

미세 골절술

가톨릭대학교 의과대학 성빈센트병원 정형외과

고 해 석

서 론

관절 연골의 급성 외상성 손상은 스포츠 손상으로 흔히 일어날 수 있고, 반복적인 외상에 인하여 퇴행성 관절 연골 손상이 만성 병변으로 발생할 수 있다. 관절 연골에는 혈관이 없고 연골 세포도 희박하여 관절 연골의 치유 능력이 불량하며 관절 연골 결손의 치료가 어렵다¹⁾. 관절 연골의 전층(full thickness) 병변에 대한 여러 치료법들이 시행되었으나 일반적으로 만족스러운 결과를 얻을 수 있는 방법은 드물다. 미세 골절술이 슬관절과 족관절 등에서 관절 연골의 전층 손상에 대한 효과적인 관절경적 치료법이며, 가장 많이 시행되는 골수 자극 기법이다. 이 기법은 비용 경제적이고, 술기가 어렵지 않으며, 환자의 병적 상태(morbidity)가 적고, 나중에 할 수 있는 추가 처치를 방해하지 않는 장점을 가지고 있다²⁾.

관절 연골 손상의 기전과 미세 골절술의 역사와 치유 기전을 설명하고, 주로 슬관절의 외상성 관절 연골 손상과 만성 퇴행성 관절 연골 소실에 대한 미세 골절술의 적응증과 금기증, 술 후 재활, 합병증과 결과에 대하여 기술하고자 한다.

1. 관절 연골 손상 기전과 발생률

한번 손상으로 전단 응력(shearing force)이 관절 연골에 발생하면 관절 연골이 골절되거나, 열상이 일어나거나, 연골 하 골과 분리되거나, 또는 연골하 골을 일부 포함하여 분리되고 젊은 연령에서 주로 급성 관절 연골 손상이 발생한다. 만성 퇴행성 변화는 중년 이상에서 정상 생리적 수준 이상의 반복적인 힘이 가해져 주로 일어나며, 이 만성 손상에서는 관절 연골의 부종이 일어나고, 교원질 섬유화, 콜라겐과 단백과당과의 관계에 변화가 발생한다³⁾. 급성 손상에서 관절 연골의 전층 소실은 드물고, 만성 손상에서 "degenerative

cascade"에 의하여 말기에는 연골하 골이 노출되어 전층 손상이 된다.

증상이 없는 관절 연골 손상 환자가 있어 관절 연골 손상의 실제 빈도는 정확히 알 수 없고, 증상을 유발하는 연골 병변의 발생률도 잘 알려져 있지 않다. 대부분 연구들에 의하면 관절 연골 전층 결손이 있는 환자의 약 5~10%에서 증상이 나타난다고 보고하였다. Curl 등은 슬관절에서 대부분의 관절 연골 병변은 슬개골의 Outerbridge grade III 병변이고, grade IV 병변은 주로 대퇴 내과에 위치하고, 40세 이하의 환자에서 grade IV 병변은 관절경 검사의 5%에서 발견되었고, 이 중 74%가 단일 연골 병변으로 관절경 검사의 4%를 차지하였고 보고하였다⁴⁾. Arøen 등은 국한된 관절 연골 ICRS grade III or IV 병변이 약 11%에서 발생한다고 보고하였고, 이 중 55%, 전체 슬관절 병변의 6%에서 크기가 2 cm²보다 컸다⁵⁾.

2. 미세 골절술의 역사와 기초 과학

관절 연골의 천층 병변(superficial lesion)은 초기에 잠깐의 치유 과정을 거치다가 바로 그 능력이 저하되나, 병변의 진행은 제한적이라고 알려져 있다⁶⁾. 1940년대에 연골하 골을 침범한 관절 연골 결손이 섬유 연골로 치유되면서 증상이 완화되는 것이 보고되었다. Haggart(1940년)와 Magnuson(1941년)은 퇴행성 관절 연골 손상 치료로 관혈적 연골 소파 관절 성형술(open chondral abrasion arthroplasty)을 제안하였다. 1959년 Pridie 등은 연골하 골 천공술(subchondral drilling)을 시행하고 치유 조직이 동물 실험에서 재생되나, 1년이 지나면서 악화된다고 보고하였다. 그 후 크게 각광을 받지 못하다가 관절경이 도입되면서 1970년대와 80년대에 Jackson은 관절경적 세척술(lavage)을 보고하였고⁷⁾, Johnson은 관절경을 이용한 소파 관절 성형술(abrasion arthroplasty)을 시행하고 좋은 결과를 보고하였다⁸⁾. 그리고 1994년 Rodrigo 등이 송곳(awl)을 이용한 미세 골절술을 보고하였다⁹⁾.

한때 주목을 받았던 소파 관절 성형술은 연골하 판 또는 골(subchondral plate or bone)을 훼손하여 관절의 안정성이 저하되어 하지의 기계적 축에 나쁜 영향을 미쳐 더 이상 사용

* Address reprint request to

Hae Seok Koh, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, St. Vincent's Hospital,
93 Ji-dong, Paldal-gu, Suwon 442-723, Korea
Tel: 82-331-249-8218, Fax: 82-331-254-7186
E-mail: hskoh@unitel.co.kr

이 보편화되지 못하였다.

기존에 사용되었던 소파 관절 성형술과 다발성 천공술을 비교하면 미세 골절술은 연골하 판의 형상을 유지하면서 연골하 골 골수로부터 배출된 혈액이 혈액 덩어리를 형성할 수 있는 조면을 병변 부위에 만든다는 점이다. 이 혈액덩어리는 골수로부터 나오는 'pluripotent stem cell recruitment' 를 가져 'super clot' 이라고도 한다. K-wire를 이용하여 다발성 천공할 때 발생하는 열로 인한 조직의 손상을 미세 골절술은 예방할 수 있다. 미세 골절술을 시행하면 관절 연골의 재생을 얻을 수 있으나 그 두께가 완전히 회복되기 어렵고 정상 관절 연골로의 재생이 되지 않는다고 알려져 있다. 말을 이용한 동물 실험과 여러 임상 연구에서 제 2형 교원질 섬유가 재생 조직에서 관찰되었다^{2,6,21}. 그러나 제 1형 교원질 섬유와 aggrecan은 증가되지 않았다. 동물 실험에서 석회화 연골층을 제거한 군과 제거하지 않고 미세 골절술을 시행한 군을 비교하여 석회화 연골을 제거한 군에서 전반적으로 관절 연골 재생이 우수하여 석회화 연골층의 제거가 미세 골절술에서 중요하다고 하였다^{26,27,28}.

연골의 재생에 영향을 미치는 인자로는 환자의 연령, 관절 연골 결손의 크기 및 위치⁹, 활액막의 상태, 반월상 연골과 같은 연부 조직 병변의 동반 여부, 슬관절의 안정성 여부, 술 후 지속성 수동적 운동(CPM) 시간^{29,30}, 체중 부하 제한^{31,32}, 술 전 관절간격 그리고 술 전 변형 정도 등이 관여한다고 한다.

3. 미세 골절술의 적응증과 금기

1) 급성 관절 연골 손상에서 적응증과 금기증

작고 경계가 분명한 Outerbridge grade 3 또는 grade 4, 즉 관절 연골 전층 소실 병변이 가장 좋은 적응증이 된다¹⁰. 급성 관절 연골 손상에서 관절 연골 전층 소실, 연골하 골을 덮고 있는 불완전한 관절 연골, 그리고 소식자로 쉽게 긁혀져 연골하 골이 노출되는 부분 관절 연골 병변(partial thickness lesion)이 적응증이다. 그 밖에 고려하여야 할 요인들은 환자의 연령, 비만도, 관절의 정렬, 활동 수준, 재활 치료를 할 수 있는 의지, 그리고 환자의 기대 정도 등이다. 이들 기준들을 반드시 고려하여 미세 골절술을 시행하여야 한다.

연령 면에서 보면 35세 이하에서 미세 골절술의 효과가 크지만 급성 손상에서는 더 많은 연령에서도 미세 골절술의 효과가 있다. 임상적으로 4 cm² (400 mm²)보다 작은 크기의 전층 결손은 미세 골절술로 좋은 결과를 보이고 10 cm² (10000 mm²) 이상의 병변은 적합하지 않다고 알려져 있으나¹¹, 크기가 큰 급성 손상에서도 관절 연골 재생이 일어난다. 따라서 환자의 연령과 병변의 크기가 급성 손상에서는 절대 금기증이 되지 않는다. 손상으로부터 경과한 시간이 12주 이내이면 치료 결과가 좋다는 보고도 있다. 병변의 깊이는 5 mm이하가 좋은 결과를 보이고, 10 mm이상에서는 불량한 결과를 보여 금기라고 알려져 있다.

금기증으로 광범위한 퇴행성 변화가 동반된 경우, 정렬 불량, 술 후 재활치료에 대한 의지력의 부족(낮은 순응도), 부분 관절 연골 소실, 관절 비부하를 할 수 없는 경우, 인대 불안정성 등이 있다. 부정정렬이 금기증의 하나이나 절골술을 함께 시행하면 적응증이 될 수 있다. 최근 BMI가 30 kg/m²에서 불량한 예후를 보여 금기증으로 고려할 수 있다. 다른 수술들과 마찬가지로 환자의 기대가 크면 금기가 된다.

2) 급성 손상에서 수술 방법

환자를 앙와위로 눕히고 마취를 한 후, 자혈대를 부착하고 통상적인 방법으로 슬관절에 대한 탐색을 하면서 관절 연골뿐 만 아니라 내측 반월상 연골, 전후방 십자 인대, 활액막 등을 검사한다. 이때 동반 손상 중 반월상 연골 부위에 대한 치료를 먼저 시행하고, 십자인대재건술은 미세 골절술 후에 시행한다. 지혈대를 부착하나 되도록 압력을 올리지 않고 시행한다²⁹. 내측 추벽은 내측 대퇴과의 관절 연골 회복에 해가 될 수 있으므로 제거한다. 그리고 제일 마지막으로 미세 골절술을 시행한다.

소파기(curette), full radius resector, punch와 칼로 안정한 경계가 나오고 수직으로 될 때까지 불완전한 관절 연골을 제거한다. 제거가 불충분하면 재생 조직이 주위 관절 연골과 연골하 골에 부착하는 것을 방해한다. 병변 기저부를 덮고 있는 석회화 연골을 반드시 주의 깊게 긁어내어야 한다. 연골하 판의 손상은 최소화 하여야 한다. 급성 병변에서는 burr의 사용은 피하여야 한다. 여기까지의 과정이 'super clot'을 담은 웅덩이(pool)를 만드는 과정이다.

병변의 처치가 끝나면 미세 골절술 송곳으로 구멍을 만든다. 골에 직각으로 하여 절대 미끄러지지 않게 하고 손으로 밀거나 망치로 가볍게 친다. 주변에서 시작하여 점차 병변의 중앙으로 진행한다. 적절한 깊이(약 2~4 mm)가 들어가면 지방 방울이나 피가 나온다. 구멍 사이의 거리는 3~4 mm가 적당하다^{33,34}. 모든 처치가 끝나면 지혈대 압력을 올린 경우에는 압력을 풀고, 아니 경우에도 관절경 펌프의 압력을 감소하여 골수로부터 피가 나오는 것을 확인한다(Fig. 1). 송곳으로 구멍을 만들 때 손으로 하면 좀 더 거친 표면(rough surface)을 만들어 'clot'의 부착을 용이하게 할 수 있다. 배액(drain)은 사용하지 않아야 한다.

3) 만성 관절 연골 병변에서 적응증과 금기

만성 관절 연골 병변은 우선 보존적 방법으로 약 3개월 치료하고 호전이 없을 때 고려의 대상이 된다. 광범위한 퇴행성 변화, 정렬이 불량한 경우와 감염이 의심되는 경우는 절대 미세 골절술 시행의 금기증이다. 또한 60~65세 이상에서도 미세 골절술 후 재활이 어려워 힘들다. 병변 주위의 관절 연골이 전반적으로 얇고 병변이 광범위하면 금기증이 된다.

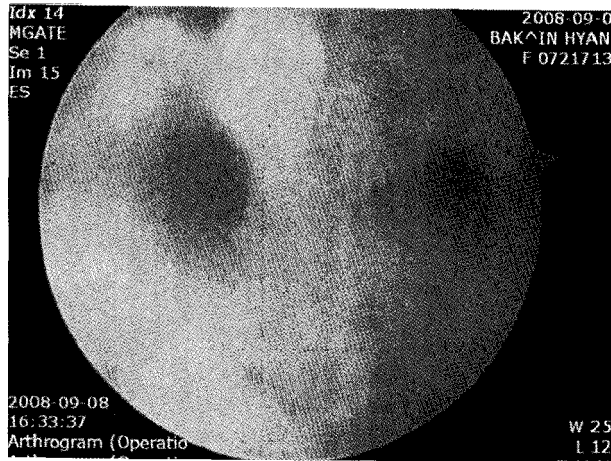


Fig. 1. Confirmation of bleeding through the holes following a decrease of the intraarticular pressure.

4) 만성 병변에서 수술 방법

대부분의 과정이 급성 손상과 비슷하나 경화된 풀이 국소적으로 여기저기에 노출되어 있으면 예비적으로 여러 위치에 송곳으로 몇 개의 구멍을 만들어 연골하 골과 경화골의 두께를 측정하고 이후 burr를 일정한 반점형 출혈(punctate bleeding)이 보일 때까지 주의 깊게 제거하여야 한다. 그리고 출혈이 일어나면 미세 골절술을 시행한다. 이때도 주변의 관절 연골을 비교적 정상에 가깝게 두꺼워야 한다.

5) 수술 후 처치 및 재활

지속성 수동적 운동은 회복실에서부터 일찍 시작하여 하루에 6~8시간씩 6주간 시행한다. 병변의 위치에 따라 운동 범위를 결정하여야 한다. 속도는 1 cycle/min으로 한다. 대퇴사두근의 등장성 운동은 첫 주부터 시작한다.

완전 체중 부하는 6주에서 8주까지 피하여야 한다. 달리기와 뛰기는 4개월까지 제한하여야 한다. pivoting 등 스포츠 복귀는 최소 6개월 이후에 허용하여야 한다.

4. 미세 골절술의 합병증 및 경과

합병증은 드물다. 슬개 대퇴관절에 미세 골절술을 시행한 환자의 일부에서 경한, 일시적인 통증이 있다. 슬개 대퇴관절의 작은 변화가 "grating" 또는 "gritty" sensation을 일으키기도 한다. 이 증상은 수 일 또는 수주가 되면 좋아진다.

미세 골절술 후에 발생하는 관절 부종은 전형적으로 8주가 지나면서 없어진다. 술 후 6 내지 8주에 재발하는 관절 삼출액은 대퇴과 병변에 대한 미세 골절술을 시행한 다리에 체중 부하를 시작하는 시기에 때로 발생한다. 이는 대개 통증이 없고 증상 발현되고 수주가 되면 사라진다.

5. 미세 골절술의 결과

Knutsen 등은 미세 골절술과 자가 연골 세포 이식술 (Autologous chondrocyte implantation, ACI)을 퇴행성 병변에서 시행하고 2년간 비교하여 SF-36과 physical component에서 미세 골절술이 더 나은 결과를 얻었고, 통증 감소는 각각 75%와 78%로 두 군 간의 차이가 없었다고 보고하였다¹⁶⁾. 5년간 비교한 결과에서도 역시 2군 간의 차이는 없었다¹⁵⁾. Miller 등은 퇴행성 관절염이 있는 슬관절에서 Lysholm score의 상당한 호전을 얻었고¹⁸⁾, 배 등은 퇴행성 관절염에서 90%에서 우수한 결과를 얻었고, 방사선학적 호전과 병리조직학적 검사에서 제2형 교원질 섬유소의 존재를 확인하고, 미세 골절술이 장기 추시가 필요하지만 퇴행성 관절 연골 결손 치료에도 유용한 방법이라고 하였고, 연령 및 체중과의 상관관계는 없다고 하였다²⁾.

운동선수를 대상으로 여러 연구에서 초기에는 상당히 좋은 결과를 보이나, 시간에 경과하면서 결과가 나빠진다고 하였다. Steadman 등은 외상성 병변에서 미세 골절술로 치료하고 장기간 추시하여 우수한 결과를 보고하였다²⁵⁾. Steadman 등은 미식축구리그(NFL) 선수를 대상으로 4.5년 추시하여 76%에서 경기 복구가 가능하였다고 하였다²⁶⁾. Mithoefer 등은 high impact 운동선수의 미세 골절술 41개월 전향적 추시 결과에서 66%가 좋은 결과가 있었고, 44%가 스포츠 복구가 가능하였다고 보고하였다³⁰⁾.

자가 연골 세포 이식술이나 자가 골 연골 이식술이 미세 골절술보다 우수하다는 보고가 많으나³⁾, Knutsen 등의 연구에서 미세 골절술이 자가 연골 세포 이식술과 비교하여 차이가 없었고^{15,16)}, Gudas 등은 자가 골 연골 이식술이 미세 골절술보다 우수하다고 보고하였으나 이 연구에서 지속성 수동적 운동을 시행하지 않았고 술 후 체중부하를 조기에 시행하여 적절한 수술 후 재활 과정을 하지 않았다¹⁰⁾.

결 론

미세 골절술은 간단하고, 경제적이면서 치료 결과가 좋고, 향후 시행될 수 있는 수술을 방해하지 않아 일차(first line) 수술법으로 선택될 수 있다. 관절 연골의 재생 과정을 잘 이해하고, 금기가 되는 경우를 잘 피하고, 정확한 수술 기법을 사용하여 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한 체중 비부하 기간을 반드시 지키고 지속성 수동적 운동을 반드시 시행하여야 한다. 만성 병변에서 수술 적응이 되지 않는 경우에는 시행하지 않아야 한다.

REFERENCES

1) Arøen A, Løken S, Heir S, et al.: Articular cartilage lesions in 993 consecutive knee arthroscopies. *Am J Sports*

- Med*, 32: 211-215, 2004.
- 2) **Bae DK, Yoon KH and So JK**: Clinical and Histopathological Study in Repaired Cartilage after Microfracture Surgery in Degenerative Arthritis of the Knee. *Journal of Korean Orthopaedic Sports Medicine*, 4: 18-28, 2005.
 - 3) **Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A, Ohlsson C, Isaksson O and Peterson L**: Treatment of deep cartilage defect in the knee autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med*, 331: 889-895, 1994.
 - 4) **Curl WW, Krome J, Gordon ES, Rushing J, Smith BP and Poehling GG**: Cartilage injuries: a review of 31,516 knee arthroscopies. *Arthroscopy*, 13: 456-460, 1997.
 - 5) **Frisbie DD, Morisset S, Ho CP, Rodkey WG, Steadman JR and McIlwraith CW**: Effects of calcified cartilage on healing of chondral defects treated with microfracture in horses. *Am J Sports Med*, 34: 1824-1831, 2006.
 - 6) **Frisbie DD, Oxford JT, Southwood L, et al.**: Early events in cartilage repair after subchondral bone microfracture. *Clin Orthop Relat Res*, 407: 215-227, 2003.
 - 7) **Frisbie DD, Trotter GW, Powers BE, et al.**: Arthroscopic subchondral bone plate microfracture technique augments healing of large chondral defects in the radial carpal bone and medial femoral condyle of horses. *Vet Surg*, 28: 242-255, 1999.
 - 8) **Gill TJ**: The treatment of articular cartilage defects using microfracture and debridement. *Am J Knee Surg*, 13: 33-40, 2000.
 - 9) **Gill TJ, McCulloch PC, Glasson SS, Blanchet T and Morris EA**: Chondral defect repair after the microfracture procedure: a nonhuman primate model. *Am J Sports Med*, 33: 680-685, 2005.
 - 10) **Gudas R, Stankevicius E, Monastyreckiene E, Pranys D and Kalesinskas RJ**: Osteochondral autologous transplantation versus microfracture for the treatment of articular cartilage defects in the knee joint in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 834-842, 2006.
 - 11) **Guettler JH, Demetropoulos CK, Yang KH and Jurist KA**: Osteochondral defects in the human knee: influence of defect size on cartilage rim stress and load redistribution to surrounding cartilage. *Am J Sports Med*, 32: 1451-1458, 2004.
 - 12) **Jackson RW**: The role of arthroscopy in the management of the arthritic knee. *Clin Orthop Relat Res*, 101: 28-35, 1974.
 - 13) **Johnson LL**: Arthroscopic abrasion arthroplasty: a review. *Clin Orthop Relat Res*, 391: S306-317, 2001.
 - 14) **Johnson LL**: Arthroscopic abrasion arthroplasty historical and pathologic perspective: present status. *Arthroscopy*, 2: 54-69, 1986.
 - 15) **Knutsen G, Drogset JO, Engebretsen L, et al.**: A randomized trial comparing autologous chondrocyte implantation with microfracture. Findings at five years. *J Bone Joint Surg*, 89-A: 2105-2112, 2007.
 - 16) **Knutsen G, Engebretsen L, Ludvigsen TC, et al.**: Autologous Chondrocyte Implantation Compared with Microfracture in the Knee. A Randomized Trial. *J Bone Joint Surg*, 86-Am: 455-464, 2004.
 - 17) **Mankin HJ**: The response of articular cartilage to mechanical injury. *J Bone Joint Surg*, 64-A: 460-466, 1982.
 - 18) **Miller BS, Steadman JR, Briggs KK, Rodrigo JJ and Rodkey WG**: Patient satisfaction and outcome after microfracture of the degenerative knee. *J Knee Surg*, 17: 13-17, 2004.
 - 19) **Mithoefer K, Williams RJ 3rd, Warren RF, et al.**: Chondral resurfacing of articular cartilage defects in the knee with the microfracture technique. Surgical technique. *J Bone Joint Surg*, 88-A 1s:pt 2: 294-304, 2006.
 - 20) **Mithoefer K, Williams RJ 3rd, Warren RF, Wickiewicz TL and Marx RG**: High-impact athletics after knee articular cartilage repair: a prospective evaluation of the microfracture technique. *Am J Sports Med*, 34: 1413-1418, 2006.
 - 21) **Norrdin RW, Kawcak CE, Capwell BA and McIlwraith CW**: Calcified cartilage morphometry and its relation to subchondral bone remodeling in equine arthritis. *Bone*, 24: 109-114, 1999.
 - 22) **O'Driscoll SW and Salter RB**: The induction of neo-chondrogenesis in free intra-articular periosteal autografts under the influence of continuous passive motion. An experimental investigation in the rabbit. *J Bone Joint Surg*, 66-A: 1248-1257, 1984.
 - 23) **Rodrigo JJ, Steadman JR and Silliman JF**: Improvement of chondral defect healing in the human knee after debridement and microfracture using continuous passive motion. *Am J Knee Surg*, 7: 109-116, 1994.
 - 24) **Salter RB**: The biologic concept of continuous passive motion of synovial joints. The first 18 years of basic research and its clinical application. *Clin Orthop Relat Res*, 242: 12-25, 1989.
 - 25) **Steadman JR, Briggs KK, Rodrigo JJ, Kocher MS, Gill TJ, Rodkey WG**: Outcomes of Microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy*, 19: 477-484, 2003.
 - 26) **Steadman JR, Miller BS, Karas SG, Schlegel TF, Briggs KK and Hawkins RJ**: The microfracture technique in the treatment of full-thickness chondral lesions of the knee in National Football League players. *J Knee Surg*, 16: 83-86, 2003.
 - 27) **Steadman JR, Rodkey WG and Rodrigo JJ**:

Microfracture: surgical technique and rehabilitation to treat chondral defects. *Clin Orthop Relat Res*, 391-s: S362-369, 2001.

28) **Steadman JR, Rodkey WG, Singleton SB, et al.:** Microfracture technique for full-thickness chondral

defects: technique and clinical results. *Oper Tech Orthop*, 7: 300-304, 1997.

29) **Williams RJ 3rd and Harnly HW:** Microfracture: indications, technique, and results. *Instr Course Lect*, 56: 419-428, 2007.