

부수적인 기구, 전기부동 웨이버와 고주파 에너지 시스템

가톨릭대학교 성빈센트병원 정형외과

고 해 석

관절경 수술은 관절경과 관절경 수술을 위하여 고안된 여러 수술 기구들을 작은 portal로 삽입하여 시행된다. 관절경 수술 기구로 기계적 기구(mechanical instrument), 동력 기구(motorized instrument), 전기외과 기구(electrosurgical instrument), 레이저(Laser)와 고주파 에너지 기구(radiofrequency energy instrument)로 분류할 수 있다.

기계적 기구(mechanical instrument)

기계적 기구는 basket forcep과 grasping forcep과 같은 관절경용 forcep 기구가 대표적이며, jaw, shaft, handle로 이루어 진다. 비교적 표준화(uniform)되었으며, shaft는 그 모양에 따라 직선형(straight)과 굽은 형(curved)으로 나누어 지고, jaw도 마찬가지로 직선형과 굽은 형으로 나누어 진다. 직선형의 기구는 병변 부위로 직접적인 도달이 용이하여 절단(cut)이나 포획(grasp)이 쉽다. 굽은 형의 기구는 관절 내에서 대상에 도달하기 위하여 회전이 필요하고 이를 위하여 비교적 큰 공간을 필요로 하며, 관절 연골의 손상을 가져올 수 있다. 하나의 portal를 이용하여 할 수 있는 수술 범위를 넓힐 수 있다.

1. basket forcep (punch or cutting forcep)

basket forcep은 probe와 함께 가장 흔히 사용되는 기본 수술 기구이다. 다양한 종류와 각도가 있으며, 주로 straight와 up-angled instrument가 많이 사용된다. 내측 반월상 연골 후각 절제술을 할 때 직선형 forcep으로 먼저 시도하고, 대퇴 내과 관절에 손상을 줄 가능성이 있으면 10° up-curved shaft와 10° up-angled jaw를 가진 forcep이 사용된다. slender basket forcep (scissor punch)은 길고 얇은

조직 파편 절제할 때, wide basket forcep으로 퇴행성 반월판 연골 파열을 치료할 때 유용하다. 이 forcep들을 이용하여 piecemeal removal을 하면 파편들(fragments)이 남아 만성 자극(chronic irritation)을 일으킬 수 있다. 남은 조직 파편(retained tissue fragment)은 반드시 제거되어야 한다. basket forcep에 vacuum suction이 연결되어 파편이 덜 남도록 고안된 suction punch가 있다. 반월상 연골 전각부의 절제술에서는 retrograde basket forcep이 유용하다. 여러 가지의 굽은 형 forcep이 수술 부위의 접근을 가능하게 하지만 현실적으로 많은 forcep을 구입하여 사용하기는 어려워 수술자가 사용하기 쉬운 기본적인 몇 개의 forcep으로 수술을 하여야 하므로 수술 술기의 습득과 경험이 중요하며, forcep으로 수술하기 어려운 딱딱한 병변 조직을 다루는 경우 기구가 망가지므로 주위가 요한다. 또한 forcep의 사용이 오래되면 절제력이 떨어지며, 기구의 절제력이 떨어져 있는지 확인할 수 있어야 한다.

2. grasping forcep

grasping forcep은 폭이 좁고(narrow), jaw는 직선형과 굽은 형이 있고, 반월상 연골 파편, 유리체, 관절 연골 피판(articular cartilage flap), 골극, 활액막, 관절경적 봉합술 시 봉합사를 잡는데 사용된다. 비교적 딱딱한 조직을 다룰 때는 pituitary rongeur을 대신 사용하여야 한다.

3. 관절경용 가위(arthroscopic scissor)

관절경용 가위는 반월상 연골 피판을 자르는데 유용하지만 관절 안에서 가위 날에 의한 관절 연골의 손상 위험성이 있다. 최근에는 electrocautery hook이나 slender basket forcep이 대신 사용되고 있다.

4. 관절경용 칼(arthroscopic knife)

관절경용 칼이 초창기에는 많이 사용되었지만 관절 내에 knife tip의 파괴 가능성과 관절 내 의인성 손상을 일으킬 수

* Address reprint request to

Hae Seok Koh, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, St. Vincent's Hospital,
The Catholic University,
93 Ji-dong, Paldal-gu, Suwon, Koera
Tel: 82-31-249-7180, Fax: 82-31-254-7186
E-mail: hskoh@unitel.co.kr

있어 제한되어 사용된다.

5. 기타 특수 기구(special instrument)

- 1) chisel과 osteotome: 관절 연골의 손상 위험성이 높으며, 절흔 성형술에 주로 사용된다.
- 2) filer과 rasp: 골극이나 골 조직 제거 시 사용된다.
- 3) curette: 골 터널을 부드럽게 하거나 관절 연골 파편 제거 시 이용된다.
- 4) irrigation cannula: 유리체나 혈전, 골 파편을 제거하는데 용이하며, 관절 세척시 shaver보다 빠르고 효율적이다.

동력 기구(motorized instruments; shavers)

동력 기구도 기본적인 관절경 수술 기구이며, control unit, connecting cable, hand-piece, blade, suction으로 이루어져 있다.

1. hand-piece

관절경 수술 시 술자는 hand-piece를 잡기 때문에 그 기능과 관련된 인간공학적 디자인이 중요하다. hand-piece가 무거우면 금방 피로해져 정확성이 떨어지므로 가볍고 작은 디자인의 hand-piece가 좋다.

2. suction

suction의 압력은 shaver hand-piece의 지렛대(lever)로 조절하며, 전방 십자 인대 재건술시 절흔성형술(notch-plasty)을 시행할 때 또는 반월상 연골을 작은 조각으로 나누어 절제술할 때 남은 파편 제거 시 압력 조절을 적절히 조절하여 불필요한 식염수의 과도한 사용을 피하여야 한다.

3. shaver blade

shaver blade의 기능은 속도(RPM), cutting window의 크기와 모양, rotating blade의 모양 등에 의해 결정된다. 단단한 조직은 빠른 속도로, 연한 조직은 느린 속도로 shaving하며, 반드시 빠른 RPM이 접촉면의 효율성을 향상시키지는 않는다. 2000 RPM이 3000~4000 RPM보다 더욱 효율적이며, 8000 RPM이상의 속도로 올려서는 안 된다. shaver window가 크면 연부 조직을 보다 효율적으로 흡입할 수 있으며, 작은 window는 제거되는 조직의 양이 작으나 슬관절 전방부를 수술할 경우 효율적인 활액막 제거술을 시행할 수 있다. shaver window의 모양은 조직의 종류에 따라 결정되며, 반월상 연골을 제거할 경우 날카로운 날을 가진 side-

cutting window, 연부 조직 제거할 때에는 oval window, 골제거 시에는 tube안에서 회전하는 칼날(rotating blade)로부터 보호막 기능을 할 수 있도록 true window가 없는 outer tube를 사용한다. blade는 모양에 따라 smooth blade와 serrated blade로 나누며 serrated blade는 보다 더 침습적 절제를 할 수 있다.

blade는 그 기능에 따라 synovial resector, meniscus cutter, abrader로 분류된다. synovial resector은 oval window에 smooth inner blade로 이루어져 있으며, meniscus cutter는 rectangular window에 angled tip으로 이루어져 side cutting과 end cutting이 가능하도록 되어 있다. abrader은 큰 oval window로 outer tube안으로 구형의 burr가 동봉되어 골극이나 골 터널을 다듬거나 절흔 성형술을 쉽게 할 수 있도록 디자인 되어있다.

큰 조직 파편에 의한 shaver blade의 절제 기능을 방해하는 현상을 clogging이라 하며, 이를 막기 위해서는 충분한 흡입으로 조직을 제거한 다음 충분한 수액을 blade lumen안으로 통과시켜야 하며, 적절한 강도의 흡입을 유지하여야 한다. 또한 수술 중에 clogging이 일어나 수술이 지연되고 있는지 주의하여야 한다. 관절보다 1.2~1.5 m높이에서 inflow 수액을 위치시키고, 시계-반시계 방향의 alternating oscillating mode로 사용한다.

전기외과 기구(Electrosurgical instrument)

전기외과 기구는 수십 년 간 지혈하는데 사용되었으며, 1981년부터 관절경술에 도입되었다. 조직을 통하여 전기가 흐르게 되면 조직에 열을 발생시켜 thermal effect, faraday effect, electrolytic effect가 일어나며, 조직의 저항, 전류의 강도, 지속 시간에 의해 열의 강도가 결정된다. 신경이나 근육 같은 전기에 반응하는 세포에 전류가 흐르게 되면 전기화학 반응으로 ion shift가 일어나 electrolysis가 일어나게 되는데 이를 faraday effect라 하며 300 Hz이상의 고주파 교류(alternating current)를 사용하여 예방할 수 있다.

일반적으로 70도 이상의 온도에서 조직은 응고하기 시작하며, 40도 이하에서는 세포손상이 없으며, 40도 이상에서는 가역적 세포손상(reversible cell damage)이, 49도 이상에서는 비가역적 세포손상(irreversible cell damage)이, 70도 이상에서는 collagen이 glucose로 변환되어 응고(coagulation)가 시작되며, 100도 이상에서는 증기(vapor)가 발생되어 탈수화(dehydration)가 일어나고, 200도 이상에서는 조직이 타게 된다(tissue charring).

전기외과 기구는 기능에 따라 국소 부위에 열을 발생시키는 절제 모드(cutting mode)와 많은 양의 열을 발생하여 지혈에 사용되는 응고 모드(coagulation mode)로 나뉜다.

1. 절제 모드

고주파를 이용해 빠른 시간에 100도 이상으로 열을 발생하여 조직을 절제하는 방식으로 증기가 발생할 시간이 없는 장점이 있다. 200 V 이상 전압이 발생하면 절제면을 따라 조직 응고가 발생하며, 전류의 진폭을 조절하여 절제면의 조직 응고의 정도와 두께를 조절할 수 있다.

2. 응고 모드

전류를 이용하여 70도의 온도로 천천히 조직에 열을 발생시키면 조직의 응고가 일어나며, 조직을 절제하지 않고도 선택적인 조직의 변성과 지혈을 할 수 있다. 에너지를 주는 방법과 응고 속도를 조절하여 응고 범위를 조절할 수 있으며, unmodulated 고주파의 전압으로 응고하는 방식을 soft coagulation (monopolar coagulation)이라 하며 조직의 손상이 적으며, 500 V 이상의 modulated 고주파의 전압으로 응고하는 방식을 forced coagulation이라 하며, 응고의 깊이와 charring에 의한 인한 조직 손상도 깊다.

전기 외과 기구는 전류의 강도를 조절하는 control unit, hand-piece, attachment (electrode)로 이루어져 있으며, attachment는 그 모양에 따라 hook, ball-tipped, needle electrode로 나뉜다. electrode는 크기가 작아 매우 좁은 공간에서도 사용가능하며, 절제 및 선택적인 지혈이 가능하고, 수술 후 지혈이 적으며, 구부러진 shaft를 사용하여 관절 내 도달이 유용하며, 전류를 차단시켜 기구를 교환하지 않고 cutting작업을 계속할 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 기포가 발생하며, 관절 연골 손상, 화상, 근 수축(muscle contraction)이 발생할 수 있다. 반월상 연골 절제, 유착 박리술(lysis of adhesion), 외측 슬개 지대 유리술(lateral release), 선택적 지혈, 반흔 제거, 관절 내 고정된 유리체 제거, 관절연골 절제술(cartilage debridement)에 주로 사용된다.

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Laser는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(복사선의 유도 방출에 의한 빛의 증폭)의 acronym으로 단색성(monochromaticity)의 빛이다. 언론 매체의 영향으로 수많은 환자들이 laser 수술을 원하고 있으며 레이저를 사용하는 외과의를 선택하고 있지만, 조직에 대한 laser의 영향에 관련된 연구는 상대적으로 적은 실정이다.

임상적으로 사용 가능한 laser는 그 파장에 따라 Excimer laser(248, 308 nm), Nd:YAG laser(1318 nm), Ho:YAG laser(2100 nm), Er:YAG laser(2940 nm), CO₂

laser(10,600 nm)등이 있다. 1983년 Whipple은 CO₂ laser를 이용한 반월상 연골 절제 시 조직 손상이 적다고 최초로 보고 하였으며, 1988년 Smith는 CO₂ laser를 이용하여 활막 반응의 감소를 보고하였으며, 1989년 Miller 등은 Neodymium:yttrium-aluminum-garnet (Nd:YAG) laser를 이용한 동물 실험에서 반월상 연골 및 관절 연골 절제 후 향상된 재생능력을 보고하였으며, 1992년 Raunset는 반월상 연골과 관절 연골에 Nd:YAG와 Excimer laser를 사용 후 퇴행성 변화(edge degeneration and fibrillation)를 막는 구조적 경화(structural consolidation)가 발생을 보고하였다.

laser probe의 직경은 1~2 mm로 매우 작아 매우 좁은 관절에서도 유용하며, 수술 후 출혈과 통증, 주위 조직에 영향이 적으며, 골극 제거 후 재발이 적으며, "Voodoo effect"로 환자의 만족도가 매우 높은 장점이 있다. 고비용이며, 수술 시간이 길고, 큰 footprint가 필요하며, 기포에 의하여 시야가 좋지 않으며, 관절경의 손상이 발생할 가능성이 높다는 단점이 있으며, 가장 큰 단점은 thermal chondroplasty을 할 때 적용 온도를 조절하기가 어렵다는 점이다. 연골 세포는 약 50~55도에서 사멸하기 시작하며, 연골 세포가 일단 죽으면 재생능이 매우 떨어진다. Lane 등(1997)과 Mainil-Varlet 등(2001)의 연구에서 Holmium: YAG laser가 상당한 proteoglycan 소실과 연골 세포 사멸을 야기한다고 규명하였다.

Laser는 골극 제거 및 반흔 조직 제거, 관절 연골 및 이완된 인대를 강화시키거나 활액막 제거 시 사용된다.

고주파 에너지 (Radiofrequency energy, RFE) system

고주파 에너지는 크게 단극성 고주파 에너지(monopolar RFE, mRFE)와 양극성 고주파 에너지 bipolar RFF(bRFE) system의 두 가지 system으로 나뉜다. Turner 등(1998)은 양극성 고주파 에너지가 기존의 shaving 방법보다 연골연화증의 관절 연골을 치료하여 더 좋은 조직학적 결과를 보이는 안전한 방법이라고 하였다. Lu 등(2001)은 단극성 고주파 에너지와 양극성 고주파 에너지 모두 즉각적인 연골 세포의 사멸을 일으킨다고 보고하고 안전한 parameter들이 확립될 때까지 thermal chondroplasty에 사용하면 안된다고 하였다.

단극성 probe을 단극성 고주파 에너지는 probe와 grounding plate 사이의 교류를 이용하고, 이 교류의 양이 조직의 molecular friction을 일으키고 결국 조직에 열을 생성한다. 단극성 고주파 에너지의 전달 경로는 probe에서 관절 연골 표면과 연골 하 골을 통해 피부에 부착된 grounding plate의 경로를 거치거나 probe에서 irrigation solution, 관절막 그리고 grounding plate를 거친다. 즉 환자를 통하

여 전달된다. 양극성 probe에서 발생한 고주파 에너지는 probe tip 주변의 conductive irrigating solution을 거쳐 최소한 저항을 받고 전해진다. 따라서 단극성 고주파 에너지와 양극성 고주파 에너지의 적용이 다르다. 고주파 에너지는 여러 가지 probe wand을 이용하여 관절경 수술에서 이용된다. Vulcan EAS에 TAC-C probe (Smith & Nephew), Mitek VAPR에 Flexible Side Effect Electrode (Mitek Surgical Product)와 ArthroCare 2000 System에 CoVac probe (Arthrocare Corporation)가 장착되어 생성된 고주파 에너지는 현재 연골 성형술에 많이 사용되고 있다. 최근에는 Arthrocare Corporation의 Paragon T2 wand도 많이 사용되고 있다.

REFERENCES

- 1) **Lu Y, Edwards RB, Cole BJ and Markel MD:** Thermal chondroplasty with radiofrequency energy. An in vitro comparison of bipolar and monopolar radiofrequency devices. *Am J Sports Med*, 29: 42-49, 2001.
- 2) **Lu Y and Markel MD:** Radiofrequency energy for cartilage treatment. In: Cole BJ and Malek MM ed. *Articular cartilage lesions?: a practical guide to assessment and treatment*. Springer-Verlag New York Inc: 47-56, 2004.
- 3) **Strobel MJ:** *Manual of arthroscopic surgery*. Springer-Verlag New York Inc: 23-48, 2002.
- 4) **Turner AS, Tippett JW, Powers BE, Dewell RD and Hallinckrodt CH:** Radiofrequency (electrosurgical) ablation of articular cartilage: A study in sheep. *Arthroscopy*, 14: 585-591, 1998.