

Pediatric Neuro-MRI : Techniques and Methods

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원
윤혜경

MR은 높은 조직 대조도와 축상, 시상 및 관상면 등의 multiplanar capability의 커다란 장점을 갖고 있어 뇌 신경계질환 진단에 필수적이며, 특히 ionizing radiation이 아니고 요오드계 IV 조영제를 사용하지 않는다는 점이 CT에 비해 더욱 유리하다. 소아에서의 뇌신경계 질환은 선천성 기형이나 대사성 질환이 많은 등 성인과는 다른 질환분포를 보인다. 따라서 성인에서와 같은 protocol을 그대로 적용하였을 때 좋은 질의 영상을 얻기 힘든 경우가 있으며, 연령 또는 질환에 따라 촬영기법도 다양하게 하여야 하므로 routine protocol을 정하지 않고 매 환자 마다 적절한 기법을 선택하고 있다. 또한 움직임을 억제하기 위하여 진정 (sedation)이 필요한 예가 대부분이며 적절한 잠재우기는 좋은 질의 영상을 얻기 위해 필수적이므로 이에 대한 지식을 필요로 한다.

I. SEDATION

소아환아에서 MR영상을 얻기 위해서는 촬영시간 동안 움직임을 없을 정도의 진정이 필요하며 기도반사나 기도의 patency가 유지되지 않는 전신마취와는 달리 기도와 호흡이 유지된 상태에서 subconscious level을 유지하게 된다. 진정에 따르는 합병증이 유발될 잠재적 위험이 있으므로 환자를 선별하고 진정 전후 및 촬영 도중 환자상태를 체크하며 완전히 아이가 깬 때까지 관찰하는 것이 중요하다.

NPO status

Aspiration은 진정시 가장 위험한 문제이며, 전신마취 시와 거의 마찬가지로 생각으로 금식 시간을 지켜야 한다. 모든 연령에서 2시간 전부터는 물한모금도 마시지 말아야 하며 (nil per os), 반고형액체나 고형음식은 6개월 이하는 4시간, 그 이후는 6시간 금식을 지켜야 한다.

Sedative Agents

여러 가지 약제가 방사선과 영역에서 사용되고 있다 (Table 1).

경구용 포크랄 시럽 (Pocral, chloral hydrate)과 정맥주사용 pentobarbital이 가장 많이 쓰이며 성공률이 94-98%에 이른다. Chloral hydrate는 오랫동안 소아과에서 또는 여러 검사 목적의 진정을 위해 사용되어 온 안전한 약제로서 현재도 가장 많이 쓰인다. 24개월 (36개월까지도 가능) 이내의 환아 에서 50-75 mg/kg (25mg/kg 반복 가능, 최대일회투여량 2g이하)를 경구 투여한다. 20-30분후 잠들기 시작하며 투여량에 따라 30-90분까지 스캔 가능하다. 부작용은 구토, irritability, hyperactivity, minor oxygen desaturation등이 올 수 있으나 경미하다.

Pentobarbital sodium (Nembutal)은 barbiturate계열의 약물로서 두 번째로 많이 사용되며 성공률이 97-100%에 이른다. 3세 이상 큰 아이와 이미 IV route를 갖고 있는 경우에 이용한다. 용량은 2-3 mg/kg IV slow push로 하며 2 mg/kg를 세 번까지 반복할 수 있다. 부작용은 agitation과 respiratory depression이며 2-8%환아에서 나올 수 있다. 진정 시간은 dose-related이며 따라서 용량을 많이 썼을 경우 postprocedural monitoring도 늘려야만 한다.

Opioids 및 opiates (morphine, meperidine hydrochloride, and fentanyl)는 방사선과 영역에서 진정시에 부분적으로 이용되는 진통제이며 동통이나 hyperesthesia 때문에 생기는 움직임을 방지할 수 있다. 강한 진통작용이 있으나 일부 환아에서는 진정효과도 볼 수 있으며 naloxone hydrochloride라는 narcotic antagonist가 있다는 것이 장점이다.

Midazolam (Versed)은 benzodiazepine계에서 가장 많이 진정에 이용되는 약물이다. 비교적 우수한 진정제로서 anxiolysis효과가 있으며 IV로 사용할 때 효과가 빨리 나타나고 주입시의 동통이 적다.

최근 각광받고 있는 약제로 propofol이 있으며 아직까지는 방사선 검사목적의 진정에는 많이 사용되지 않으나 빠른 약효발현시간과 회복도 빠른 장점을 가지는데 마취과의 감독 하에 사용해야만 한다.

Table 1. Sedative Agents for Pediatric Imaging

| Agent | Class | Effect | Dose | Route | Onset | Duration |
|------------------------|----------------|--------------------------------|---|-------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Chloral hydrate | not applicable | Sedative | 50-100 mg/kg, max single dose 2 g | PO(PR) | 20-30 min (rarely up to 60 min) | 30-90 min |
| Pentobarbital sodium | Barbiturate | Sedative | 2-3 mg/kg, max cumulative dose 8 mg/kg, not to exceed 200 mg | IV (PO, IM) | 5-10 min | 40-60 min |
| Fentanyl citrate | Narcotic | Analgesic, sedative | 1 ug/kg slowly IV q 5-7 min, max cumulative dose 4ug/kg | IV | 1-2 min | 30-60 min for analgesia |
| Midazolam | Benzodiazepine | Sedative, anxiolytic, amnestic | 0.02-0.05 mg/kg IV, max bolus dose 1 mg | IV (PO) | 1-5 min (IV) | 20-30 min |
| Diazepam | Benzodiazepine | Sedative, anxiolytic, amnestic | 0.05-0.1 mg/kg IV, max cumulative dose 5 mg | IV (PO) | 5-15 min (IV) | 30 -120 min |
| Methohexital | Barbiturate | Sedative | 20 mg/kg in 10% solution | PR | 10-15 min | 45 min |
| Morphine | Narcotic | Analgesic, sedative | 0.1-0.2 mg/kg, max dose 3-4 mg | IV (IM) | 3-5 min | Analgesia max 4hr |
| Meperidine | Narcotic | Analgesic, sedative | 1-2 mg/kg, max dose 100 mg | IV (IM) | 5-10 min | Anagesia 1-2 hr |
| Naloxone hydrochloride | not applicable | Narcotic antagonist | 0.01-0.1 mg/kg, repeat 2-3min, titrate to reversal, max dose 2 mg | IV | 1-2 min | Max 20-30 min |
| Flumazenil | not applicable | Benzodiazepine antagonist | 0.01 mg/kg, max cumulative dose 1mg | IV | 1-3 min; peak effect 6-10 min | Max 60 min but usually <30min |

(from reference 3)

Monitoring

모든 진정된 환아는 검사 동안 최소한 pulse oximetry로 oxygen saturation과 heart rate monitoring을 하여야 한다. 호흡수도 눈으로 직접 보거나 monitoring device를 이용하여 관찰할 수 있다. Sedation 전담 간호사가 keep 하며 oxygen saturation을 포함하는 vital sign을 주기적으로 check 한다. MR compatible한 monitoring equipment가 많이 상품화되어 있다.

Postprocedural Care and Discharge

검사가 끝난 후 환아가 깨어날 때까지 pulse oximeter로 monitor하며 깨어나면 보호자에게 주의사항을 전달한 후 퇴원하도록 한다. 수면 기운이 만 하루 이상 지속될 수 있음을 설명해 주고 보호자의 관심과 주의가 필요함을 설명한다.

II. TECHNICAL PARAMETERS

MR은 대부분의 소아 뇌신경계, head and neck, spine의 질환을 진단하는데 매우 유용한 진단방법이다. 유, 소아에서 뇌는 계속 발달하는 과정에 있고 어른과는 다른 질병분포를 보이므로 성인과 같은 protocol만을 이용해서는 좋은 정보를 얻을 수 없는 경우가 생기게 된다. Signal-to-noise ratio를 좋게 하기 위해 검사 부위에 밀착되는 적절한 코일을 선택하는 것도 중요하다. 4-5개월 이하의 어린 영아에서는 성인의 extremity coil을 이용하여 brain MR을 얻으면 좋고 신생아에서는 spine MR까지도 가능하다. Extremity coil이 너무 작다고 판단되면 standard head coil을 이용하여 brain과 spine MR을 얻을 수 있다.

Brain

선천성 기형에서 흔히 기형을 동반하는 정중앙에 위치한 구조물들 (특히 corpus callosum과 cerebellum)을 확인하기 위해서 모든 환아에서 sagittal T1-weighted image는 필수적이다. Standard parameter는 TR 500-500 msec, TE 11-20 msec, 3-5 mm slice thickness (1-mm gap), 192x256 matrix, and one excitation이다. 18개월 이하에서 axial T1- and T2-weighted image를 모두 얻는데 이유는 6개월 이하에서 white matter maturation이 T1-weighted image에서 가장 잘 보이며, 이후 18개월까지는 T2-weighted image가 brain maturity를 보는데 더 유용하다. 따라서 gyral or sulcal pattern등의 structural abnormality는 6개월 이하에서는 T2-weighted image가, 이후로는 T1-weighted image가 더 도움이 된다. T1 information을 더 잘 얻기 위해 inversion recovery sequence로 얻을 수도 있으나 시간이 더 짧고 따라서 motion artifact가 적은 spin echo 600/11-20 sequence를 이용하고 있다. Cortical dysplasia같은 작은 cortical

abnormality를 보기 위해 spoiled GE (SPGR, 3D-FLASH, T1-FAST) sequence로 1 mm 이하의 작은 절편 두께로 짧은 시간 내에 T1-weighted image를 얻을 수 있다. T2-weighted image는 4-5 mm slice thickness, TR 3000-4000, TE 30-60 (first echo) and 70-120 (second echo), 192x256 matrix, 1 excitation으로 얻는다. 12개월 이하 영아에서는 수분 함유량이 많기 때문에 TR 값을 길게 하는 것이 유리하다. Fast spin echo를 이용할 수도 있으며 parameter는 TR은 3000-4000, effective TE 17-100 msec, echo train length 8로 한다.

Mid-field나 low-field MR scanner로는 만족할 만한 T1-weighted image를 얻기 힘든 경우가 많으며 IR나 3D GE with gradient spoiler를 이용하는 것이 좋다.

Coronal image를 대개 덧붙여서 얻으며 schizencephaly, holoprosencephaly, periventricular leukomalacia를 보는데 특히 좋다. 뇌종양환아에서 종양과 주변 구조물과의 관계를 파악하는 데도 coronal image가 많은 도움이 된다.

T2*-weighted GE image는 trauma, vascular malformation등 old hemorrhage를 보는데 유용하다.

소아에서 성인보다 후두와의 종양이 많기 때문에 MR이 더욱 유용한데, 여러 면의 조영증강스캔이 필수적이다. Choroid plexus tumor, pineal tumor (germinoma), medulloblastoma, PNET등의 뇌종양들은 뇌척수액을 통하여 전이를 잘하므로 전체 척추의 조영증강 MR도 포함하여 얻어야 한다.

Spine

Spinal dysraphism을 의심할 때에는 처음에 sagittal T1-weighted image (TR/TE = 600/20)를 3 mm thickness 로 얻은 후 원하는 부위의 axial T1-weighted image를 얻는다.

Scoliosis 환아에서는 coronal image가 많은 정보를 주며 흰 정도에 따라 oblique sagittal 또는 oblique axial image를 얻는다. Split cord syndrome이 의심되면 axial T2*-weighted image가 cartilagenous or calcified spur를 찾는데 도움이 된다.

Dysraphism없이 myelopathy 가 의심될 때는 axial T2-weighted image, sagittal T1-, T2-weighted image를 얻고 contrast enhancement 가

필요하다.

소아에서는 cerebral vessel이 매우 pulsatile하여 이로 인한 CSF flow artifact가 문제이다. 이는 high-field strength MR scanner와 long TR sequence에서 더 심하다. 현재 대부분의 scanner는 이를 극복하기 위한 flow compensation and motion suppression technique이 가능하다.

Proton MR Spectroscopy

MRS의 임상 응용은 종양의 진단, 종양과 radiation necrosis의 감별, Canavan's disease같은 몇몇 metabolic disorders, infarction등이다. Hydrogen MRS가 보다 흔히 쓰이며 phosphorus MRS가 ischemia에서 도움이 될 수 있다. PRESS나 STEAM을 이용한 single-volume technique을 이용한다. Lactate는 premature baby에서 정상적으로도 보일 수 있으나 term gestation이후에는 보이지 않는다.

References

1. Cohen MD. Pediatric sedation. Radiology 1990;175:611-612
2. Fisher DM. Sedation of pediatric patients: an anesthesiologist's perspective. Radiology 1990;175:613-615
3. Frush DP, Bisset GS 3rd, Hall SC. Pediatric sedation in radiology: the practice of safe sleep. AJR 1996;167:1381-1387
4. Barkovich AJ. Pediatric neuroimaging. 2nd ed. New York: Raven Press 1995:1-8
5. Barnes PD, Mulkern RV. Physical and biological principles of magnetic resonance imaging. In Wolpert SM, Barnes PD, eds. MRI in pediatric neuroradiology. St Louis: Mosby, 1992:37-40
6. Castillo M, Mukherji SK. Imaging of the pediatric head, neck, and spine. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1996:4-16
7. Byrd SE, Darling CF, McLone DG, Tomita T. MR imaging of the pediatric spine. MRI Clin North Am 1996;4:797-833