

Scientific Session I (MRS-body, Experiment)

좌장: 이재문교수 (가톨릭대), 정광우교수 (전남대)

I-1

In Vivo 2D multivoxel Phosphorus MRS of Human Heart

이희중, 유돈식, 이종민, 장용민, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: Using ECG-gated 2D ^{31}P CSI, human cardiac MRS was performed and high energy phosphorus metabolites were quantitatively analyzed. The metabolic ratios and the intracellular pH were measured.

Materials and Method: Proton decoupled ^{31}P CSI was performed on a 1.5T scanner (Vision Plus, Siemens, Erlangen, Germany) using ^1H - ^{31}P dual tuned surface coil. The scout images, on the other hand, were obtained using body coil. The cardiac MRS data were obtained from 8 normal volunteers (age: 24-32 yrs.), who did not have previous heart disease history. ECG gating was employed on both scout image sequence and 2D CSI. The sequence parameters for ^{31}P CSI were: TR/TE = 323 msec/2.3 msec, FOV = 350 mm, and slice thickness = 40 mm. For faster MRS measurement, 8 x 8 phase encoding steps were adapted during data acquisition and interpolated 16 x 16 or 32 x 32 during raw data processing. With spectra from the several regions of the heart, the peak position and the peak area were estimated. The metabolic ratios of α -ATP, β -ATP, γ -ATP, PCr, Pi, PDE and DPG were calculated. From the average of the position of Pi, the intracellular pH was also estimated.

Results: The identified major phosphorus metabolites in human heart are: PCr at -0.1 to +0.1 ppm, three phosphate peaks from ATP at chemical shifts centered at about -2.7 ppm (γ -ATP), -7.8 ppm (α -ATP), and -16.3 ppm (β -ATP); and phosphodiester(PDE) at 2-3 ppm, inorganic phosphate(Pi) at 4.5-5.4 ppm, and diphosphoglycerate(DPG) at 5.4-6.3 ppm. The metabolic ratios were: PCr/ β -ATP = 2.20 ± 0.17 , PDE/ β -ATP = 1.04 ± 0.09 , Pi/ β -ATP = 1.26 ± 0.36 , DPG/ β -ATP = 0.29 ± 0.10 , PCr/ATP = 0.69 ± 0.05 , PDE/ATP = 0.31 ± 0.03 , Pi/ATP = 0.35 ± 0.10 , DPG/ATP = 0.10 ± 0.03 , and DPG/PDE = (0.31 ± 0.11) . The intracellular pH of heart was 7.31 ± 0.23 .

Conclusion: The high SNR multivoxel ^{31}P cardiac MRS using ECG-gating was performed. From the spectra of several regions in the heart, the quantitative measurements of phosphorus metabolites and the intracellular pH were conducted successfully.

정상 및 담석환자의 담낭내 담즙의 생체 양성자 자기공명분광소견

서창해, 조순구, 이돈행*, 김영수*, 신석환**, 우제홍**

인하의대 방사선과학교실, 내과학교실*, 일반외과학교실**

목적: 정상 담낭내 담즙의 양성자 자기공명분광소견을 확립하고, 담낭결석시의 담낭내 담즙의 자기공명분광 소견변화를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 정상지원자 33명과 담석 환자 12명을 대상으로 하였다. 자기공명분광법은 1.5T GE Signa Horizon (GE Medical System, Milwaukee, USA) 기기 및 체부코일 (body coil)을 이용하였고, 분광기법으로는 STEAM (STimulated Echo-Aquisition Mode) 기법 (TR/TE=3000/30msec)을 사용하였으며, 복와위 자세로 호흡정지 없이 검사를 시행하였다. 정상 담낭의 양성자 자기공명분광소견을 확인하였으며, 주요 각 물질곡선군의 면적비율을 계산하여 정상과 담석시의 담낭 담즙의 자기공명분광 소견의 변화를 비교하였다.

결과: 정상 담낭 담즙의 자기공명분광에는 0.8-1.4ppm, 3.2-3.4ppm, 4.0ppm, 5.2-5.4ppm의 peak가 있었으며, 12예 (36%)에서는 0.8-1.4ppm peak가 (type1), 9예 (27%)에서는 0.8-1.4ppm과 3.2-3.4ppm의 두 peak가 (type2), 5예 (15%)에서는 0.8-1.4ppm과 4.0ppm의 두 peak가 (type3), 6예 (18%)에서는 5.2-5.4ppm을 제외한 세 peak가 (type4), 1예 (3%)는 0.8-1.4ppm과 5.2-5.4ppm의 두 peak가 (type5) 뚜렷하였다. 담석환자중 type1은 1명 (8%), type2는 1명 (8%), type3는 3명 (25%), type4는 7명 (58%)이었다.

결론: 정상담낭 담즙의 자기공명분광은 전예에서 지방성분으로 추측되는 0.8-1.4ppm peak가 가장 뚜렷하였으며, 이외에도 3.2-3.4ppm, 4.0ppm, 5.2-5.4ppm의 peak가 관찰되었다. 담석환자에서는 0.8-1.4ppm peak가 현저히 감소하였으며 상대적으로 3.2-3.4ppm, 4.0ppm 두 peak가 증가하였다.

SPIO주입에 따른 가토간의 양성자 자기공명분광소견 변화: 병리소견과의 비교

조순구, 서창해, 김미영, 주영채¹

인하의대 방사선과학교실, ¹병리학교실

목적: SPIO (Super Paramagnetic Iron Oxide) 주입을 통하여 간조직내 철성분 농도의 변화가 간의 양성자 자기공명분광소견에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 체중 2.5 - 3 Kg의 정상 백색가토 10마리를 대상으로 하여 정상상태, SPIO 주입 직후 및 15분, 60분, 120분, 1일, 4일 후의 간에 대한 T2-강조영상 및 양성자 자기공명분광소견 시간 경과에 따라 연속적으로 얻었다. SPIO는 Feridex[®] (Advanced Magnetics, Inc., Cambridge, MA, USA) 0.25ml/kg를 일시주사하였다. 자기공명영상은 1.5T GE Signa Horizon (GE Medical System, Milwaukee, USA) 기기에서 슬관절코일 (knee coil) 을 이용하였고, 고속 스핀에코 (fast spin echo, TR/TE=3000/90) 기법을 사용하였다. 자기공명분광법은 STEAM (STimulated Echo-Aquisition Mode) 기법을 사용하였다 (TR = 3000ms 이상, TE = 30ms). 얻어진 양성자 자기공명분광소견에서 정상 및 SPIO주입 후 시간 경과에 따른 분광곡선의 변화를 알아보았고, 이를 T2-강조영상에서의 신호강도 및 철염색 (iron staining)을 시행한 조직병리학적 소견과 비교분석하여, 간조직내 철성분 농도의 변화에 따른 분광곡선의 변화를 분석하였다.

결과: T2-강조영상에서 측정된 신호강도는 정상상태, SPIO 주입 직후, 15분, 60분, 120분, 1일, 4일 후에 각각 121.3, 41.5, 30.3, 31.3, 33.6, 80.3, 110.4였다. 자기공명분광소견상 화학물 곡선의 면적에 의거한 [3.9 - 4.1ppm 미지화합물]/지질의 비율은 SPIO 주입 직후, 15분, 60분, 120분, 1일, 4일 후에 각각 1.10 ± 0.13 , 1.86 ± 0.21 , 1.80 ± 0.30 , 1.76 ± 0.27 , 0.07 ± 0.02 , 0.03 ± 0.01 이었다. 철염색을 시행한 조직병리학적 소견상 염색된 철의 양은 SPIO 주입 직후 증가하여 15분에 최대 염색양을 보인 후 120분까지 큰 변화를 보이지 않다가 1일 및 4일 후의 소견상 점차 감소하였다.

결론: 간조직내 철성분농도의 증가는 지질신호 상대강도의 감소 및 3.9 - 4.1ppm 미지화합물신호 상대강도의 증가를 보인다. 이는 양성자 자기공명분광소견에서의 철에 의한 감수성 효과 (susceptibility effect)의 소견으로 사료된다.

Two-Dimensional CSI On In Vivo Hepatic Phosphorus-31 MRS in Cirrhosis And Hepatocellular Carcinoma: Preliminary Results

염현규, 유돈식, 장용민, 서경진, 김용주, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: To assess the clinical utilities of 2D CSI 31P MRS in liver cirrhosis and hepatoma.

Materials and Method: For cirrhosis (n=10) and hepatoma (n=5) patients, phosphorus MRS was performed on a 1.5T whole body imager/spectrometer (Vision Plus, Siemens, Erlangen, Germany) using 1H-31P dual tuned surface coil. Also ten normal control group was included in this study. Two-dimensional CSI with 8x8 phase encoding steps was employed for faster data acquisition and total scan time was less than 20 min. The MRS data were later k-space zero filled up to 32x32 phase encoding steps for better resolution with minor SNR loss. The sequence parameters for 31P MRS were: TR/TE = 323 msec/2.3 msec. FOV = 350 mm, and slice thickness = 40 mm. From the several regions on the liver, the position(in ppm) and peak area of the phosphorus metabolites (α -ATP, β -ATP, γ -ATP, Pi, PDE and PME) were estimated. The metabolic ratio and intracellular pH were calculated and compared between control group, cirrhosis group and hepatoma group.

Results: For normal liver, the metabolic ratios were: PME/ATP = 0.12 ± 0.09 , Pi/ATP = 0.20 ± 0.10 , PDE/ATP = 0.71 ± 0.25 , and PME/PDE = 0.22 ± 0.02 . The pH of normal liver was 7.18. The ratios of cirrhosis patients were: PME/ATP = 0.20 ± 0.10 , Pi/ATP = 0.32 ± 0.14 , PDE/ATP = 0.45 ± 0.15 , and PME/PDE = 0.49 ± 0.22 . The pH of cirrhosis patients was 7.14. The metabolic ratios of HCC patients were: PME/ATP = 0.19 ± 0.04 , Pi/ATP = 0.15 ± 0.01 , PDE/ATP = 0.91 ± 0.18 , and PME/PDE = 0.21 ± 0.02 . The pH of HCC patients was 7.04.

Conclusion: Compared to normal liver spectra, the characteristics of metabolites in cirrhosis are higher PME/ATP, Pi/ATP, PME/PDE and lower PDE/ATP. For hepatoma patients, PDE/ATP ratio was mostly increased and the intracellular pH was lower than that of normal liver. Our preliminary results suggest that 31P hepatic MRS may have diagnostic values.

The Effect of Nuclear Overhauser Enhancement (NOE) in Proton-decoupled
³¹P NMR Spectra Localized by 2D Chemical Shift Imaging

유훈식, 장용민, 서경진, 염현규, 이종민, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: The double resonance technique, which irradiates the tissue at the ¹H MR frequency prior to ³¹P acquisition, can produce substantial increases in metabolite signal by means of the Nuclear Overhauser Effect (NOE). This new technique becomes recently available on clinical MRI/MRS unit. Therefore, we evaluate the effect of NOE on ³¹-P MRS in human heart and liver.

Materials and Method: The effect of NOE on proton-decoupled ³¹P MR spectra was measured on a 1.5T whole-body scanner/spectrometer (Siemens Vision Plus, Erlangen, Germany) using ¹H-³¹P dual tuned surface coil. First, human cardiac and liver ³¹P MRS were performed without NOE effect. The sequence parameters were TR/TE=323/2.3 msec, slice thickness = 40 mm and 8x8 phase encoding steps for 2D CSI. Then the same 2D CSI measurements were repeated with NOE effect. Eight normal volunteers for cardiac MRS and ten volunteers for liver MRS were included in this study. After postprocessing the MRS raw data, the signal enhancements (%) were estimated for α -ATP, β -ATP, γ -ATP, Pi, PDE, PCr, DPG (heart) and α -ATP, β -ATP, γ -ATP, Pi, PDE and PME (liver).

Results: The estimated NOE enhancement for cardiac ³¹P MRS were: α -ATP (12%), β -ATP (19%), γ -ATP (30%), Pi (20%), PDE (51%), PCr (34%), DPG (72%). The NOE enhancement for liver ³¹P MRS were: α -ATP (7%), β -ATP (9%), γ -ATP (17%), Pi (1%), PDE (19%) and PME (31%). The most NOE enhancement was seen on DPG of cardiac ³¹P spectra and the least enhancement on Pi of liver ³¹P spectra. The differences of NOE enhancement among metabolites derived from the differences in the intermolecular dipole-dipole interactions between water and phosphates. In general, phosphorus metabolites of cardiac MRS showed more NOE enhancement than that of liver MRS.

Conclusion: The NOE effect can provide one way to increase metabolite signal without increasing main magnetic field strength. This increase in metabolite signal will give better identification of each metabolites or reduce the number of acquisition (and so total examination time) without much loss of signal intensity.

비개홍 심근 경색 동물모델을 이용한 심근 경색의 자기공명영상에 관한 연구

임명관*, 박재형, 이활, 정진욱, 이동수**, 최영희***

서울의대 방사선과학교실 및 의학연구원 심장연구소, *인하의대 방사선과학교실

서울의대 핵의학교실, *단국의대 방사선과학교실

목적: 연구의 목적은 개에서 관상동맥에 경피적 색전술을 시행하여 비개홍 심근경색모델을 만들고 심근경색의 각 시기별 자기공명영상 소견을 연구하기 위함이다.

대상 및 방법: 잡종견 11마리에서 관상동맥의 경피적 색전술을 시행하여 심근 경색을 만들고 이 동물들을 경색 직후군 (n=3)과 1주군 (n=3), 3주 (n=5)군으로 나누어 각 시기마다 조영증강전과 후의 추적 자기공명영상을 얻었다. 각 기간마다 동물을 희생시켜 염화 트리페닐 테트라 졸륨 (triphenyltetrazolium chloride; TTC) 용액에 염색하고 병리 조직 슬라이드를 만들어 경색 부위를 확인하고 이들을 자기공명영상 및 심근관류 단일광자단층촬영 (single photon emission computed tomography: SPECT) 영상과 비교하였다.

결과: 총 11마리의 잡종견 전례에서 관상동맥의 초선택적 삽관이 가능하였고 성공적으로 색전술을 시행할 수 있었다. 총 24예의 자기공명영상으로 11예의 경색 직후의 자기공명영상과 8예의 1주 추적 자기공명영상, 5예의 3주 추적 자기 공명영상을 얻었다. 경색 직후의 T1강조영상에서는 경색 부위가 주위 정상 심근보다 낮거나 비슷한 신호 강도를 보였으며 T2강조영상에서 높은 신호 신호 강도를 보였다. 전예에서 경색 직후에는 경색된 심근에 가돌리늄 (Gd-DTPA)으로 조영증강이 되지 않았다. 1주 및 3주 추적 자기공명영상에서는 T1강조영상에서 저신호 혹은 동등 신호강도를 보였고 T2강조 영상에서 약간 높은 신호강도를 보였다. Gd-DTPA로 조영증강을 했을 때 1주, 3주 모두에서 조영증강이 되었으나 1주군에서 3주군보다 조영증강의 정도가 더 강하게 나타났다. 1주군 8예 중 7예에서, 3주군은 전 예에서 경색된 심근벽이 다양한 정도로 얇아져 있었다.

결론: 관상동맥의 경피적색전술로 비개홍 심근 경색을 만든 잡견에서 시행한 자기공명영상은 경색 직후에는 T1강조 영상에서는 정상 심근 보다 낮거나 비슷한 신호 강도를 T2강조영상에서 높은 신호강도를 보이며 조영증강이 되지 않으며 그후 경색 심근의 신호강도는 경색 직후와 비슷하지만 심근 벽이 얇아지며 조영증강은 1주에서 잘 나타난다.

Scientific Session II (MRS-Brain)

좌장: 강덕식교수 (경북대), 최보영교수 (가톨릭대)

II-1

양성자 뇌대사물질들과 섭동된 자장과의 상관관계에 관한 연구

백현만,^{1,3} 최보영,^{1,3} 서태석,^{1,3} 이형구,^{1,3} 김성은,^{1,3,4} 이홍규,^{1,3,4} 신경섭,^{1,2,3}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실

³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: ¹H 자기공명분광용 팬텀을 이용하여 인체 뇌대사물질과 섭동된 자장변화의 상관관계를 조사하고자 하였다.

대상 및 방법: GE Signa 1.5T MRI/MRS 장비와 인체 뇌대사물질들로 구성된 ¹H 자기공명분광용 팬텀을 사용하여 실험하였다. 섭동된 자장변화를 유발하기 위하여 auto-prescan이 허용하는 범위 안에서 인위적인 shimming 값을 선정하였다. 팬텀의 정중앙에서 2x2x2 cm³ 관심부위를 선정하여 STEAM (STimulated Echo Aquisition Mode) 펄스시퀀스를 적용하였고 양성자 뇌대사물질의 정량분석은 Marquart Algorithm을 사용하였다.

결과: 뇌대사물질 중 NAA를 제외한 Cho과 Cr은 섭동된 자장의 변화에 대하여 신뢰오차 범위 내에서 신호강도와 면적은 상당한 선형적인 상관관계를 나타냈다 (P<0.05). 또한 Cr 신호강도는 shimming값 변화에 따른 자장변화에 가장 둔감하였다.

결론: 본 연구결과는 뇌대사물질 중 Cr 신호강도가 자장영향에 변화가 가장 적었고 안정된 상태를 보여주었다. 따라서 ¹H 자기공명분광검사 중 불가피한 자장의 불균질성에 의한 SNR 감소를 최소화하기 위하여 Cr농도를 기준으로 상대적인 비율을 산출하여 정량분석하는 것이 가장 바람직하다고 사료된다.

Hybrid CSI for 2D Multivoxel Proton MRS of Pediatric Brain

이상권, 장용민, 이건수 *, 김용선, 유돈식, 강덕식

경북의대 방사선과학교실, * 소아과학교실

Purpose: In the conventional 2D CSI, the subcutaneous fat severely contaminates the spectrum nearby VOI's and degrades overall quality of the MRS data. In this study, we introduce hybrid CSI technique which preselects a large volume of the brain inside FOV and demonstrates the advantage over the conventional 2D CSI in clinical application by avoiding fat contamination. The multivoxel MRS data will be then displayed as either spectral map or metabolite map.

Materials and Methods: Hybrid 1H CSI was performed with a 1.5-T whole body scanner (Siemens Vision Plus, Erlangen, Germany) using standard head quadrature coil. 16X16 phase encoding steps were set on FOV (160 mm) to prevent wraparound artifact and hybrid VOI inside FOV was set from 75X75X15 mm³. This combination yields good localization and excellent rejection of unwanted subcutaneous fat signal. The PRESS pulse sequence (TR/TE = 1,500/135 msec) was employed with standard CHESS pulses for water suppression. Hybrid CSI raw data were then postprocessed using CSIFT software with or without k-space zero filling. The processed proton spectra were displayed as either spectral map on axial T1- or T2-weighted image or single spectrum on each voxel. The major metabolite were also displayed as NAA, Cr, and Cho map.

Results: The hybrid 2D CSI was successfully conducted upon 12 children (eight patients with leukemia, one with Wilson's disease, one with glioblastoma multiforme, and two with hypoxic-ischemic injury) ranging in age from 1 month to 15 years old. The total scan time including MRS raw data acquisition was less than 25 minutes. This was short enough for pediatric application, where the patients were usually under light sedation. The multivoxel CSI showed the extent of metabolic abnormality through the characteristics of the relative levels of the three major metabolites, NAA, Cho, and Cr. The spectra were demonstrated voxel by voxel on spectral map or three metabolites were plotted as metabolic map.

Conclusion: Multivoxel 1H CSI can be successfully used in the evaluation of the metabolic abnormalities of various pathologic conditions of pediatric brain. The extent of metabolically abnormal areas on 2D CSI correlates well with abnormalities on MR imaging.

**Multivoxel Proton MR Spectroscopy of Brain Tumors:
Comparison with Single Voxel Proton MR Spectroscopy (Preliminary Observations)**

정진일, 장기현, 송인찬, 김홍대, 한문희
서울의대 방사선과학교실, 방사선의학연구소

Purpose: To assess multivoxel proton MR spectroscopy (1H MRS) comparing with single voxel proton MR spectroscopy in the evaluation of brain tumors.

Materials and Methods: A total of 17 proton MR spectroscopy in 12 patients with pathologically-proven intracranial tumors (3 anaplastic astrocytoma, 2 GM, 2 brain stem glioma, 2 anaplastic oligodendroglioma, 1 metastatic tumor, 1 ganglioglioma, and 1 pinealoblastoma) were obtained. Either single or multivoxel proton MR spectroscopy was performed on a 1.5T MR unit (Signa, General Electric) using PRESS technique with TR/TE/slice thickness(mm), 2000/288/15 and a voxel size of 3-4 cm³ for all spectra. The measurement time were 9 min 12 sec in single 1H MRS and 8 min 40 sec in multivoxel MRS. NAA/Cho, NAA/Cr, NAA/lactate ratios were measured based on the peak heights of each resonance spectrum and statistical difference was assessed between single and multivoxel technique using paired student t-test (P<.05).

Results: Most of the tumors showed variable degree of decreased NAA, elevated Cho and lactate levels. The mean values and standard deviations of NAA/Cho, NAA/Cr and NAA/lactate were 0.72±0.44, 1.65±1.15, 1.06±0.45 from single voxel 1H MRS and 0.65±0.44, 1.49±0.72, 0.94±0.49 from multivoxel 1H MRS, respectively. The difference between these mean values of single voxel study and multivoxel study is not statistically significant (P<.05).

Conclusion: Preliminary results by multivoxel proton MR spectroscopy suggest that it may not be significantly different from the results of single voxel proton MR spectroscopy. Also it should be a more time saving sequence than single voxel study and may enable to reveal the regions of tumor, areas of necrosis, peritumoral edema and normal tissue more accurately.

**Lateralization of temporal lobe epilepsy:
Comparison of single voxel MR spectroscopy with MRI and PET**

김홍대, 장기현, 정진일, 한문희, 연경모
서울의대 방사선과학교실

목적: 측두엽 간질 환자군에서 single voxel MR spectroscopy (SV-MRS)의 진단적 가치를 MRI와 PET와 비교하여 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: MRI상 분명한 편측성 해마 경화증이 있는 20명의 간질 환자군을 대상으로 하였다 (남자 9명, 여자 11명, 평균연령 30세). 이들에게서 모두 1.5 T MR unit (GE Signa)를 사용하여 해마 부위의 MRI와 MRS를 시행하였으며 전례에서 18FDG-PET를 시행하였다. MRS의 localization sequence는 manual PRESS, TR 1500 msec, TE 136 msec으로 하였고, VOI는 양측 해마의 두부와 전체부를 포함하는 1.5x1.5x1cm의 크기로 하여 양측의 해마에 대해 MRS spectrum을 얻었다. 각각의 경우에 대해 IBM호환 PC와 자체개발한 분석프로그램을 사용하여 NAA/Cho, NAA/Cr ratio를 각각 구하였다. 비정상 판독기준은 이전에 시행한 연구에서 얻어진 정상해마의 95% 범위를 근거로 하여 $NAA/Cho < 0.8$ 또는/그리고 $NAA/Cr < 1.0$ 을 사용하여 양 측두엽의 이상유무를 판정하였다. SV-MRS의 판정결과를 MRI와 PET의 결과와 비교하여 그 진단일치도와 위음성율, 양측성 등을 평가하였다.

결과: SV-MRS와 MRI, SV-MRS와 PET의 진단일치도는 각각 60% (12/20), 60% (12/20)였다. SV-MRS의 위음성율은 30% (6/20)였으며 양측성으로 판정한 경우는 20% (4/20)였다. PET와 MRI의 진단 일치도는 80% (16/20)이었으며 이상의 검사들의 결과를 종합적으로 판단하여 비침습적인 검사만으로 lateralization을 할 수 없었던 경우는 15% (3/20)였으며 이들은 모두 PET와 MRI의 진단이 불일치하는 경우였다. PET와 MRI의 진단이 다른 1례에서 MRS가 최종진단에 도움이 되었다.

결론: SV-MRS는 측두엽 간질의 진단에 있어 MRI와 PET의 보조적인 역할을 할 수 있을 것으로 생각되며 높은 위음성율과 양측성의 결과를 설명하기 위해서는 향후 연구가 필요할 것이다.

Acute Cerebral Ischemia: Proton MR Spectroscopy at 1.5 Tesla in a Cat Model

Eun-Hae Ko, Jeong-Jin Seo, Heung-Keun Kang, Hyoung-Joong Kim, Gwang-Woo Jeong

Department of Diagnostic Radiology, Chonnam University Hospital

Purpose: In this study, we examined a cat model of internal carotid artery (ICA) occlusion to evaluate the possibility of single-voxel localized proton (^1H) MRS to detect initial metabolic changes resulting from acute ischemia.

Materials and Methods: Twelve cats (3.5–5kg) were examined. Cats were anesthetized with a dose of 4ml injection (ketamine:xylazine=4:1) and then underwent unilateral occlusion of the internal carotid arteries (ICA) by endovascular means with microcatheters and N-butyl cyanoacrylate adhesive. All ^1H MRI and MRS studies were performed on a 1.5 T Signa Horizon MR scanner (GE Medical Systems, Milwaukee, WI) using a 6.5 inch diameter extremity linear coil. T2-weighted FSE images (TR/TE=3200/102ms) were used to position the animals and obtain reference anatomical images. The stimulated-echo acquisition mode (STEAM: TR/TE/TM=3000/30/13.7ms) with 128 scans was used to acquire the MRS data from the localized single-voxel ($1.2 \times 1.2 \times 1.2 \text{ cm}^3$) in the bilateral hemisphere. MRS data were obtained at variable times, 30 minutes, 1 hr, 2 hrs, and 3hrs after the onset of ICA occlusion.

Results: The time course ^1H MR spectra provide brief quantitative information on systematic metabolic changes: the concentrations of Lac (2.02 ppm) and α -Glx (3.6–3.8 ppm) increased over a similar time course, while the levels of the rest metabolites were not significantly changed throughout the time course. Increment of Lac was observed as early as 30 minutes after the vascular occlusion. It should be noted that the most dramatic increment of Lac was observed at 3 hr time course. Similar increment in α -Glx concentration was observed during this period. In a different manner with α -Glx, overall concentration ratios of β/γ -Glx (2.2–2.5 ppm) tend to be constant. It is also likely that NAA, Cho and ml signals remained unchanged throughout the time course covered. The continuing increment of Lac and α -Glx within 3 hrs of ICA occlusion may be potentially related with acute ischemia symptom.

Conclusion: The early changes in cerebral metabolites, lactate and α -Glx, are potentially related with acute ischemia symptom, and thus MRS may be useful for diagnosis of cerebral ischemia, although MR spectroscopic data from early ischemia remain limited.

좌장: 정태섭교수 (연세대), 이윤교수 (고려대)

III-1

MR-DSA: 새로운 자기공명혈관촬영방법의 시도

정태섭, 이영준, 정기웅, 이승구, Daisy Chien, Gerhard Laub

연세의대 방사선과학교실, 방사선의과학연구소, Siemens Medical System

목적: 조영증강 자기공명혈관촬영 (CEMRA)가 최근 혈관영상법으로 많이 이용되고 있으나 조영제 bolus주입에 5초 내외가, 영상획득시간이 7-9초가 소요되어 동맥기와 정맥기를 분리하여 관찰할 수는 있으나 DSA와 같이 시간별 혈류동의 진행 등은 보기 어려우며 동맥기와 정맥기가 혼합될 가능성이 매우 높다. 조영제를 1-2초 내에 bolus주입하며 영상획득시간을 1.3초로 여러 회 촬영하여 다중감산처리하므로써 bolus자체의 시간별 이동을 영상화하여 CEMRA때 DSA의 효과를 얻고자 하였다.

대상 및 방법: 9명의 자원자를 대상으로 두경부, 흉부, 복부에서 각각 3례씩 MR-DSA를 시행하였다. MR-DSA는 1.5T기계 (Vision, Siemens, Germany)를 이용하여 Gd-DTPA 8ml를 초당 4ml씩 2초간 18G 도관을 통해 우측 전주정맥으로 기계주입 (Medrad, USA)하였다. CEMRA는 3D-TOF (TR/TE/FA=3.2/1.2/30°)으로 160mm의 관상면으로 matrix 65X256, FOV 250X500mm, 영상획득시간 1.3초로 하여 조영제 주입 6초 후부터 연속으로 17-20회 반복촬영하였다. 다중감산처리는 17-20회의 반복촬영영상을 2회씩 건너뛰며 연속으로 감산하여 2.6초간의 조영제 bolus효과가 시간별로 진행하도록 하였다. 다중감산처리된 자료를 역동적 출력을 한 video녹화를 하여 분석하였다.

결과: 9명의 자원자에서 모두 성공적으로 동맥기, 모세혈관기, 정맥기가 서로의 혼합 없어 잘 분리되어 촬영되었다. 우측 전주정맥으로 주입된 조영제의 신호가 상대정맥, 우심실, 우심방, 폐동맥, 폐정맥, 좌심방, 좌심실 및 대동맥까지의 영상이 서로의 혼합이 거의 없이 연속적으로 잘 표현되었다. 이들의 영상에서 1.3초 단위로 2.6초의 주입시간에 해당되는 길이의 bolus효과가 진행되고 있었다. 특히 두경부에서는 동맥기와 모세혈관기를 거쳐 정맥기에서 양측 경정맥이 상대정맥으로 유입되는 과정이 연속적으로 잘 관찰되었다.

결론: MR-DSA를 이용하여 대동맥과 중요 분자동맥에서 충분히 conventional DSA에서 볼 수 있었던 조영제의 bolus효과를 확인할 수 있었으며 동맥기와 정맥기의 혼합영상이 없이 깨끗한 시간별 분리영상을 얻을 수 있었다. 특히 이러한 새로운 자기공명혈관촬영 방법은 중요동맥들의 소통장애등 혈류역학적 병변을 비침습적 검사하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

What is the cause of signal inhomogeneity at carotid bifurcation during contrast enhanced carotid 3D-TOF MRA? : Comparison with Fast DSA.

Ki-Woong Chung¹, Tae-Sub Chung¹, Daisy Chien², Gerhard Laub²

¹ Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine

² Siemens AG, Germany

목적: 조영증강 자기공명혈관촬영술 (CEMRA)시에, 경동맥 분지부는 흔히 불균일한 신호 분포를 보이기 때문에, 병변이 있는 것으로 오인될 가능성이 높다. 고속 디지털감산혈관촬영술 (fast DSA) 과 비교하여 불균일 신호 분포의 발생원인을 혈류역학적 측면에서 해석하고자 하였다.

대상 및 방법: 경동맥 CEMRA과 fast DSA를 같이 시행받은 12명의 환자에서 22예의 경동맥을 대상으로 전향적으로 분석하였다. CEMRA는 1.5T 기계 (Vision, Siemens AG, Germany)를 이용하여 Gd-DTPA 0.2mmole/Kg를 초당 3ml 속도로 전주정맥에 기계주입 (Medrad, USA)하였다. CEMRA는 FLASH sequence의 3D-TOF (TR/TE/FA=3.2/1.3/35°)를 이용하여 64.4mm의 관상면으로 matrix 80*160, FOV 175*280, 영상획득시간 7초로 4회 연속 촬영하였다. Fast DSA는 근위부 총경동맥에서 5ml의 조영제를 1초간 급속 주입한 후, 경동맥 분지부의 측면상을 초당 6프레임의 속도로 4-5초간 촬영하였다. CEMRA에서의 불균일 신호분포 영역과 fast DSA에서의 와류에 의한 조영제의 저류현상과의 연관성을 혈류역학적 개념으로 분석하였다.

결과: 22예의 경동맥 CEMRA상, 12예에서 원래의 경동맥영상을 표현하는데 지장을 줄 정도의 불균일 신호강도가 경동맥 기시부 외측에서 보였다. 이중 8예는 초기동맥기에 CEMRA가 촬영되어 내경동맥 기시부 외측에 썩기모양의 신호결손부위가 있었으며, fast DSA에서 와류로 인해 조영제 저류가 생기는 부위와 일치하였다. 후기동맥기에 촬영된 4예중 2예에서는 국소 신호증가영역이 경동맥분지부 외측에서 관찰되었으며, 나머지 2예에서는 근위부의 국소 신호감소와 원위부 신호증가 부위가 이중적으로 관찰되었는데 이들의 소견은 fast DSA에서 혈류의 유동과 와류의 발생으로 인한 조영제의 희석과 저류의 유형과 잘 일치되었다. 나머지 10예에서는 전반적으로 균일한 신호강도로 경동맥분지부가 잘 표현되었다.

결론: 경동맥 CEMRA는 전주정맥으로 주입되는 조영제의 bolus가 경동맥에 도착될 때 그 신호강도를 촬영하게 된다. 정상적으로 경동맥분지부에는 심박동에 따른 와류와 역류가 생길 수 있으므로, bolus 효과가 좋은 고농도의 조영제가 경동맥분지부를 통과할 때에, 예상외의 불균일 bolus 효과가 생길 수 있다. 따라서 CEMRA의 K-공간 제로점이 초기동맥기에 맞추어 질 경우, 와류가 생기는 부위는, 조영제 유입감소로 인하여 인근 경동맥부위 보다 신호강도의 감소로 나타날 수 있으며, 후기동맥기에 촬영될 경우에는, 와류부위에 혼합된 조영제의 유출 지연으로 인한 신호증가가 나타날 수 있다. 경동맥 분지부의 해부학적 변이에 따라 이중와류가 생기는 경우는 신호감소와 증가가 동시에 관찰될 수 있다.

The Effectiveness of Digital Subtraction Technique in Contrast-Enhanced MR Angiography

이종민, 장용민, 김용선, 김용주, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: To evaluate the diagnostic value of contrast-enhanced MR digital subtraction angiography(DSA).

Materials and Methods: The CE-MRA was done with 1.5T scanner (Magnetom Vision Plus, Siemens, Erlangen, Germany) using the 3D turbo-FLASH sequence to evaluate lower extremities of 5 patients (male:female = 4:1) who were admitted at the department of vascular surgery. Average age of the patients was 55.8. The images were obtained at coronal plane with 1.5 mm thickness and 450 mm height with the whole body coil. The phase encoding number was from 150 to 180. The TR/TE were 4.0/1.6 msec. The scan was performed at two stations from ankle to common iliac artery or lower abdominal aorta. After acquisition of mask images at each stations, contrast agent (Omniscan, Nycomed Imaging AS, Oslo, Norway, or Magnevist, Schering AG, Germany) was injected by bolus technique using power injector(Medrad) at the rate of 3 ml/sec in both stations. The total volume of contrast media was 0.3 mmol/Kg. Three phase image acquisition was done with subsequent initial two phases and 50 second delayed phase. By the processing of image data, we compared the detectability of arterial branches and contrast noise ratio (CNR) among MIP images with digital subtraction, MIP images without digital subtraction and source images. For qualitative study of vascular conspicuity, the detectability was calculated as score method after grouping of arteries to five grades according to the descending order of their sizes. For quantitative analysis, CNR was measured at each images. Each comparison was validated statistically (Kruskal-Wallis test).

Results: The average detectability scores were 4.2, 3 and 3.8 at subtracted MIP image, MIP image, and source image, respectively ($p < 0.05$). The average CNR's were 6.20, 1.25 and 4.57 at each images ($p < 0.01$). CNR's at each vascular groups showed different distribution. At group I and II, the subtracted MIP image revealed the best result, but at the other groups, source image showed the highest average CNR although subtracted MIP image was better than pure MIP image.

Conclusion: The contrast enhanced digital subtraction MR angiography could be regarded as more accurate analysis method for arteries of lower extremity than contrast enhanced MR angiography and source images. But for more exact evaluation of small branches, collation to source image was recommendable.

Cerebral Ischemic Infarction: Comparison of e3D TOF MR Angiography and Conventional Angiography.

장남규, 서정진, 정광우, 정용연, 김재규, 강형근

전남의대 방사선과학교실

목적: 뇌경색 환자에서 자기공명혈관조영술 (MRA)의 새로운 기법인 Enhanced 3D TOF (e3D TOF)의 유용성을 고식적혈관조영술과 비교평가하였다.

대상 및 방법: 뇌경색 환자 75명에서 1.5T GE Signa Advantage MRI (GE Medical Systems, Milwaukee, USA)를 이용한 e3D TOF MRA와 고식적 혈관촬영술을 시행하였다. e3D TOF MRA에서 뇌동맥의 주분지 (총경동맥 분지부터 전·중 대뇌동맥분지 부위까지, 척추동맥부터 기저동맥까지), 1차 (전·중 대뇌동맥분지 부위부터 A1과 M1부위까지, 후대뇌동맥과 상부소뇌동맥의 중심부까지), 2차 (전·중 대뇌동맥 A2와 M2부위부터, 후대뇌동맥과 상부소뇌동맥의 주변부)분지 등 3군으로 크게 나누어 각각에서 폐색의 유무, 정도를 등급을 매겨 고식적 혈관조영술과 비교, 평가하였다.

결과: 폐색부위는 225예 (양쪽 경동맥과 척추동맥 포함) 중에서 주분지폐색이 64예, 1차가 36예, 그리고 2차가 14예를 보였으며, 고식적혈관조영술과 비교하여 주분지폐색이 60예 (93%), 1차가 25예 (69%), 2차가 3예 (21%)에서 서로 일치하였다. 대뇌경색 범위와 혈관의 폐색정도는 유의한 상관성이 없었다. 뇌경색 환자에서 e3D TOF MRA가 뇌동맥의 주분지에서 15예 (6%), 1차분지부위에서 25예 (11%)에서 위양성을 나타냈다. 혈관의 폐색정도를 평가하기 어려울 정도로 인공잡상이 있었던 경우는 10예 (4%)였다.

결론: 뇌경색 질환에 있어서 e3D TOF MRA는 인공잡상이 적고, 뇌동맥의 주분지와 1차분지의 혈관상태가 고식적혈관조영술과 잘 일치되어, 뇌경색 환자의 혈관상태를 적절하게 평가할 수 있는 유용한 기법이라고 사료된다.

Imaging Parameter Optimization in New Contrast Enhanced MR Angiography

윤통식, 장용민, 이종민, 김용선, 서경진, 김용주, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: Recently, contrast enhanced 3D MRA is obtaining its clinical importance and usefulness. To discuss the problem of signal discrimination in contrast enhanced 3D spoiled gradient echo image acquisition, we examined the dependence of the contrast to noise ratio and imaging efficiency on the concentration of MR agent and imaging parameters such as flip angle and repetition time.

Materials and Method: The expected contrast-to-noise ratio (CNR) was simulated by calculating the expected signal intensity based on spoiled gradient echo sequences. Since the proton density of water is greater in blood than soft tissue, the relative tissue water density was assumed 0.7. Another assumption was that the contrast agent reduce only T1 of blood during the first pass of the agent. The flip angle that maximizes CNR was found as a function of T1 and T2. The dependence of CNR on TR and the concentration of contrast agent were also simulated at the various T1 and T2.

Results: For short TR (3-7 msec), the optimal flip angle was approximately 30 to 40 degrees. the flip angle appears to be 40 to 60 degrees for longer TR (> 10 msec). These flip angle was larger than the expected Ernst angle for given TR. Also large flip angle is preferred to maximize the effect of the concentration of the MR agent. At a given flip angle (40°), shorter TR (3-5 msec) gives better CNR along with the concentration of Gd (0.1-0.6 mmol/kg). The requirement of short TR was more severe on higher dose of contrast agent.

Conclusion: For the case of spoiled gradient 3D MRA, CNR improves with shorter TR and larger flip angle due to the diminishing signal from static tissue. Under these condition, CNR can be increased in proportion to the contrast agent concentration. Scan time reduction with short TR is the one of the major advantages in contrast enhanced 3D MRA but the bandwidth should not be increased to reduce scan time.

Scientific Session IV (Flow quantitation, Perfusion, Functional neuro)

좌장: 이호규교수 (울산대), 김재형교수 (경상대)

IV-1

Title Quantitative CSF flow assessment using phase-contrast cine MRI in the patients with normal pressure hydrocephalus

Byung-Moon Kim, Pyeong-Ho Yoon, Eun-Ki Jeong, Joon-Seok Lim, Dong-Ik Kim

Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University, College of Medicine

Purpose: To evaluate difference in CSF hydrodynamics of patients with NPH from controls and to assess change of CSF hydrodynamics in patients with NPH before and after CSF shunt.

Materials and Methods: We examined 11 patients with NPH and 27 controls using a phase-contrast cine MRI. All patients were treated by lumboperitoneal shunt and 9 of them were reexamined 2 weeks after. Peak caudal velocity (Vc), peak rostral velocity (Vr), velocity amplitude (Vamp) and stroke volume were measured and compared between control group and NPH group. The value of each parameter before and after shunt were compared, respectively.

Results: The NPH group was significantly higher in all parameters ($p < 0.05$). Employing Vamp and stroke volume to determine the hydrodynamic state of CSF, Vamp has 100 % sensitivity and 100 % specificity (11.5 of cut-off value) and stroke volume has 91 % sensitivity and 88 % specificity (42 L of cut-off value). After shunt, Vc, Vamp and stroke volume significantly decreased ($p < 0.05$). All 11 patients improved in, at least, one symptom of triad.

Conclusion: The assessment of hyperdynamic CSF flow is a confident predictor of favorable response to shunt and it may be useful in the quantitative evaluation of shunt effect and shunt function.

낭성 종괴에서 확산강조영상과 현성확산계수영상의 비교

송인찬, 장기현, 김영준, 박성호, 한문희

서울의대 방사선과학교실, 의학연구원, 방사선의학연구소

목적: 각종 낭성 종괴에서 b-factor 수에 관계된 현성확산계수 (ADC) 측정의 정확성 여부를 평가하고 현성확산계수영상의 진단적 가치를 확산강조영상과의 비교를 통해 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 1.5 T 자기공명영상기기를 사용하여 총 10명의 낭성 종괴 환자 (농양 5명, 낭성 종양 3명, 유구낭미충증 1명, 비종양성 괴사성 낭종 1명)를 대상으로 확산강조영상을 얻었다. 확산강조영상은 SE-EPI기법에서 180도 펄스 양편에 x, y, z 세방향으로 동시에 확산강조 경사자계를 가하여 얻었다. 5명에서는 확산 경사자계로서 500과 1000 s/mm²의 두가지 b-factor들을 사용하여 두번의 확산강조영상을 얻었다. 나머지 5명에서는 한가지 b-factor (1000 s/mm²)만을 사용하였다. 확산계수는 regression model에 의해 두개의 b-factor (0과 500, 0과 1000 s/mm²)로부터 얻은 데이터와 세개의 b-factor (0, 500, 1000 s/mm²)로부터 얻은 데이터의 차이 여부를 비교평가하였다. 또한, 현성확산계수영상과 확산강조영상의 신호강도를 주관적으로 비교, 평가하였다.

결과: 낭종 부위에서 두개와 세개의 b-factor들로부터 구한 현성확산계수들은 통계학적으로 그 차이가 없었다. 농양의 현성확산계수 ($706 \pm 163 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sec}$)가 다른 낭성 종괴 (낭성 종양: $2844 \pm 56 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sec}$, 유구낭미충증: $3495 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sec}$, 비종양성 괴사성 낭종: $2867 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sec}$)의 그것보다 통계학적으로 의미있게 낮았다 ($p < 0.05$). b-factor가 500 s/mm²인 확산강조영상에서는 모든 낭성 종괴에서 주변 기질에 비해 고신호강도를 보였고, 1000 s/mm²인 확산강조영상에서는 종양과 괴사성 낭종 그리고 유구낭미충증의 경우 저신호강도를, 농양에서는 고신호강도를 보였다.

결론: 현성확산계수는 b-factor를 두 개 이용한 경우와 세 개 이용한 경우에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 확산계수영상과 b-factor가 1000 s/mm²인 확산강조영상은 농양성 낭성 종괴를 다른 낭성 종괴로부터 감별하는 데 유용하게 사용될 수 있다고 생각된다.

**Acetazolamide 부하관류 자기공명영상을 이용한 폐쇄성 뇌혈관 질환의 혈류 예비능평가:
Acetazolamide 부하 HMPAO SPECT와의 비교**

이승구, 정태섭, 정은기, 유영훈, 주진양¹, 김성은²

연세의대 방사선과학교실, 신경외과학교실¹, 가톨릭의대 의공학교실²

목적: 폐쇄성 뇌혈관 질환 환자의 혈류 예비능 평가에 있어서 acetazolamide 관류 자기공명영상의 유용성을 HMPAO SPECT 소견과의 비교를 통해 평가한다.

대상 및 방법: 고식적 또는 자기 공명 혈관 조영술을 통해 확진된 폐쇄성 뇌혈관 질환 환자 8명을 대상으로 하였다 (죽상 동맥 경화증 (n=5), 혈관염 (n=2), 모야모야씨병 (n=1)). Baseline 및 acetazolamide 부하 관류 자기 공명 영상은 고식적 T2 강조 영상과 함께 TR/ TE/ FA/ FOV/ Thickness/ matrix = 1.2s/ 42.1ms/ 90도/ 23cm/ 5mm/ 180x128을 이용한 역동적 영상을 0.2mM/kg의 Gd-DTPA 정맥내 일시주입 후 60개를 연속적으로 얻었다. 이를 자체 개발된 후영상 처리 프로그램을 이용하여 상대적 혈류량 (rCBV), 관류량 (rCBF), 평균통과시간 영상 (T2P)을 얻었고 이를 Baseline 및 acetazolamide 부하 99m-Tc-HMPAO SPECT 영상소견과 비교하였다.

결과: Baseline 상대적 혈류량 영상은 병변이 있는 부위와 정상부위에 있어서 혈류의 차이를 보여주지 못하였으나 T2P 영상에서는 전 환자 모두에게서 일측성 고신호 강도를 보여 병변을 잘 보여주었다. Acetazolamide 부하 영상에서는 상대적 혈류량, 관류량 영상 모두 병변부위의 혈류량 감소를 보였으며 T2P 영상은 baseline에서 보다 더 광범위한 고신호 강도 부위를 나타내었다. T2P 영상의 병변부위는 HMPAO SPECT에서 보이는 병변과 일치하였다. 모야모야씨병 1례에서는 조영제 일시 주입후 신호강도의 감소가 이산 (biphasic) 곡선을 보였다.

결론: Acetazolamide 부하 관류 자기공명 영상은 폐쇄성 뇌혈관 질환에 있어서 대뇌 국소 부위의 혈역학 변화를 잘 보여 주었으며 특히 상대적 평균 통과 시간 영상이 SPECT 영상과 잘 일치하는 소견을 보였다.

MR perfusion 영상의 정량적 분석으로 1차관류영상 및 재순환영상 재구성

김은주, 김현숙*, 신승애, 김동익*, 이종두*, 정은기*

이화여자대학교 물리학과, *연세의대 방사선과학교실

목적: MR perfusion 영상들의 정량적 분석으로 총관류영상, 1차관류영상, 재순환영상 등 다양한 뇌혈류영상을 얻고자 한다. 1차 관류영상을 얻기 위해 γ -variate function fitting을 이용하였다.

대상 및 방법: 조영제 Gd-DTPA를 0.4mmol/Kg 일시 주입한 후 1500msec 간격으로 80 phase까지 고속 T_2^* -강조 GE영상을 얻었다. GE사의 Horizon (1.5T)을 이용하여 matrix 128×128, 단층두께 4.0mm로 스캔하였다. 영상후처리는 IDL (Research System Inc, Colorado, USA) 소프트웨어를 이용하였다. 1차관류영상을 얻기 위하여 각 화소별로 ΔR_2^* 곡선의 초기 약 20 phase를 γ -variate 함수에 비선형 fitting하여 적분하였다. 총관류영상은 ΔR_2^* 곡선의 마지막 phase인 80 phase까지 적분하여 얻었고, 여기서 1차관류영상을 뺀 것이 재순환영상이다.

결과: 물분자내 양성자 핵의 이완도 ($\Delta R_2^* = 1/T_2^*$)는 주변 모세혈관내의 Gd-DTPA 농도에 비례하며, 여기서 구한 $\Delta R_2^*(t)$ 곡선은 Gd-DTPA가 재순환된 부분을 포함하고 있다. $\Delta R_2^*(t)$ 곡선을 γ -variate function fitting하여 1차관류영상을 얻었다. 총관류영상에서 위의 1차관류영상을 빼면, 재순환에 대한 정보를 제공해주는 것으로 해석할 수 있었다.

결론: MR perfusion 영상들의 정량적 분석으로 총관류량영상 (total Cerebral Blood Volume map) 과 1차 관류량만으로 영상화한 1차관류영상 (first-pass CBV) 그리고 이들 둘의 차이로 재순환영상 (recirculation CBV)을 얻을 수 있었다.

측두엽환자에서의 기능적MRI를 이용한 언어중추 편재화 측정:
Intracarotid Thiopental Test와의 비교연구

이호균, 강중구1, 이정교2, 임수미, 김대홍, 최충곤, 서대철, 임태환

울산의대 서울중앙병원 진단방사선과, 신경과1, 신경외과2

목적: 본 연구를 통하여 기능적 MRI (fMRI)를 이용하여 언어중추편재화측정의 가능성을 확인하고자 하였다.

대상 및 방법: 측두엽간질을 주소로 하여 intracarotid thiopental test (ITT) 및 fMRI를 모두 시행한 6명의 환자를 대상으로 하였다 (남:여=3:3, 평균연령=25.1세, 모두 오른손잡이). 사용한 MR기기는 Siemens 1.5 T Magnetom system을 사용하였고 MR기법은 single shot FID-EPI를 이용한 BOLD법을 이용하였다. 영상부위는 전예에서 전두엽 및 측두엽을 포함한 측상면영상을 얻었다. 인지능력 판정시 사용한 교재는 Wada 검사시 사용하는 교재를 일부 변형하여 언어기능측정은 어휘읽기와 어휘만들기로 하였다. 이들 측정은 두가지기능을 한번에 시행하는 multitask방식으로 얻었다. 이때 사용한 message 전달방법은 projector와 screen 및 반사경을 사용하였다. 영상처리는 Siemens영상처리 software와 Internet sharesoftware인 Stimulate 5.0을 이용하였고 fMRI data processing의 일반적인 rule을 따랐다. 편재화의 판정은 언어기능 측정의 경우 측두엽 및 전두엽을 포함하여 활성화된 신호강도의 갯수를 비교하였다 (cluster 2개 이상). 양쪽반구의 활성화 신호강도의 면적이10% 이상의 차이가 있는 경우에 편측화가 있는 것으로 하였고 그 이하의 경우는 양측성으로 판정하였다. fMRI의 결과와 Wada검사의 결과를 비교하였다.

결과: 측정성공율은 언어기능의 판정에서 fMRI및 ITT 6예 모두에서 가능하였고 기억기능에서fMRI 5예 및 ITT 4예에서 판정가능 하였다. 두 검사가 일치율을 보였던 경우는 언어기능에서 5예(83%), 기억기능은 한 예 (17%)였고 모두 일측성 (비대칭형)이었다. 편재화의 결과가 정반대로 나타난 경우는 한 예에서 있었다.

결론: fMRI를 이용한 언어중추 편재화측정은 측정이 용이하고 Wada검사의 결과와 높은 일치율을 보였다.

1.5T와 3T MRI 장비에서 시각자극에 의한 기능적 자기공명영상 비교

김태,^{1,3} 박정일,^{3,4} 김의녕,² 서태석,^{1,3} 김성은,^{1,3,4} 최보영,^{1,3} 이형구,^{1,3} 신경섭,^{1,2,3} 이흥규^{1,3,4}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실
³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: 1.5T와 3T 고자장 MRI 장비에서 시각자극의 BOLD (blood oxygen level dependent) 방법에 의한 기능적 자기공명영상을 획득하여 서로 비교분석하고자 하였다.

대상 및 방법: 정상인 남녀를 대상으로 3.0T에서 자체 개발한 gradient dual echo 펄스시퀀스를 이용하여 시각자극에 의한 영상을 획득하고 IDL software를 이용하여 상관계수방법에 의한 기능적 자기공명영상을 얻었다. 이 결과를 기존 1.5T MRI 장비에서 얻은 결과와 비교하였다.

결과: 고자장 3T MRI장비에서 얻은 기능적 자기공명영상은 1.5T MRI장비에서 얻은 기능적 자기공명영상보다 sensitivity가 상당히 증가하였다.

결론: BOLD효과는 자화율 (susceptibility)에 민감하므로 자장의 세기가 클수록 그 효과가 커지며, 그 결과 sensitivity 역시 증가하였다. 향후 3T MRI장비에서 multi-echo에 의한 T2'값을 구하여 이를 정량화하여 더욱 더 정확한 기능적 검사를 수행하는데 큰 도움이 되리라 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

좌장: 김동익교수 (연세대), 최우석교수 (경희대)

V-1

Early Ischemic Stroke: Time course of Signal Intensity Changes on Diffusion-weighted MR Imaging

신상수, 서정진, 정광우, 강형근, 김재규, 박진균

전남의대 방사선과학교실

목적: 조기 허혈성 뇌경색 환자에서 확산강조영상 (DWI)과 T2강조영상 (T2WI)의 신호강도를 정성적, 정량적으로 비교분석하여 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 임상적으로 뇌경색으로 진단되어 DWI를 시행한 98명의 환자 중 발병시기가 확실한 51명의 환자 (15-82세, 평균연령: 65세, 남녀비=32:19)를 대상으로 하였다. 환자의 시기적 분류는 뇌경색의 증상 발현 시간과 MRI 시행과의 간격에 따라 초급성기 (6시간 이내) 5예, 급성기 (24시간 이내) 17예, 후기 급성기 (3일 이내) 19예, 그리고 초기 아급성기 (7일 이내) 10예로 구분하였다. MR영상은 1.5T Signa Horizon (GE Medical Systems, Milwaukee, USA)를 사용하였고, 고속스핀에코 T2강조영상을 얻은 후 single shot EPI 기법을 사용하여 b value=1000 sec/mm²를 사용하여 확산강조영상을 얻었다. 사용한 영상변수는 TR/TEeff = 10,000/100 (ms), matrix size=128x128, FOV=28x21 (cm), 절편두께 5mm, 간격 1.5mm였으며, 이때 1 NEX를 사용하여 x, y, z 축상의 세 개의 검사자장 방향으로 평균한 등방성 영상 (isotropic image)을 획득하였다. T2WI와 DWI에서 2예의 방사선전문의를 합의하여 병변의 명확도 (conspicuity)를 Grade 0에서 2까지 등급화 하였다. 각 영상의 병변과 정상조직의 신호강도비 (SNR)와 병변과 정상조직의 대조도 대 잡음비 (CNR)를 구하여 육안적 관찰 결과와 비교하였다.

결과: 병변의 명확도는 초급성 5예에서 DWI는 5예 모두 Grade 2였으나, T2WI는 5예 모두 grade 0였다. 급성 17예에서 DWI는 17예 모두 Grade 2였으며, T2WI는 Grade 1이 6예, Grade 2가 11예였다. 후기 급성 19예에서 DWI와 T2WI는 19예 모두 Grade 2였으며, 초기 아급성 10예에서 DWI와 T2WI는 10예 모두 Grade 2를 나타냈다. SNR과 CNR은 모든 병기에서 DWI가 T2WI보다 의미있게 우수하였고 (p<0.05), 두 영상간에 SNR과 CNR은 급성기에서 가장 큰 차이를 보였다.

결론: 초급성 뇌경색에서는 DWI에서만 병변이 발견되고 7일 이내의 뇌경색에서는 DWI가 T2WI보다 SNR과 CNR이 우수하여 조기 허혈성 뇌경색 환자의 진단에 DWI가 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

**Thin Slice and Fast Dynamic Contrast Enhanced MR Imaging of Pituitary Microadenoma
with Slice Interpolation Technique**

Tae-Sub Chung, Jin-Yang Joo¹, Daisy Chien², Gerhard Laub²

Department of Diagnostic Radiology, Neurosurgery¹, Siemens Medical Systems²

Purpose: To evaluate the detectability of pituitary microadenoma under 3mm in size using thin slice and fast dynamic contrast enhanced MR imaging with slice interpolation technique.

Materials and Methods: Twenty-seven patients who had pituitary microadenoma [19 functioning (FM) and 8 non-functioning microadenoma (NM)] under 10mm in size were undertaken for pituitary MR imaging with coronal 3D-FISP sequence (TR/TE/FA= 11ms/5.4ms/40) using slice interpolation technique with 1.5T (Vision, Siemens, Germany). The parameters of MR imaging were as follows: pixel: 0.78-0.88mm X 0.78mm, slice thickness: 1-1.5mm, acquisition time: 19-25sec, slice numbers: 16 and 7 serial phases. Twenty ml of Gd-DTPA were injected by MR injector (Medrad, USA) at a rate of 4ml/sec. Findings of MR images were compared with serum prolactin levels.

Results: Among the 27 patients, 15 lesions (9 FMs, 6 NMs) were less than 3 mm in size, 4(3 FMs, 1 NM) were 3-5 mm, 3 (3 FMs) were 6-7 mm and 5 (4 FMs, 1NM) were 7-10 mm. Among 9FMs less than 3 mm in size, serum prolactin level in 7 were 35-100 ng/ml and in the remaining 2 were more than 100 ng/ml. Ten FMs more than 3 mm in size showed variable ranges of serum prolactin level. Seven of 15 lesions less than 3 mm in size showed transient contrast defect on phase 2 or 3 during dynamic study. However, 10 of 12 lesions more than 3 mm in size showed a persistent contrast defect from phase 2 to delayed image.

Conclusion: Thin slice and fast dynamic contrast enhanced MR imaging with slice interpolation technique is very effective for the detection of pituitary microadenoma of less than 3 mm in size.

뇌하수체기능저하증의 임상적 진단에 있어서 자기공명영상의 유용성

고창재, 최시성, 박기한, 노병석, 원종진

원광의대 방사선과학교실

목적: 뇌하수체기능저하증 (hypopituitarism)은 하나 이상의 뇌하수체 호르몬의 결핍을 보이는 경우를 말하며 많은 원인질환이 있음이 알려져 왔다. 임상적으로 뇌하수체기능저하증의 소견을 보인 환자에서 원인 질환을 찾는 데 있어서 자기공명영상 (MRI)이 어떤 역할을 하는지 알아보려고 하였다.

대상 및 방법: 임상적으로 뇌하수체기능저하증의 증상을 보였거나, 시상하부 및 뇌하수체 질환이 의심되어 MR을 시행한 환자 중 뇌하수체 호르몬자극검사를 실시하여 뇌하수체기능저하증으로 진단된 33명 (남:여=6:27, 13-73세)을 대상으로 하였다. MRI 소견에서 시상하부 및 뇌하수체 부위를 침범한 병변의 MRI 소견을 후향적으로 분석하여 원인 질환을 알아보고, 이를 호르몬자극검사 후 결핍된 호르몬의 결과와 비교하여 알아보았다. 원인 질환 중 Sheehan's 증후군 (Sheehan's postpartum necrosis)은 과거 출산 시 심한 질 출혈과 저혈압이 있었고 그 이후 뇌하수체기능저하증의 증상을 보인 경우로 임상적으로 진단하였으며, 종양 및 낭성 병변들은 수술 및 조직학적으로 진단하였다.

결과: 원인 질환으로는 Sheehan's 증후군이 14예로 가장 많았는데 MR상 empty sella turcica의 소견으로 관찰됐고, primary empty sella 는 4예, 그리고 뇌하수체선종 수술 후는 4예에서 보였는데 이 때는 sella turcica가 뇌척수액으로 채워지며 심한 확대를 보였다. 그 외 뇌하수체선종 4예, 두개 인두종 3예, intra-suprasellar arachnoid cyst 2예, pituitary apoplexy 1예, 그리고 pituitary hypoplasia 1예 등이었다. 뇌하수체 호르몬자극검사의 결과 corticotropin, gonadotropins, GH, thyrotropin 순으로 결핍되었고, 11예에서는 모든 호르몬치가 감소하여 범뇌하수체기능저하증으로 진단하였는데 이 중 Sheehan's 증후군이 7예로 가장 많았다.

결론: MR은 뇌하수체기능저하증의 원인 진단을 하는데 유용한 정보를 제공하며, 가장 많은 MR 소견은 empty sella인데 이러한 소견은 Sheehan's 증후군 때도 보이는 소견임을 알아야 할 것이다.

좌장: 이창준박사 (국립의료원), 서진석교수 (연세대)

VI-1

**Internal Derangement of Lumbar Intervertebral Disc:
The Patterns of the Inner Annular Disruption on MR Image in Young Adults**

Kyung-Sook Kim, Sung-Moon Kim, Myung-Jin Shin

Department of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center
University Ulsan College of Medicine

Purpose: To describe the patterns of the inner annular disruption on T2-weighted sagittal and axial MR image.

Materials and Methods: We retrospectively reviewed 50 lumbar MR imaging (1.5T with FSE) in young adults (2nd and 3rd decades of age). Total 200 discs from L2-3 to L5-S1 were evaluated on T2-weighted sagittal and axial images. We excluded 88 of normal or degenerated or herniated discs. Four types of inner annular disruption on sagittal images were defined as (I) anterior or posterior vertical line, (II) invaginated high signal intensity into outer annulus, (III) blurring of inner annular margin, and (IV) thinning of the annulus. Each type was correlated with corresponding axial images.

Results: We observed 122 discs(61.0%) of inner annular disruption; type I in 42 discs, type II in 25 discs, type III in 39 discs and type IV in 29 discs. 23 discs had two or more types of inner annular disruption. On correlation with axial images, we observed layering of low signal intensity at anterior portion of the inner annulus in 30 of 42(71.0%) discs with type I and blurring of inner annulus at posterior portion in 14 of 25(56.0%) discs with type II. However, 58 of 68(85.3%) with type III and IV were showed similar patterns on axial image as blurring or thinning of annulus. All discs with two or more types were also showed as mixed patterns on axial image.

Conclusion: Inner annular disruption can be observed as various types on T2-weighted sagittal MR image as well as on axial image. These changes were distinctively different from normal disc and may represent various morphological changes in early disc degeneration.

Usefulness of 3D-CISS Sequence in MR Imaging of Cervical Spine

Se-Hyung Kim, Chang-Kyu Seong, Jin-Il Chung, Hong-Dae Ki, Kee-Hyun Chang

Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine

Purpose: To assess the value of a 3D MR sequence, CISS (constructive interference in steady state), in imaging the cervical spine.

Materials and Methods: MR images of the cervical spine were prospectively obtained with both conventional sequences (sagittal TSE and axial 2D FLASH) and CISS sequences in 20 patients suspected of having cervical spinal disease. The diagnosis consisted of 10 normal 11 (n traumatic root avulsion (n=1), cervical spondylosis (n=16) and infectious spondylitis with intramedullary lesion (n=1). CISS technique was performed on a 1.5T unit (Siemens, Magnetom Vision Plus). The following parameters were used: TR 12.25ms, TE 5.9 ms, flip angle 70, slab 64mm, effective slice thick 1mm, FOV 200mm, and matrix 224*256. CP neck array coil was used. Following the 3D-raw data were obtained in coronal plane, axial, oblique coronal and curved coronal images were reformatted. The findings of CISS sequence were compared with those of the conventional sequence in terms of visualization of the neural foramen and nerve roots, conspicuity of the intramedullary lesion, contrast between the CSF and spinal cord and between the gray and white matters within the cord.

Results: In all cases including traumatic root avulsion, 3D CISS sequence demonstrated the intradural nerve roots with excellent contrast especially in coronal plane. Reformatted oblique coronal images of CISS sequence offered better visualization of entire neural foramen beyond the region of interest (n=20). In 5 cases of foraminal stenosis, CISS sequence was superior to the conventional sequence. CISS sequence was almost equal to the conventional sequence in contrast between the CSF, spinal cord and the intervertebral disc. CISS sequence was inferior to the conventional sequence in delineation of intramedullary lesion and in contrast between the gray and white matter within the cord in all patients.

Conclusion: The 3D CISS sequence gives better information than the conventional sequence especially in the evaluation of the nerve roots and neural foramens but poorer contrast of intramedullary lesion. It may well be used as a supplementary sequence in assessment of foraminal stenosis and nerve root injury.

외상성 척추 압박골절의 자기공명영상: 신호강도의 변화와 골절시기 간의 관계

정선관, 김은아, 최시성, 노병석, 김창근, 원종진

원광의대 방사선과학교실

목적: 외상성 척추 압박골절의 시기를 자기공명영상으로 예측할 수 있을 지 알아보기 위하여 신호강도의 변화와 골절기간과의 관계를 평가하고자

대상 및 방법: 외상 후 척추 자기공명영상을 시행한 73명 (남/여=38/35, 나이 17-74세, 평균 48세)에서 110개의 척추체 (경추 4개, 흉추 43개, 요추 63개)를 후향적으로 분석하였다. 외상 후 자기공명영상을 시행하기까지의 기간 (골절기간)은 1일부터 25년까지였다. T1, T2 강조영상에서 신호강도의 변화와 골절기간과의, 또 신호강도의 변화와 외상정도와의 상관관계를 각각 분석하였다.

결과: T1 강조영상에서 신호강도의 변화는 'isointense to high', 'focal low', 'diffuse low' 등 세 가지 형태였으며, 각 형태의 평균 골절기간은 1416, 212, 309일이었다. T1과 T2 강조영상을 함께 고려할 때, I군 isointense/isointense, II군 focal low/isointense, III군 focal low/inhomogeneous, IV군 focal low/focal high, V군 diffuse low/inhomogeneous로 분류되었으며, 각각의 평균 골절기간은 1416, 191.7, 171.1, 1505, 309.5일 등이었다. T1 강조영상에서 'isointense to high' 군의 평균 골절기간은 다른 두 군에서보다, T1과 T2 강조영상에서는 I군과 IV군에서 다른 세 군보다 의미있게 높았다 ($p<0.05$). 골절기간이 30일 미만인 경우에 T1 강조영상에서 'diffuse low'의 신호강도를 보인 9개 중 8개가 심한 외상으로 인한 것이었다.

결론: 외상성 척추 압박 골절에서 신호강도의 변화는 골절기간 및 외상의 정도와 밀접한 상관관계가 있었다. 따라서 T1과 T2 강조영상의 신호강도의 변화와 외상의 정도를 고려한다면 척추 압박 골절의 시기를 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

SPAMM 펄스열을 이용한 척수공동내 척수액 운동 평가:
수술 후 증상 호전과의 연관성

이승근, 정태섭, 김영수¹

연세의대 방사선과학교실, 신경외과학교실¹

목적: SPAMM 펄스열을 사용하여 척수공동내의 척수액 운동 상태를 평가하여 수술 후 증상 호전과의 연관성을 알아본다.

대상 및 방법: Arnold Chiari 기형과 연관되거나 (n=5), 뇌막염 후 (n=2), 또는 척수 손상 후 (n=2) 발생한 척수공동증 환자를 (남:여=5:4, 평균연령:31.4세) 대상으로 하였다. 수술 전후 고식적 T1 및 T2 강조영상을 척수 공동을 중심으로 축상 및 시상면으로 얻었고 동일 부위의 시상면 SPAMM 영상은 TR/TE/TD/FA= 42ms/7.2ms/0-600ms/20도를 이용하여 심전도를 측정하면서 R-R 간격 당 16개의 다중 영상을 얻었다. 거미막하 공간의 척수액 운동과 공동 내 척수액 운동의 방향 및 정도를 알아보았고 수술 후 증상 호전의 정도와 비교하였다.

결과: Arnold Chiari 기형과 연관된 5명 모두 다양한 정도의 척수 공동 내 척수액 운동을 보여줬고 후두와 감압술 시행후 증상 호전을 보였다. 거미막하 공간의 척수액은 심장의 수축, 이완기에 따라 두측 및 미측으로 박동성 운동을 보였으나 공동내 척수액은 미측 방향으로 일측성 연속적 운동을 보였다. 뇌막염 및 척수 손상 후 발생한 척수 공동은 공동내 척수액의 운동을 보이지 않았으며 공동-거미막하, 공동-복강 단락 수술 후 증상의 호전도 보이지 않았거나 미약하였다.

결론: SPAMM을 이용한 척수 공동 내 척수액 운동의 평가는 공동의 종류와 수술 후 증상 호전을 예측할 수 있다. Arnold Chiari 기형에서 보이는 척수 공동의 발생에 가설로 제기되었던 4뇌실 주위 check valve 기전을 뇌척수액의 박동성 운동에도 불구하고 일측성 연속적 척수 공동내 척수액 운동을 통해 증명하였다.

좌장: 김일영교수 (순천향대), 서창해 (인하대)

VII-1

유방자기공명검사를 이용한 염증성유방암의 영상 진단

오기근

연세의대 방사선과학교실

목적: 유방암의 병변은 임상증상이 있거나 없더라도 유방촬영과 유방초음파검사로 거의 진단이 가능하다. 그러나 유방이 마치 오렌지 껍질같이 붉게 부을때는 근원이 유방암인지 유방염인지 구별하기 어려운 반면 염증성 유방암의 경우는 유방암의 0.4%정도로 빈도가 매우 드물고 평균생존률이 8개월정도로 아주 예후가 나쁘므로 치료의 방법과 예후 예측을 위하여도 염증성 유방암의 확진은 필수적이다. 그러므로 이 논문의 목적은 유방자기공명검사를 이용한 염증성유방암의 특징을 분석하기 위함이다.

대상 및 방법: 연세대학교의과대학 진단방사선과학교실 영동세브란스병원에서 지난 3년간 시행한 유방자기공명검사 중 염증성유방암으로 확진되어 항암치료와 수술적인 치료를 시행하였던 6명의 염증성유방암환자의 유방자기공명검사 영상을 분석하였다. 연령은 42세~57세 사이였으며 발생한 유방은 좌우측이 각기 3예씩이었다. 유방자기공명검사는 T1,T2, Gd-DTPA dynamic 2D FLASH 기법을 이용하여 영상을 분석하였다.

결과: 6예의 염증성유방암환자에서 T1 과T2 영상에서 유방실질의 왜곡이 심하였으며, T2 영상에서 직선이나 곡선양의 림프관의 확장소견이 고신호음영으로 보였고, 전예에서 고신호의 피부비후소견을 보였고 유두의 함몰현상을 보였다. Gd- DTPA를 이용한 역동적 조영검사에서는 6예중 5예에서 유방실질내에 조영증강되는 유방암의 소견들이 보였고, 1예에서는 미만성인 조영증강소견을 보였다. 그러나 조영증강의 소견은 원발성유방암의 소견과 동일하게 높았다. 이 소견은 염증성유방암과 감별이 가능하였다.

결론: 각종 유방영상진단법을 이용하여서도 미만성유방염과 염증성유방암을 감별하는데 어려움이 많았으나 유방자기공명검사를 이용하여 염증성유방암의 진단이 가능하였다.

Differential diagnosis of early enhancing small hepatocellular carcinoma and hemangioma with contrast-enhanced dynamic MR imaging

정미경, 유정식, 김기황, 조병준, 김재근

연세의대 방사선과학교실

Purpose: To differentiate between early homogeneously enhancing small hepatocellular carcinoma (HCC) and hemangioma (20 mm in diameter) by contrast-enhanced dynamic MR imaging

Materials and Methods: 176 patients with focal hepatic lesions were imaged at 1.5T unit (Vision, Siemens). Four-phased dynamic MR imaging [early arterial (EAP), sinusoidal (SP), early nonequilibrium (NEP) and delayed phase (DP) (10, 35, 60 and 300 sec after start of IV contrast injection)] was obtained with breath-hold multisection FLASH sequence (TR/TE=114/4.1). Firstly, enhancement patterns of all small HCCs (n=80) and hemangiomas (n=94) diagnosed by percutaneous core biopsy, surgical resection, or typical radiologic findings were analyzed. In early homogeneously enhancing HCCs and hemangiomas, signal to noise ratio(SNR) and degree of contrast enhancement (CE) relative to precontrast image were calculated on each phase (EAP/SP/NEP/DP), respectively.

Results: The majority of small hemangiomas showed peripheral globular, progressively centripetal and prolonged enhancement known as nearly pathognomonic findings of hemangioma. Homogeneous enhancement on EAP or SP was seen in most small HCCs (78.8%), while in only 17 hemangiomas (18.1%). In these HCCs and hemangiomas, mean SNRs on EAP/SP/NEP/DP were 60.4/73.4/78.3/61.3 and 32.3/48.8/45.6/51.5, respectively. Degree of CE was 52.8/94.6/81.8/59.7 in HCC and 91.2/161.1/187.2/199.6 in hemangioma. Statistically significant differences between these HCCs and hemangiomas were depicted in SNR of EAP and degree of CE of NEP and DP ($p < .005$).

Conclusion: On contrast-enhanced dynamic MR imaging, typical enhancement pattern could be used to correctly diagnose the majority of small hemangiomas. However, in early homogeneously enhancing hemangiomas mimicking small HCCs, SNR of EAP and degree of CE of NEP or DP may be useful for differentiation.

복강경하 담낭절제술 시행전 동반된 담도결석의 유무 평가시
자기공명 담도조영술의 유용성

오형진, 이재문, 정승은, 김응국², 김재광³

가톨릭의대 방사선과학교실, 외과학교실², 내과학교실³

목적: 담낭내 결석이 의심되는 환자에서 복강경하 담낭절제술 시행전 동반된 담도결석의 유무를 평가하는데 있어 자기공명 담도조영술 (MR Cholangiography, MRC)의 유용성을 알아보고자 전향적으로 내시경적 역행성 담도조영술 (Endoscopic Retrograde Cholangiography, ERC)과 비교하였다.

대상 및 방법: 임상적으로 담낭내 결석이 의심되는 27명의 환자를 대상으로 하였으며 남자 14명, 여자 13명, 연령은 30-81세 (평균 54세)였다. MRC는 1.5-T 기기를 이용하여 HASTE (Half-Fourier Acquisition Single-shot TSE)기법과 half-Fourier RARE기법으로 영상을 얻었다. 두기법 각각에서의 담도결석의 수와 크기, 담낭내 결석, 총수담관확장 정도 등을 평가하였고 MRC시행 4시간 이내에 ERC를 시행하여 독립적으로 HASTE기법과 RARE기법에서의 소견과 비교분석하였다. MRC와 ERC로 진단된 환자들은 복강경하 담낭절제술 또는 개복하 담낭절제술을 시행하였다.

결과: MRC와 ERC에서 14명의 환자는 총수담관확장이 보이지 않았고 ERC에서 총수담관확장이 보인 13명 환자 모두가 MRC에서도 확장이 보였다. MRC는 ERC에서 담도결석이 있는 11명 환자 중 10명에서, 담도결석이 없는 16명 환자중 16명 모두에서 일치하였다. ERC에서 담도결석이 보였으나 MRC에서 보이지 않은 경우는 1명이었다. HASTE기법과 ERC 비교시 담도결석의 수가 일치한 예는 11명중 8명 (73%), 크기가 일치한 예는 11명중 9명 (82%)이었고 RARE기법과 ERC 비교시 담도결석의 수가 일치한 예는 11명중 10명 (91%), 크기가 일치한 예는 11명중 7명 (64%)으로 HASTE기법과 RARE기법의 정확도는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 두 기법을 보완한 결과와 ERC 비교시 담도결석의 수가 일치한 예는 11명중 10명 (91%), 크기가 일치한 예는 11명중 9명 (82%)으로 높은 정확도를 보였다.

결론: 담낭내 결석환자에서 복강경하 담낭절제술 시행전 동반된 담도결석 유무를 평가하는데 있어 MRC가 ERC만큼의 정확도를 보이며 그 기법인 HASTE (Half-Fourier Acquisition Single-shot TSE)와 half-Fourier RARE기법에서의 소견은 차이가 없었다.

난소 갑상선종의 자기공명영상 소견

김종철, 박진용, 이세호, 김성수

충남대의대 방사선과학교실

목적: 병리 소견과 비교하여 난소 갑상선종의 자기공명영상 소견에 어떤 특징이 있는지 알아보
고자 하였다.

대상 및 방법: 자기공명영상 실시 후 수술 및 병리학적으로 난소 갑상선종임이 확진된 7명의 환
자를 대상으로 하였다. 종양은 모두 일측성이었고, 환자의 연령은 40-70세 (평균 53.9세)이었다.
1.5 T 초전도 영상 기기를 사용하여 축상면, 관상면 및 시상면에서 gadolinium-DTPA 조영 전후의
T1 강조 및 T2 강조 골반강 자기공명영상을 얻었는데, 지방 억제 기법은 3예에서 실시되었다. 병
리 소견과 비교하면서 자기공명영상에 나타난 종양의 위치, 크기, 성분, 신호강도, 조영 증강 여부
및 정도, 동반 질환 등을 후향적으로 분석하였다.

결과: 자기공명영상에서 7예 전부는 다발성의 낭종과 고형 성분을 포함한 복합성 종괴로 관찰되
었는데 (우측 4예, 좌측 3예), 이는 병리학적으로 호산성 점성 고단백 콜로이드를 함유한 다수의
크고 작은 갑상선 여포들의 존재와 관련되었다. 종양의 최대 직경은 5-16 cm (평균 9.7 cm)이었
다. 종양의 낭성 부분은 T1 강조 영상에서 주위 근육에 비해 다양한 신호강도를 보였으나 전혀 조
영 증강되지 않았으며, T2 강조 영상에서는 모두 고신호강도로 나타났다. T1 강조 영상에서 낭종
의 일부가 고신호강도를 보인 것은 출혈 (1예)과 콜로이드 성분 (3예) 때문이었다. 종양 내의 고형
성분은 T1 강조 영상에서 등신호강도 (1예에서는 경미한 고신호강도 부분도 포함), T2 강조 영
상에서 등신호강도 혹은 경미한 고신호강도를 보였는데, 조영후의 T1 강조 영상에서는 모두 강한 조
영 증강 소견을 보였다. 증식성 림프절이 동반된 경우가 2예, 대망 및 복막과 양성 유착 반응을
보인 경우가 1예 있었다. 한 환자에서 동반되었던 갑상선 기능 항진증은 난소 갑상선종이 있던 좌
측 난소의 난소-난관 절제술 후에 호전되었다.

결론: 난소 갑상선종은 자기공명영상에서 다발성의 낭종과 고형 성분을 포함한 복합성 종괴의
양상을 보인다. T1 강조 영상에서 보이는 일부 낭종의 고신호강도는 출혈이나 갑상선 여포 조직
내의 점성 고단백 콜로이드에 기인하고, T1 및 T2 강조 영상에서 조영 증강이 잘 되는 등/고신호
강도의 고형 성분 역시 호산성 콜로이드를 함유한 갑상선 여포 조직과 관련이 있는 것으로 생각
된다.

좌장: 조영덕교수 (고신대), 김용선교수 (경북대)

VIII-1

**Improvement of Presaturation in MR Angiography
by Use of Multi-Band Saturation**

K. J. Jung,¹ J. K. Lee,¹ and J. Y. Chung,¹ and Y. Yi²

¹MRI Research Center, Medison Co., and ²Dept. of Elect. and Inform., Korea Univ.

Purpose: Presaturation is used to differentiate the artery from the vein by saturating out the blood signal flowing into the imaging slice. Since the flow velocity in artery is very high during systole, the presaturation band has to be thick enough to cover the travel distance of the inflowing blood during the repetition time of the pulse sequence. As the thickness of the presaturation band increases, the slice profile of the presaturation band gets worse, resulting in partial saturation of the blood in the imaging slice due to the overlap between the imaging slice and the presaturation band. If the gap between the imaging slice and the presaturation band is increased to avoid a partial overlap between them, some of the fresh blood in the gap could enter the imaging slice, resulting in incomplete separation between artery and vein.

Materials and Method: The presaturation of the thick band without deteriorating the slice profile can be achieved by dividing the presaturation band into multiple narrow bands during the presaturation time. Furthermore, the band thickness of the multiple bands are adjusted in such a ways to have a narrower thickness for the presaturation band adjacent to the imaging slice. In this way the slice profile of the presaturation band adjacent to the imaging slice can be confined to the region outside the imaging slice without the overlap. The RF flip angle for the presaturation bands is also optimized to have higher flip angles, since the presaturation takes place earlier than the imaging excitation.

Results and Conclusion: The slice profiles of the presaturation bands and the imaging slice were confirmed experimentally to have better separation between them compared to the signal presaturation. Also, the thickness and the RF flip angles of each presaturation band were optimized independently. Then, experimentally with multi-band presaturation, we were able to improve the separation of artery from vein without reducing the contrast of the blood signal. This was particularly true in regions with fast artery flow such as in the neck and abdomen. The same technique can be applied to the 3D TOF angiography.

**Reduction of Flow Artifacts in Time-of-Flight Angiography
by Use of Line Projection Reconstruction (LPR)**

K. J. Jung, J. Y. Chung, and J. K. Lee

MRI Research Center, Medison Co.,

Purpose: The flow velocity in arteries varies with the cardiac cycle. Thus fluctuating flow velocity varies the amplitude and phase of the NMR signal, which results in ghosting artifacts of arterial blood along the phase-encoding direction in conventional Fourier imaging. Velocity-compensated design of gradient pulses helps reduce ghost artifacts, but not all of the flow components can be compensated and the amplitude variation is not compensated at all. In TOF angiography, flow artifacts are often unnoticeable after post-processing, that is, the maximum intensity projection (MIP). In addition, the relatively small RF angle employed in TOF angiography helps reduce flow artifacts due to amplitude variation. Actually, at a larger RF flip angle, it is experimentally confirmed that better contrast can be achieved.

Materials and Method: In contrast to Fourier imaging, the LPR method is intrinsically more robust to the fluctuation of the NMR signal as successfully applied to the diffusion imaging before. (1) The LPR method is not sensitive to phase variation at all because it only uses the amplitude information of the NMR signal. The variation of the amplitude can result in streak artifacts in LPR while it can cause ghost artifacts in Fourier imaging. While the signals are clustered in the ghosts, they are distributed evenly in the streaks. Therefore, in the process of the MIP, while the ghost can be recognized as a vessel due to the clustered signal, the streak can be treated as the background due to the dispersed signals.

Results and Conclusion: The advantage of LPR applied to TOF angiography was experimentally demonstrated on the 1.0T Medison MRI system. The contrast of arteries was improved due to a larger RF flip angle, reduced flow artifacts and better background suppression.

Reference:

1. K. J. Jung and Z. H. Cho, Magn. Reson. Med. 19, 349-360, 1991.

Time of Flight 원리를 이용한 자기공명 혈관조영술의 구현

이윤¹, 류택현¹, 김시승¹, 안성혁¹, 이만우¹, 오창현¹, 안창범², 정관진³, 이흥규⁴

¹고려대학교 전자 및 정보공학부, ²광운대학교 전기공학과,

³쥬메디슨 MRI연구소, ⁴가톨릭의대 의공학교실

목적: 자기공명현상을 이용한 혈관조영술은 기존의 X-ray를 이용한 혈관조영술에 비해 인체에 해가 없고 선명도를 높이기 위해 조영제를 주사할 필요가 없다는 장점을 가지고 있다. Inflow effect를 이용한 Time Of Flight (TOF)기법은 phase 차이를 이용한 Phase Contrast (PC)기법에 비해 짧은 scan time과 혈류의 pattern에 의한 영향을 덜 받는 등의 장점을 가지고 있다. 3D TOF 기법은 2D의 기법에 비해 긴 scan time을 갖지만, 넓은 영역으로부터 신호를 얻기 때문에 높은 SNR과 spatial resolution을 증진시킬 수 있다. 하지만 3D TOF 자기공명 혈관조영술은 넓은 영역에 RF pulse가 가해지기 때문에 주변의 stationary tissue뿐만 아니라 혈류까지도 saturate 되어 selection 방향에서의 혈류 신호가 영향을 받는다. 또한 느린 혈류의 신호는 잘 얻지 못하는 문제가 있다.

방법: Pulse sequence는 3D FLASH (Fast Low Angle Shot)를 변형하여 사용하였다. 정맥으로부터의 신호를 억제하기 위해 selection 방향에서 imaging slab의 위해 pre-saturation pulse를 사용하였다. Saturation effect에 의해 혈류의 신호가 줄어드는 것을 방지하기 위해 MOTSA (Multiple Overlapping Thin Slab Acquisition)를 적용하였고, 각 slab의 RF pulse를 ramped RF pulse로 하였다. 또한 주변조직과의 대조도를 높이기 위해 MTC (Magnetization Transfer Contrast)기법을 사용하였다. Flow compensation은 selection과 frequency encoding방향에 적용하였다. 사용된 parameter는 TR/TE는 48/11msec, flip angle은 15~45 (ramped RF), slab의 두께는 48mm, slice thickness는 1.5mm, 한 slab당 얻는 slice의 개수는 22장으로 완성된 하나의 projection image set에는 2~3 slab의 영상을 사용하였다. Projection 방법은 MIP (maximum Intensity Projection) 기법을 사용하였다.

결과 및 토의: 앞의 방법을 이용하여 intracranial artery의 영상을 얻었다. 그러나 혈류의 신호가 비교적 큰 부분과 그렇지 않은 부분으로부터의 영상에서 혈관 영상의 차이가 있었으며, 이는 영상 재구성 기법상의 normalization의 차이에 기인한 것이다. 자원자에 따라 projection 영상에서 지방의 신호로 인해 coronal이나 sagittal방향의 projection 영상에서 혈관의 구분이 용이치 않은 점이 있었다. 이는 타원형의 ROI (Region Of Interest)를 사용하여 fat을 배제할 수 있었다. MOSTA 기법과 ramped RF pulse의 적용으로 넓은 slab size에 의해 혈류의 신호가 줄어드는 것은 어느 정도 방지하였다. 2D TOF에 비하여 long TR의 사용으로 인한 stationary tissue 신호의 증가를 방지하기 위해 optimal MTC parameter와 optimal flip angle을 찾는 것이 중요하다.

**Evaluation High Quality & Fast Image
in Maximum Intensity Projection of MRA Image**

이윤¹, 김시승¹, 류택현¹, 안성혁¹, 변민수¹, 오창현¹, 안창범², 정관진³, 이홍규⁴

¹고려대학교 전자 및 정보공학부, ²광운대학교 전기공학과,
³(주)메디슨 MRI연구소, ⁴가톨릭의대 의공학교실

목적: MIP (Maximum Intensity Projection) 기법은 각각의 단면영상을 모아서 3D volume의 데이터로 가정하고 해당 view point로 Projection line이 지날 때 가장 큰 값의 점을 찾아서 결과 단면영상의 좌표 값으로 취하고자 하는 것이다. 방법순으로는 projection을 하고자 하는 view point를 결정하고 이미지 데이터가 3차원 volume X, Y, Z축상의 좌표 값으로 취한 다음, 방향으로 표현되는 Projection line을 설정하며 해당 Projection line이 지나가는 점의 값을 비교하여 가장 Maximum intensity value의 값을 취하면 된다. 그러나 3차원 volume의 데이터 각각의 voxels size가 결과 영상면의 1 pixel size을 넘길 경우 이에 따라 나타나는 현상이 jagged staircase 모양을 보일 것이고 이를 해결하기 위하여 필요한 것이 interpolation 기법이다. 실제로 결과 영상을 User로 하여금 High Quality 이미지로 느끼게 하기 위해서는 interpolation image processing은 Angio graphic에서 필수적으로 쓰이는 방법이다. Interpolation 기법 중에 가장 쉽게 쓰이는 것으로 인접한 Pixel의 값을 참조하여 원하고자 하는 pixel의 위치를 보정하는 first order linear interpolation 기법을 들 수 있다. 그러나 slices thickness or slices 한 Point가 결과 영상의 1 pixel size의 여러 배가 될 경우 low quality의 영상이 되기 때문에 또 다른 방법으로 알려진 것이 High order interpolation으로 Cubic B-spline이 이용된다. 또한 원하는 3D volumes영역을 설정하기 위하여 ROI (Region Of Interest) Line을 취하는데 ROI의 적용은 Processing에 필요한 이미지 데이터의 영역을 줄임으로 Processing 속도 향상과 원하는 영역의 데이터만을 취함으로 MIP상에 결과이미지의 Fat에 의한 Projection 영상의 error를 줄임으로 좀더 희미한 vessel의 영역까지도 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

대상 및 방법: 모든 MRA Image 데이터는 TOF pulse sequence를 이용하여 나온 head Image (1.0T Medison)를 가지고 관찰하였다. 각각의 해당 filter와 MIP program은 Visual C++을 이용하여 구현하며 Bilinear, Bicubic interpolation 해당 이미지의 jagged staircase 현상을 관찰하였다.

결과 및 결론: 가장 큰 목적은 High Quality의 image 데이터를 얻는데 있다. 일상적으로 사용되는 MIP routine은 bilinear interpolation이 있는데 이 방법을 사용함으로 얻을 수 있는 데이터는 원래의 Raw 데이터와 비교했을 때 어느 정도 이미지 Quality의 향상을 가져오나 극단적으로 혈관이 휘는 부분에 있어서 cover할 수 없는 부분에 있어 jagged stair case image 현상으로 나타나는 것을 볼 수 있고 이를 극복하기 위해서 사용한 High order Bicubic interpolation은 이러한 현상을 없애주는데 크게 기여하는 것으로 관찰된다. 또한 ROI line에 의한 fat 부분의 제거 효과는 세밀한 혈관의 관찰을 가능하게 하며 3D volumes 데이터를 원하고는 방향으로 투영하는 기법으로 임상에서 효과적인 이미지의 관찰을 가능하게 만든다.

Scientific Session IX (Imaging processing and Display)

좌장: 강형근교수 (전남대), 이정희박사 (아산생명연구소)

IX-1

A New Automated Method to Detect Skull Contours in MR Head Images

D-S Yoo^{1,2}, L Lemieux³, Y Chang^{1,2}, J-M Lee^{1,2}, D-S Kang^{1,2} and P Tofts³

¹Medical Imaging Center & ²Dept of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Kyungpook National University, Taegu, Korea, and ³Institute of Neurology, University College London, London, UK. 214

Purpose: To detect skull contours, a new fully automatic computer algorithm has been developed. The method has been adapted from the previous work on skull segmentation.

Materials and Method: The method combines histogram-based and shape-based automatic thresholding methods with sequences of connected component analysis and morphological operations into an automatic procedure for the detection of brain-CSF (internal) and scalp-muscle (external) contours. This algorithm has been integrated into a window-based image analysis package (eXKull). The slice by slice algorithm is: (1) A gradient image is created using a Sobel operator. (2) A binary thresholded by an automatic thresholding method based on variance optimization to eliminate the brain in the image. (3) A morphological closing process is applied to fill the gaps between edges. (4) A binary image without brain is generated by connected component analysis. (5) The resulting binary image is masked to the gradient edge image. (6) An binary image thresholded by radial profile thresholding method to separate the superior sagittal sinus. (7) The bottom half of the image is cut off. (8) A brainless grey level image of scalp, muscle and bone marrow is produced by masking the binary image onto the original image as an input image to detect the scalp-muscle (external skull) contour. (9) The masked image is thresholded by an automatic thresholding method based on prior knowledge shape analysis. (10) Morphological opening is applied to separate bone marrow. (11) Trimming process is applied to separate a component for external skull contour.

Results: The algorithm detected skull contours correctly. The method was applied to different slices (anterior, middle and posterior) of a volume data set. Based on visual inspection of the results, the method was successful in 95% of all applied slices. The new method was improved to detect skull contours more precisely than the previous work, eg, overcoming the strong edges near the superior sagittal sinus.

Conclusion: The algorithm detects skull contours in MR head images automatically. The validation of the results is undergoing.

Validation of a Automated Method for Skull Contour Detection in MRI

D-S Yoo^{1,2}, L Lemieux³, Y Chang^{1,2}, Y-J Kim^{1,2}, D-S Kang^{1,2} and P Tofts³

¹Medical Imaging Center & ²Dept of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Kyungpook National University, Taegu, Korea, and

³Institute of Neurology, University College London, London, UK. 214

Purpose: The aim of this work is to validate an automate method for skull contour detection in MR head images.

Materials and Method: Proton density-weighted coronal images were acquired using a fast PD-weighted spin echo sequence (RARE) (TR/TE_{eff}=4000/22-26, 60-102 slices, slice width = 2.0-3.0mm, slice gap=0.0mm, matrix = 256x256, FOV=24x24cm, NEX=1-2) using a GE Signa 1.5 T. The algorithm combines histogram-based and shape-based automatic thresholding methods with sequences of connected component analysis and morphological operations into an automatic procedure for the detection of brain-CSF (as an internal skull) and scalp-muscle (as an external skull) contours, using 2D and 3D methods. The algorithm (eXKull) was validated in 3 slices (anterior, middle, posterior) from 6 data sets. Validation: In this work, eXKull is validated by comparing an in-plane skull thickness along the radial profile from the centre of mass of the brain (CMB) measured by eXKull with those done manually.

Results: For the anterior slices, the averages of the mean and maximum differences (with standard deviation) between the in-plane skull thickness measurements by eXKull and those by MISTM were 0.7 ± 0.1 mm and 2.3 ± 0.4 mm. For the middle slices, the averages of the mean and maximum differences (with standard deviation) were 0.7 ± 0.1 mm and 2.7 ± 1.0 mm. For the posterior slice, the averages of the mean and maximum differences (with standard deviation) for the six subjects were 1.3 ± 0.5 mm and 4.4 ± 1.0 mm. A success rate of the algorithm can be calculated by counting the number of measurements of which values are below a certain limit. For the anterior slices, the mean success rates (with standard deviation) for the six subjects were: $R_a[0.5] = 47.3 \pm 10.5\%$, $R_a[1.0] = 76.6 \pm 9.7\%$ and $R_a[2.0] = 94.6 \pm 4.7\%$. For the middle slices, the mean success rates (with standard deviation) are as follows: $R_m[0.5]=50.0 \pm 8.2\%$, $R_m[1.0]=78.4 \pm 7.0\%$ and $R_m[2.0]=94.6 \pm 4.1\%$. For the posterior slices, the mean success rates (with standard deviation) are: $R_p[0.5]=28.8 \pm 11.2\%$, $R_p[1.0]=47.3 \pm 17.7\%$ and $R_p[2.0]=74.8 \pm 17.4\%$.

Conclusion: An automated method for skull contour detection has been validated.

3T 자기공명영상의 질향상을 위한 Phase-difference Shimming 보정방법에 대한 연구

백현만,^{1,3} 이강현,^{3,4} 최보영,^{1,3} 서태석,^{1,3} 이형구,^{1,3} 김성은,^{1,3,4} 신경섭,^{1,2,3} 이홍규,^{1,3,4}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실

³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: 3T 자기공명영상의 질향상을 위하여 외부 주자장의 균질성을 향상시키고자 위상차이를 이용한 자장보정균질법을 적용하여 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 대상은 3T MRI 장비와 ¹H 자기공명영상용 팬텀 및 정상인으로 하였다. 외부 주자장의 불균질성을 측정하고자 gradient recalled echo 펄스시퀀스를 자체제작하였다. 데이터분석을 위하여 polynomial least-squares fit를 적용하여 linear x, y, z shimming 보정계수를 산출하였다. shimming gradient hardware를 사용하여 보정계수를 조절하면서 영상을 연속적으로 획득하였다.

결과: 산출한 linear x, y, z shimming 보정계수를 사용하여 manual shimming을 적용한 결과, 팬텀 및 인체 두뇌영상의 질은 보정계수를 적용하기 전보다 상당히 향상되었다.

결론: 본 연구결과 3T 자기공명영상은 위상차 field map을 이용한 shimming 방법 및 gradient recalled echo 펄스시퀀스에 의해서 우수하고 대조도가 높은 양질의 영상을 제공하였다. 그러나 선형 shimming gradients 방법을 사용하는 경우 인체 뇌에서 국소적 susceptibility를 갖는 부위의 영상질은 전반적으로 향상되지 않았다.

*** 감사의 글 (Acknowledgement):**

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

3T MRI의 대조도 변화에 대한 연구

박정일,^{1,2} 김성은,^{1,2,3} 김의녕,⁴ 최보영,^{1,3} 신경섭,^{1,3,4} 이흥규^{1,2,3}

¹가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ²한메MRI연구소
가톨릭의대 ³의공학교실, ⁴방사선과학교실

목적: 본 연구의 목적은 GRE (Gradient Recalled Echo)를 변형한 GRASS, SPGR 펄스시퀀스를 이용하여, TR, TE, Flip Angle 등의 영상파라미터값의 변화와 뇌영상의 대조도 특성을 3T MRI에서 고찰하고 임상응용에 따라 최적변수를 도출함에 있다.

대상 및 방법: 각 펄스시퀀스에 동일한 조건을 가지고 실험을 하였다. 즉 영상의 대조도에 영향을 줄 수 있는 TR (Repetition Time), TE (Echo Time), Flip Angle (FA)의 세가지 영상파라미터를 조절하여 실험을 하였다. TR은 30ms, 90ms, 200ms의 세가지 조건으로 하였으며, TE는 9ms로 고정하였고, Flip Angle은 10°, 30°, 90° 의 세가지 조건을 주었다. 따라서 모두 9가지의 영상파라미터로 실험하였다.

결과: RF Spoiling을 이용한 SPGR 펄스시퀀스로 Heavily-T1 강조영상 효과를 얻을수 있었고, Phase Rewinding을 이용한 GRASS 펄스시퀀스를 이용하여 T1, T2*, PD 등의 혼합 강조영상을 얻을 수 있었다. 실험결과 3T에서 SPGR 펄스시퀀스는 TR 30~90 ms, Flip Angle 30~90 정도가 T1 강조영상에 적합하며, GRASS 펄스시퀀스는 TR은 90ms 이상, Flip Angle 30° 일 때 T2 강조영상에 적합함을 알 수 있었다.

결론: 1.5T 이하에서 널리 쓰이는 SPGR과 GRASS 펄스시퀀스로 3.0T에서도 다양한 영상의 대조도를 얻을 수 있었다. 통상적으로 T1강조나 T2강조 영상에 사용되는 SE 영상기법에 비하여 상대적으로 짧은 촬영시간 동안 임상적 판단에 유용한 다양한 영상의 대조도를 얻을 수 있음이 확인되었고, 3T에서 최적의 대조도를 위한 영상변수값의 범위를 구할 수 있었다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

Scientific Session X (Contrasts Agents, Experiments)

좌장: 임태환교수 (울산대), 김종기교수 (대구효가대)

X-1

Dynamic MRI of Abscess and VX2 carcinoma in Rabbits:
Comparison of 24 gadolinium-DOTA-dendrimer and gadopentetate dimeglumine

문우경, 장기현, 한만청

서울의대 방사선과학교실

Purpose: To compare the enhancement patterns over time of abscess and VX2 carcinoma in rabbits using a new blood-pool contrast agent, 24 gadoliniumtetraazacyclo-dodecanetetraacetic acid (DOTA)-dendrimer and gadopentetate dimeglumine.

Materials and Methods: Fourteen rabbits with abscess and VX2 carcinoma were studied on a 1.5-T MR imager. To perform an intraindividual comparison study, both abscess and VX2 carcinoma were experimentally induced in bilateral thighs of the same animal and every animal was studied twice with a 24-hour interval, once after intravenous injection of 0.05 mmol/kg 24 gadolinium-DOTA-dendrimer and once after 0.1 mmol/kg gadopentetate dimeglumine. Dynamic MR imaging was obtained by fast spin-echo sequence and signal intensities of abscess and VX2 carcinoma was measured before, and 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes after contrast agents administration. The enhancement ratios (postcontrast signal intensities/precontrast signal intensities) of abscess and VX2 carcinoma after injection of both agents were assessed for each time point and statistical analysis was performed by the Wilcoxon test. After MR imaging, sacrificed animals were sectioned along the MR imaging plane and vessel density was determined by counting 10 fields of view (FOV) at a magnification of x 200.

Results: For 24 gadolinium-DOTA-dendrimer, delayed peak enhancement of abscess (after 15 minutes) and VX2 carcinoma (after 10 minutes) was found and enhancement ratios of VX2 carcinoma were significantly higher than those of abscess throughout the time curves ($p < 0.01$). For gadopentetate dimeglumine, rapid peak enhancement of abscess (after 5 minutes) and VX2 carcinoma (after 3 minutes) was found but enhancement ratios of VX2 carcinoma were higher than those of abscess only within 4 minutes after the injection due to rapid enhancement ratios decrease of VX2 carcinomas. The count of vessels revealed 8.6 ± 4.9 vessels/FOV for abscess and 23.2 ± 9.1 vessels/FOV for VX2 carcinoma.

Conclusion: A new blood-pool contrast agent, 24 gadolinium-DOTA-dendrimer may help to better differentiate between abscess and necrotic tumor than gadopentetate dimeglumine.

The New Liver Specific MR Agents Gd-EOB-DTPA and MnDPDP Enhancement Patterns and Ratios

손경식, 장용민, 박현정, 염현규, 유돈식, 서경진, 김용주, 강덕식

경북의대 방사선과학교실

Purpose: The new hepatobiliary MR contrast agents, Gd-EOB-DTPA and MnDPDP, have been known to be uptaken by the hepatocytes. The liver enhancement patterns of these intracellular agents were studied in rabbits using tissue relaxation times and time-signal density curves. The results were also compared to the enhancement pattern of the extracellular agent Gd-DTPA.

Materials and Method: Gd-EOB-DTPA (Schering, AG) was supplied as 0.25 mol/L disodium salt solution. MnDPDP (Nycomed) was supplied as 0.01 mol/L trisodium salt solution. MRI enhancement patterns were determined in 12 rabbits(average weight: 5 kg) using both Gd-EOB-DTPA(0.1 - 0.2 mmol/kg) and MnDPDP (0.01 - 0.02 mmol/kg). For comparison, Gd-DTPA (Magnevist, Schering AG) was used as a control. The intravenous bolus injection was performed via ear vein for Gd-EOB-DTPA and Gd-DTPA whereas MnDPDP was injected by slow infusion. Signal enhancement over time was measured starting from just after injection to over 60 min. on 1.5T GE Signa whole body scanner. MPSPGR sequence was employed for time-signal density curves and conventional SE sequence for in vivo liver relaxation time measurement.

Results: In normal rabbits, 0.1 to 0.2 mmol/kg Gd-EOB-DTPA induced a significantly greater (approximately 200%) and prolonged liver enhancement (100% at 30 minutes). On the other hand, single dose (0.01 mmol/kg) of MnDPDP shows less (approximately 80%) but more prolonged liver enhancement (80% at 50 minutes). This prolonged enhancement of both agents is due to the uptake of the agents by hepatocytes. The measured T1 relaxation times are 57 msec (Gd-EOB-DTPA) and msec (MnDPDP) respectively. For Gd-DTPA, the liver enhancement and the duration of the enhancement are much less than the liver specific agents. Our results also suggest that both Gd-EOB-DTPA and MnDPDP are bound to proteins to give rise to higher relaxation enhancement.

Conclusion: The liver specific MR agents, Gd-EOB-DTPA and MnDPDP, show persistent and greater liver enhancement with the uptake by the hepatocyte. This prolonged and significant liver enhancement provide enough imaging window(more than 30 minutes) for complete liver study and may be diagnostically useful such as to identify focal mass lesions. However, the specific clinical applications of both agents need to be studied in more details.

**T1 강조영상 MRI에서 고신호강도를 나타내는 여러가지 물질들의 감별:
Phantom을 이용한 TE의 설정**

김용선, 강훈, 장용민, 유돈식, 강덕식

경북의대, 방사선과학교실

목적: 스핀에코 T1 강조영상에서 고신호 강도를 나타내는 병변의 조직 성분을 구별할 수 있는 TE의 설정이 가능한가를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 스핀에코 T1 강조영상에서 고신호강도를 나타내고 T2 강조영상에서 다양한 신호 강도를 나타내는 병변으로 알려진 혈종, 망간, 마그네슘, 구리 등의 상자성물질이 침착된 병소, 고농도 단백질, 칼슘이 침착된 병소등을 대상으로 하고 지방은 chemical shift artifact 등으로 구별할 수 있으므로 제외하였다. 각 물질을 대표하는 methemoglobin, Manganese-DPDP, Bovine serum albumin, Hydroxyl apatite를 스핀에코 T1 강조영상에서 고신호 강도를 나타내는 농도로 설정하고 (Sodium nitrite로 처리한 동맥혈, 1 micromole Mn-DPDP, 15% Bovine serum albumin용액, 0.1gm/ml Hydroxyl apatite) 직경 8 mm의 플라스틱 시험관에 주입하여 phantom을 제작하였다. 이 때 0.5% Agar 용액에 섞어 물질의 침전을 방지하였다. 사용한 MR 기기는 1.5T GE Signa였고 일반적인 고속스핀에코 T2 강조영상 (TR 3000, TE 96, ETL 8) 및 스핀에코 T1 강조영상 (TR 500, TE 25)을 적용하여 고신호 강도가 나타남을 확인하였다. Relaxometry 기법을 이용하여 TE 25로 고정하고 TR을 변화시켜 각 T1 이완시간을 측정하였으며 TR을 3000으로 고정하고 TE를 변화시켜 CPMG법을 사용하여 T2 이완시간을 측정하였다.

결과: 각 물질의 T1 및 T2 이완시간은 MetHb이 1156 (SD 96), 42.4 (SD 3.0), Mn-DPDP가 437 (SD 11), 144 (SD 44), Bovine serum albumin이 711(SD 17), 106(SD 4.5), 그리고 Hydroxyl apatite가 1845 (SD 82), 66 (SD 5.4)였다. 이에 따라 TR 500, TE 25일 때 모든 phantom의 물질이 고신호강도를 나타내었고 TE를 MetHb과 Hydroxyl apatite 사이 인 50으로 하였을 때 Hydroxyl apatite의 고신호강도는 남아있는 데 비하여 MetHb의 신호가 감소하였다. 기타 T2 이완시간을 설정함으로써 T1 강조영상에서 각 phantom의 고신호강도를 순차적으로 감소시킬 수 있었다.

결론: 일반적으로 사용되는 T1 및 T2 강조영상에서 고신호강도를 나타내는 각종 물질은 T1 및 T2 이완시간이 각각 다르므로 TR 및 TE를 조절하여 비교적 간단하게 스핀에코영상으로도 구별할 수 있었으며 실제 감별진단에도 응용할 수 있을 것으로 예상된다.

모형실험에 의한 FMPSPGR의 최적화 연구

김승형, 서진석, 조재민

연세의대 방사선과학교실

목적: 모형실험을 통해 FMPSPGR (fast multiplanar spoiled gradient-recoiled) 펄스열을 최적화하는 방법을 알아본다.

대상 및 방법: 모형은 한천과 지방을 다양한 비율로 섞은 기존의 모형 (대한방사선학회지 1994; 30(6): 1151 ~ 1155)과 증류수, 지방, 그리고 0.2%, 0.6%, 1.0% magnevist 등으로 시험관에 담아 1.5T 자기공명장치에서 두부코일을 사용하여, TR을 100ms와 150ms의 두 가지로 TE는 4.2ms로 조건을 주어 FMPSPGR 영상을 얻었고 모형의 신호강도와 배경의 잡음강도를 같은 크기의 관심야를 그려 측정 한 후, 이로부터 SNR을 구하여 각 모형에서 숙임각의 변화에 따른 SNR의 변화 추세를 알아보고, 이를 지방억제를 하지 않았을 때 어떤 차이가 있는지 비교하였다. 마지막으로 절편두께 (mm)-절편간격(mm)을 5-5, 6-4, 7-3, 8-2, 9-1, 10-0, 10-1, 10-2, 10-3, 10-4, 10-5 등으로 변화시키면서 각 모형의 FMPSPGR 영상들을 얻고 이에 따른 SNR의 변화추세를 알아보았다.

결과: 증류수는 20도의 숙임각에서, 지방과 magnevist 모형은 90도의 숙임각에서 SNR이 최고였으며 모형의 지방성분이 0%에서 40%로 증가함에 따라 SNR이 최고가 되는 숙임각은 20도에서 60도로 증가하였다. TR이 길어질 때 영상의 전반적인 SNR의 증가를 보였고, SNR이 최고가 되는 숙임각도 증가하였다. 지방억제를 하면 지방을 함유한 모형에서는 전반적인 SNR의 감소를 보였는데 지방을 많이 함유할수록 현저하였으며, 증류수에서는 SNR의 증가를 보였는데 숙임각이 커질수록 현저하였다. 지방억제 효과는 숙임각이 커지면서 증가하다가 90도 부근에서 급격히 감소하였고, TR이 길수록 지방억제 효과는 감소하였다. 절편두께를 크게 할수록 SNR이 증가하였는데 같은 절편두께에서는 절편간격의 증가에 따른 SNR의 변화는 보이지 않았다.

결론: FMPSPGR 영상에서 SNR을 증가시키기 위해서는 절편두께를 크게 하고 대상조직의 성분을 고려하여 숙임각을 결정해야 하며 TR이 길수록 좋은데, TR이 길어질수록 SNR이 최고가 되는 숙임각도 역시 커지므로 숙임각은 조직의 성분과 TR을 함께 고려하여 결정해야 한다.

지방억제 효과는 숙임각 증가에 따라 커지다가 90도 부근에서 급격히 감소하며 TR이 길수록 감소한다.

Scientific Session XI (MR Sequences)

좌장: 은총기교수 (인제대), 강해진교수 (아주대)

XI-1

Signal-Signal 상관함수로 기술된 Spin Echo, Fast Spin Echo, Gradient Echo 펄스시퀀스들의 특징 연구

백현만,^{1,3} 박정일,^{3,4} 최보영,^{1,3} 김성은,^{1,3,4} 이홍규,^{1,3,4} 이형구,^{1,3} 서태석,^{1,3} 신경섭,^{1,2,3}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실

³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: ¹H 자기공명영상용 팬텀을 이용하여 Signal-Signal 상관함수로 기술된 Spin Echo (SE), Fast Spin Echo (FSE), Gradient Echo (GE) 펄스시퀀스들의 특징을 비교조사하고자 하였다.

대상 및 방법: 3T MRI 장비와 ¹H 자기공명영상용 팬텀을 사용하였다. 자기공명영상을 얻기 위해 일반적으로 사용되는 SE, FSE, GRE 펄스시퀀스들의 특징을 조사하기 위해 이 통계적인 기술방법인 Signal-Signal 상관함수를 적용하였다. 각 펄스시퀀스들의 scaling 모양을 조사하기 위하여 matrix 크기를 256x256, 128x128 및 64x64로 변화하여 선택하였다.

결과: 관심부위의 영역에서 SE 펄스시퀀스는 FSE나 GE에 비교하여 signal roughness가 상당히 큰 값을 보였고, signal fluctuation도 전체적인 scaling 형태에서 높게 측정되었다. 각 펄스시퀀스의 lateral correlation length는 거의 동일한 값을 나타냈다.

결론: 본 연구결과는 각 펄스시퀀스의 random한 signal 분포의 특징을 통계적 방법인 Signal-Signal 상관함수로 기술되는 근거를 제시하였다. 또한 이 통계학적 방법은 자장의 불균질성으로 인한 signal의 변화추세를 분석하는 측정법을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

Optimized Segmentation of Phase Encoding in Fast Spin Echo

K. J. Jung,¹ J. Y. Chung,¹ S. H. Park,¹ and C. B. Ahn²

¹MRI Research Center, Medison Co. and ²Dept. of EE, Kwangwoon Univ.

Purpose: Fast spin echo (FSE) imaging is the most useful sequence for clinical diagnosis due to T2 imaging in a short scan time. However, to achieve the time savings while maintaining contrast, phase encoding is done not linearly but in a segmented fashion. Each segment is assigned to a specific echo number in the multiple spin echoes of the FSE sequence. Consequently, the signal does not vary smoothly at the segment boundaries, which may result in Gibbs artifacts after Fourier reconstruction. We seek an optimum arrangement of the segmentation to minimize the Gibbs artifacts while maintaining the desired contrast and convenience in pulse programming.

Materials and Method: For convenience of Fourier reconstruction, we impose a rule to have an even number of segments. The first scheme was to arrange the segments in a symmetrical fashion around the DC point by putting half of each segment in the positive and negative encoding area. This scheme is believed to be ideal with respect to contrast. Another scheme was to give a smooth sinusoidal variation of the amplitude along the echo numbers, which is supposed to render blurring rather than Gibbs artifacts. The third scheme was to arrange the segments linearly from the top to the bottom of the phase encoding steps along the echo number. To fill the even numbered phase encoding steps, the first and the last segments were filled with half of one edge segment, respectively.

Results and Conclusion: We compared the three schemes by a computer simulation and an actual experiment with a resolution phantom and volunteers. In terms of the Gibbs artifacts, the symmetrical arrangement was the worst, while the other two schemes were almost the same. However, the third scheme was a little better and also is much more convenient for pulse programming. The simulation and experimental results will be demonstrated for these three schemes.

3T MRI의 초고해상도 영상

박정일,^{1,2} 김성은,^{1,2,3} 김의녕,⁴ 최보영,^{1,3} 신경섭,^{1,3,4} 이흥규^{1,2,3}

¹가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ²한메MRI연구소
가톨릭의대 ³의공학교실, ⁴방사선과학교실

목적: 본 연구의 목적은 3T MRI를 이용하여 1024x1024의 초고해상도 영상화기법의 개발을 통해 임상적 적용에 대한 가능성과 뇌와 골격영상에서의 기본 프로토콜을 제안하고자 한다.

대상 및 방법: 고해상도 영상에 필요한 펄스시퀀스를 개발하여, 뇌와 무릎, 발목 등의 골격부위의 영상에 적용하였다. 고해상도 영상화를 위하여 선택단면의 두께는 2~3mm로 제한하였다. Spin-Echo와 Gradient-Echo의 두가지 펄스시퀀스를 통하여 T1과 T2* 강조영상에서의 고해상도 영상촬영을 하였다. 객관적인 성능검증을 위해 기존의 1.5T MRI에서 촬영한 동일한 부위의 영상을 신호대잡음비, 해상력, 인체의 해부학적 세부구조 판별력 등의 항목으로 비교검토하였다.

결과: 제안된 방법으로 Spin-echo와 Gradient-echo 펄스시퀀스를 개발하였으며, 이를 이용하여 고해상도의 뇌, 무릎, 발목영상을 얻을 수 있었다. 신체부위중 고해상도 영상이 필요한 부위를 선택하여 실험하였으며, 이를 통해 성능검증과 임상적 유용성을 검토하였다. 특별히 무릎 영상의 경우 Meniscus와 Bone의 상세한 구조가 선명하게 산출되었다.

결론: 고자장 MRI가 갖는 장점인 신호대잡음비의 증가로 T1과 T2* 강조영상에서의 1024x1024의 초고해상도 영상을 얻을 수 있었다. 기존의 1T나 1.5T 시스템에서의 고해상도 영상과 비교하였을 때, 높은 신호대잡음비를 유지하면서 고해상도를 갖는 영상을 얻을 수 있어 임상적용시 적절한 촬영시간내에 정밀진단이 가능할 것으로 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

Variable Flip Angle을 사용한 T1-weighted Turbo Flash 영상시퀀스의 최적화

최환준¹, 양운정¹, 이덕래¹, 류연철¹, 현정호¹, 김사라¹, 안창범², 정관진³, 오창현¹

고려대학교 자연과학대 전자및정보공학부¹, 광운대학교 전기공학과², (주)메디슨 MRI연구소³

목적: 본 논문의 목적은 3D Fast Gradient Echo기법(Turbo FLASH)을 구현하고 최적의 T1-weighted 영상을 얻는데 있다.

대상 및 방법: Turbo FLASH sequence는 Gradient Echo sequence에서 TR과 TE를 짧게 하여 영상을 얻는 방법을 말한다. 그리고 Flip angle 역시 작은 값을 사용한다. 이 기법에서는 TR, TE, flip angle이 모두 작아 Spin Density가 강조된 영상이 얻어진다. 이를 보완하기 위해 pulse sequence 직전에 Preparation sequence를 가하여 T1 또는 T2 contrast를 강조하는 기법을 사용한다. 이러한 기법에는 IR, DEFT, CHESS등 여러 가지 기법이 있는데 여기서는 그 중 IR을 이용한 T1 contrast 강조를 위한 최적의 조건을 찾아보았다. 개발된 pulse sequence는 다음과 같다. 처음에 non-selective 180° RF pulse를 가하고, 그 후에 원하는 상태에서 acquisition을 시작하기 위해 delay(TI)를 주었다. delay 이 후에 slice방향 encoding을 바꾸며 128번의 짧은 TE의 영상 acquisition 이 있고, 마지막으로 recovery를 위한 delay (TD)가 있다. 3D acquisition을 위해 non-selective RF pulse를 사용하여 volume excitation을 하였고, phase encoding 방향과 slice encoding 방향에 각각 encoding gradient를 사용하였다. Acquisition sequence는 TR/TE=10/4ms이고, Flip angle은 Variable Flip angle기법을 사용하였다. Slice encoding order를 각각 Linear order와 Centric order를 구현, 비교하여 보았고, 각 strategy에 대해 TI, TD를 조정하여 보았다. 또한 Variable Flip angle과 TI, TD를 조정한 simulation 실험을 하여 실제 결과와 비교하여 보았다.

결과: Flip angle은 Slice encoding 방향으로 Hanning function과 Ramp 모양에서 여러 가지 변화를 주어가며 simulation 과 실험을 하였다. 그 결과, flip angle이 상승했다가 다시 감소하는 것 (10° ~ 30° ~ 10°) 보다는 점점 상승해 가는 것 (10° ~ 30°) 이 나왔다. 실제 영상에서 SNR 과 contrast 를 확인한 결과 simulation 결과와 동일한 결과를 얻었다. Centric order보다는 Linear slice encoding order를 사용한 이미지가 contrast가 약간 낮고, SNR은 Centric slice order를 사용한 이미지가 약간 나왔다.

결론: Simulation및 실험에서 얻은 parameter를 이용하여 최적의 T1-weighted Turbo FLASH image 를 얻을 수 있었다.

The measurement of T1 and T2 values of human brain at the 3T MRI system

김성은,^{1,3,4} 이흥규,^{1,3,4} 박정일,^{3,4} 김의녕,² 최보영,^{1,3} 서태석,^{1,3} 신경섭,^{1,2,3}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실

³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: 고자장 3T MRI에서 인체두부 각 부위의 T1 및 T2값을 측정하여 향후 병변별로 영상 대조도가 최적화된 영상파라미터에 응용하고자 한다.

대상 및 방법: 준비된 시료와 팬텀으로 1.5T 및 3T의 T1 및 T2 값을 구하여 변화범위와 경향을 측정하였다. 임상적용을 위하여 자원자의 인체두부 영상의 gray matter, white matter, CSF 등 중요한 조직들을 중심으로 T1 및 T2값을 측정하였다. 측정방법은 다단계 다지점 측정방식을 이용해서 측정의 정확도를 향상시키고자 하였다. T1 및 T2 값을 측정하기 위해 각각 STIR 및 SE 펄스시퀀스를 이용하였다. T1 값은 TR=5sec로 고정시키고, T1 값을 변화시켰으며 T2 값은 TR은 고정시키고 TE를 변화시켰다. T1 및 TE값의 변화와 그에 따른 뇌조직 각 부위의 신호강도 변화의 관계를 Sigma Plot을 이용한 curve fitting으로 T1 및 T2값을 구하였다.

결과: T1 및 T2 값은 자기장의 세기에 따라 함수관계를 유지하며 변화하였다. 특히 3T에서 T1 및 T2 값은 1.5T에서 보다 큰 값으로 측정되었다. 자장의 세기가 클수록 세차주파수 역시 증가하며, 따라서 자기이완시간은 길게 소요되므로 실제측정치는 이론적으로 일치하였다.

결론: 본 연구결과에 의하여 고자장 3T MRI에서 인체두부 각 부위의 T1 및 T2값을 측정하였으며, 이 값들은 향후 병변별로 영상 대조도가 최적화된 영상파라미터에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

3T MRI용 SAR 감시장치의 설계

이강현,^{1,2} 김용식,^{1,2} 신경섭^{2,3,4}, 이홍규^{1,2,3}¹한메MRI연구소, ²가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실,
가톨릭의대 ³의공학교실, ⁴방사선과학교실

목적: 인체를 대상으로 하는 의료기기는 필수적으로 안전규격을 만족시키는 설계가 필요하다. MRI 장비도 예외없이 환자의 상태를 감시하고 위험상태에 빠지지 않도록 제어할 수 있는 장치가 필요하다. 특히 MRI 장비는 고출력의 RF에너지를 인체에 가하게 되므로 인체영향에 대한 연구와 안전감시장치는 필수적이고, 고자장으로 갈수록 그 영향은 더욱 중요해진다. 따라서, 본 연구에서는 그 RF 출력의 인체흡수율 (Specific Absorption Ratio: SAR)을 자동적으로 측정하여 제어할 수 있는 장치개발을 목적으로 한다.

대상 및 방법: RF증폭기의 출력부분에 Directional Coupler를 설치하여 순전력 (Forward Power)과 역전력 (Reflect Power)의 값을 얻을 수 있다. 그 값을 입력으로 하여 SAR값을 계산하고 제한값 (명시된 국제규격)과 비교하는 연산부와 제한값을 초과하여 환자 안전이 문제될 때 촬영을 즉시 멈추게 하고 운용자에게 알리는 제어부 및 관련 주변장치를 하나의 Controller Board로 구현하였다.

결과: 메디슨 1T MRI (MAGNUM)의 Spectrometer에 호환되도록 설계하여 현재 개발 중인 3T MRI에 적용할 수 있다. 또한 주변장치 접속부 (Interface Part)를 일부 변경하여 일반 MRI에도 적용할 수 있게 하였다

결론: 안전감시장치 (Safety Monitoring System)의 일부인 SAR감시장치의 설계내용을 요약하였다. 향후 경사자계 기울기 검출 및 제어, RF코일 조절 및 증폭기 조절장치의 원격조종 자동화 및 환자의 생체신호분석장치 등 포괄적인 완전한 안전진단시스템을 구성할 예정이다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

좌장: 이수열교수 (건국대), 문치웅박사 (삼성종합기술원)

XII-1

MR-영상유도 수술시스템 적용을 위한 영상왜곡 평가

김성현,^{1,3} 서태석,^{1,3} 최보영,^{1,3} 이형구,^{1,3} 이홍규,^{1,3,4} 신경섭^{1,2,3}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실

³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: MR-영상유도 수술시스템 적용을 위해 MR영상의 왜곡평가 및 정위적 시스템에 의한 좌표 변환의 정확도를 분석하고자 하였다.

대상 및 방법: 본 연구의 목적에 맞도록 격자팬텀과 QA팬텀을 제작하였으며, Hitchcock 정위시스템을 수정하여 표준 head coil에 맞는 MRI용 정위시스템을 개발하였다. 본 연구는 Siemens CT와 Siemens 및 GE 1.5T, CMC-Medison 3T MRI 장비에서 수행되었다. 자체개발한 정위프레임과 CT/MRI 위치측정보조기구를 3차원 공간상에 9개의 가상병변을 가진 QA팬텀에 고정하였다. CT/MRI 영상기기를 통해 얻은 팬텀영상에 나타난 가상병변의 위치를 3차원 정위좌표로 전환할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며, 알고리즘에 의해 파악된 가상병변의 위치를 팬텀내의 절대좌표와 비교분석하였다.

결과: 각 영상에 나타난 왜곡은 장비마다 각각 다른 공간평균거리 오차를 나타내었다. 512×512 matrix, 2mm 절편두께를 가진 CT영상에 있어서 공간평균거리 오차는 $1.02 \pm 0.17\text{mm}$ 를 나타냈으며, 240mm FOV, 256×256 matrix, 2mm 절편두께를 가진 자기공명영상에서는 CT영상보다 다소 큰 오차를 보여 주었다.

결론: 본 연구는 자기공명영상의 왜곡정도를 수치화하여 평가할 수 있었다. 향후 본 연구결과의 자기공명영상 왜곡보정이 이루어진다면 본 연구에서 개발된 시스템은 병소의 정확한 위치를 결정해야 하는 치료 및 수술분야, 생체조직검사 등 자기공명영상을 요구하는 의료분야에 유용하게 사용되리라 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

Quantitative Measurement of Chemical Shift in 2D Fast Spin Echo Images for Various Frequency Encoding Gradients

D-S Yoo^{1,2}, L Lemieux³, Y Chang^{1,2}, S-K Lee^{1,2}, D-S Kang^{1,2} and P Tofts³

¹Medical Imaging Center & ²Dept of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Kyungpook National University, Taegu, Korea, and ³Institute of Neurology, University College London, London, UK.

Purpose: The main artefact in the 2D FSE and 3D GE sequences may be chemical shift. The position of fat will be shifted with respect to that of water in direction of the read-out gradient. The chemical shift is 3.5mm for 16kHz at 1.5T. In the image, the superior region of the skull, which is surrounded by scalp and bone marrow, can be affected by the chemical shift artefact. The position of the skull edge in the superior region could be affected by chemical shift.

Materials and Method: The superior region of the head was enlarged to reveal the effect of chemical shift clearly. The apparent thickness of the scalp in the superior region is decreased as G_r is increased. Also, the borders between bone marrow and CSF in the superior lobe region at the lower gradient strengths are bright because the fat in marrow was shifted and superimposed onto CSF due to chemical shift. To quantify and analyse the chemical shift effect in the image, an apparent scalp thickness (AST) was measured. AST was not changed for the higher G_r between 2.0 and 6.1 mT/m, but as G_r increased, AST increased downwards in the image. According to the measurement, for the higher gradients (≥ 2.0 mT/m), the fat in the scalp would be shifted within the range of AST. Furthermore, the scalp consists of several layers and the fat does not extend to the edge for the higher gradients. In other word, the skull edge surrounded by the scalp would not be affected by the chemical shift artefact for the higher gradients (≥ 2.0 mT/m). In addition, thicknesses of the inner table of the skull and bone marrow were measured in order to analyse their variations between subjects.

Results: Mean thicknesses of the inner table and marrow were 1.8 ± 0.7 mm and 4.4 ± 1.2 mm for the six healthy subjects. On the other hand, the inner table thickness was 1.6 ± 0.2 mm and the marrow thickness was 3.8 ± 0.2 mm for the subject used in the chemical shift measurement. Although the inner table and marrow thicknesses were underestimated by 0.2 mm and 0.6 mm in the representative subject, the underestimated values were well within the variations within the normal subjects.

Conclusion: The chemical shift in the coronal head image has been quantified for various strengths of the read-out gradient.

Quantitative Analysis of Magnetic Susceptibility Shifts in 3D Gradient-Echo Images: Coaxial Cylindrical Model

D-S Yoo^{1,2}, L Lemieux³, Y Chang^{1,2}, H-K Ryeom^{1,2}, D-S Kang^{1,2} and P Tofts³

¹Medical Imaging Center & ²Dept of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Kyungpook National University, Taegu, Korea, and

³Institute of Neurology, University College London, London, UK.

Purpose: The aim of this work is to quantify the magnetic susceptibility shift near air-tissue interfaces for a range of the read-out gradient strengths and to reconcile this with published results of magnetic field distortion of a coaxial cylindrical model near interfaces.

Materials and Method: The gradient field strength was altered from 1.04 to 1.50 mT/m in SPGR and from 0.40 to 1.57 mT/m in GRASS by varying the bandwidth between 4.17 and 16.00 kHz. Axial and sagittal planes were chosen to provide a longitudinal section through the test tubes in order to illustrate and measure the shift precisely. G_r was always placed perpendicular (\perp) to the long axis of the tube; i.e., $G_r \perp B_0$ (the main magnetic field) in axial acquisitions and parallel (\parallel) to B_0 in sagittal acquisitions. Images were reformatted to provide image planes precisely oriented through the long axis of the tube.

Results: Typical sagittal and axial images and their reconstructed coronal sections are shown in Fig 1. The part of the test tube in air is clearly shifted with respect to the part in water. The typical shape distortion in the cross sectional view of the cylinder due to the magnetic susceptibility effect is shown in the reconstructed slices (see lower images in Fig 1). The direction of the experimentally observed shift depends on the internal and external materials and the orientation of G_r with respect to B_0 . The shift for water in air is in the same direction as G_r for both orientations. The shift for air in water is in the opposite direction as G_r if $G_r \perp v$ but in the same direction if $G_r \parallel B_0$, even when the sign of the gradient direction is altered. Measurements of the magnetic susceptibility shift for water in air in the coaxial cylindrical phantom for $G_r \perp B_0$ and $G_r \parallel B_0$ are plotted against gradient strength, along with the theoretical prediction. The measurements fit the theoretical curve with the Lorentz cavity correction.

Conclusion: The shift due to the magnetic susceptibility effect near air-water interface was measured. The measurement values support the theoretical prediction of the shift by Chu et al. These improved results provide a clearer demonstration of the importance of the Lorentz cavity effect in order to understand and estimate the magnetic susceptibility effect in MRI.

Eddy Current Compensation of Superconducting MRI System

S. H. Park, S. K. Kim, S. P. Jung, and K. J. Jung

MRI Research Center, Medison Co.

Purpose: The actively shielded gradient coil reduces actual EC and therefore EC effects to as little as 2 %. However, the effects of EC need to be lowered under 0.2 % for good image quality especially for fast spin echo imaging. To compensate for EC, the amplitude and the time variation of the EC should be measured for each system. Here, we present the measurement and estimation of the EC for the Medison 1.0T MRI system.

Materials and Method: The EC can be observed in the FID acquired after a gradient pulse switched off rapidly from the maximum amplitude. The remnant gradient field decays out by the time constant determined by the mutual inductance between the gradient coil and surrounding conducting sheet. If an FID is acquired after the gradient pulse is switched off, the remnant gradient field results in the transient variation of the phase or the frequency of a detected NMR signal. By analyzing the phase variation along the time after the gradient pulse, the EC can be estimated. Another way is to measure the frequency shift at a given delay from the gradient pulse to the excitation RF pulse. Experimentally, we found the frequency shift methods yields better result.

Results and Conclusion: An FID signal was acquired from a small ball filled with distilled water after the gradient pulse was switched off. To measure the time decay of EC, the experiment was repeated for many different time intervals between the gradient pulse and the excitation RF pulse. Then, the center frequency of the FID measured at each interval was calculated. To measure both the symmetrical and asymmetrical EC, the FID was acquired at two different locations, which were symmetrical around the iso-center of the magnet in the direction being measured. A program written in Matlab was used to estimate the EC components. We used a sum of 4 exponentially decaying functions to fit the curve of measured EC. A curve-fitting algorithm in Matlab was used to find the gains and time constants for each of 4 exponentially decaying functions. There were two dominant EC components with time constants of around 200 msec and 400 msec. These two dominant components which have relatively long time constant could be explained by the two cylinders cooled by the cryogen, i.e., the inner shield bore tube (20° K) and the outer shield bore tube (80° K) because of the low resistance in the cooled conductor. We confirmed that measured EC was similar to the specification provided by the manufacturer of the gradient coil. The EC components were set into the eddy current compensation circuits to compensate for the EC. After setting of the EC components into the compensation circuit, we measured the EC again and confirmed reduction of EC effects below 0.2 %.

Measurement of Eddy Current with Short Time Constant by Use of STEAM

K. J. Jung, S. K. Kim, S. H. Park, and J. Y. Chung

MRI Research Center, Medison Co.

Purpose: The eddy current (EC) in a super-conducting magnet usually has long time constant components due to the low resistance of the super-cooled components. However, there are also EC components with a short time constant due to other conducting materials at the room temperature, such as the outer metal housing of the magnet, the RF shield, the gradient coil itself, and the RF coils. Using the conventional measurement techniques, the extremely short component of EC can be missed due to a finite dead time between the gradient pulse in test and signal detection after an excitation RF pulse. The long EC component affects the steady state as in the fast spin or gradient echo sequences, while the short EC component can affect the attainable SNR by breaking the balance of the gradient waveforms in forming an echo.

Materials and Method: To eliminate the dead time, we used the STEAM sequence and applied the gradient pulse in test just before the echo center point of the stimulated echo. Therefore, a posterior half echo of the stimulated echo is actually acquired. Since there is no dead time, any short EC component can be detected. The STEAM sequence was designed to select a small volume. Therefore, instead of using a small phantom for the EC measurement, a big uniform phantom filled with water was used. For the EC measurement, two small volumes, which are symmetrically located around the isocenter of the magnet in the axis along the gradient channel in test, were selected.

Results and Conclusion: By use of this technique, we measured the short EC component of the 1.0T super-conducting MRI system. The EC components were estimated by analyzing the phase information in a distorted half echo signal. In combination with the long EC components estimated by the frequency measurement of an FID signal in the conventional technique, the short EC components measured with the proposed technique can be used to perfect the EC compensation. This technique may be very useful for permanent magnet systems in which most of the conducting materials are at the room temperature, resulting in the short EC components being dominant.

좌장: 정은기교수 (연세대), 이동훈교수 (배재대)

XIII-1

유한요소법을 이용한 와전류 영향 분석

이수열¹, 강현수², 조민형³, 문치웅³, 이강석³

¹건국대학교 의공학과, ²수원대학교 전기공학과, ³삼성종합기술원 의료기기팀

목적: 자기공명영상시스템에서 시변성 경사자계에 의해 도전성 구조물에 유도되는 와전류는 고속 영상법이나 분광법 등 고정밀의 촬영기법이 요구되는 영상법을 구현하는데 큰 장애가 되고 있다. 본 연구에서는 와전류에 의해 경사자계 파형이 어떻게 변형되고, 또 변형되는 정도가 촬영 공간 내에서 얼마나 편차가 있는지를 추정할 수 있는 와전류 영향 전달함수를 유한요소법으로 구하고 이를 실험적으로 증명해 보았다.

대상 및 방법: 자기공명영상시스템에서 와전류가 가장 많이 발생하는 부분은 주자석이라 할 수 있다. 주자석이 초전도전자석인 경우에는 알루미늄 합금으로 만들어져 있는 원통형 냉각통, 그리고 영구자석인 경우에는 철 성분이 대부분인 평면형 pole piece에 대부분의 와전류가 발생한다. 본 연구에서는 와전류의 영향에 의해 경사자계 파형이 어떻게 왜곡되는지와 왜곡 정도가 공간적으로 얼마나 편차가 있는지를 추정할 수 있는 와전류 영향 전달함수를 유한요소법으로 구했다. 경사자계코일 주변에 알루미늄 혹은 철 구조물이 있는 모델을 설정하고, 코일에 교류 전류를 인가했을 때 촬영공간 내 생성되는 자계의 크기와 위상을 구했다. 교류 전류의 주파수는 30Hz 간격으로 2,000Hz까지 변화시켰으며, 각각의 주파수에서 구한 자계의 크기와 위상을 이용하여 촬영공간 내 모든 점에서의 와전류 영향 전달함수를 구했다.

결과: 유한요소법으로 구한 와전류 영향 전달함수의 모양은 대체로 저역통과 특성을 보였으며, 경사자계코일 주변 도전체가 알루미늄인 경우 철인 경우 보다 통과 대역폭이 훨씬 작았다. 이는 철의 상대 투자율이 커서 표면 깊이가 작고, 이 때문에 와전류가 생기는 통로가 축소되기 때문이다. 전달함수의 형상은 위치에 따라서 편차가 있었는데, 이는 경사자계 전류 파형을 미리 강조하여 와전류를 보상하는 방법이 한계가 있음을 보여준다. 유한요소법으로 모델링한 경우와 유사한 상황을 만들어서 경사자계파형을 실험적으로 측정하였다. 측정된 파형은 유한요소법으로 구한 파형과 대체로 일치함을 확인하였다.

결론: 와전류 영향 전달함수는 임의의 공간 위치에서 구할 수 있기 때문에, 이 전달함수를 이용하면 촬영공간 내 임의의 점에서 왜곡된 경사자계파형을 예측할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 와전류 영향을 체계적으로 분석하고 정밀 촬영기법을 이용할 때 미세 와전류 영향을 보정하는데 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

TEM resonator를 이용한 3T MRI용 head코일 개발 및
conventional birdcage head코일과 비교분석

하승훈,^{1,3} 이흥규,^{1,3,4} 최보영,^{1,3} 김용식,^{1,3,4} 서태석,^{1,3} 이형구,^{1,3} 김성은,^{1,3,4} 신경섭^{1,2,3}

가톨릭의대 ¹의공학교실, ²방사선과학교실
³가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ⁴한메MRI연구소

목적: TEM resonator를 이용하여 3T MRI용 head코일을 개발하고 기존 conventional birdcage head코일과 비교하고자 하였다. 또한 기존 conventional birdcage head코일에 비하여 TEM resonator를 이용한 head코일의 성능을 SNR 및 공간해상도를 통하여 분석하고자 하였다.

대상 및 방법: Resonator의 공명주파수에 절대적인 영향을 미치게 되는 TEM resonator의 16개 element들을 각각 정확히 tuning하여 제작하였다. 계산된 식에 의해 나온 inductance, capacitance, 공명주파수의 크기와 실제실험을 통하여 측정한 수치와 비교하였다. 실제실험을 통해 최적화된 주파수를 갖는 element 16개들을 각각 실린더모양의 아크릴에 부착시켜 cavity를 제작하였다.

결과: TEM resonator의 element 16개를 계산된 식에 의해 나온 inductance, capacitance, 공명주파수의 크기와 실제실험을 통하여 측정한 수치는 서로 상당한 일치율을 보였다. TEM resonator를 이용하여 제작한 3T MRI용 head코일은 기존의 birdcage head코일에 비하여 SNR과 공간해상도가 향상되었다.

결론: Capacitor소자가 필요없는 TEM resonator는 기존의 birdcage head코일에 비하여 자체저항이 적고 높은 Q를 갖고 있으며 SNR과 공간해상도가 향상된 것을 보여주었다. 또한 element의 조합을 통하여 ¹H 뿐만 아니라 ³¹P의 다핵종 분광분석용으로 사용할 수 있는 장점이 있는 것으로 사료된다.

* 감사의 글 (Acknowledgement):

본 연구는 (주)메디슨과 산학협동연구과제로 수행되었음.

Solenoid-like Coil for Perpendicular RF Fields, for MR Imaging

김대홍[†], 이삼현[†], 권영길*, 서진석, 정은기

연세대학교 물리학과[†], 진단방사선학과, 한국전기연구소 초전도응용팀*

목적: 발생하는 RF 자기장의 우수한 공간적 균일성과 제작의 쉬운 장점을 가진 솔레노이드형 RF 코일을 솔레노이드형 초전도 자석에서 이용하고자 한다.

대상 및 방법: Tilted Solenoid를 이용하여 RF 자기장을 종축 및 횡축 방향으로 발생시키고, 이 코일 바깥쪽에 rf 에너지를 간접적으로 유도되는 eddy-coil을 설치하여 종축방향의 rf (AC 자기장)을 상쇄시켰다. (ETSTS) 주 rf 코일은 (tilted solenoid) single-turn 방식을 써서 코일의 인덕턴스를 최소화하였다. (TSTS) 제작된 코일을 GE 사의 Signa (1.5 T)에 연결시켜 손과 발의 MR 영상화에 적용하였다.

결과: Eddy 코일이 첨가된 ETSTS 코일은 영상화 공간내에서 TSTS 주코일에 의하여 만들어진 종축 AC 자기장이 완전히 사라졌다. 그리고 발생하는 횡자기장의 세기와 측정되는 NMR 신호의 sensitivity가 월등히 향상되었다.

결론: 외부자기장 H_0 의 방향에 대하여 발생하는 RF 자기장은 수직이면서 피영상체인 인체가 코일안으로 들어가는 방향은 H_0 의 방향에 평행이어야 되는 문제로 솔레노이드형 rf 코일이 초전도 자석 MR 영상화에 사용되지 못하였으나, 이 연구에서는 Eddy-coil을 이용하여 이 문제를 해결하였다.

국산 고자장 3T MRI장비의 성능검사

김성은,^{1,2,3} 이강현,^{1,2} 박정일,^{1,2} 최보영,^{1,3} 김의녕,⁴ 신경섭,^{1,3,4} 정관진,⁵ 이흥규^{1,2,3}

¹가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실, ²한메MRI연구소
가톨릭의대 ³의공학교실, ⁴방사선과학교실, ⁵메디슨MRI연구소

목적: 본 연구의 목적은 현재 개발중인 국산 고자장 3T MRI장비의 성능을 AAPM권장 방법대로 측정하여 자체 성능평가를 하고 자장의 세기에 따른 SNR과 resolution개선효과를 객관적으로 검증하기 위하여 1.5T MRI와 성능을 비교하고자 하였다.

대상 및 방법: 국산 3T MRI 장비의 성능을 정밀하고 신뢰성 있게 검증하기 위하여 두가지 방법으로 측정하였다. 첫째 AAPM 권장사항에 의거 3T의 성능측정을 자체적으로 수행한 후 실험결과를 권장값과 비교하였다. 둘째는 신호대잡음비 개선의 이론치를 확인하고 성능을 객관적으로 검증하기 위하여 A사의 최신 기종인 1.5T MRI와 벤치마킹하였다. 서로 다른 시스템의 성능을 객관적으로 비교하기 위하여 주파수대역은 30KHz, 촬영변수 TR=5sec, TE=20ms, thickness=5mm, matrix=256x256으로 일정하게 적용하였다. T1 이완시간은 자기장의 세기에 따라 변화하므로 TR=5sec를 선택하여 영향을 최소화하였다. Resolution을 비교하기 위하여 thickness =2mm, matrix=512x512로 고정하였다.

결과: 1.5T와 3T의 성능비교는 SNR과 resolution 두 항목으로 하였고, 결과는 아래 표와 같다. 3T의 경우 resolution은 더욱 선명하고 상세한 영상을 얻을 수 있었다. 이 외에 선형성, 균질성 등은 AAPM 방식에 의해 수행하여 우수한 결과를 얻었다.

Table. SNR 비교표

	Tap water	Distilled water	Fat	Gd-DTPA
1.5T	37	40	32	72
3.0T	78	84	75	150
개선도	2.1	2.1	2.3	2.1

결론: 국산 3T MRI 장비는 이론적 예측대로 1.5T MRI에 비해 평균 2.1배의 SNR 향상과 512x512의 고해상도 영상촬영에서 우수함이 검증되었다. 향후 국산 고자장 3T MRI는 기계적인 충격량 감쇄, 소음처리 등 세부사항들이 보완되면 고해상도 정밀영상 촬영, 고감도 기능영상 및 정밀 분광신호분석 등이 가능해져 임상분야에서 큰 공헌을 하리라 기대된다.

국산 3T MRI 장비의 시스템 설계

이흥규,^{1,2,3} 이강현,^{1,2} 김용식,^{1,2} 박정일,^{1,2} 김성은,^{1,2} 정관진,⁵ 신경섭^{2,3,4}

¹한메MRI연구소, ²가톨릭의과학연구원 자기공명영상연구실,
가톨릭의대 ³의공학교실, ⁴방사선과학교실, ⁵메디슨MRI연구소

목적: 첨단 MRI연구에 큰 기여를 할 수 있는 3T 국산 MRI 장비의 개발은 메디슨과 가톨릭의대 공동연구과제 속에서 한메가 위탁연구를 맡아 추진되어 왔다. 1997년 8월부터 개발진행 중인 3T MRI의 시스템 설계내용과 성능을 요약하고자 한다.

대상 및 방법: 국산 3T MRI는 현재 성능의 고도화, 경제성 및 상용화에 목표를 두고 개발 중에 있다. 시스템 설계 방법은 기존의 국산 1T MRI와 호환성을 최대화하고 경쟁력에 의거 양질의 부품은 Out-sourcing하여 개발기간 및 인력을 최소화하되, 핵심되는 시스템 설계능력, 시스템 Software 및 Hardware는 자체 개발로 원천기술이 유지되도록 하였다. 중요한 부품 중 하나인 초전도 자석은 영국 Oxford Magnet Technology와 타당성 검토 및 사양서 작성으로 세계최초의 3T Active-Shield Magnet를 제작하였다.

결과: Active Shield형을 채택함으로써 5G Line과 무게를 대폭 줄일 수 있어서, 타사 제품보다 1/5 정도의 설치면적과 1/4 정도의 무게로 설치가 용이하였다. 또한 액체헬륨의 소모도 0.09 liter/hour이며 자석의 성능을 좌우하는 자장안정도 및 균질도는 대략 2배 이상 우수하였다. 두부용 RF 코일은 직경 27cm의 Birdcage형으로 설계제작되었고 타사제품에 비하여 8%정도 우수한 성능을 보였다. 전단부 증폭기는 저입력 임피던스, 25dB 증폭도에 Noise Figure는 0.7dB로 설계되었다. RF Shield Layer는 stripline 기법을 이용한 pattern을 사용하였고, RF switching은 stripline과 Discrete Component를 이용한 방법으로 설계, 제작 및 검증을 하였다. 주파수 변환은 2단계로 하여 1T 또는 1.5T와의 부품호환성을 갖도록 하였다. 경사자장, 고주파 신호생성 및 제어를 담당하는 스펙트럼미터는 메디슨 1T 시스템과 동일하게 사용하여 호환성을 최대화하였고 다단계 안전장치 및 모듈화로 시스템의 안전성을 강화하고 유지보수를 용이하게 하였다. 시스템 전체의 성능평가에서 SNR은 타사 최신 version 1.5 T MRI보다 평균 2.1배 정도 우수하였다.

결론: 고자장 MRI를 이용한 첨단 분광 및 기능영상의 임상적용의 세계적인 추세 속에서 국산 3T MRI장비의 시스템 설계내용을 요약하였다. 향후 각 부품의 성능 최대화, 기계적 충격, 소음문제 등을 해결할 경우 임상진단의 효율성과 정밀성은 더욱 높아질 것이며 상용화되어 국내외 기술선도 및 국부창출에 기여할 것으로 기대된다.

**환전류를 사용한 두부영상촬영용 능동차폐형
비대칭 경사자계코일의 설계에 관한 연구**

이덕래¹, 양윤정¹, 최환준¹, 류연철¹, 현정호¹, 김사라¹, 안창범², 정관진³, 오창현¹

고려대학교 자연과학대 전자및정보공학부¹, 광운대학교², (주)메디슨 MRI연구소³

목적: 본 논문의 목적은 고속, 고경사자계의 MRI촬영을 위한 두부전용 경사자계코일의 설계이다. 두부촬영전용으로 적은 직경의 경사자계코일을 여러 가지 모양과 제한된 길이에 flexible하게 적용 가능한 환전류를 이용하여 설계하였다. 보통 Echo Planar Imaging과 같은 고속촬영에 필요한 4-5 Gauss/cm의 높은 경사자계와 200-300 msec의 짧은 스윗칭 시간을 실현하기 위해 적은 직경(내경: 34cm, 외경: 50cm)을 가진 소형의 원통형으로 설계했으며 Eddy Current의 크기를 줄이기 위해 능동차폐를 위한 Shield Layer를 Primary Layer밖에 추가하였다.

대상 및 방법: Primary Layer와 Shield Layer를 작은 Loop-current element로 구성하여 이 Loop-current element를 사용한 Target field approach방법을 이용하여 경사자계코일을 설계하였다. 영상 촬영 중에 전류의 Switching으로 인해 자석내에 발생하는 Eddy current를 줄이기 위해 능동차폐방법을 사용하였다. Primary와 Shield Layer 각각을 작은 Loop current element가 구성하고 있다고 가정하여 Target위치에서의 자기유도의 크기를 지정하여 이를 constraint로 하여 Target위치에서의 자기유도의 조건을 만족시키는 Current pattern을 구하게 된다. 이 때 소비전력이나 Inductance를 최소화 할 수 있다. 본 논문에서는 최소소비전력방법으로 Current pattern을 구했다.

결과: x, y, z방향의 경사자계코일을 설계하였으며 원통형의 Primary, Shield의 길이는 각각 [-15~60cm], [-33~70cm]이다. 이 두 Layer에 각각 $(Z \times \phi) = (30 \times 160)$, (256×128) 개의 Loop current element를 배치하였다. $(\pm 11, 0, 0)$, $(\pm 11, \pm 11, 0)$, $(\pm 11, 0, \pm 11)$ [cm]의 위치에서 자기유도를 구하여 이를 최소전력방법으로 Primary, Shield의 current를 구한 후 이를 실제 코일 구현에 필요한 Discrete한 wire로 바꾸었다. Simulation결과 B_z 가 x방향으로 선형적으로 변하는 것을 확인하였으며 5G/cm/200A의 경사자계를 얻을 수 있었다.

결론: 본 논문에서는 제안한 경사자계코일 설계방법은 Asymmetric한 모양의 코일은 물론 임의의 모양의 경사자계코일의 제작에 유용할 것으로 보이며 이를 두부전용 경사자계코일을 설계함으로써 확인하였다. 또한 설계된 경사자계코일은 앞으로 High gradient strength와 짧은 스윗칭 타임을 요구하는 영상기법에 유용하게 쓰일 것으로 보인다.