

슬관절 반월판 손상의 자기공명영상 : 촬영면과 Window 폭의 변화에 따른 진단능력의 ROC 분석

이화여자대학교 의과대학 방사선과학교실
정 은 철

= Abstract =

MR Imaging in Meniscal Injury of Knee Joint : ROC Analysis of Diagnostic Performance According to Imaging Planes and Window Widths

Eun Chul Chung

Department of Radiology, College of Medicine Ewha Womans University

Magnetic resonance(MR) is the most widely used diagnostic tool for the meniscal tears. 160 images of menisci of 30 patients and 10 normal subjects were photographed with coronal and sagittal planes and with narrow and conventional wide window settings. To assess the diagnostic efficacy of imaging planes and the window settings, MR images of two window settings with coronal and sagittal planes of menisci were interpreted by four experienced observers. Images were graded on a five-point scale to enable receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. The ROC curves constructed from the coronal plane were similar to those of the sagittal images. The area of under ROC curve constructed from the narrow window setting was inferior to one from the wide window settings. There was no difference of diagnostic performance between four observer to detect meniscal abnormality. This suggests that there is no globally significant improvement in the detection of meniscal tear when narrow window setting are used for interpretation, and there is probable improvement when both coronal and sagittal images are used for meniscal MRI.

서 론

슬내장(Internal derangement of knee)은 비교적 흔한 손상으로 정확한 진단과 적절한 치료가 이루어지지 않으면 심각한 후유증을 남길 수 있다. 그 중 반월판 손상은 슬관절의 동통과 운동장애를 일으키는 가장 흔한 원인이라는 점에서 임상적으로 중요하다. MRI는 대조도가 뛰어나고 다면영상

(multiplanar imaging)이 가능하며 surface coil의 발달로 작은 연조직 구조물의 병변까지도 정확히 나타낼 수 있어 슬관절 반월판 손상의 중요한 진단법으로 인정받고 있다¹⁻³⁾.

반월판 손상의 MR의 진단적 정확도에 대하여 많은 보고가 있으나 영상의 촬영면의 변화에 따라, 또한 촬영시 window의 폭의 변화에 따라 진단율에 어떤 영향을 미치는가에 대하여는 그 연구보고가

많지 않다. 만약 MR의 어떤 촬영면(imaging plane)이나 window setting에서 현저하게 반월판 손상의 진단율에 차이가 있다면 그러한 조건으로의 촬영을 통상적으로 사용하지 않는 것이 의미 있을 것이다. 이에 저자는 반월판 손상의 진단에 있어서, 관상면과 시상면 MR과, 광폭과 협폭의 window로 촬영한 MR의 진단적 가치를, 영상진단법의 진단능의 비교에 흔히 사용되는 방법인 ROC 분석법(Receiver Characteristic Analysis)으로 분석하였다.

방 법

수술이나 슬관절경으로 반월판 손상으로 확진된 30명의 환자와 슬관절 내장증으로 내원하였으나 슬관절경으로 정상으로 진단된 10명, 총 40명을 대상으로 하였다. 연령은 16세에서 59세 까지로 평균 34세였고 남 여의 비는 각각 30명과 10명이었다. 0.5 Tesla(MRT 50A, Toshiba, Japan) 자기공

명영상장치를 사용하여 환자를 앙와위 자세에서 힘을 가하지 않은 자연스러운 상태로(8~10도 외전) 슬관절용 surface coil을 사용하여 스핀에코(Spin echo) 기법으로 양자밀도(TR/TE : 2000/30) 및 T2 강조(TR/TE : 2000/80) 관상 및 시상면 영상을 얻었고 5명의 환자에서는 경사에코(gradient echo) 기법으로 T2* 강조영상(TR/TE/Flip Angle : 800/30/30)을 얻었다. Acquisition matrix는 256×256, FOV는 200mm, 절편은 3mm로 하였다.

촬영한 영상은 MR console상에서 인위적으로 조작하여 window이 폭이 1900~2100, 중심이 400~420인 통상적인 wide window setting(이하 WW로 약함)과 폭이 420이며 중심이 423인 narrow window setting(이하 NW로 약함)으로 laser camera로 촬영하였다. 촬영된 영상은 반월판이 잘 보이는 관절면을 중심으로 변연부를 가려(masking) 관심을 반월판에 두도록 하고 환자에 대한 정보는 완전히 지워지도록 하여 판독에 편견이 없도록 하였다.

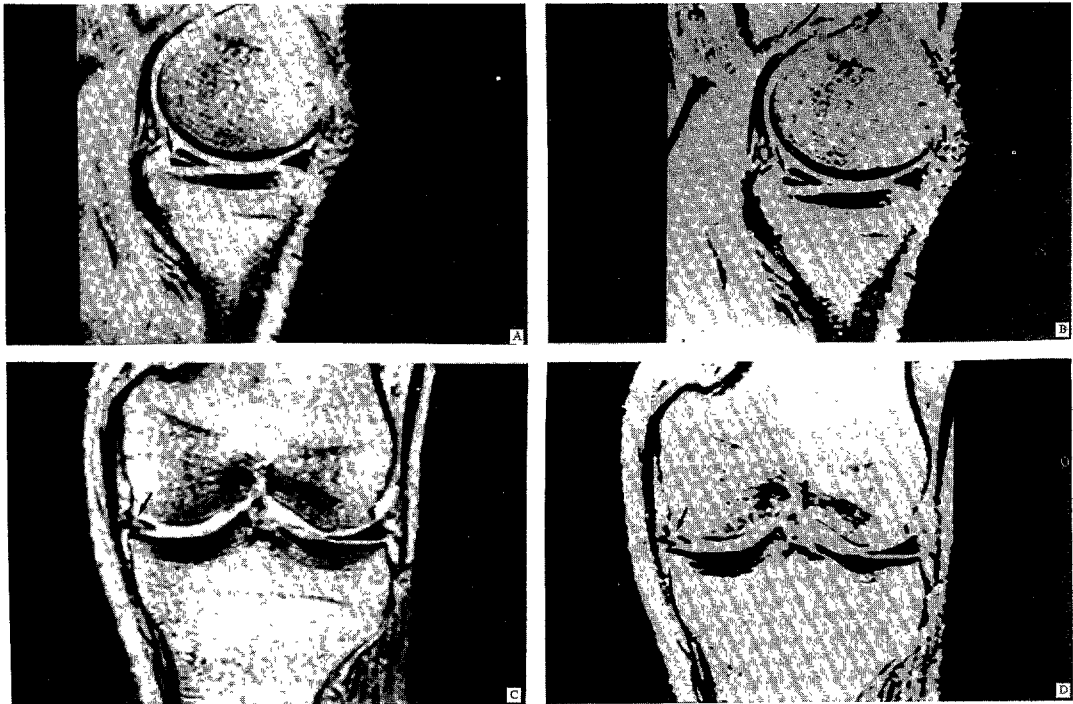


Fig. 1. Proton-density MR images of the knee(2000/30). (a) Sagittal wide window width photography shows a medial meniscal tear(arrow). (b) Sagittal narrow window width image of the medial meniscal tear(arrow) at the same imaging location (c) coronal wide window width photography. (d) coronal narrow window width photography.

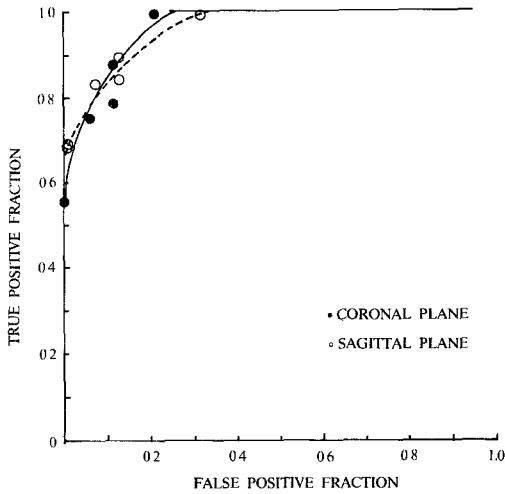


Fig. 2. ROC plot of true-positive fraction versus false-positive fraction for coronal and sagittal planes.

WW, NW, 관상 및 시상면의 4가지 조건인 총 160 영상을 임의로 배열하여 14×17 film에 12개의 영상을 촬영하였다(Fig. 1).

반월관의 표면에까지 이르는 반월관내의 신호증가가 있을 때를 반월관 파열로 진단하였다. MR 영상에 익숙하여 반월관 손상의 역학과 소견을 잘 아는 전문의 1인과 전공의 3인이 영상을 판독하였는데 판독시간의 제한은 두지 않았고, 판독전에 결과를 알고 있는 12개의 영상을 미리 보여주어 판독에 도움이 되도록 하였다. 반월관파열은 5단

계로 판단하도록 하였다(1=normal, 2=probably normal, 3=indetermined, 4=probably torn, 5=definitely torn). 이렇게 하여 각 영상마다 얻어진 결과를 Y축을 TPF(true positive fraction, specificity), X축을 FPF(false positive fraction, 즉 1-true negative fraction : sensitivity)로 하여 ROC곡선을 그렸다. 또한 이 rating score에서 Wilcoxon 계산법⁴⁾을 이용하여 각 data의 ROC 곡선하부의 면적과 표준편차를 계산하여, 반월관 손상의 진단에 있어서의 촬영면과 window setting의 차이에 따른 검출능을 t-test로 비교 검증하였다.

결 과

열상이 있었던 30례에서 22례가 내측이었고 8례가 외측이었다. 각 관찰자의 결과를 평균하여 ROC curve를 시상면과 관상면에서의 결과를 각각 그리고(Fig. 2) 비교를 위하여 NW와 WW에서의 결과를 같은 graph에 그렸다(Fig. 3). 또한 ROC 곡선 하부의 면적을 Wilcoxon 계산법⁴⁾으로 구하여 비교하였다(Table 1).

ROC 분석에서 관상면과 시상면은 통계학적으로 유의성이 없었으나 (0.8766 ± 0.048 대 0.8813 ± 0.0834 , $P < 0.01$), NW와 WW는 ($NW = 0.8666 \pm 0.0882$, $WW = 0.8898 \pm 0.0799$, $P > 0.05$)로 차이를 보여

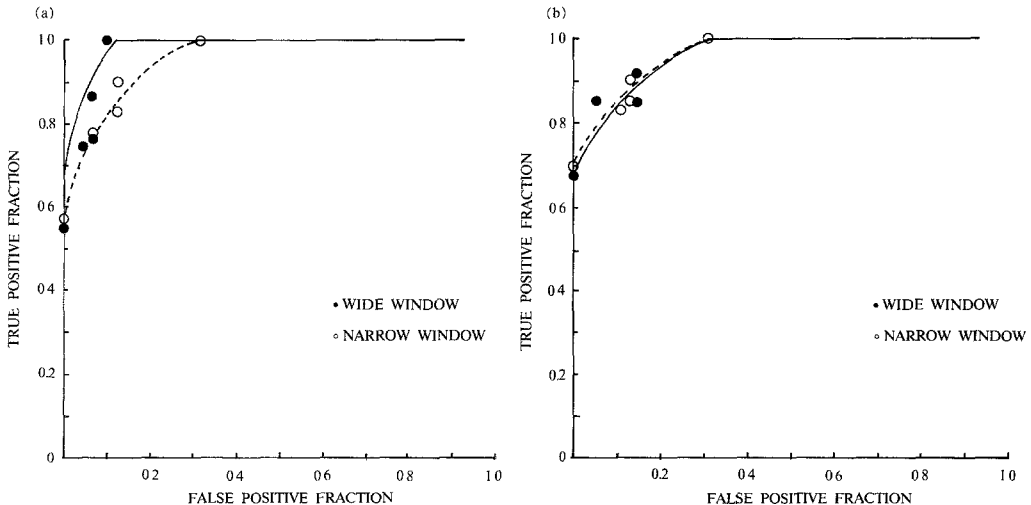


Fig. 3. ROC plot of true-positive fraction versus false-positive fraction for meniscal window and standard window width photography. (a) Coronal plane. (b) Sagittal plane.

Table 1. Area under ROC curve and level of significance for conventional and narrow window width photography and coronal and sagittal planes

Menisci	Area under ROC Curve		P Value
	Wide window	Narrow window	
All menisci	0.8898±0.0799	0.8666±0.0882	P>0.05
	Coronal plane		
	Sagittal plane		
All menisci	0.8766±0.0848	0.8813±0.0834	P<0.01

통계학적으로 유의성이 있음을 보였다.

ROC 곡선 하부면적은 관찰자 1에서 0.885±0.08, 관찰자 2에서 0.889±0.08, 관찰자 3에서 0.879±0.08, 4에서 0.861±0.09로 관찰자간에 큰 차이는 없었다.

4명의 판독자들간에 유난히 진단율이 떨어졌던 경우를 분석하여 보았다. NW setting의 6례에서 경미한 열상은 잘 보이지 않아 위음성(point 3 to 1)으로 진단되었으며, bucket handle tear의 경우에 시상면 영상에서 떨어진 조각을 인식하지 못해 위음성으로 진단하였던 경우가 4례 있었다. 위양성(point 5 to 3)으로 나타났던 경우는 후면의 슬와건초(popliteus tendon)을 열상으로 오진한 경우가 3례, 전면의 횡인대(transverse ligament)를 열상으로 진단한 4례 등이었다.

따라서 시상면과 관상면 촬영상 어느 것이 더 뛰어난 진단율을 보이는 가는 결정할 수가 없으므로 두 가지를 병행하면 진단이 상승하리라고 기대할 수 있다. 그러나 NW는 WW setting에 비해 진단율이 현격히 떨어지므로 NW setting은 반월판 열상의 진단에 도움을 크게 주지 않으리라고 생각할 수 있으며 통상적인 반월판 열상의 MR 촬영시 WW setting만을 시행하여도 진단율이 변화하지 않으며 촬영시간의 단축도 기대할 수 있으리라고 사료된다.

고 찰

슬관절 반월판 손상의 진단에 유용한 방법으로 이용되고 있는 관절 조영술은 반월판 열상의 진단성적은 우수하나 관절강내의 병변만 볼 수 있으며 조영제주입시 환자에게 고통을 주며 드물지만 활막염이나 과민반응이 나타날 수 있다⁵⁾. 관절경검사하는 반월판을 직접 보는 진단방법으로 수술까지

시행할 수 있는 장점이 있으나 후각병변의 파악이 어렵고 침습적인 단점이 있다⁶⁾⁷⁾. 관절경은 반월판의 표면까지 포함되지 않은 눈에 보이는 열상의 precursor인 stage 1과 2를 진단할 수 없다⁸⁾¹⁰⁾. MRI는 뛰어난 연조직 해상력과 다면영상이 가능하며 방사선노출이 없고 연골이나 반월판, 인대, 건등 정확히 관찰할 수 있는 장점이 있다¹⁻³⁾¹¹⁾.

정상적인 반월판 실질내에는 움직일 수 있는 양자의 수가 적기 때문에 T1강조 및 T2 강조영상에서 정상 반월판은 저신호 강도를 보이거나 퇴행성 변화나 열상이 있게 되면 반월판 실질내의 고분자 물질들이 노출되어 물을 흡수하여 국소적인 밀도가 증가되고, 물분자와 고분자 물질간의 상호작용으로 물분자의 회전율이 느려져서 T₁ 이완시간의 단축이 일어나므로 고신호 강도를 보이게 된다고 알려져 있다¹²⁾. 동물 모델에서 실험적으로 만든 열상은 외과적으로 자른 곳과 대응하여 신호강도가 증가하는 것을 보인다¹³⁾.

슬와건초(popliteal tendon sheath)와 슬관절 횡인대(transverse meniscal ligament)는 반월판의 열상으로 오인되기 쉽다. 슬와건은 외측 측부연인대(collateral ligament) 바로 아래 대퇴골외과의 구(groove)에서 시작하여 뒤아래로 돌아 경골 뒤에서 근육과 연결되는데 외측 반월판 후각과의 사이에 슬와건초에 의해서 구분된다. 이 슬와건초가 경사진 선상의 고신호강도 또는 중강신호강도를 보여 열상으로 오인되기 쉽다. 슬관절횡인대는 외측반월판 앞위쪽에서 Hofa fat pad와 전방 십자 인대사이를 지나 내측반월판 앞위쪽에 연결되는데 외측 반월판 전각이 경골에 붙는 부위 즉 rhomboid central attachment와의 사이가 경사진 선상 고신호강도로 보여 열상으로 잘못 판단될 수 있다¹⁴⁾. 정상적으로 크기가 작은 반월판의 경우에 움직임때문에 MR의 분해능(resolution)이 낮아져서 열상으로 오인될 수 있으며, 크기가 작은 열상인 경우에 반월판의 자유변연부(free edge)에 미묘한 둔감(fraying)만을 보여 주의를 요한다⁹⁾.

본례에서 4명의 판독자들간에 유난히 진단율이 떨어졌던 경우를 분석한 결과 narrow window setting의 6례에서 경미한 열상은 잘 보이지 않아 위음성(point 3 to 1)으로 진단되었으며, bucket handle tear의 경우에 시상면 영상에서 떨어진 조각을 인

식하지 못해 위음성으로 진단하였던 경우가 4례 있었다. 위양성(point 5 to 3)으로 나타났던 경우는 후면의 슬와건초(popliteus tendon)을 열상으로 오진한 경우가 3례, 전면의 횡인대(transverse ligament)를 열상으로 진단한 4례 등이었다.

MR의 진단 정확도에 대해 여러 보고가 있는데, Fischer¹⁵⁾등은 1014예를 분석하여 MR의 진단 정확도를 내측 반월판에 대해 89%, 외측 반월판에 대해 88%, Polly¹⁶⁾등은 반월판과 십자인대에서 각각 95% 이상이 높은 진단 정확도를 보고하였으며, Raunest¹⁷⁾등은 진단 정확도를 내측 및 외측 반월판에서 비교적 낮게 각각 72%로 보고하였다. Crues¹⁸⁾등은 양측 반월판에 대하여 수술 소견과 MR소견이 91.3%에서 일치한다고 보고하였으며, 국내에서는 1989년에 박¹⁴⁾등이 64예를 분석하여 내측 반월판 손상에 대해 민감도, 특이도, 정확도를 각각 90.5%, 81.8%, 87.5%로 보고한 바 있다.

관절경검사를 기준으로 했을 때 MRI의 민감도가 75~100%까지 보고되고 있다¹⁹⁾²⁰⁾. 관절경검사의 반월판 열상진단의 정확도는 39~95%로 다양한데 시술자의 기술에 따른 차이로 설명하고 있다²¹⁾. 관절경검사의 위음성의 원인은 내측반월판 후각이 대퇴골과(femoral condyle)에 가려져 잘 안보이기 때문이다. 관절경검사의 기술이 발달하여 그 정확도가 매우 높아지고 있고 MRI 소견을 알고 관절경검사자가 더욱 면밀히 조사하면 두검사소견이 일치할 가능성이 더욱 높아진다.

본 연구에서는 관상면과 시상면 영상의 진단에 있어서 유의한 차이는 없었으나 NW setting이 WW setting에 비해 진단율이 낮았다. 따라서 관상면과 시상면을 병용하면 진단율이 높아질 것이라고 유추할 수 있으며 NW는 통상적인 촬영에서 생략하여도 무방하며 검사시간을 줄일 수 있다고 생각된다. 이것은 Buckwalter²²⁾이 NW의 가치가 그리 낮지 않다고 한 결과와 배치되는데 아마도 판독자들이 NW에 익숙치 않은 것도 한 요인으로 생각된다. 4명의 판독자들의 ROC 하부곡선면적을 Wilcoxon법으로 계산한 판독자간의 유의한 차이는 없었으나 0.86 ± 0.09 에서 0.89 ± 0.08 로 면적의 값이 0.9를 넘지 못하므로 정확도나 민감도가 다른 연구에 비해 뛰어나다고 볼 수 없다. 그 이유는 몇 가지로 설명할 수 있다. 통상 반월판 열상을 MR로

진단 할 때는 연속적인 영상을 순차적으로 관찰함으로써 미세한 병변도 잘 발견 할 수 있으나, 본 연구에서는 실험을 위하여 한개의 영상만을 가지고 진단을 하게 하였기 때문에 확진을 내리는 데 판독자들이 주저했기 때문이라고 생각할 수 있다. 또한 과거력이나 이학적 소견이 없으므로 미세한 병변을 찾는 데 어려웠으며 판독자들이 다양한 window setting에 익숙지 않기 때문이라고 여겨진다.

ROC 분석법은 한가지 진단방법을 이용하여 여러 사람의 진단적 능력을 판단할 때나 한 질환에 대한 다양한 검사방법이 있을 때 좀더 유용한 검사법을 밝히는 실험에서 이용될 수 있다²³⁾²⁴⁾. 개인의 숙련도, 관찰능력등의 차이는 결국 진단율의 차이로 나타난다²³⁾. 대단히 미세한 소견을 찾아내는데 관찰자가 미숙하면 결정하는 순간 순간마다 criterion level이 변하게 되어 관찰 능력(observer performance)이 떨어지게 된다²⁵⁾. 이것이 총체적으로 ROC curve에 영향을 미치게 하므로 graph로서 그 능력을 판단할 수가 있다. 이 실험에서, 영상들은 개별적으로 분석하지 아니하고 총괄적으로 분석하였으며 통상적인 판독의 조건과는 매우 다르다. 이런 것들이 진단율을 실제보다 저하시키는 원인이 되었으리라고 짐작할 수 있다.

주지하다시피 영상에 의존하는 방사선학적 검사법은 단순한 관찰능력 이외의 훨씬복잡한 요인에 의해 좌우된다²⁶⁾. MR에서도 마찬가지로 기계적 장치의 차이, window setting 등의 촬영조건, 관찰환경, 관찰자의 숙련도, 심적상태등도 크게 영향을 미치므로 관찰자의 차이, 촬영조건, 관찰환경의 상이(相異)등이 진단율을 크게 변화시킬 수 있다²³⁾. 그러나 이와같은 내적외적변화(inter-observer variation, intra-observer variation)에 따른 진단적 척도(criterion level)의 변화를 가장 정확히 반영하는 것이 ROC분석법 이므로 이를 통한 본 연구의 결과는 신뢰성이 있다고 볼 수 있다²⁷⁾.

결 론

슬관절 반월판 손상의 MR 진단에 있어서 관상면과 시상면의 촬영면과 window width의 변화가 진단율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 30명의 환자와 10명의 정상인의 MR소견을 분석하였다.

두개의 촬영면과 두개의 window, 160영상을 4명의 경험이 있는 판독자들에게 5 point scale로 손상의 유무를 판단하도록 하여 ROC법으로 분석하고 ROC 곡선하부의 면적을 계산하였으며 이것을 t-test로 검정하였다.

관상면과 시상면촬영의 ROC곡선과 그 면적은 유사하고 유의한 차이가 없었으나 NW는 WW에 비하여 진단율이 떨어지고 곡선하부면적도 유의한 차이를 보였다. 따라서 슬관절 반월판의 MR 진단시 관상면촬영과 시상면촬영을 병행하면 진단율이 제고 될 것으로 추측할 수 있으며, NW setting은 통상적인 촬영에서 제외하여도 진단율에 큰 영향을 미치지 않고 전체적인 진단검사시간을 단축할 수 있으리라 생각된다.

References

- 1) Reicher MA, Rauschnig W, Gold RH, Bassett LW, Lufkin RB, Glenn W. *High resolution MRI of the knee joint : normal anatomy.* AJR 1985 : 145 : 895-902
- 2) Reicher MA, Bassett LW, Gold RH. *High resolution MRI of the knee joint : pathologic correlations.* AJR 1985 : 145 : 903-909
- 3) Kean DM, Worthington BS, Preston BJ, et al. *NMR imaging of the knee : example of normal anatomy and pathology.* Br J radiol 1983 : 56 : 355-364
- 4) Hanley JA, McNeil BJ. *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic(ROC) curve.* Radiology 1982 : 143 : 29-36
- 5) Freiburger RH. *Introducing arthrography.* In : Freiburger RH, Kaye JJ, eds. *Arthrography.* New York : Appleton-Century-Crofts, 1979. 2
- 6) Ghelman B. *Meniscal tears of the knee : evaluation by high resolution CT combined with arthrography.* Radiology 1985 : 157 : 23-27
- 7) Brunner MC, Flower SP, Evancho AM, Allman FL, Apple DF, Fajman WA. *MRI of the athletic knee : findings in asymptomatic professional basketball and collegiate football players.* Invest Radiol 1989 : 24 : 72-75
- 8) Kornick J, Trefelner E, McCarthy S, et al. *Meniscal abnormalities in the asymptomatic population at MR imaging.* Radiology 1990 : 177-463-465
- 9) Stoller DW, Martin C, Crues JV, Kaplan L, Mink JH. *Meniscal tears : pathologic correlation with MR imaging.* Radiology 1987 : 163 : 731-735
- 10) Hajek PC, Gylys-Morin. *Signal intensity meniscus of the knee : magnetic resonance evaluation and in vivo correlation.* Invest Radiol 1987 : 22 : 883-890
- 11) Reicher MA, Hartzman S, Duckwiler GR, Bassett LW, Anderson LJ, Gold RH. *Meniscal injuries : detection using MR imaging.* Radiology 1986 : 159 : 735-737
- 12) Koenig SH, Brown RD. *The importance of the motion of water for magnetic resonance imaging.* Invest. Radiol. 1985 : 20 : 297-305
- 13) Beltran J, Noto AM, Mosure JC, Bools JC, Zuelzer WA, Christoforidia AJ. *MR demonstration of experimentally produced injuries.* Radiology 1986 : 158 : 691-693
- 14) 박길선, 강홍식, 한문희, 한만청, 김주완, 정상철 : 슬관절 반월판 손상의 자기공명영상. 대한방사선의학회지. 1989 : 25 : 983-987
- 15) Fischer SP, Fox JM, Pizzo WD, Fridman MJ, Snyder SJ, Ferkel RD. *Accuracy of diagnosis from magnetic resonance imaging of the knee : A multi-center analysis of one thousand and fourteen patients.* J Bone Joint Surg 1991 : 73 : 2-10
- 16) Polly DW, Callaghan JJ, Sikles RA, McCabe JH, MeMahan K, Savory CG. *The accuracy of selective magnetic resonance imaging compared with the findings of arthroscopy of the knee.* J Bone Joint Surg 1988 : 70 : 191-197
- 17) Raunest J, Oberle K, Loehner J, Hoetzing H. *The clinical value of magnetic resonance imaging in the evaluation of meniscal disorders.* J Bone Joint Surg 1991 : 73 : 11-16
- 18) Crues JV, Mink J, Levy TL, Lotysch M, Stoller DW. *Meniscal tears of the knee : accuracy of MR imaging.* Radiology 1987 : 164 : 445-448
- 19) Turner DA, Pridromos CC, Petasnick JP, Clark JW. *Acute injury of the ligaments of the knee : magnetic resonance evaluation.* Radiology 1985 : 154 : 717-722
- 20) Beltran JB, Noto AM, Mosure JC, Weiss KL, Zuelzer W, Christoforidis AJ. *The knee : surface-coil MR imaging at 1.5T.* Radiology 1986 : 159 : 747-751
- 21) Kang HS, Resnick D. *MRI of the extremities : an anatomic atlas. 1st ed.* Philadelphia : Saunders, 1991 : 233-299
- 22) Buckwalter KA, Braunstein EM, Janizek DB, Vahey TN : *MR imaging of meniscal tears : narrow versus*

- conventional window width photography. Radiology 1993 : 187 : 827-830*
- 23) Turner DA, Fordham EW, Pagano JV et al. *Brain scanning with anger multiplane tomographic scanner as a second examination. Radiology 1976 : 121 : 115-124*
- 24) Simon TR, Neumann RL, Gorelick F, Riely C et al. *Scintigraphic diagnosis of cirrhosis : a receiver operating characteristic analysis of the common interpretative criteria. Radiology 1981 : 138 : 723-725*
- 25) Swets JA. *ROC analysis applied to evaluation of medical imaging techniques. Invest Rad 1979 : 14 : 109-121*
- 26) Starr SJ, Metz CE, Lusted LB et al. *Visual detection and localization of radiographic images. Radiology. 1975 : 116 : 533-538*
- 27) Turner DA. *An intuitive approach to receiver operating characteristic curve analysis. Journal of nuclear medicine. 1978 : 8 : 283-298*