각이 되며, 오히려 저자들의 방법이 대안으로 제시될 수 있다고 판단하였다. 전위된 골편의 정복을 유지한 채 장력대강선

고정술을 시행하거나 비흡수성 봉합사를 이용한 골편과 연부조직의 봉합을 추가함으로써 수술 직후 골편의 안정성을 얻는 데 도움이 될 수 있을 것으로 생각되었다.

본 연구의 한계점으로 중기 추시(평균 27.9개월, 범위 22-48개월) 결과이기 때문에 건봉 쇄골관절의 외상성 관절염의 발생 및 증상을 확인하기에는 기간이 짧을 수 있고 타 치료방법과 통계적 비교가 없다. 또한 증례의 수가 적고 골다공증 등 기저질환에 대한 고려가 이루어지지 않았기 때문에 임상적 결과에 영향이 있을 수 있다. 본 연구의 장점으로서는 기간 내 포함된 전체를 한 술식으로 단일 술자에 의해 시행되었고 중기 이상의 추시는 골절치료에 대하여 의미를 가질 수 있다. 원위 쇄골관절의 치료로서 변형장력대강선 고정술은 임상적, 방사선적으로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

결 론

MTBW를 이용한 쇄골 원위부 골절 치료는 최소한의 절개로 건봉 쇄골관절 및 연부조직의 손상을 최소화할 수 있는 술식이며, 수술 후 조기관절운동이 가능한 안정적인 고정술이다. 금속판 고정이 힘든 외측단 골절편의 분쇄가 동반된 분쇄상의 전위성 불안정성 골절이나 골절편의 개수가 많아 기존의 변형장력대강선 고정술로 충분한 고정력을 얻을 수 없는 경우에도 K-강선 및 비흡수성 봉합사를 이용한 추가 고정술은 시험적으로서 안정적인 고정이 가능할 것으로 생각된다.

References

- 1) Nordqvist A, Petersson C: The incidence of fractures of the clavicle. Clin Orthop Relat Res, (300): 127-132, 1994.
- 2) Robinson CM, Court-Brown CM, McQueen MM, Wakefield AE: Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. J Bone Joint Surg Am, 86: 1359-1365, 2004.
- 3) Postacchini F, Gumina S, De Santis P, Albo F: Epidemiology of clavicle fractures. J Shoulder Elbow Surg, 11: 452-456, 2002.
- 4) Robinson CM: Fractures of the clavicle in the adult. Epidemiology and classification. J Bone Joint Surg Br, 80: 476-484, 1998.
- 5) Stanley D, Trowbridge EA, Norris SH: The mechanism of clavicular fracture. A clinical and biomechanical analysis. J Bone Joint Surg Br, 70: 461-464, 1988.
- 6) Allman FL Jr: Fractures and ligamentous injuries of the

- clavicle and its articulation. J Bone Joint Surg Am, 49: 774-784, 1967.
- 7) Kim JH, Lee SC, Cho DY, Yoon HK, Lee YS: Percutaneous cerclage wiring in distal clavicle fracture type 2a-one case report. J Korean Shoulder Elbow Soc, 9: 124-129, 2006.
- 8) Neer CS 2nd: Nonunion of the clavicle. J Am Med Assoc, 172: 1006-1011, 1960.
- 9) Ellman H, Hanker G, Bayer M: Repair of the rotator cuff. End-result study of factors influencing reconstruction. J Bone Joint Surg Am, 68: 1136-1144, 1986.
- 10) Richards RR, An KN, Bigliani LU, et al: A standardized method for the assessment of shoulder function. J Shoulder Elbow Surg, 3: 347-352, 1994.
- 11) Tae SK, Rhee YG, Park TS, et al: The development and validation of an appraisal method for rotator cuff disorders: the Korean Shoulder Scoring System. J Shoulder Elbow Surg, 18: 689-696, 2009.
- 12) Lee GJ: The shoulder & elbow. Seoul, Yeong Chang Co: 2007.
- 13) Herrmann S, Schmidmaier G, Greiner S: Stabilisation of vertical unstable distal clavicular fractures (Neer 2b) using locking T-plates and suture anchors. Injury, 40: 236-239, 2009.
- 14) Hessmann M, Kirchner R, Baumgaertel F, Gehling H, Gotzen L: Treatment of unstable distal clavicular fractures with and without lesions of the acromioclavicular joint. Injury, 27: 47-52, 1996.
- 15) Kashii M, Inui H, Yamamoto K: Surgical treatment of distal clavicle fractures using the clavicular hook plate. Clin Orthop Relat Res, 447: 158-164, 2006.
- 16) Neviaser RJ: Injuries to the clavicle and acromioclavicular joint. Orthop Clin North Am, 18: 433-438, 1987.
- 17) Kona J, Bosse MJ, Staeheli JW, Rosseau RL: Type II distal clavicle fractures: a retrospective review of surgical treatment. J Orthop Trauma, 4: 115-120, 1990.
- 18) Kao FC, Chao EK, Chen CH, Yu SW, Chen CY, Yen CY: Treatment of distal clavicle fracture using Kirschner wires and tension-band wires. J Trauma, 51: 522-525, 2001.
- 19) Ko SH, Cho SD, Park MS, Ryu SG: The use of hook plate on the management of unstable Neer II lateral end fracture of the clavicle. J Korean Shoulder Elbow Soc, 6: 131-137, 2003.
- 20) Khan LA, Bradnock TJ, Scott C, Robinson CM: Fractures of the clavicle. J Bone Joint Surg Am, 91: 447-

- 460, 2009.
- 21) **VanBeek C, Boselli KJ, Cadet ER, Ahmad CS, Levine WN:** Precontoured plating of clavicle fractures: decreased hardware-related complications? *Clin Orthop Relat Res*, **469**: 3337-3343, 2011.
- 22) **Flinkkilä T, Ristiniemi J, Hyvönen P, Hämäläinen M:** Surgical treatment of unstable fractures of the distal clavicle: a comparative study of Kirschner wire and clavicular hook plate fixation. *Acta Orthop Scand*, **73**: 50-53, 2002.
- 23) **Flinkkilä T, Ristiniemi J, Lakovaara M, Hyvönen P, Leppilahti J:** Hook-plate fixation of unstable lateral clavicle fractures: a report on 63 patients. *Acta Orthop*, **77**: 644-649, 2006.
- 24) **Mizue F, Shirai Y, Ito H:** Surgical treatment of comminuted fractures of the distal clavicle using Wolter clavicular plates. *J Nippon Med Sch*, **67**: 32-34, 2000.
- 25) **Kang HJ, Park KK, Yoon HK, Song HK, Hahn SB:** T Plate fixation for unstable fracture of distal clavicle. *J Korean Fract Soc*, **19**: 329-334, 2006.
- 26) **Levy O:** Simple, minimally invasive surgical technique for treatment of type 2 fractures of the distal clavicle. *J Shoulder Elbow Surg*, **12**: 24-28, 2003.
- 27) **Chun JM, Kim SY, Lee KW, Shin SJ, Kim EG:** Modified tenson band fixation for unstable fracture of the distal clavicle. *J Korean Orthop Assoc*, **37**: 416-420, 2002.

쇄골 원위부 골절에 대한 변형긴장대선 수술의 안정력 강화를 위한 K-강선 및 추가 봉합의 효과

채승범 · 최창혁[✉] · 김동영

대구가톨릭대학교병원 정형외과

목 적: 쇄골 원위부 골절에 대하여 변형긴장대선 고정술과 K-강선 및 추가 봉합을 이용한 수술의 치료결과를 분석하였다.
대상 및 방법: 2009년 5월부터 2013년 12월까지 쇄골 원위부 골절로 진료를 받은 59명을 대상으로 하였다. Craig 분류에 따른 골절양상은 group II의 제2형 골절은 12명, 제3형 골절 33명, 제4형 골절 8명, 제5형 골절 6명이었고, 평균 47.2세, 평균 추시기간은 27.9개월이었으며, 수상 후 평균 3.1일에 수술을 시행하였다. 임상적 결과는 수술 후 1년에 University of California at Los Angeles scores (UCLA), American Shoulder and Elbow Surgeons scores (ASES) 및 Korean Shoulder Society scores (KSS) 점수를 이용하여 평가하였다.

결 과: 골유합 기간은 평균 3.7개월이었으며, 최종 추시 시 운동범위는 굴곡 159.0도, 외회전 59.8도, 내회전 4.3점이었고, 불유합 2예였다. 기능평가상 UCLA 31.3점, KSS 91.6점, ASES 93.0점이었다.

결 론: 쇄골 원위부 골절의 치료로 변형긴장대선 고정술에 K-강선 및 비흡수성 봉합사로 추가고정 시 조기 관절운동이 가능하고, 연부조직과 관절의 손상을 줄이며, 견봉 쇄골 관절염을 피할 수 있는 유용한 술식으로 생각된다.

색인 단어: 쇄골, 쇄골 원위부 골절, 변형긴장대선 고정술

접수일 2015. 3. 25 수정일 1차 2015. 4. 6, 2차 2015. 8. 18, 3차 2015. 11. 2 게재확정 2015. 12. 31

[✉]교신저자 최창혁

42472, 대구시 남구 두류공원로 17길 33, 대구가톨릭대학교병원 정형외과

Tel 053-650-4276, Fax 053-652-4272, E-mail chchoi@cu.ac.kr