

혈관 및 신경 손상을 동반한 복합 사지 외상 (Complex Limb Trauma with Neuro-Vascular Injury)

한 경 진

아주대학교 의과대학 정형외과학교실

서 론

골 관절 손상 시 연부 조직 손상이 동반되는 복합 사지 외상에서 신경 및 혈관 손상의 정도와 범위는 향후 사지 생존의 주요 결정 요소가 된다.

신경 혈관 손상이 동반된 복합 손상에서는 조직의 허혈성 손상, 상처 감염, 골절의 지연 유합 및 불유합, 만성 통증뿐만 아니라 전신적인 다발성 기관 손상에 의한 생명 위기가 초래될 수 있으므로 신속하고 정확한 진단 및 치료가 필수적이다.

본지에서는 혈관 손상 (vascular injury)과 신경 손상 (nerve injury)으로 나누어 혈관 손상은 진단과 치료의 과정에 중점을 두었고 신경 손상은 치료의 방법에 중점을 두어 서술하고자 한다.

혈관 손상 (Vascular Injury)

1. 서론^{1,9,29,34)}

혈관 손상과 근골격계 손상 모두를 포함하는 복합 사지 외상은 사지 골절 탈구의 0.5~1.7% 정도를 차지한다. 그러나 사지 혈관 손상의 10~70%가 골 외상과 관련되어 있으며 민간 부문에서 복합 사지 손상의 대다수는 교통사고, 산업장 사고, 낙상 등의 둔상에 의한 것이다. 군 부문에서 이런 유형의 부상은 보통 총탄이나 파편의 고속 투과 외상에 의한 것이다.

사지의 동맥 손상과 골 손상이 결합된 경우 사지 절단율의 위험이 상당히 높다. DeBakey와 Simeone은 2차 대전 사상자에서 복합 손상에서는 60%, 단독 동맥 손상에서는 42%의 절단율을 보고하였다. 이스라엘전에서의 사례는 복

합 사지 외상이 단독 동맥 손상과 비교하여 3배 이상의 절단율을 보고하였다. 그 밖에 주요 신경 손상, 광범위 연부 조직 손상, 감염, 구획 증후군은 사지 절단의 위험을 높이는 다른 원인들이다.

2. 임상 증상^{1,3,13,30)}

1) 심각한 징후 (hard sign)

- 박동성 출혈의 관찰
- 촉진상 동맥 진동 (thrill)
- 청진상 동맥 주변에서 잡음 (bruit)
- 원위부 허혈의 징후
- 점점 커지는 혈종이 관찰되는 경우

2) 경미한 징후 (soft sign)

- 반대쪽 사지와 비교하여 감소된 맥박
- 골격계 손상이나 근위부의 개방성 손상
- 말초 신경 손상
- 저혈압
- 커지지 않는 혈종
- 혈관 근접 손상

차갑고 박동 없는 사지가 관찰되는 것은 낮은 전신 혈압 때문일 수도 있지만, 독립적인 맥박 이상과 반대쪽 사지와 맥박 차이는 국소 혈관 손상의 강한 지표가 된다. 신경 손상 증상, 모세 혈관 충혈 (capillary filling)의 지연, 골관절 손상이 보인다면 반드시 사지 혈관 손상을 염두에 두어야 하고 응급 동맥 조영술이나 수술적 확인 및 치료가 필요하다.

일반적으로, 심각한 징후 (hard sign)는 추가적인 처치

통신저자 : 한 경 진

경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지
아주대학교 의과대학 정형외과학교실
Tel : 031-219-5220 · Fax : 031-219-5229
E-mail : kjhan@ajou.ac.kr

Address reprint requests to : Kyeong-Jin Han, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Ajou University School of Medicine, San 5, Wonchon-dong, Yeongtong-gu, Suwon 443-749, Korea
Tel : 82-31-219-5220 · Fax : 82-31-219-5229
E-mail : kjhan@ajou.ac.kr

(동맥 조영술, 수술실에서의 절개 후 직접 관찰)를 요한다. 경미한 징후 (soft sign) (체온 저하, 피부 색깔 변화, 지연된 모세혈관 충혈, 신경 손상)는 의사의 세심한 관찰과 관리가 필요함을 반드시 주지해야 한다. ABI (ankle-brachial index)가 0.9보다 크면 관찰을 할 수도 있으나, ABI가 0.9보다 낮으면 즉각적인 추가적인 진단 검사가 필요하다.

현재로서는 도플러 혈관 검사를 빠르고 비침습적인 검사로 추천한다. 그러나 안정된 환자에서는 동맥 조영술을 시행하고 불안정하고 출혈이 있는 환자에서는 곧바로 수술적 절개를 시행하는 것이 치료의 표준으로 되어 있다.

3. 진단^{3,30)}

복합 사지 손상에서 빠른 치료와 사지 보존을 위해서는 신속한 진단이 필수적이며 손상 사지에서 심각한 징후가 있는지 살펴보는 것이 중요하다 (진행 중인 출혈, 크고 확장되거나 박동성의 혈종, 잡음이나 이상 진동음, 원위부 박동이 없을 때, 원위부 허혈의 징후, 구획 증후군의 증상). 둔상 또는 복합 사지 외상에서 심각한 징후들이 있다면 즉시 동맥 조영술이 필요하다.

예를 들어 후방 슬관절 탈구에서 슬와 동맥 파열의 위험이 높으므로 모든 경우에서 동맥 조영술을 하는 것도 유효하다. 그러나 심각한 징후가 없는 대부분의 경우에서 이학적 검사만으로도 동맥 손상을 판단할 수 있으며, 동맥 조영을 시행한 경우의 약 30%에서는 동맥 손상이 없으므로 불필요한 검사를 배제하기 위해 확실한 징후를 보이는 슬관절 탈구에서만 적응증이 된다. 임상 증상이 명백히 혈관 손상을 나타내는 경우에는 영상 검사를 하지 않고 즉시 수술을 할 수도 있다.

4. 검사

1) 검사실 검사^{6,24)}

- 기본적인 혈액검사는 CBC, platelet, electrolyte, BUN, creatinine 검사를 포함해야 한다.
- 손상과 출혈의 심각성에 따라 혈액형 검사와 교차 반응 검사가 추천된다.
- 프로트롬빈 시간과 활성 부분 프로트롬보플라стин 시간은 혼수상태거나 적절한 의학적 병력을 제공할 수 없는 환자에서 약 복용력 (와파린)이 없고 출혈성 경향이 없을 때에는 유용하다.
- 급성 출혈일 때는 혈액색소와 적혈구 용적율이 참고치 내에 있더라도 심각한 체액 손실이 있을 수 있다는 것을 기억해야 한다.

2) 영상 검사^{11,24,25,28,31,33,44)}

- 단순 방사선 검사는 골절이나 이물질을 확인하기 위한 빠른 검사이다. 특정한 골절 (대퇴 과상 골절, 주관절 탈구 등)은 동반 혈관 손상 발생률이 높다.
- 일반적인 전산화 단층 촬영 (CT)은 골격계와 연부 조직을 검사하는데 유용하게 사용되나 말초 혈관 손상의 진단적 검사로는 아직 증명된 바가 없다.
- 혈액학적으로 안정된 환자에게 동맥 조영술이 시행된다. 시행 전 BUN과 creatinine 검사를 요한다. 기존의 신장 기능 저하 또는 과민 반응 (해물, 요오드, 조영제)은 동맥 조영술의 상대적 금기증이다. 동맥 조영술 전 수액 공급과 염화중탄산염의 투여는 신장에 대한 부작용을 최소화시킬 수 있다.
- 많은 경우에 정형외과 의사는 수술실에서 환자에게 직접 동맥 조영술을 시행할 수 있다. 동맥 접근 지점을 잘 알고 있어야 하고 사용 가능한 조영제를 알고 있어야 한다.
- 이중 도플러 검사 (duplex)는 동맥 조영술에 금기증을 가진 대부분의 환자에서 혈관 손상이 의심될 때 중요한 정보를 제공해줄 수 있다. 이 검사는 응급실이나 소생 구역에서 시행될 수 있고 환자의 혈관 상태나 손상에 대한 중요한 정보를 제공해준다. 그러나 부목 고정 및 골관절 치료를 위한 기구 장치가 있을 경우, 조직이나 피부가 크게 결손된 환자에서, 또한 경협이 없는 의료진이 시행할 경우에 그 유용성은 적어진다.
- 지속적인 대량의 출혈과 혈액학적 불안정이 있을 경우 어떠한 진단적 검사도 시행하기 어려우며 신속한 진단과 치료를 위해 곧바로 수술적 처치를 하는 것이 필요하다.

5. 치료^{6,16,26,37,39,43)}

혈관과 골 손상의 치료에서 적절히 우선 순위를 정하는 것은 사지 보존에 있어서 중요한 결정 사항이다. 과거에는 혈관 재건술 후 이차적으로 정형외과적 수술을 시행하면 수술적 조작에 의해 재건된 혈관의 붕합이 손상될 것이라는 생각에 초기에 골관절 손상을 우선적으로 고정하는 것이 선호되었다.

그러나 심각한 분쇄 골절 또는 탈구, 골 소실, 심각한 연부 조직 손상과 오염이 심한 경우에는, 사지가 정상 길이로 고정됐을 때 복구된 혈관이 과도하게 긴장되어 붕합부의 파열이 일어날 수 있으므로 혈관 재건은 골관절 손상의 적절한 고정 후에 시행되어야 한다.

이러한 경우 골관절 안정화와 연부 조직 손상에 대한 처치가 될 때까지는 일시적인 인공 혈관 대체물을 이용하여

혈관 관류 (shunt)를 시행하는 것이 유리하다. 그러나 향후 시행될 골 연부 조직 안정화 후에 길이 불일치가 최소한인 비교적 안정적인 골 손상인 경우엔 초기에 혈관 재건을 하는 것이 더 좋다.

개방성 골절, 분쇄 골절, 불안정 골절, 심각한 연부 조직 오염과 손상이 있고 빠른 고정이 필요할 때 대부분 외고정술이 선호된다.

수술 중 혈관 조영은 신속한 진단과 더불어, 재건술의 결과를 파악하는데 중요한데, 심각한 사지 손상에서 사소한 수술적 오류에 따라 그 예후가 달라질 수 있기 때문이다.

또한 혈관 재건술후에는 재관류 (reperfusion)에 따른 구획 증후군 (compartment syndrome)의 위험이 높으므로 예방적으로 근막 절개술 (fasciotomy)을 시행해야 하는 경우가 많다.

손상 부위가 심하게 오염되고 연부 조직 손실로 인해 재건된 혈관을 보호할 수 없는 경우에는 해부학적 범위 외의 혈관 우회로 수술 (bypass), 유경 피판 또는 자유 피판 이식술 등을 고려해야 한다.

1) 약물 치료

허혈 괴사의 위험성이 매우 낮은 경우에 적용되며 관찰하다가 검사소견이 달라지거나 심각한 징후가 나타나면 수술적 치료가 필수적임을 염두에 두고 이루어져야 한다.

항응고나 항혈소판 제제는 어떠한 경우에는 동맥 혈전을 위한 중요한 치료인 반면에, 특별히 동시에 발생한 뇌 혹은 척수 손상이 있는 경우 다른 손상된 조직에서의 출혈 가능성에 대한 위험성을 신중하게 고려하여야 한다.

2) 수술적 치료^{3,6,13,14,16,17)}

혈관 재건을 위해 조직 박리를 최소화하면서 빠르게 동맥에 접근하게 하기 위해 혈관, 근육, 그리고 골격계의 해부학에 대한 철저한 지식이 필요하다. 특히 둔상 (blunt injury)에 의한 지속적인 출혈을 동반하는 동맥 손상의 경우, 정상 조직면이 파괴되고 동맥이 근위부로 견인되는 현상을 일으킨다. 이러한 경우에는 종방향으로 절개를 연장하거나 반대쪽 절개가 필요할 수도 있다.

일시적인 출혈 조절은 단순히 손상 부위의 근위부를 압박함으로써 이루어질 수 있다. 그러나 적절하지 않은 압박은 오히려 정맥 출혈이 증가하거나 압박 부위의 원위부 허혈을 악화시킬 수 있다.

말초 혈관 손상이 의심될 경우 수술적 재건 시점이 중요하다. 손상 후 3시간 안에 이루어지는 혈관 재건은 최상의 결과를 가져오는 것으로 일반적으로 받아들여지고 있다. 도시의 외상 센터에서는 이러한 조기 처치가 이루어지는 반면에 응급 수송의 지연, 병원의 지리적 위치, 중재적 영

상의학과 의사와 수술 전문의의 가용성에 제한을 받는 시골 지역에서는 매우 어려운 일이다.

손상 부분이 1 cm 또는 그보다 작은 경우에는 손상 혈관의 변연 절제를 시행하고 일차 단단 문합 (end-to-end anastomosis)을 시행하는 것이 좋다. 혈관 수술에서의 주요 점은 주변 조직의 허혈을 일으킬 수도 있는 분지의 견인과 과도한 박리를 피하도록 조심하도록 하고 혈관에 대한 신연 (stretching)과 문합 부위 협착 (stenosis)을 최소화하는 것이다.

생명을 위협하는 전신적 다발성 손상이 있는 경우에는, 급속히 출혈되는 동맥이나 정맥의 결찰술 (ligation)도 치료의 한 방법이 될 수 있다. 동맥 결찰의 원위부 조직의 생존력은 주변 동반 동맥 생존 정도와 측부 혈류 여부, 기존의 동맥 경화 질환, 정맥 순환의 충분성 및 말초 조직 손상 정도에 의해 좌우된다.

정맥 결찰이 동맥 결찰보다 더 큰 위험을 초래할 수 있다. 슬와 정맥은 결찰 후 높은 절단율을 가지고 있다. 결찰 후에 혈류 지체, 정맥 울혈 등에 따르는 절단 위험도는 혈관 재건 후보다 훨씬 높지만, 심각한 뇌손상이나 혈역학적으로 불안정한 환자의 경우 혈관 재건을 얻기 위한 2~3 시간의 수술 시간을 견디기 어려우므로 선택적으로 결찰술을 시행하는 경우도 있다.

환자의 전신 상태나 혈역학적 상태가 장시간의 수술을 견딜 수 있다면, 자가 정맥을 이용한 손상된 말초 동맥의 대체술이 이루어진다. 인조 혈관 (polytetrafluoroethylene PTFE)은 대개 슬와부 또는 주관절의 근위부 손상에서 많이 이용된다. PTFE는 정맥과 동맥 재건 모두에서 오염된 수술 부위에서의 낮은 감염률을 보인다. 대부분의 혈역학적으로 불안정한 상황에서는 정맥 손상은 일차적으로 결찰된다.

술 후 발생할 수 있는 재관류 손상 (crush syndrome)과 구획 증후군 (compartment syndrome)을 염두에 두어야 하며 이는 상지보다는 하지의 원위부에 더 흔하게 일어난다. 그러나 근막 절개술은 감염의 위험을 높이고, 체액과 혈액 손실을 증가시키며 이차 피부 봉합이나 피부 이식 등 추가 수술을 요한다. 구획 증후군의 위험, 미오글로빈 배출로부터 야기되는 신부전증, 조직 괴저의 위험이 있는 경우에는 예방적 근막절개는 신중히 고려하여 선택하여야 한다.

가장 절단율이 높은 손상은 뼈, 연부 조직, 신경, 혈관 손상이 동반된 압박 손상 (crushing injury, press injury)이다. 많은 저자들이 절단의 위험을 결정하는 요소에 대해 평가해 왔으며 MESS (Mangled Extremity Severity Score)가 가장 흔하게 사용되는 방법으로서 (1) 골격, 연조직 손상 정도, (2) 사지 허혈, (3) 쇼크, (4) 환자의 나이를 기준으로 한다.

6. 수술 후 처치^{12,17,21,31)}

재혈관화된 조직의 혈류량에 영향을 주는 요소들을 관찰하는 것이 중요하며 일단 술 후 관류 장애가 발견되면 부목 고정이나 드레싱을 느슨하게 하거나, 자세나 온도의 변동, 약물 치료, 그리고 이차 수술적 조치 등이 체계적으로 고려해야 한다.

- 3~4일 동안 침상 안정 또는 운동제한
- 25°C 이상 따뜻한 방 (큰 온도 변화가 없어야 한다)
- 감정적 스트레스를 줄일 수 있도록 방문자 또는 전화를 제한
- 충분한 동통 조절
- 혈관 수축 (vasoconstriction)을 일으키는 흡연, 카페인, 초콜릿 금지

술 후 관리는 적절한 수분 공급의 유지가 원활한 혈류를 위해 필수적이다. 원만한 혈액 순환을 위해서는 25~30%의 혈구용적 (hematocrit)치가 필요하다. 체액 수분 상태는 활력 증후와 요량에 의해 적절히 감시될 수 있으며 드물게 중심 정맥압, 폐동맥압 및 심박출량의 측정이 필요하기도 한다.

혈관 내 혈전 형성을 방지하는 약제들에는 Aspirin, Dextran, Chlorpromazine, Heparin, PG E2 등이 있다.

Aspirin은 경구 투여가 가능한 경우 술 후 8주간 3.0 mg/kg/day로 투여하는데 이 용량에서 aspirin의 기전은 혈소판의 응집을 억제하고 혈관의 내막에서 Prostacycline의 생산을 유지시킨다. Prostacycline은 혈관을 이완시키고 혈소판 응집을 억제한다.

Low molecular weight dextran-40은 7~8 cc/kg/day로 지속적 정주하는데, 혈관 문합이 끝나면서 시작하여 3~5일간 계속 투여한다. Dextran은 항혈소판제로 사용되는데 혈량을 증기 시키고, 혈액 점도를 낮추고, 혈전 용해를 촉진시키는 작용을 한다.

Chlorpromazine은 술 후 처음 5일간 하루 3회 경구 또는 근육 내 주사로 투여한다. 이는 혈관의 확장제로 작용한다. Heparin은 술중 혈관 문합 전에 100 units/cc of saline으로 세척한다. 치료 용량의 heparin은 심한 조직 손상, 재문합술, 지속된 조직 허혈 등의 경우에 투여하는데 술 후에 7~10일간 지속적으로 정주한다. Dextran은 heparin과 동시에 투여하지는 않는다.

항응고제와 항혈소판 제제의 사용은 두부와 흉부 손상 등 다른 손상으로 인한 치명적인 출혈의 위험성이 반드시 고려되어야 한다.

특히 조영제 주사 후, 저혈압과 신장 기능 저하가 발

생할 경우 적절한 수액공급을 유지해야 한다. 성인에서 소변량은 시간당 20 ml 이상이 이상적이다.

술 후 첫 24~48시간 동안은 매시간마다 임상 소견 (맥박 유무, 온도, 모세혈관 충만)을 자주 점검하여야 한다. 가능한 환상 압박 봉대는 부종의 위험 때문에 피해야 한다. 그리고 상/하지를 약간 거상시킴으로써 이를 최소화시킬 수 있다. 혈관 폐쇄는 대부분 문합 후 즉시 발생하나 임상적으로 인지되기까지 많은 시간이 걸리기도 한다. 동맥 혈전은 통상 수술 후 10일째가 되어서야 관찰된다. 대부분의 혈관 문제들은 수술 중에 직접 발생하기 때문에 환자가 병동으로 되돌아가기 전까지 회복실에서 어느 정도 관찰하는 좋은 방법이다.

수술 부위의 수/족부의 높이는 우리 몸의 심장 높이가 적당하며 만일 정맥 폐쇄에 의한 울혈이나 청색증이 발생하면 거상시키는 것이 도움이 되고 동맥 부전에 의해 창백하게 되면 심장 높이 이하로 낮추어 준다. 만약 동맥 부전이 의심된 경우, 부목 고정이나 드레싱을 풀어 직접적인 압박을 제거하고 동맥을 근위부에서 원위부로, 정맥은 원위부에서 근위부로 가볍게 짜준다. 만일 혈관 문합후 혈관 폐쇄의 소견이 보이면 heparin 3,000~5,000 U를 한꺼번에 정주를 시도한다. 이러한 시도에도 효과가 없으면 재수술을 결정해야 하며 가능한 허혈 소견이 보인 4~6시간 이내에 시행해야 성공할 수 있다.

혈관 재건 후 동맥 박동이 촉진되는 경우에는 혈관 조영술의 반복이 요구되지는 않는다. 혈관 조영술이 수술실에서 이루어지지 않은 경우에는 도플러 초음파가 이식편의 생존 상태를 점검하는 좋은 방법이다.

혈전증 (thrombosis)은 혈관 손상과 혈관 재건의 가장 흔한 합병증으로 남아 있다. 일차 재건을 하면서 혈관이 좁아지거나 (stenosis) 이식 혈관이 꼬이는 현상 (torsion)이 가장 큰 이유이고 특히 반복적인 정형외과적 골관절 수술 후에는 혈관 수축 (vascular spasm) 등에 의해 혈류량의 감소를 일으킨다. 급작스런 출혈 조절을 위한 혈관의 결찰은 허혈을 일으켜 혈관 재건보다 더 흔하게 절단에 이르게 할 수도 있다.

7. 절단에 대한 결정^{13,20,23)}

복합 사지 외상의 치료에서 가장 어려운 부분이 절단을 할 것인지, 그리고 언제 할 것인지 결정하는 것이다.

최근엔 사지 보존할 수 있는 능력이 발전하여 과거에는 절단을 했을 손상에서도 더 적극적인 재건 치료를 하게 되었다. 이러한 과감한 노력은 한편으로는 폐혈증을 증가시키고, 수술 절차가 늘어나며, 심지어 사망률도 증가할 뿐 아니라 입원 기간을 늘리고 사회적 경제적 손실을 가져올

수도 있다.

손상을 입은 후 어떠한 경우 절단이 필요한지 곧바로 예상하는 것은 어려운 일이나, 즉시 또는 일차적으로 절단을 하도록 결정 내리기 쉬운 손상 정도와 심각도가 있다. 이런 경우들은, 연부 조직과 골관절 외상의 정도가 심해 혈관 재생의 노력이 소용 없을 것이 명백한 때와, 주요 신경 절단, 또는 생명을 위협하는 다른 손상이 있어서 사지 재건에 대한 노력을 할 수가 없을 때이다. Gustilo III-C 손상 (혈관 손상을 동반한 분쇄 개방 골절)는 일반적으로 절단이 시행되는 경우이다.

1) 궁극적인 사지 상실 또는 심각한 기능 장애의 고위험 요소

- Gustilo III-C 개방성 골절 손상
- 경골 신경 또는 좌골 신경 절단
- 상지 신경 3개 중 2개 이상의 절단
- 허혈 지속 (>6~12 시간)
- 쇼크와 생명을 위협하는 손상들
- 무릎 아래의 동맥 손상
- 과도한 연부 조직 손실
- 압제 손상
- 다발성 골절
- 만성 질환이 있는 고령의 환자
- 심각한 오염
- 환자의 자발적 선택

절단의 결정은 각 개인 사례에 기초한 임상적 판단의 문제가 되어야 한다. 절단의 결정 과정은 관계된 수술 전문의 뿐만 아니라 환자와 가족도 관여해야 하며 외상, 정형, 혈관 성형 외과의사, 재활 전문가, 심리학자, 간호사, 그리고 환자와 가족을 포함하는 모두의 의견 조율이 있어야 한다. 조기 절단 이후에 정교한 사지 인공 보조기, 직장으로서의 빠른 복귀, 짧은 입원 기간과 낮은 비용, 낮은 질병률 등이 몇 개월 혹은 몇 년이 걸리고도 실패할지도 모르는 사지 보존 노력보다는 더 선호될 수 있다. 궁극적인 목표는 환자가 가능한 한 빨리 편안하고 생산적인 삶으로 돌아가도록 하는 것이다.

손상된 사지가 환자의 건강에 미치는 악영향 (폐혈증, 횡문근융해, 고칼륨혈증, 성인호흡곤란증후군, 또는 다른 생명을 위협을 주는 문제들)들이 있는 경우에도 추후 이차적 절단을 할 수도 있다.

8. 혈관 수술에 필요한 기구와 재료

1. A standard set of surgical instruments including:

- non-crushing vascular clamps of various sizes, self-retaining retractors, fine non-toothed vascular forceps, fine scissors or angled Potts scissors.
- 2. Rummel tourniquets, surgical rubber loops or other means of atraumatically controlling small vessels.
- 3. Prolene sutures with non-cutting needles - 2~0, 3~0, 4~0, 5~0
- 3. Fogarty catheters : sizes 3~5
- 4. Heparin to make a solution of 1,000 units/20 ml NS for local irrigation. For systemic heparinization the dose is 100 units/kg, but this might require reversal with protamine sulfate.
- 5. Papaverine for intra-arterial injection or xylocaine for topical adventitial administration to counteract spasm in smaller vessels.
- 6. Equipment for hand-held intra-operative angiography including soluble intravenous contrast, syringes, intra-venous cannulae.

구획 증후군 (compartment syndrome)^{15,32,40)}

구획 증후군은 Volkmann (1872)이 처음 기술한 이래 병리 기전과 구획 내압 측정법 등에 대하여 연구되어 왔으며, 이러한 구획 증후군은 조기에 진단하여 가능한 신속히 감압 조치를 취하지 않으면 볼크만 저혈성 구축, 신경 손상, 조직의 괴사 등으로 인하여 섬유성 변성이 발생하여 심각한 후유증을 초래하게 된다. 이는 근막에 둘러싸인 폐쇄된 구획 (compartment) 내부의 조직 압력이 상승하여 모세 혈관에서의 관류가 저하되어 구획 내 근육 및 기타 연부 조직의 괴사가 발생하는 것을 말한다.

정상적인 조직 내압 (intra-compartmental pressure)은 10 mmHg 이하로 유지되지만, 내압이 20 mmHg 이상 상승 시에는 모세 혈관의 관류가 저하되기 시작하고, 30~40 mmHg 이상 상승 시에는 근육 및 신경 조직이 허혈성 괴사에 빠지게 된다.

구획 내압의 측정은 이학적 소견에서 구획 증후군이 의심스러운 환자, 소아나 혼수 상태의 환자, 골절 및 신경 손상으로 이학적 검사가 어려운 경우에 구획 증후군의 확진과 감별 진단에 중요한 의의를 가지며, 근막 절개술의 시기 결정과 효과 판정의 지표로서 가치가 크다.

근육은 허혈성 변화가 생긴 2~4시간 후부터 기능적 변화가 나타나고, 6~12시간이 경과하면 비가역적인 변화가 나타난다. 일단 괴사가 발생하면 상태가 호전되더라도 근육의 자연적인 재생은 거의 불가능한 것으로 알려져 있다.

신경은 완전한 허혈 상태에서 30분 이내에 기능적 변화가 발생하고, 비가역적인 변화는 12~24시간 이후에 발생한다.

1) 획 증후군의 증상과 징후

- 동통이 나타나며 병변 부위의 수동적인 신전시 동통이 심해진다.
- 병변 부위에 감각 장애가 나타난다.
- 병변 부위에 부종이 나타난다.
- 병변 근육의 운동 장애 혹은 마비가 나타난다.
- 말기에는 손상 부위에서 맥박이 측지되지 않는다.

구획 내압이 상승하여 즉시 근막 절개술을 필요로 하는 경우는 임상적으로 급성 구획 증후군의 증상 (동통, 창백, 무맥, 이상감각, 마비 등)이 있으며, 운동 신경이나 감각 신경의 장애가 있을 때, 주사침과 혈압계를 이용한 방법으로 구획 내 압력이 45~60 mmHg (정상: 9~5 mmHg) 이상인 경우, 또는 측정된 조직압이 이완기 혈압과의 차이가 평균 20 mmHg 이내일 때, 4시간 이상 사지의 동맥 혈액 순환의 장애가 있을 때 즉시 감압 조치를 해주어야 한다. 그리고 감압술 후 수술 상처 부위는 봉합하지 않고 개방된 상태로 보호하여 부종이 소실되면 술 후 5~7일경에 자연 봉합을 하거나 피부 이식을 하도록 하는 것이 비교적 안전하다. 이러한 구획 증후군의 치료에서 가능한 빠른 감압술을 시행하지 않을 시에는 근육 괴사, 신경 손상, 섬유화 변성 등에 의한 기능 장애가 발생할 가능성이 높으므로 말초 동맥 순환이 원활하여도 구획증후군이 의심될 시에는 즉시 조직압을 측정하는 것이 중요하며, 비록 감압술이 매우 침습적이며 술식 후 개방 창에 대한 치료가 쉽지 않지만, 구획 증후군 진단 시에는 즉시 광범위한 근막 절개술을 통한 감압술을 시행하는 것이 예후에 좋은 결과를 나타낸다.

신경 손상 (Nerve Injury)

1. 서론^{2,7,8,19)}

16세기경 Gabriele Ferrara (1543~1627)는 말초 신경 손상을 복구하는 방법을 제시한 신경 외과 수술의 선구자였다. 그는 절단된 신경의 정확한 손상부 확인 및 봉합침과 봉합사 소독을 위해 와인, 로즈마리, 장미, 알코올 등의 사용과 신경 손상을 주지 않기 위해 부드럽게 봉합하고 봉합에 손상주는 것을 막기 위하여 오일을 적용하였다.

2차 세계 대전 전의 신경 손상 복구는 단순한 재접합으로 구성되어 있었다. 1차 세계 대전 중에는 신경 신원 손상의 개념이 없었고 광범위한 연부 조직 손상과 감염으로 인해 술 후 재파열의 위험이 많았다. 미세 수술 기구 및

진단 방법의 진보는 급성 신경 손상 복구의 과정에 좋은 결과를 가져왔으나 아직도 신경 손상의 재건은 말초 신경 재건 후 기능 회복면에서 큰 향상을 이루지는 못했다.

2. 신경 손상의 정의^{7,19,38,45)}

신경 손상의 분류는 손상된 신경의 구성 요소, 신경의 기능, 자연적 회복 가능성을 기준으로 이루어진다. 대표적인 Seddon의 3등급 분류는 술 후 기능적 결과를 예측하고 적절한 치료 계획을 세우는데 도움이 된다.

신경 손상은 allodynia, 통증에 대한 역치 감소, 통증 유발 자극에 대한 예민도 증가 등의 만성적으로 지속되는 신경병성 통증 (neuropathic pain)을 유발한다.

가장 경미한 손상을 neurapraxia라 한다. 신경 분절의 연속성은 유지되었으나 신경 전도의 장애를 초래한다. 신경 전도는 병변 이외에 원위부나 근위부는 보존되어 있다. 오래 쪼그리고 앉아 있으면 발생하는 발의 감각 이상 및 저림 등이 그 예이다.

Axonotmesis는 neurapraxia에 비해 신경 손상이 더 심각한 단계이다. 이는 endoneurium, epineurium, Schwann cell tube 및 기타 구조는 보존되어 있는 상태에서 축색의 손상에 의한 결과이다. 원위부 말단에서 Wallerian degeneration이 발생한다.

Neurotmesis는 말초 신경 손상의 가장 심각한 단계이다. 이는 축색과 신경 수초를 포함한 광범위 손상이다. 자연적인 축색 재생이 동반되는 회복은 거의 일어나지 않는다. 신경 손상 부위에서 외부 연속성은 유지되지만 신경내 섬유화, 반흔 등이 축색 재생을 방해한다.

Sunderland는 5 grades로 신경 손상을 분류하였는데, I, II 단계는 Seddon의 neuropraxic, axonotmetic 손상에 해당한다. Sunderland는 Seddon의 neurotmesis를 축색 지지 구조의 손상 범위에 따라 III, IV, V단계로 더욱 세분화하였다.

Grade III 손상에서 신경 내막 손상으로 축색의 연속성은 손상되지만 perineurium은 보존된다. 따라서 축색이 재생할 때 부정확한 nerve sheath로 들어가 비정상적인 재생을 초래하고 신경내 반흔이 축색 재생을 막는다. Grade IV 손상에서는 axon, endoneurium, perineurium이 손상되고 epineurium은 보존된다. 역시 신경 내 반흔이 형성된다. Grade V 손상에서는 endoneurium, perineurium, epineurium 전체가 손상된다. 지속적인 신경 외막의 출혈과 반흔이 형성된다. grade V는 Seddon의 분류에서 neurotmesis에 상응한다. 1988년 Mackinnon과 Dellon은 complex peripheral nerve injury인 grade VI 손상을 발표하였다.

3. 신경 손상 원인^{7,18,38,47)}

말초 신경 기능 장애는 neuron, Schwann cell, myelin sheath의 손상으로 인해 발생한다. 손상된 신경은 정상적인 방법으로 신호를 전달할 수 없다.

첫째 원인은 물리적 손상으로 saturday-night paralysis와 tourniquet paralysis 등이 있다. 상완골 골절에서 지혈대 사용 후 요골 신경 마비가 발생한 경우도 있으며 이러한 물리적 외상은 급성 신경 손상과 연관된 국소적 신경 전도 장애를 발생시킨다. 골절, 혈종, 구획 증후군 등으로 인해 압박 손상을 유발될 수 있다. 구획 증후군은 주변 조직에 대한 압력이 신경에 분포하는 미세 동맥을 압박하고 이로 인해 신경에 허혈성 손상이 유발된다. 말초 신경은 단시간의 허혈에 어느 정도 저항성이 있지만, 장시간의 신연과 압박력은 혈행 장애 및 신경내 허혈을 유발한다.

둘째 원인은 둔상 (blunt trauma) 또는 관통상으로 신경 열상 및 절단상이다. 신경은 깨끗하게 분리되지 않고 불규칙한 양상으로 손상된다.

셋째 원인은 신연 손상 (stretch injury)이다. 신경은 손상되기 전까지 약 10~20% 정도의 신연을 허용한다. 이로 인한 axonotmesis에서는 축색이 광범위한 길이로 파열되어 있어 반흔 조직이 길게 형성되는 경우가 많다.

팔을 세게 끌어당기면 상완 신경총에 견인 손상 (traction injury)을 유발한다. 요천 신경총 (lumbosacral plexus) 또는 신경근 (spinal nerve root)의 손상은 골반 골절과 관련이 있다. 관절 탈구 또는 골절의 전위는 신경의 견인 손상을 초래할 수 있다. 임상적으로 골절의 도수 정복을 반복적으로 과도한 힘으로 시행할 경우 신경의 신연 손상을 줄 수 있다.

넷째 원인은 교통 사고, 낙상 사고 등에 의한 고속 충격 손상이다. 근위 전완부 골절과 함께 외상성 후골간 신경 손상이 빈번하고 직접적으로 손상되지 않은 신경도 주변 조직 손상, 신연, 압박 등에 의해 영향을 받을 수 있다.

신경 손상을 일으키는 다른 요소들로서 말초 신경과 주변 조직과의 해부학적 밀접한 근접은 손상의 빈도를 높일 수 있다. 외상성 고관절 탈구에서 좌골 신경의 비골 분지가 더 흔히 손상되는데 비골 분지는 비골 경부 골절, sciatic notch 두 군데에서 가동성이 적고 경골 분지는 sciatic notch에서만 고정되기 때문이다. 수술 소견에서 외상성 고관절 탈구 시 대퇴 골두 및 acetabular 골편이 좌골 신경을 누르거나 골편에 의한 신경의 열상, 관통상 등이 발생할 수 있다.

상지의 특정 골절에서 서로 다른 빈도의 요골 신경, 정중 신경, 척골 신경 손상을 야기할 수 있다. Holstein-Lewis 손상에 의한 요골 신경 손상, Monteggia 골절-탈구에 의한

후골간 신경 손상, 주관절 탈구에 의한 척골 신경 또는 전골간 신경 손상, 소아의 상완골 과상부 골절 및 내과 골절 시 정중 신경 및 요골 신경 손상이 호발하고, 주관절부에서의 척골 신경 손상 등이 그 예들이다. 견관절 골절 탈구에 의해 액와 신경 (axillary nerve)이 흔히 손상된다.

조직의 회복 과정에서 신경 손상이 발생할 수 있다. 예를 들어 고관절 외상 후 반흔 조직 형성, 이소골 형성 등에 의해 좌골 신경의 압박 손상이 일어날 수 있다. 주관절 손상 후에도 관절 강직 반흔 유착, 이소골 등에 의해 신경의 가동성이 떨어지거나 직접 압박 손상이 발생한다.

의인성 손상 (iatrogenic injury)으로는, 견관절 불안정성 재건 수술 시 봉합 과정 또는 절개 과정에서 액와 신경의 손상이 일어날 수 있고 회전근개에 대한 수술 시에도 절개에 의한 액와 신경 손상이 발생할 수 있다. 주관절 관절경 시 후골간 신경 손상이 발생할 수 있다.

사지의 복합 손상에서의 말초 신경의 손상은 둔상이나 신연 손상의 경우가 많다. 신경 손상은 골절 및 탈구와 많이 연관되어 있는데 견관절 탈구와 골절이 동반될 경우 신경 손상이 발생할 확률이 2배가 된다. 말초 신경 손상의 약 95%는 상지의 골절과 관련이 있다. 가장 흔한 형태는 상완골 골절과 관련된 요골 신경 손상이다. 주관절 탈구 및 골절에서 발생하는 가장 흔한 손상은 척골 신경의 neurapraxia이다. 이는 도수 정복 후 대부분 자연 회복된다.

상완골 골절 후 발생하는 요골 신경 손상은 드물지 않게 보는 손상이며 그 발생 빈도는 약 11%이다. 이는 상완골 골절의 중간부 골절에서 약 60% 발생하고 28%는 원위 1/3에서 발생한다.

소아의 과상부 골절에서 신경 손상이 12~16% 발생하는데 후내측으로 전위된 골절에서 신경 손상이 더 잘 발생한다. 이러한 신경 손상의 86~100%는 neurapraxia이며 보다 심각한 손상은 개방성 골절에서 많이 발생한다. 상완골 개방성 골절 시 약 64%에서 신경이 절단되거나 골편 사이에 끼이는 것으로 나타나 있다.

신경의 신연 손상은 탈구에서 더 흔하며 슬관절 탈구에서 약 11%, 후방 고관절 탈구에서 약 13%, 견관절 탈구에서 약 48% 정도 발생한다.

외측 요골두 탈구의 20%에서 요골 신경 손상이 발생한다. 외상성 고관절 탈구에서 성인은 10% 아이들은 5%에서 신경 손상이 발생하였다. 견관절 전방 탈구에서 44%에서 액와 신경의 축색 소실 (axonal loss)이 발견되었다.

상지 신경 손상은 흔히 목과 어깨의 충격으로 발생하며 방사통을 특징으로 하고 있다. Numbness, paresthesia, weakness 등이 발생할 수 있고 상지 기능 장애 및 만성 신경병성 통증으로 발전할 수도 있다. 이들은 회복하는데 수개월이 걸릴 수도 있지만 대부분 회복된다.

의인성 손상도 한 원인이 되는데 요골 및 척골 골절의 관혈적 정복 및 금속판 내고정술 시 신경 손상 발생률은 1~10% 정도이다. 그러나 그 정확한 원인이 골절상인지 수술인지 알기는 어렵다. 견관절 관절경 수술 후에 신경 손상 발생률이 낮으며 손상부위에 혈종이 있을 경우 신경 손상 가능성은 4.4배 증가하게 된다. 성별, 외상의 원인, 수술 당시 팔의 위치, 손상이 일어난 다른 부위, 당뇨병의 유무, 항응고제 사용 여부는 신경 손상 발생률에 큰 영향을 주지 않는다.

4. 신경 손상의 병태 생리^{19,35,36,38,45)}

신경 손상 후 Wallerian degeneration은 신경에서 정상 의 Ranvier node에서 손상 받은 분절이 탐식되는 과정으로 시작된다. 재생하는 축색의 막힘을 방지하기 위해 신경 세포관 또한 탐식된다. 다양한 growth factor와 cytokine들이 이러한 퇴행과 재생 (degeneration-regeneration) 과정에 영향을 준다. 특히 nerve growth factor (NGF)는 연구자들 사이에서 많은 관심의 대상이 되었는데 그 이유는 wallerian degeneration과 감각 신경의 축색 재생을 자극하는 능력 때문이다.

말초 신경의 재생은 약 1 mm/day의 속도로 진행된다. 근위부 신경손상의 경우 재생의 징후가 수개월간 명확치 않을 수 있다. 상완골 중간부에서의 요골 신경의 손상은 brachioradialis나 wrist extensor가 회복되는데 약 5개월 (16 cm)이 소요된다. Perlmutter는 삼각근에 분포하는 액와 신경의 재생의 징후는 손상후 3~4개월 지나야 함을 보고 하였다.

재생의 시작 단계에서, 근위부 축색단에서 nerve growth cone을 포함하는 분지를 형성한다. 축색재생은 신경의 원위부 끝에서 유래되는 nerve growth factor를 향해 따라가게 되는데 이러한 과정을 neurotropism이라고 불린다. 신경 안쪽 및 바깥의 반흔 조직에 의해 축색의 성장이 손상 부위에서 방해받을 수 있다. NGF는 감각 신경 재생에 영향을 주지만 재생하는 축색을 직접적으로 안내하지는 않는다. Axonal bud는 선택적으로 신경조직을 따라 이동한다. 그러나 그것들이 감각 또는 운동 신경으로 직접 분화하지는 않는다.

잘못된 방향으로의 axonal bud는 비정상적인 신경 연결을 초래할 수 있고 비정상적인 운동신경 신경분포는 서투른 동작을 유발할 수 있고 비정상적인 감각신경 신경분포는 접촉이나 통증의 위치의 착각을 유발할 수 있다. Motor endplate는 기능을 되찾기 위해서는 외상 후 18개월 이내에 신경 분포가 시작되어야 하며 퇴화를 예방하는 것이 재생이 완료된 후의 운동 기능 회복에 중요하다. 일반적으로,

대부분의 외상성 비절단성 신경 손상 후 신경 내막의 부종으로 인해 내압 증가와 허혈성 손상을 보일 수 있다.

5. 임상 증상^{8,36,47)}

급성 말초 신경 손상의 결과 운동 장애 또는 감각 장애를 일으키는 신경 전도 장애를 초래한다. Quadrilateral space syndrome에서 액와 신경의 압박 손상을 나타내는데 임상적으로는 견관절 후방 통증, 상완부 외측의 감각 이상, 삼각근 위축 등을 유발한다. 운동 마비의 양상은 견관절 거상, 외전의 약화가 발생할 수 있다. 수상 약 일주일 후의 삼각근의 부전 마비는 신경 손상의 가장 유용한 지표가 된다.

정확한 진단을 위해서 감각 기능과 운동 기능은 반드시 따로 평가되어야 한다. 종종 신경 손상의 해부학적 위치와 임상 소견이 일치하지는 않는 경우가 있으며 수술실 내 소견은 정상처럼 보이는 신경이 신경 손상의 증상을 일으키는 경우도 있다. 최초에는 정상적인 신경학적 검사 소견이었다가 점차 손상의 소견을 보이게 되는 경우도 있다. 외상성 고관절 탈구의 경우 최초의 신경학적 검사에서 정상이었으나 시간이 가면서 점차 좌골 신경 손상 증상이 발생할 수 있다.

많은 예에서, 복합적인 외상과 관련된 급성 신경 손상은 신경학적 검사를 복잡하게 한다. 예를 들면, 응급의학에서 치료를 받은 외상성 고관절 탈구 환자에서 두경부 손상, 골관절 및 근육 손상등이 동반될 수 있다. 이러한 경우에서 손상 받은 사지의 신경학적 검사를 정확히 시행하기 어렵고 많은 환자에서 관절 및 뼈의 손상에 의한 증상 및 통증이 임상적 증상을 확대시켜 신경 손상의 증상이 무시된 채 지나칠 수가 있다.

또한 신경 손상의 가능성이 초기에 나타나는 경우도 있는데, 견관절 손상후 변형이 초래되었을 경우 액와 신경 및 근피 신경의 손상이 명백할 수 있다. 슬관절 탈구에서 총비골 신경 손상이 발생하여 foot drop이 나타날 수 있으며 상지의 과격한 신전 손상후 상완 신경총 손상이 자주 발생하게 된다.

6. 수술 시기^{7,8,36,38)}

수술의 시기는 매우 중요하다. 깨끗한 열상의 경우 초기 일차 봉합이 유효하다. 둔상, 압제상 및 신연 손상의 경우 약 6~8주 정도 지나 손상부위가 정상 부위와 경계지어진 후 반흔 조직을 제거하고 가능하면 일차 봉합, 그러기에는 너무 긴장도가 커질 경우에는 신경 이식을 시행하는 것이 좋다. 상완 신경총의 좌상이나 신연 손상의 경우 약 3~4

개월 관찰 후 회복의 증거가 없을 때에는 수술적 치료를 요한다. 상완골 골절 후에 발생한 요골 신경 손상의 경우 약 70%에서는 4~6개월 정도에 자연 회복이 되므로 지속적인 관찰을 요하나 2차적 수술의 결과가 좋지 않을 것을 우려하여 조기의 수술적 탐색을 권유하는 경우도 있다. 대부분의 신경 과열 손상에 대해 3~6개월간 임상적으로 또는 전기 생리학적으로 회복의 증거가 없을 경우 수술을 요하게 된다.

7. 영상 검사^{19,22,27,36,38)}

단순 방사선 촬영, 컴퓨터 단층 촬영 (CT), 그리고 최근 쓰이고 있는 자기 공명 영상 (MRI) 등의 영상 기술은 말초 신경 질환의 평가에 중요한 진단 도구이다. 많은 임상 연구에서 자기 공명 신경 영상 (MRN)을 말초 신경 질환의 병리를 밝히는 것에 사용해 오고 있다. 이러한 방법을 이용한 말초 신경 손상 환자의 평가는 급성 신경 손상 및 회복 단계 추이에 도움을 줄 수 있다. 손상 부위의 방사선 검사는 골절 또는 이물질의 여부를 밝히는 데 도움을 줄 수 있다. 예를 들어 경추부 골절은 상완 신경총 손상과 흔히 동반된다. 횡경막 신경 마비가 있을 때 흉부 방사선 촬영에서는 횡경막의 거상 소견이 보일 수 있다.

상완골 간부 골절은 요골 신경 손상과 동반될 수 있고 척골 및 요골 간부 골절은 각각 정중 신경 또는 척골 신경 손상과 동반될 수 있다. 고관절 및 근위 대퇴골 골절은 좌골 신경 손상과 동반될 수 있고 원위 대퇴골 골절은 비골 신경 또는 경골 신경 손상과 관련될 수 있다.

주관절 외상 후 정중신경 압박이 2~3개월 지속되면 단순 방사선 사진에서 상완골 과상부 부위에 투명한 음영이 나타난다. 이러한 투명한 음영은 정중 신경 압박증을 방사선학적으로 진단하는 데 도움을 줄 수 있다. 골 손상과 인대 손상을 배제하기 위해서는 모든 액와 신경 손상 환자에서 견관절 및 경추부의 방사선 검사를 시행해야 한다.

연부 조직의 미세한 해부학적 구조를 분석하는 데 있어서 자기 공명 영상은 컴퓨터 단층 촬영보다 훨씬 효과적이라는 것이 밝혀졌다. 자기 공명 영상은 정상과 비정상 말초 신경의 구조를 시각화하는 것에 사용되어 왔다. 또한 자기 공명 영상은 신경 분포가 끊어진 근육의 신호 변화를 손상 4일만에 감지할 수 있다. 자기 공명 영상은 주관절에서의 척골 신경 압박을 평가하는데 민감하고 특이적이며 척골 신경 병변을 97% 정도 진단할 수 있었다. Short tau inversion recovery (STIR) 자기 공명 영상에서 무지근 근육의 신호강도 변화는 임상적으로 진행된 손목터널 증후군 환자의 100%에서 발견되었다. Neuropraxia에서 해당 근육의 STIR 또는 T2W 신호강도는 정상이었다. 따라서, 말초

신경 손상 후 근육의 자기 공명 영상은 neuropraxia와 더 심각한 axonotmesis, neurotmesis를 조기에 구분하는 데 도움을 줄 수 있다.

컴퓨터 단층 촬영과 기존의 자기 공명 영상은 말초 신경과 주위 구조물들을 구분하는 데 있어 한계가 있기 때문에 자기 공명 신경 영상 (MRN)이 발전되어 왔다. MRN은 인체 여러 부분의 정상과 비정상 말초 신경을 시각화할 수 있다. 손상 받은 말초 신경은 손상 받은 신경의 주행을 따라 영상을 나열함으로써 평가할 수 있다. 예를 들어서 T2W 신호강도의 소실은 신경 수초의 손상을 의미한다. 또한, 전기침 검사가 시행하기 어려운 심부 근육에서 절단된 신경의 수분 성분 소실은 MRN을 통해서 관찰할 수 있다. 말초 신경 손상의 평가에 있어 MRN의 진단 도구로서의 정확한 가치는 아직 정립되지 않았다.

8. 신경 생리학적 검사^{19,36,45)}

임상 역치 검사 (clinical threshold testing)는 말초 신경의 감각 기능을 평가하는 데 사용될 수 있다. 이러한 검사들은 반응을 나타내는 데 필요한 자극의 정도를 결정할 수 있다. Semmes-Weinstein monofilament는 손가락 끝에 각기 다른 압력을 줄 수 있는 미세한 섬유이다. 이것은 역치 검사를 하는 데 이용된다. 진동에 대한 감각은 낮은 주파수 (30 Hz)부터 높은 주파수 (256 Hz)까지 역치 검사를 통해서 평가될 수 있다.

부분적 또는 전체적인 신경 손상은 근전도 (EMG)소견의 변화를 수상 3주 이내에 보일 수 있다. 주관절 손상에 의한 신경 기능 이상에서 신경 전도 검사 (NCS)를 3~4주 이후에 해야 하며, 견관절 전방탈구 후 발생하는 마비에서 EMG는 3주 이내에 시행되어야 한다. 심각한 신경 압박 증후군에서는 축색 돌기의 손상으로 인한 EMG의 변화가 생길 수 있다. 액와 신경 손상에서 EMG결과는 fibrillation potential을 포함한 삼각근의 denervation소견을 보일 수 있다. 자발적인 근육 수축이 없는 상태에서 EMG결과의 호전은 보존적 치료를 적극적으로 시행해 볼 수 있는 근거가 된다. 임상적인 호전이 없을 경우 반복적인 EMG검사를 시행해 보는 것이 좋다.

NSC는 말초 신경 손상을 진단하는 데 효과적인 검사이다. SSEP (somatosensory evoked potential)검사는 말초 신경 자극을 통해서 이루어진다. EESP는 반대쪽 감각 피질 위에 장치된 두피 전극을 통해 기록된다. 신경 전달이 회로 어느 부분에서든 끊어진다면 전기 자극은 생성되지 않는다. NSC는 neuropraxia와 더 심한 정도의 손상을 구분하는 데 도움이 되지 않는다. Neuropraxia의 전형적인 소견은 특정 신경 구간에서의 전달 속도 감소 또는 정지이다.

손상부 원위에서의 신경 전달 소실은 더 심각한 정도의 손상과 관련된 축색 돌기 소실을 의미한다.

신경 기능과 의심되는 손상은 정교한 기계 없이 시행할 수 있는 간단한 검사로 진단할 수 있다.

진행하는 Tinel 징후는 축색 돌기의 재생 진행을 평가하기 위한 또 하나의 간단한 방법이다.

9. 치료

1) 약물 치료^{5,8,36)}

치료의 목적은 손상 받은 신경의 기능을 회복시키거나, 최소한 환자의 삶의 질을 향상시키는 것이다. 신경뿐 아니라 신경 손상의 외부 요인들 또한 치료하여야 한다. 신경 증세를 동반한 골절 탈구는 비가역적인 신경의 괴사를 막기 위해 즉각적인 해부학적 정복을 시행해야 한다.

진통제의 사용은 신경 손상 환자의 통증을 조절하는 데 도움을 줄 수 있다. Meloxicam (Mobic)을 2~4주간 투여하는 것은 효과적인 약물 치료로 알려져 있다.

지난 수년간 여러 연구에서 효과적인 것으로 밝혀졌던 2세대 또는 3세대 항간질제 (AEDs)로는 oxcarbazepine (Trileptal), zonisamide (Zonegran), topiramide (Topamax), levetiracetam (Keppra), lamotrigine (Lamictal) 등이 있다. 이러한 효과는 GABA효과에 의한 것일 수 있다. 이러한 약제들은 임상적으로 신경병성 통증 및 저림 증세가 있을 때 가장 도움이 된다.

항바이러스제와 스테로이드제는 신경 손상의 원인인 신경내막의 부종을 감소시키는 데 도움이 된다. 고압 산소 (HBO)는 급성 외상성 허혈 재관류 손상에서 공인된 보조 치료이다. HBO는 신경 내막의 부종과 압력을 감소시키고 신경으로 가는 혈관의 혈류를 회복시킨다. CNTF (Ciliary neurotrophic factor)는 생체 내 실험 및 생체 외 실험 모두에서 운동 신경 세포의 생존을 촉진한다고 하나 아직 연구 단계이기 때문에 그것의 치료 효과는 현재 불분명하다.

2) 수술 적응증 및 치료 시기^{5,10,35)}

(1) 수술 적응증

- 해부학적 신경 주행 경로에 개방상이 (open wound) 있고 관련 신경이 분포하는 부위의 운동, 감각 장애가 있는 경우
- 개방상은 없지만 고속 또는 과도한 외력 (high speed, crush, gun shot injury)에 의해 관련된 근육 및 골관절 손상과 말초 신경 장애가 있는 경우
- 사지에 과도한 신연 손상 (traction injury)과 관련하여 인접 근육, 건, 혈관의 손상 및 혈종 형성이 있는 경우
- 신경 주변에 초기에 수술이 필요한 골절이 있거나 골

절편에 의해 손상이 우려될 경우

- 비개방성 손상 후 6주 이상이 되어도 통증이 지속되고 이학적 검사 및 신경 전도 검사에서 회복의 징후가 보이지 않는 경우
- 말초 신경 주변에 과거 외상 및 수술 반흔 등에 의해 신경 압박 증상이 있는 경우

(2) 치료 시기

신경의 직접 봉합은 봉합의 시기에 따라, 수상 후 12~24시간 이내에 시행하는 조기 봉합 (immediate repair), 1주 이내에 시행하는 일차 봉합 (primary repair), 1주 이후에 시행하는 지연 일차 봉합 (delayed primary repair) 및 이차 봉합 (secondary repair)으로 나눌 수 있다. 엄격한 분류는 특별히 의미는 없으며 보통 2주 이내에 봉합하면 일차 봉합 (primary repair)으로 그 이후에 봉합하면 이차 봉합 (secondary repair)으로 분류하기도 한다.

일차 봉합은 상처가 비교적 깨끗하며, 연부 조직 손상이 적고 감염의 위험이 매우 적을 때 가능한 조기에 시행하는 것이 이상적이다. 손상 후 지연된 상처인 경우에는 경우에 따라 변연 절제술을 시행하고 항생제를 투여하면서 주변 손상에 대한 치료 후 1~2주경에 지연 일차 봉합을 하게 된다.

그러나 심한 개방성 골절이나 총상 및 24시간 이상 경과한 개방상, 심한 연부 조직 손상 및 결손이 동반되어 감염의 위험이 있을 경우, 피관 이식술을 요할 경우 일차 봉합은 피하고 이차 봉합을 시행하는 것이 바람직하다. 이차 봉합은 대체로 창상이 치유 되는 2~3주 후에 시행하는 것이 보통이나 경우에 따라서는 몇 개월까지 지연될 수도 있다. 이차 봉합을 계획할 경우에는 초기 주변 손상 치료 시 절단된 신경단을 주변 조직이나 서로의 신경단에 봉합하여 절단된 신경절이 단축되어 간격이 발생하는 것을 줄일 수 있으며 재 수술 시 반흔 조직에 둘러싸인 신경을 쉽게 찾을 수 있다.

한편 일차 신경 봉합이 더 나은 방법이나 오히려 이차 봉합이 더 나은 경우가 있는데, 초기에 신경 손상의 정도와 범위를 알기 어려운 경우, 신경이 노출되거나 감염의 위험이 있는 경우, 숙련된 외과의와 시설이 부족한 경우 등에서는 서둘러 불안정한 일차 봉합을 시행하는 것보다는 차근차근 적정한 봉합을 이차적으로 하는 것이 더 나은 때가 있다.

3) 신경 봉합술^{22,35,46)}

신경 봉합 시 이미 손상된 신경에 더 손상을 주지 않고 신경 외막 및 주변 혈관을 가능한 보존하여야 하며 손상된 신경을 찾아내는 과정부터 외막에 손상을 주지 않도록 3.5배 이상의 확대경 (loupe)이나 수술 현미경 (surgical mi-

croscope)을 이용하여 조심히 다루어야 한다. 신경 외막 봉합은 보통 8~0 이하의 가는 실을 사용하고 원형 바늘(round needle)을 사용하여 외막이 찢어지지 않도록 해야 하며 단속 봉합(interrupted suture)을 시행한다. 신경의 외막이나 외주막 봉합 시 정중 신경 정도의 굵기에 대하여는 6~10개 정도의 봉합이 필요하며 직경이 1 mm 정도인 수지 신경에 대하여는 3~4개 정도의 봉합이 필요하다. 신경속 봉합 시 10~0 이하의 실을 사용하며 각 신경속에 대해 1~2개만 봉합하여 서로 회전되어 어긋나지 않는 정도로만 봉합을 시행한다. 너무 많은 봉합은 오히려 각 신경속을 이물질로서 자극하거나 반흔 형성이 신경 내부에 증가하므로 최소한의 봉합으로 신경속의 정렬(fascicular alignment)을 얻도록 해야 한다.

(1) 손상 신경 박리 및 절단단 정리

완전한 손상 시 절단단들은 신경 자체의 탄성으로 인해 단축되는데 초기에는 약 1 cm 이내의 간격이 생기므로 일차 봉합이 가능하다. 주변 조직 내에서 신경을 분리할 때도 신경 손상을 가중시킬 가능성이 높으므로 손상된 신경의 근위부 및 원위부의 반흔이 없는 정상적인 부위를 먼저 확인하고 손상 부위를 향해 찾아 나아가야 한다. 따라서 피부 절개선도 지그재그 모양(Bruner's incision)으로 근위부 및 원위부로 충분히 연장하여야 한다. 신경 외막에는 가는 혈관들이 종축 방향으로 분포되어 있으므로 이를 잘 살펴보면 신경 단의 정렬을 얻는 데에 많은 도움이 된다. 절단단의 접촉을 용이하게 하기 위해 양측으로 신경 박리를 하여 신경 가동 연장(mobilization)을 얻을 수 있는데 가능한 외막 및 주변 분포 혈관을 보존하여 중간 부분에 허혈성 괴사가 발생하지 않도록 주의한다.

일단 양측의 신경단이 찾아지면, 절단단을 둘러싸고 있는 반흔 및 주변 연부 조직을 제거하여 신경단의 내부 신경속 배열과 지도를 살펴야 한다. 정상적으로는 신경내의 고유 압력(intraneural pressure)에 의해 신경속 다발은 외막에 비해 더 바깥쪽으로 부풀어 오르고, 신경속의 내부는 주막보다 바깥쪽으로 부풀어 오르는 것을 관찰할 수 있다. 절단된 신경의 끝에서 상기한 부풀어 오르는 소견이 관찰되지 않고 머물러 있거나 오히려 신경속 주위의 반흔과 더불어 가늘어져 함몰된 소견이나 혈종(intraneural hemorrhage)을 보이면 아직 손상된 부분이므로 안타깝더라도 계속 확실히 제거해야 한다.

신경단의 정리(trimming of nerve end)는 신경단을 압설자(tongue depressor) 위에 올려놓고 건들지 않으면서 11번 수술칼로 잘라낸다. 이때 주의할 점은 신경단을 찢지 말고 작두와 같이 수직력으로 눌러 절단하여야 한다. 찢게 되면 수술칼 옆면에 신경속이나 신경 섬유가 마찰에 의해 밀려서 움직여 짓이겨지며 신경 외막을 잡아당겨 자르게

되면 외막 봉합 시 외막이 모자라서 긴장도가 높아지고 신경속이 봉합부 내에서 꺾이거나 밖으로 튀어 나오게 된다. 수술 시간이 장기화될 수 있으므로 보통 지혈대를 풀고 신경 봉합을 하게 되는 경우가 있는데 신경 내부의 정상적인 부위에 다다르면 신경 내 분포하는 혈관으로부터 출혈 소견을 보이게 된다. 이때에는 희석한 혈전 용해제로 잘 씻어내면서 봉합을 시행한다.

정상적인 신경속 다발이 확인되면 내부 배열 지도(cross-sectional map)를 살펴서 같은 짝을 찾아 맞추어야 한다. 신경 속의 배열이 맞지 않으면 크게는 운동 섬유가 감각 섬유로 자라 들어갈 가능성도 있고 작게는 신경 섬유가 다른 감각 수용체로 자라 들어가므로 재생후에 감각의 특성이 바뀌거나 근육간의 운동 조화에 착오가 생길 수 있다.

신경 내부 배열을 맞추는 방법으로는 현미경하에 육안으로 살펴거나 외막에 종축으로 분포하는 혈관들의 모습을 관찰하는데 오래된 손상에서는 혈관을 찾아보기 힘들다는 단점이 있다. 당장 수술실 내에서는 육안으로 맞추어야 하는데 초기의 예리한 손상은 쉽게 구별이 가지만 손상이 넓고 신경단의 반흔 제거가 많은 경우는 정확히 맞추기가 어렵다. 또한 신경속들은 주행 과정에서 서로 교차하는 경우가 있으므로 어느 정도 신경 결손이 있게 되면 양측 신경단의 내부 배열 지도가 매우 달라지게 된다.

기타 조직 화학 염색법으로서 acetylcholinesterase는 운동 신경 섬유의 지표로, carbonic anhydrase는 감각 신경 섬유 지표로 염색하여 구별할 수 있으나 1시간~1주일 이상의 시간이 걸리므로 현실성이 떨어진다. 그리고 전기적 신경속 감별(awake stimulation)로 운동 신경과 감각 신경을 구별하는데 수술 도중 환자를 깨워서 운동 신경을 전기 자극할 경우 깊은 둔통(deep dull pain) 감각 신경을 자극할 경우 예리한 전을 자상통(sharp buzzing pain)을 느끼며 외과의와 환자간의 대화를 통해 느낌을 이야기 하여 구별하게 된다. 이는 마취 기술과 환자와의 협조 상황에 크게 좌우되며 신경 손상 후 Wallerian 변성이 일어나기 약 3~4일 전이나 가능한 단점이 있다.

말초 신경이 부분적으로 절단된 경우 절단되지 않은 부분은 정상적인 상태를 유지하나, 절단된 부분은 양쪽으로 단축되어 간격을 형성하게 된다. 이를 그대로 방치하면 후퇴된 부분에 연결성 신경종이 발생되고 이 부위를 자극하면 Tinel 양성 증상이 유발되어 환자가 매우 불편해진다. 일반적으로 굵은 신경의 경우 부분 절단이 직경의 1/4 내지 1/5 이하인 경우에는 신경 봉합술을 시행할 필요가 없고 수지 신경의 경우에는 1/3 정도가 절단되더라도 봉합이 반드시 필요한 것은 아니다. 그 이상의 손상일 경우는 현미경하에 신경속을 구분하여 절단된 부위는 신경외, 주막 봉합술을 해야 한다.

(2) 긴장 완화 (tension relief)

신경단의 정리와 내부 배열 지도 확인이 끝나면 양측 신경단을 서로 접근시켜야 하는데 과도한 봉합부 긴장은 이차적으로 신연 손상을 주게 되며 결합 조직의 증식을 초래하여 섬유화 반흔이 증가하고 혈관 손상 및 신경종을 형성할 수 있어 축색의 성장 이동을 방해하는 가장 중요한 요소이다. 신경단이 접근되더라도 2.5 cm 이상의 간격이었다면 기능적 회복이 매우 저하되므로 신경이식 등의 다른 방법을 적용하여야 한다. 그러나 적은 간격은 기능에 장애를 주지 않는 적당한 범위내에서 인접한 관절 위치의 굴신 변화, 신경의 긴장력을 줄일 수 있는 종축의 신경 이동 (mobilization), 신경 주행 경로 이전 (rerouting) 골의 단축 (bone shortening)을 시행하며 이러한 방법으로 접근이 안 되면 신경 이식을 시행해야 한다. 접근후 장력의 허용 정도는 8~0 봉합사를 이용하여 잠정적으로 외막을 봉합했을 때 끊어지지 않는 정도가 적당하다. 특히 신경속간 봉합 (perineural repair)에서 신경 주막이 매우 약하므로 긴장을 충분히 없애준 후 신경 외막을 종절개하여 먼저 봉합하여 부목 (splint)으로 이용하는 방법도 있다. 긴장을 줄이기 위해 풍선을 이용한 신경 연장술 (balloon expansion)은 좌골 신경과 같은 굵은 신경에서 신경 이식 등의 방법이 용이하지 않을 때 유용한 방법으로 쓰인다.

(3) 봉합 (suture)

기본적으로 신경 외막 봉합 (epineural Repair), 신경 주막 봉합 (perineural Repair) 또는 신경속 봉합 (fascicular repair), 이 둘을 같이 시행하는 신경 외주막 봉합 (epineural repair) 등이 있다. 경우에 따라 여러 개의 신경속이 그룹을 이룰 경우 이를 단계로 봉합하는 경우가 있는데 이를 신경속 다발 봉합 (group fascicular repair)이라 부른다.

신경 외막 봉합과 주막 봉합의 장단점에는 신경 손상의 상황에 따라 많은 논란이 있다. 주막 봉합이 이론적으로는 더 정확한 신경속 정상 배열 (fascicular alignment)을 얻을 수 있으나 실제 임상에서 수술적 조작 시 신경속을 다루며 봉합사를 통과시킬 때 오히려 신경 섬유 손상을 초래할 수 있고 부적합한 신경속끼리 잘못 봉합할 경우 부정 배열을 고착시키게 된다.

신경 외막 봉합은 이론적으로는 정확한 신경속 정상 배열을 얻을 수는 없지만 인간의 힘으로 조절할 수 없는 신경 섬유의 자연 재생과 재생 배열에 영향을 주는 tissue specificity 또는 neurotrophism, neurotropism, contact guidance 등, 재생에 매우 유리하고 필연적인 요소가 작동할 가능성이 더 높고 신경 내부의 반흔을 덜 남길 수 있다. 따라서 손상 초기에 일차 봉합이 가능한 경우에는 양측 신경 절단 단면의 신경속 형태 지도를 잘 맞추어서 외막 봉

합 하는 것이 더 좋은 결과를 보일 수 있다. 그러나 시간이 지연되었거나 손상 범위가 넓어서 변연 절제를 시행하여서 신경 절단단의 단면 지도를 정확히 맞출 수 없는 경우, 절단 간격이 큰 경우는 신경속 봉합이나 신경 이식을 시행해야 한다.

이 두 가지 방법을 적절히 이용하여 운동 신경속 다발과 감각 신경속 다발 정도만 인위적으로 나누어 신경속 다발 봉합 (group fascicular repair)을 시행하여 외막 및 주막 봉합의 장점을 최대한 살리는 것도 현명하다 하겠다.

신경 외막 봉합의 한 방법으로 견인 봉합 (tension suture, approximation suture)이 있는데 이는 신경 절단부에서 좀 떨어진 부위에 봉합사를 이용하여 서로 당겨서 절단단 사이의 간격을 좁히고 긴장을 완화시키는 방법이다.

봉합사를 이용하지 않고 절단된 신경단을 연결해 주는 방법 (adjuncts to suture repair)으로 인체에서 추출한 섬유유질을 신경 접착제 (fibrin glue adhesive)로 사용하거나 레이저 (laser "welding")를 이용하여 신경 외막을 응고 접합하는 방법이 있다. 신경속 배열을 유지하며 신경의 외막 봉합을 몇 개만 하고 접착제를 뿌리거나 레이저로 단백질 응고시켜 굳게 하는 방법으로 술기가 간단하고 신경 내부에 이물질이 들어가지 않는 장점이 있으나 접합 부위가 긴장력에 대해 봉합사 보다 취약한 단점이 있다.

접근 시킨 후 봉합 시 중요한 점은, 두 절단단 내의 신경속 (fascicle)들이 살짝 마주 닿게 하거나 오히려 1~2 mm 정도의 간격을 두고 신경 외막을 견고히 봉합하는 것이 좋다. 신경속 배열을 정확하게 맞추어 살짝 닿게 하여 신경속 사이에 미세한 간격을 허용하면 근위단에서 자라오는 축색들이 이 공간을 통과하여 여러가지 자연 재생 능력 (neurotrophism)으로 보다 더 기능적인 연결이 가능해질 수가 있다. 그러나 신경속들을 너무 맞닿게 하여 봉합을 하면 신경속이 서로 구부러지거나 (kinking) 신경속 끝의 일부가 신경 외막의 밖으로 튀어 나와 (extrusion) 구조적 변형과 장벽을 형성하므로 축색의 재생 성장이 불가능해진다.

이차 봉합은 다른 방식으로 시행해야 하는 지연 봉합이다. 신경 길이를 확보하기 위해 골 단축을 시행할 수 있다. 굴곡 상태의 관절에서 신경 이전을 하는 것 (예를 들어 주관절에서의 척골 신경)은 이차 봉합에서 신경 길이를 확보하기 위한 또 다른 방법이다. 이러한 방법들은 신경의 길이를 10% 정도를 증가시키는 효과가 있다. 그러나 손상 3주 이내에 신경은 그 길이의 8%정도가 줄어들 수 있다.

많은 의사들은 일차 봉합보다 지연 봉합을 선호하는데, 이것은 창상이 치유되는 시간을 얻을 수 있고 감염의 위험을 감소시키기 때문이다. 또한 지연 유합 시 손상된 신경의 말단은 경계가 보다 정확하고 변연 절제가 더 용이하며

신경막이 더 단단해지기 때문에 신경 외막 봉합을 더욱 견고하게 할 수 있다. 손상된 신경의 봉합은 1개월 이상 지연되면 안 된다.

신경 유리술은 회복중인 신경 섬유를 유리시켜 기능적 회복을 호전시키기 위해 신경 내외의 흉터 조직을 제거하는 것이다. 총에 맞은 상처 등의 오염된 창상이나 심한 조직 손상을 동반한 견열상에서는 이차 봉합이 도움이 된다. 심하게 손상된 신경은 신경 이식을 필요로 할 수 있다. 손상된 신경 말단을 절제한 후 (신경종을 포함하여) 결손부에 장력이 없이 봉합되지 않을 때 이식이 필요하다.

신경 이식 후 감각이 회복될 수 있음이 연구들을 통해 밝혀졌다. 비복 신경은 신경 자가 이식술의 좋은 적응증인데 이는 축색 돌기와 신경 외막의 비율이 적합하기 때문이다. 비복 신경의 소실은 큰 문제를 일으키지 않는 정도의 족부 외측 감각 소실만을 야기한다. 구간이 큰 신경 이식에 있어서는 동종 이식으로 신경을 대체하는 방법이 연구되고 있다. 동종 이식은 환자가 면역 억제되어 있거나 또는 이식편의 세포 활성이 보존된 상태일 때 성공할 수 있다. 면역 억제는 신경 이식편에 환자의 신경 말단에서 나온 신경 수초 세포가 자라 들어간 후에 중단할 수 있다. 동종 이식보다는 자가 이식의 결과가 더 낫다^{4,5,35,46}.

인공 회로는 기존의 신경 자가이식보다 성공적이지는 못하다. BDNF (brain-derived neurotrophic factor)와 교원질을 원통형으로 만든 물질이 축색돌기 재생을 위한 인공 회로로 쓰여지고 있다.

신경 또는 건 이전술은 회복 불가능한 신경 손상에서 필요할 수 있다. 상완 신경총 손상은 복구 불가능할 때가 있다. 이러한 경우에서 신경화 (neurotixation)나 신경 이전은 더 좋은 기능 회복을 가져올 수 있다. 척추 부신경 (spinal accessory nerve)이나 장흉 신경 (long thoracic nerve)을 원위 상완 신경으로 이전하여 주관절 굴곡을 향상시킬 수 있다. 건 봉합의 결과가 만족스럽지 않을 때 계획적인 건 이전은 사지의 기능을 증가시킬 수 있다. 후 경골근건을 골간막을 통해 이전시키는 건 이전술은 비골근 결핍이 동반된 족부의 근력을 향상시킬 수 있다. 수상 후 3개월 이내에는 조기 신경 이식이 건 이전보다 결과가 좋기 때문에 건 이전술을 시행하면 안 된다^{4,7,42,45}.

10. 수술 중 및 후 과정^{22,36,41,42,46}

수술 중 전기 진단적 관찰은 운동 및 감각 말초 신경의 기능을 평가하는 데 중요하다. 환자의 검사할 근육군을 관찰할 수 있도록 준비를 하고 국소마취, 부분마취 또는 지혈대는 수술 중 전기생리학적 검사를 하기 위해서는 피해야 한다. 신경 주변의 흉터 조직의 제거는 통증을 방지하

고 치유를 촉진할 수 있다. 신경 말단을 습윤하게 유지하는 것이 중요하다. 확대경을 쓰는 것은 낮은 확대 비율 및 넓은 수술 시야에서의 접근에 유용하며 신경 및 혈관 말단을 봉합하기 좋도록 만드는 데 편리하다. 신경은 수술 중 관절이나 사지의 조작에 의한 장력을 줄임으로써 보호할 수 있고 의인성 손상을 방지하기 위해 무딘 견인기를 사용해야 한다.

수술 중 전기 자극을 통한 수술적 탐색은 단지 신경 유리술만 시행해도 될 것인지를 결정하는 데 도움을 줄 수 있다. 치료에 실패한 단독 혹은 복합성 액와 신경 손상 환자에서는 성공적인 치료를 받은 환자에 비해 신경 이식 및 신경 유리술의 시행 횟수가 두 배 이상이었다.

수 주간의 고정을 할 필요는 없으며 환자는 일상적인 관절 운동 범위를 유지하고 근육의 신경지배가 다시 일어날 때 근육 기능의 회복을 최적화하기 위한 일반적 물리 치료를 받아야 한다. 치유 및 봉합 부위의 강도 회복을 위한 기간을 짧게 가질 것이 권해지고 있다. 약 3주간 관절을 편안한 자세로 부목 고정하여 봉합 부위를 보호해야 한다. 신경 이전술에서는 수술 후 4주간의 고정이 필요하고 4주째부터는 물리 치료를 시작해야 한다. 수술 후 임상적 검사 및 전기진단적 검사는 첫 2년 동안 매 3개월마다 실시하고 그 이후로는 매 6개월마다 실시한다.

11. 결과 및 예후^{10,35,38,41}

말초 신경 수술 후 결과에 영향을 주는 임상 요소로는 다음을 들 수 있다.

1) 환자의 나이

예후에 가장 중요한 요소로 거론되고 있다. 어릴수록 축색의 재생 능력이 증가되어 있고 원위 신경절과 말단 수용체의 변성도 적다. 축색의 재생 능력은 신경 전달 기능의 속도 차이에 기인하며 말단 수용체의 밀도가 나이가 들면서 점차 감소하는 것에도 그 이유가 있다. 또한 나이가 어릴수록 대뇌 피질의 적응성 (cortical plasticity)과 재적응 (remapping) 능력이 크므로 말단 수용체를 통하여 들어온 정보에 대한 재학습 및 재편성이 잘되어 부정확할 수 밖에 없는 신경 수술 및 재생 후 나타나는 혼돈을 극복하는 능력이 더 우수하기 때문이다.

2) 손상 후 치료에 이르기까지의 시간 지연

수상 후 신경원 세포와 근위 신경절에는 초기 수상 범위에 의한 반흔 및 괴사가 문제가 될 수 있으나 계속 근위부로 진행되는 것은 아니다. 그러나 시간 지연 문제는 원위 신경절과 말단 수용체 및 근육의 변성에 더 큰 의미가 있

다. 보통 신경 절단 후 4일 정도 후부터 원위부의 변성이 시작된다. 가능한 조기에 봉합 수술을 하는 것이 당연하나 말초 신경의 손상 범위를 정확히 파악하기 어려운 경우, 뒤늦게 진단된 경우, 주변 조직의 손상, 결손 및 오염이 심하거나, 전신적 상태 불량, 적절한 수술 장비, 숙련된 외과의 등이 갖추어지지 않을 경우에는 지연될 수밖에 없다.

신경 봉합의 지연은 감각 신경보다는 운동 신경에 더 큰 영향을 미치는데 운동 신경은 12개월 후에 봉합하여도 기능 회복을 보일 수 있으나 보통 3개월 이후에는 기능 회복이 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있고 감각 신경은 2년까지도 회복 소견을 보인다 한다. 따라서 예리하게 절단된 신경은 가능한 빨리 봉합을 하는 것이 재생도 잘 되고 술기도 쉬워진다.

어쩔 수 없이 지연될 경우 신경이 수축하여 간격이 멀어지는 것을 방지하기 위해 신경 외막을 봉합사로 주변 연부 조직이나 신경단끼리 고정해 두었다가 추후 적절한 시기에 재 봉합하는 것이 좋다. 오히려 신경 손상의 범위가 불확실한 경우 선불리 봉합하면 충분히 고착된 반흔을 다 제거하지 못하는 경우가 있으므로 3~4주 후 적절한 수술 환경하에 반흔이 형성된 부위를 확실히 제거하고 봉합 또는 신경 이식 등을 하는 것이 더 나은 결과를 얻을 수 있다.

3) 손상 기전

칼이나 유리 등에 의해 예리하게 손상된 경우는 반흔 형성, 허혈의 범위가 적기 때문에 예후가 좋고 술기도 쉽다. 그러나 견인 손상 (traction, avulsion)이나 둔탁한 물체에 의해 넓은 범위를 다칠 경우 (press, crush)에는 손상 부위에서 멀리까지도 다양한 정도의 신경 손상이 파급된다. 반흔 형성, 허혈 등의 악조건이 커지므로 예후에 더 좋지 않으며 향후 수술의 방법도 달라지고 술후 반흔, 유착 등의 부작용도 더 커지게 된다.

4) 신경 손상의 위치

신경 손상 후 기능 회복에 큰 영향을 미치는 요소의 하나이며 대체로 근위부의 손상이 원위부 손상보다는 결과가 나쁘다. 근위부 신경절에는 신경 섬유 다발의 수와 신경속간 교차가 더 많고 무질서하며, 신경 재생 물질의 전달 및 재생되어 나아갈 거리가 더 길어서 시간이 많이 걸리며, 재생되어 나가는 축색의 수가 줄거나 변성되고 반흔에 의해 단절될 수가 있고, 따라서 말단 표적 기관의 변성 기회가 많아지며, 원위부 신경절로 갈수록 운동 신경과 감각 신경의 분리가 용이해지므로 봉합술시 혼란을 줄일 수 있고 재생 축색단이 서로 다른 표적 기관으로 진행되어 들어갈 확률이 적으며 목적 기관까지의 거리가 짧아 시간이 단축된다.

5) 신경 손상의 범위

이는 손상 기전과 봉합 지연의 정도와 관계가 있는 요소로서 Sunderland의 손상 정도의 분류를 기준으로 볼 때 손상 부위에 여러 단계의 손상 형태가 혼재되어 있는 것이 흔하다. 실제로 반흔 부위와 정상 신경속을 정확히 구분하는 것이 매우 어려우며 수술실내에서 수술 현미경하에 육안으로 관찰하고 전기 자극을 하면서 부적합한 조직을 제거한 후 일차 봉합을 하거나 결손이 큰 경우 신경 이식을 시행한다. 겉으로 보기에는 정상 신경 조직으로 판단되어도 근위 또는 원위 신경절 내부의 신경 섬유 손상 여부는 확신할 수 없으므로 가능한 세심하고 충분히 변성된 신경 조직과 반흔을 제거하는 것이 좋다.

6) 신경의 종류

순수 감각 또는 운동 신경의 기능만 있는 신경의 재생이 서로 혼재되어 있는 경우보다 결과가 더 좋다. 신경 봉합 후 축색이 서로 교차하여 재생되어도 술후 근력 재활 치료나 감각 재교육을 통해 대뇌에서의 영역 지도 재편성이 비교적 용이하기 때문이다. 또한 신경 섬유의 굵기와 관련하여 감각 신경이 운동 신경보다 예후가 좋으며 결체 조직의 비율이 신경속의 비율 보다 높은 신경이 더 예후가 좋다.

7) 등반된 주변 조직 손상

주변 조직의 손상으로 인한 혈행 부전, 반흔 조직 증가, 신경 유착 및 신연, 골절면에 의한 손상 및 압박, 감염 등에 의한 일차적 영향과 골절, 인대 손상 및 탈구, 건 및 근육 파열 등에 대한 치료 후 사지기능 부전, 신경 손상 후 근육 및 감각 수용체의 퇴화 등에 의한 이차적 퇴행 등이 신경 재생 회복에 좋지 않는 영향을 주게 된다.

8) 신경 결손의 정도

결손이 커서 봉합부에 과도한 긴장력이 발생하면 반흔 구축, 신경종이 형성되어 축색의 성장에 방해가 된다. 또한 신경의 자연 재생에 중요한 neurotrophism, contact guidance 등의 국소 요인들의 효과가 저하된다. 이를 극복하기 위해 신경 이동, 신경 이전, 신경 이식을 시행하는 과정에서 신경 외막에 손상을 주거나 혈관 손상이 발생하며 결손을 지나야 하는 축색의 배열이나 성장 속도에 좋지 않은 영향을 주게 된다.

9) 신연 손상

신경이 종축으로 길이의 10% 이내로 신연되는 경우에는 기능에 특별히 영향을 주지는 않는다. 그러나 15~20% 정도의 신연은 neurapraxia를 일으킬 수 있고 20% 이상의 신연은 axonotmesis, neurotmesis도 초래할 수 있다. 신연

력이 클수록 손상부의 근위부 및 원위부로 손상 범위가 확장되고 주변 혈관 손상도 동반 되어 변연 절제 및 봉합술의 선택도 달라지게 된다.

10) 봉합부의 반흔 정도

손상 범위의 확대 및 신경 봉합부에 과도한 긴장력에 의한 반흔 형성, 주변 광범위 손상 및 혈행 장애나 유착, 미숙한 술기에 의한 이차 손상 등에 의해 반흔 조직이 과다 형성되면 축색의 성장 경로가 구조적으로 막히게 되어 신경 회복이 어려워진다. 육안적으로는 정상적인 신경구조를 보여도 미세한 신경섬유에는 손상이 있을 수 있으며 이로 인한 신경 내부 반흔도 신경재생에 큰 영향을 주게 된다.

11) 술기

사지의 해부학적 구조에 대해 잘 알아야 함은 필수적이다. 신경 구조는 사지의 전체적인 구조속에서 다루어지는 것이므로 주변 해부학적 구조물에 대해서도 익숙해야 하고 경우에 따라서는 주변 근육, 건, 골관절 부위에 대한 술기도 요하게 된다. 수술실 내에서 신경 및 내부 신경속을 구별하고 미세 수술 기구로 다루기 위한 확대경 (loupe)과 수술 현미경 (microscope)이 필수적이다. 시야의 확대 없이 신경을 다룰 경우 신경 외막이나 분포 혈관에 손상을 주게 되며 특히 반흔 조직이 동반된 경우에는 신경 절단 손상도 초래하게 된다. 외과의는 충분한 연습과 경험을 통해 안정적인 술기를 연마하여 세심하게 신경속 (fascicle)까지도 다룰 수 있어야 하며 적절한 수술실 시설, 마취 방법, 잘 교육된 보조 인력을 갖추어야 한다. 그리고 필요한 기구와 봉합 재료가 항상 구비가 되어 있어야 하며 신경 손상에 대한 수술은 장시간을 요하는 경우가 많으므로 교대 인력을 갖추는 것이 바람직하며 수술팀의 건강 관리도 필수적이라 하겠다.

12) 기존의 국소 및 전신성 신경 질환

Diabetic, alcoholic, uremic, paraneoplastic, drug, endocrine, infectious, vasculitis, demyelinating, amyotrophic, muscular atrophy 등 다발성 신경염 (polyneuropathy)과 이중 신경 포착증 (double crush syndrome), 이전의 국소 신경 외상력, 너무 어린 나이, 정신 지체 및 이상, 퇴행성 정신 신경 장애, 기존의 만성 퇴행성 질환 등이 있을 경우, 정상적인 말초 신경 조직과는 다르며 전반적인 환자의 인지도, 협조 능력이 현저히 저하되므로 같은 수술을 시행하여도 그 결과는 다르다. 모든 경우에 적극적인 치료를 시행해야 하나 경우에 따라서는 최소한의 치료 (iatrogenic neglect)만 요하는 상황도 고려하여야 한다.

임상적 결과는 연속적인 임상 검사 및 전기 진단적 검사

를 통해 기록한다. 액와 신경 손상은 손상 후 수개월 동안 면밀한 임상 및 전기진단적 검사를 요하는 중요한 손상이다. 일반적인 법칙으로 는 환자를 수술 후 2주, 6주, 3개월, 6개월, 1년, 그리고 필요한 경우 이후 1년에 한 번씩 추시하는 것이 좋다. 매 방문 때마다 환자의 운동 범위 및 근력, 감각을 측정하고 기록해야 한다. 전기 진단적 검사는 임상적으로 명확한 근 수축이 일어나기 수 개월 전에 근육 신경 회복의 조기 징후를 감지해 낼 수 있다. 신경 이전 수술 후에는 술 후 3년까지 환자를 추시해야 한다. 대부분의 경우에서 최대 회복은 24개월 이상을 요한다. 진행하는 Tinel 징후는 신경 회복을 암시하지만 항상 일치하는 것은 아니다^{5,38,47}.

급성 신경 손상의 결과와 예후는 손상의 종류와 치료의 종류, 시기에 따로 크게 변할 수 있다. 회복에 대한 환자의 순응도와 동기부여 역시 회복의 성공 여부에 큰 영향을 미친다. 외상성 고관절 탈구 및 골절 탈구 환자의 약 60~70%에서 최소한 부분적인 신경 기능의 회복을 기대할 수 있다. 신경 조직의 손상 범위, 창상의 오염도, 환자의 나이와 전신 상태는 회복의 결과 및 예후에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 5개월 이상 지연된 수술적 치료는 기능적 회복의 가능성을 크게 낮춘다. 따라서, 수술적 봉합은 손상 3개월 이내에 시행해야 한다.

Neuropraxia는 일반적으로 가역적이고 환자는 수일에서 수 주 이내에 회복된다. Axonotmesis에서는 축색 돌기가 재생하긴 하지만 기능적 회복은 동반 손상 및 손상 후 남아 있는 근위부 정상 축색 돌기의 양에 따라 결정된다.

손상부가 너무 근위부여서 운동 신경의 종관이나 감각 신경의 수용체의 위축이 축색 돌기가 자라 들어오기 전에 이루어지는 경우가 아니라면 일반적으로 완전 회복이 가능하다. 근섬유의 소실 없이 단면적만 작아지는 것은 신경 분포의 손상 후 1주 이내에 이루어진다. Axonotmesis 손상 후 회복은 수개월에 걸쳐 일어난다. Neurotmesis에서도 회복이 일어나지만 기능은 정상으로는 돌아오지 않는다. 수술 중 신경속의 축색 방향을 잘 맞추고 적당한 봉합사, 지혈, 봉합부 장력을 줄이면 좋은 결과를 가져 온다.

봉합부의 장력이 과도한 것과 신경 말단부를 잘 다듬어 내지 않는 것은 봉합 후 회복 실패와 그에 따르는 신경 기능 회복이 불량해지는 것의 가장 큰 원인이다.

합병증으로는 급성 신경 손상 후에 여러 가지 통증 증후군이 발생할 수 있다. 상완 신경총이나 신경근의 신연 손상 후 타는 듯한 통증이나 저린감을 발생시킬 수 있다. 신경종이나 신경 압박 증후군은 국소적인 동통이나 통증을 유발할 수 있다. 운동, 감각 신경의 부분적인 신경 손상은 작열통을 유발할 수 있다. 이들의 증상은 감각 과민, 차가운 것이나 근육의 움직임에 대한 과도한 반응, 그리고 스트

레스가 가해진 상황에서 통증이 증가하는 것 등이 있다. 신경 손상의 합병증으로 마비가 있을 수 있으며 때로는 복구가 불가능하다. 수술 후 물리 치료가 제대로 행해지지 않는 경우 신경 지배의 소실은 근위축 및 섬유화, 관절 강직, 운동 중판의 위축, 피부의 변화 등이 발생할 수 있다^{5,7,27,42)}.

12. 중추 신경계의 재적응¹⁰⁾

말초 신경의 손상은 해당 중추 신경 지배 영역 (corresponding cortical projectional area)의 퇴화를 초래한다. 이후 재건 수술을 통하여 신경 재생이 이루어진다 하여도 많은 부분에 있어서 각 신경 섬유가 해당 목적 기관에 정확히 도달하지 못하여 불완전한 기능 회복을 보이게 되고 이를 극복하기 위해 대뇌 피질에서는 기능적 재편성이 일어난다.

예를 들어 정중 신경이 손상되면 해당 수지의 감각을 인식하는 해당 대뇌 피질 영역에는 “black hole”이 초래되고 여기에는 다른 감각을 전달하는 척골 신경의 기능이 이 부위를 일단 차지하게 된다. 정중 신경에 대한 재건술 후 감각이 어느 정도 회복된다 하여도 원래의 감각 수용체가 다 기능을 하지는 않는다. 퍼즐 조합이 잘못되어 이상한 그림이 되어 버리는 상황과 유사한 것이다.

이때 감각 재교육 (sensory re-education)을 하게 되는데, 정상적인 사물의 촉감에 따른 인식은 아니더라도 반복적으로 보고 느끼면서 재학습 하여 각 사물에 대한 새로운 인식 개념을 만드는 것이다. 신경 손상 및 재생후 탁구공의 촉감이 골프공 같이 느껴진다면 서로 다른 두 공의 이미지를 바꾸어 학습을 하며 대뇌 피질에 각인을 하게 되는 것이다. 신경 손상의 치료에 대한 인간의 물리적 한계가 있으므로 신경 재건술 후의 재적응에 대한 교육이 매우 중요하다 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) Applebaum R, Yellin AE, Weaver FA, Oberg J, Pentecost M: Role of routine arteriography in blunt lower extremity trauma. *Am J Surg*, **160**: 221-224, 1990.
- 2) Artico M, Cervoni L, Nucci F, Giffre R: Birthday of peripheral nervous system surgery; the contribution of Gabriele Ferrara (1543-1627). *Neurosurgery*, **39**: 380-382, 1996.
- 3) Attebery LR, Dennis JW, Russo-Alesi F, Menawast SS, Lenz BJ, Frykberg ER: Changing patterns of arterial injuries associated with fractures and dislocations. *J Am Coll Surg*, **183**: 377-383, 1996.
- 4) Bertelli JA, Taleb M, Mira JC, dos Santos AR, Calixto JB, Kassar L: Selective restoration of sensation by peripheral nerve grafts directly implanted into the contralateral C7 dorsal root ganglion; an experimental study in rat brachial plexus. *Neurosurgery*, **42**: 125-129, 1998.
- 5) Birch R, Bonney G, Wynn Parry CB: Operating on peripheral nerves. In: Birch R, Bonney G, Wynn Parry CB eds. *Surgical disorders of the peripheral nerves*. 1st ed. London, Churchill Livingstone: 87-121, 1998.
- 6) Bishara RA, Pasch AR, Lim LT, et al: Improved results in the treatment of civilian vascular injuries associated with fractures and dislocations. *J Vasc Surg*, **3**: 707-711, 1986.
- 7) Colohan AR, Pitts LH, Rosegay H: Injury to the peripheral nerves. In: Feliciano DV, Moore EE, Mattox KL eds. *Trauma*. 3rd ed. Stamford, Conn, Appleton & Lange: 853-862, 1996.
- 8) Cornwall R, Radomisli TE: Nerve injury in traumatic dislocation of the hip. *Clin Orthop*, **377**: 84-91, 2000.
- 9) DeBakey ME, Simeone FA: Battle injuries of the arteries in World War II: an analysis of 2,471 cases. *Ann Surg*, **123**: 534-579, 1946.
- 10) Dellon AL: Cortical plasticity. In: Dellon AL ed. *Somatosensory testing and rehabilitation*. 1st ed. Baltimore, The Institute for Peripheral Nerve Surgery: 212-243, 2000.
- 11) Dennis JW, Jagger C, Butcher JL, Menawat SS, Neel M, Frykberg ER: Reassessing the role of arteriograms in the management of posterior knee dislocations. *J Trauma*, **35**: 692-695, 1993.
- 12) Diamond S, Gaspard D, Katz S: Vascular injuries to the extremities in a suburban trauma center. *Am Surg*, **69**: 848-851, 2003.
- 13) Durham RM, Mistry BM, Mazuski JE, Shapiro M, Jacobs D: Outcome and utility of scoring systems in the management of the mangled extremity. *Am J Surg*, **172**: 569-573, 1996.
- 14) Feliciano DV, Accola KD, Burch JM, Spjut-Patrinely V: Extraanatomic bypass for peripheral arterial injuries. *Am J Surg*, **158**: 506-509, 1989.
- 15) Feliciano DV, Cruse PA, Spjut-Patrinely V: Fasciotomy after trauma to the extremities. *Am J Surg*, **156**: 533-536, 1988.
- 16) Feliciano DV, Mattox KL, Graham JM, Bitondo CG: Five-year experience with PTFE grafts in vascular wounds. *J Trauma*, **25**: 71-82, 1985.

- 17) **Floyd HD, Kerstein MD:** Successful vascular reconstruction. Determinants of disability. *Am Surg*, **52**: 91-92, 1986.
- 18) **Garg A, McQueen MM, Court-Brown CM:** Nerve injury after greater tuberosity fracture dislocation. *J Orthop Trauma*, **14**: 117-118, 2000.
- 19) **Grant GA, Goodkin R, Kliot M:** Evaluation and surgical management of peripheral nerve problems. *Neurosurgery*, **44**: 825-839, 1999.
- 20) **Helfet DL, Howey T, Sanders R, Johansen K:** Limb salvage versus amputation. Preliminary results of the mangled extremity severity score. *Clin Orthop Relat Res*, **256**: 80-86, 1990.
- 21) **Humphrey PW, Nichols WK, Silver D:** Rural vascular trauma; a twenty-year review. *Ann Vasc Surg*, **8**: 179-185, 1994.
- 22) **Jabaley ME:** Modified technique of nerve repair; epineural splint. In: Gelberman RH, Frykman GK, Gramyk K eds. *Operative nerve repair and reconstruction*. 1st ed. Philadelphia, J.P.Lippincott: 315-326, 1991.
- 23) **Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen ST Jr:** Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Trauma*, **30**: 568-573, 1990.
- 24) **Johansen K, Lynch K, Paun M, Copass M:** Non-invasive vascular tests reliably exclude occult arterial trauma in injured extremities. *J Trauma*, **31**: 515-519, 1991.
- 25) **Kendall RW, Taylor DC, Salvian AJ, O'Brien PJ:** The role of arteriography in assessing vascular injuries associated with dislocations of the knee. *J Trauma*, **35**: 875-878, 1993.
- 26) **Khalil IM, Livingston DH:** Intravascular shunts in complex lower limb trauma. *J Vasc Surg*, **4**: 582-587, 1986.
- 27) **Kuntz C 4th, Blake L, Britz G, et al:** Magnetic resonance neurography of peripheral nerve lesions in the lower extremity. *Neurosurgery*, **39**: 750-756, 1996.
- 28) **Lynch K, Johansen K:** Can Doppler pressure measurement replace "exclusion" arteriography in the diagnosis of occult extremity arterial trauma? *Ann Surg*, **214**: 737-741, 1991
- 29) **McNamara JJ, Brief DK, Stremple JF, Wright JK:** Management of fractures with associated arterial injury in combat casualties. *J Trauma*, **13**: 17-19, 1973.
- 30) **Miranda FE, Dennis JW, Veldenz HC, Dovgan PS, Frykberg ER:** Confirmation of the safety and accuracy of physical examination in the evaluation of knee dislocation for popliteal artery injury: a prospective study. *J Trauma*, **52**: 247-252, 2000.
- 31) **Modrall JG, Weaver FA, Yellin AE:** Diagnosis and management of penetrating vascular trauma and the injured extremity. *Emerg Med Clin North Am*, **16**: 129-144, 1998.
- 32) **Mubarak SJ, Hargens AR:** Acute compartment syndromes. *Surg Clin North Am*, **63**: 539-565, 1983.
- 33) **Nassoura ZE, Ivatury RR, Simon RJ, Jabbour N, Vinzons A, Stahl W:** A reassessment of Doppler pressure indices in the detection of arterial lesions in proximity penetrating injuries of extremities: a prospective study. *Am J Emerg Med*, **14**: 151-156, 1996.
- 34) **Norman J, Gahtan V, Franz M, Bramson R:** Occult vascular injuries following gunshot wounds resulting in long bone fractures of the extremities. *Am Surg*, **61**: 146-150, 1995.
- 35) **Omer GE, Krotoski JB:** Sensibility testing. In: Omer, Spinner, Van Beek eds. *Management of peripheral nerve problem*. 2nd ed. Philadelphia, Saunders: 11-28, 1998.
- 36) **Perlmutter GS:** Axillary nerve injury. *Clin Orthop Relat Res*, **368**: 28-36, 1999.
- 37) **Prichayudh S, Verananvattna A, Sriussadaporn S, et al:** Management of upper extremity vascular injury: outcome related to the mangled extremity severity score. *World J Surg*, **33**: 857-863, 2009.
- 38) **Ristic S, Strauch RJ, Rosenwasser MP:** The assessment and treatment of nerve dysfunction after trauma around the elbow. *Clin Orthop Relat Res*, **370**: 138-153, 2000.
- 39) **Romanoff H, Goldberger S:** Combined severe vascular and skeletal trauma. Management and results. *J Cardiovasc Surg*, **20**: 493-498, 1979.
- 40) **Rorabeck CH:** A practical approach to compartmental syndromes. Part III. Management. *Instr Course Lect*, **32**: 102-113, 1983
- 41) **Russel RC, Hussmann J, Burns M:** Clinical motor function testing-upper extremity. In: Omer, Spinner, Van Beek eds. *Management of peripheral nerve problem*. 2nd ed. Philadelphia, Saunders: 39-49, 1998.
- 42) **Samardzić M, Rasulić L, Grujčić D, Milicić B:** Results of nerve transfers to the musculocutaneous and axillary nerves. *Neurosurgery*, **46**: 93-101, 2000.
- 43) **Shah DM, Leather RP, Corson JD, Karmody AM:** Polytetrafluoroethylene grafts in the rapid reconstruction of acute contaminated peripheral vascular injuries. *Am J Surg*, **148**: 229-233, 1984.

- 44) **Treiman GS, Yellin AE, Weaver FA, et al:** Examination of the patient with a knee dislocation. The case for selective arteriography. *Arch Surg*, **127**: 1056-1062, 1992.
- 45) **Trumble TE:** Peripheral nerve injury: pathophysiology and repair. In: Feliciano DV, Moore EE, Mattox KL eds. *Trauma*. 4th ed. New York, NY, McGraw-Hill: 1047-1055, 2000.
- 46) **Van Beek AL, Pirela-Cruz MA:** Microsurgical nerve repair. In: Omer, Spinner, Van Beek eds. *Management of peripheral nerve problem*. 2nd ed. Philadelphia, Saunders: 260-269, 1998.
- 47) **Visser CP, Coene LN, Brand R, Tavy DL:** The incidence of nerve injury in anterior dislocation of the shoulder and its influence on functional recovery. A prospective clinical and EMG study. *J Bone Joint Surg Br*, **81**: 679-685, 1999.