유 · 소아의 항문 괄약근 평가를 위해 고안된 MR 항문내 수신기코일

- 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일의 유용성의 비교 평가 -

연세대학교 대학원

의과학 사업단

김 민 정

유 · 소아의 항문 괄약근 평가를 위해 고안된 MR 항문내 수신기코일

- 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일의 유용성의 비교 평가 -

지도교수 서 진 석 · 김 명 준

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2000년 12월 일

연세대학교 대학원

의과학 사업단

김 민 정

김민정의 석사 학위논문을 인준함

심사위원____________________ 인

심사위원____________________ 인

심사위원____________________ 인

연세대학교 대학원

2000년 12월 일

감사의 글

진단 방사선과학이라는 배움의 길에 들어선 후, 모자란 제게 많은 가르침을 주시고, 바른 학문의 길로 인도해 주신 모든 선생님과 선배님들, 그리고 의국 동료들에게 감사 드립니다.

특히 이 논문이 완성되기까지 세심하고 자상한 지도와 관심으로 이끌어 주신 서 진석 교수님께 각별한 감사의 말씀을 드립니다. 또한 논문의 계획과 실험기간 동안 부족한 부분을 지적해 주시고 조언을 아끼지 않으신 정 은기 교수님과 김 명준 교수님 그리고 황 의호 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 늦은 시간까지 실험을 도와주신 김 은주 선생님께 감사드리며, 바쁘신 중에도 많은 도움을 주신 이 혜연 교수님과 해부학교실 선생님들께 감사드립니다.

마지막으로 이 자리까지 저를 있게 해 주신 부모님과 항상 곁에서 큰 힘이 되어준 남편에게도 고마움을 전합니다.

저자 씀

차 례

그림 차례

표 차 례

국문 요약

유 · 소아의 항문 괄약근 평가를 위해 고안된 MR 항문내 수신기코일

- 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일의 유용성의 비교 평가 -

항문직장관 기형 교정수술 후 배변조절장애를 겪고 있는 유소아의 항문괄약근 등의 구조적인 이상을 알아내기 위하여, 뒤집음탐침 (inside-out probe) 형태의 표면형 및 안장형 MR 항문내 수신기코일을 고안하여, 팬텀과 실험동물에서 두 코일의 성능과 유용성을 비교 평가하고자 하였다.

마요네즈 팬텀과 고양이의 항문직장관 영상을 획득하여 코일로부터 거리에 따른 두 코일의 신호강도와 신호대잡음비(SNR: Signal to Noise ratio)의 변화를 비교하고, 또한 고양이의 항문직장관 자기공명영상과 실제 조직단면을 비교하여 내 · 외항문괄약근 등 배변조절기능에 중요한 조직에 대한 두 코일의 영상도해능을 비교하였다.

마요네즈 팬텀의 영상에서 신호대잡음비는 안장형이 표면형 수신기코일보다 약간 우수하였으나, 고양이의 항문직장관 영상에서는 표면형이 안장형 수신기코일보다 관심영역 내에서 더 높은 신호강도를 보였으며, 더욱이 안장형 수신기코일을 이용하여 얻은 축면상 영상에서는 방위각방향으로 낮은 신호강도의 인공물이 나타나서, 내 · 외항문괄약근의 영상도해 등 전체적인 영상의 질은 표면형 수신기코일이 우월하였다.

결론적으로, 본 연구에서 고안한 뒤집음 탐침 형태의 수신기코일 중 표면형 항문내 수신기코일이 안장형보다 실제 유 · 소아의 항문괄약근의 이상 유무를 알기 위한 영상검사에 더 적합한 것으로 판단된다.

핵심되는 말 : 자기공명영상; 항문괄약근; 항문내 수신기코일; 항문직장기형

유·소아의 항문 괄약근 평가를 위해 고안된

MR 항문내 수신기코일

- 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일의 유용성의 비교 평가 -

< 지도교수 서 진 석 >

연세대학교 대학원 의과학사업단

김 민 정

I. 서 론

소아에서 배변조절장애를 일으키는 구조적인 원인으로는 항문직장기형, 선천성 거대결장증, 척추이분증, 요천추부와 회음부의 외상 등이 알려져 있다. 그 중 항문직장기형(Anorectal anomaly)은 신생아 5000명당 1명의 비율로서 나타나는 비교적 흔한 선천성 기형으로, 교정수술을 받은 환아의 약 50 % 가 어떤 형태로든 배변조절장애를 보이며 약 25 % 에서는 변실금을 겪는 것으로 보고되고 있다[1]. 이러한 변실금을 겪고 있는 환아에서 항문거상근-외항문괄약근 복합체의(Levator ani-external sphincter muscle complex) 선천적인 이상 또는 교정수술 후 구조적인 이상이 변실금의 주요원인 중 하나로 알려져 있다[2]. 특히 항문직장기형 교정 수술 후 변실금을 보이는 환아에서 항문거상근(Leavator ani muscle)과 외항문괄약근의 구조적인 이상 유무는 재수술에 의한 치료를 할 것인지 또는 보존적 치료를 할 것인지를 결정하는 중요한 인자의 하나이다[3]. 또한 이러한 변실금의 올바른 치료를 위해서는 항문거상근과 항문괄약근의 구조적 이상과 함께, 새항문(neoanus)의 위치와 그 주위 조직의 교정수술 후 해부학적인 변화나

합병증을 정확히 알아내는 것이 도움이 된다.

한편 항문직장 및 항문거상근-항문괄약근을 포함한 주위 조직을 해부학적으로 나타내기 위한 영상방법으로 과거에는 주로 경직장초음파검사가 이용되어 왔으나[4,5], 경직장초음파검사는 해상도와 대조도가 낮으며 무엇보다도 유소아의 항문직장관에 무리 없이 삽입할 수 있는 탐촉자가 없다. 해상도와 대조도가 보다 뛰어난 자기공명영상검사법의 등장 후 자기공명영상검사를 이용하여 보다 세밀하고 정확하게 항문직장 및 주위조직을 나타내는 방법이 연구되어 왔다. 이러한 자기공명영상검사는 뛰어난 해상능 및 연조직 대조도와 함께 축면 뿐 아니라 관상면 및 시상면 등 다면영상이 가능하여 항문직장 및 주위조직의 입체적인 정확한 이해에 도움이 되었다[6]. 그러나, 몸통코일과 같이 고식적인 팬텀을 감싸는 형태의 수신기코일을 이용한 검사방법으로 항문괄약근의 이상 유무를 영상화하기에는 유·소아의 대상의 크기가 작고, 관심부위인 항문직장관과 주위조직으로부터의 신호가 작고, 상대적으로 몸통전체로부터의 잡음신호가 커서 신호대잡음비(SNR: Signal to Noise ratio)가 떨어지고, 결과적으로 공간해상능이 떨어져 항문직장과 인접한 주위조직을 해부학적으로 명확히 도해하고 항문괄약근의 이상을 나타내는데 제한이 있었다.

근래에 여러 연구자들이 이러한 제한을 극복하고 주요 관심부위인 항문주위조직 특히 항문거상근과 항문괄약근을 명확히 나타내고자 항문관에 직접 삽입이 가능한 뒤집음 탐침 (inside-out probe) 형태의 항문내 수신기코일을 고안하여 정상성인의 항문과 주위조직을 영상화하였고[7-9] 또한 소아의 항문 크기에 맞는 안장형의 항문내 수신기코일을 고안하여 항문직장기형 교정수술을 받은 후 변실금을 보이는 환아에 적용하여 기대할만한 결과들을 보고하였다[10]. 또한, 최근 Rociu 등은 변실금을 겪고 있는 성인을 대상으로 경직장초음파검사와 표면형 항문내 수신기코일을 이용하여 항문괄

약근의 자기공명검사로 영상을 얻어 각각을 수술소견과 비교하여 자기공명영상검사가 경직장초음파검사보다 항문괄약근의 이상 유무를 나타내는 데 우수함을 증명하였다[11]. 이렇게 소아에서 연구자가 직접 고안한 안장형 항문내 수신기코일을 이용한 자기공명영상검사와 성인에서 상품화된 표면형 항문내 수신기코일을 이용한 자기공명영상검사가 항문직장관과 항문괄약근 등을 정확히 영상화하는데 유용하다는 결과가 많이 보고되고 있으나, 아직 안장형 항문내 수신기코일과 표면형 항문내 수신기 코일을 동시에 이용하여 생체에서 자기공명검사의 영상의 질을 비교한 연구보고는 없었다.

본 연구에서는 항문직장기형으로 교정수술 후 배변조절장애를 겪고 있는 유·소아의 검사를 위하여 항문 내 삽입이 가능한 안장형 및 표면형 수신기코일을 고안하여 임상적용에 앞서, 팬텀(Phantom)에서 최적신호의 획득에 대한 시도를 하여 발생되는 영상신호를 얻고 그 영상영역 내에서의 신호대잡음비를 측정하여 두 코일의 성능을 비교 분석하고자 한다. 또한 직접 실험동물의 항문직장과 주위조직을 영상화한 후 실험동물의 조직해부학적 표본과 비교하여 동물에서 괄약근의 해부학적 구조를 도해하는데 두 수신기코일의 유용성을 비교해 보고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 뒤집음 탐침형 항문내 수신기코일의 제작

각각 직경 7 mm, 길이 6 cm 의 원통모양의 크기가 같은 안장형과 표면형 두 종류의 뒤집음 탐침 수신기코일을 제작하였으며, 코일은 약 10 mm^2 의 회로를 가져 내부조율, 적합(matching), 그리고 해리(decoupling)를 할 수 있도록 하였다.

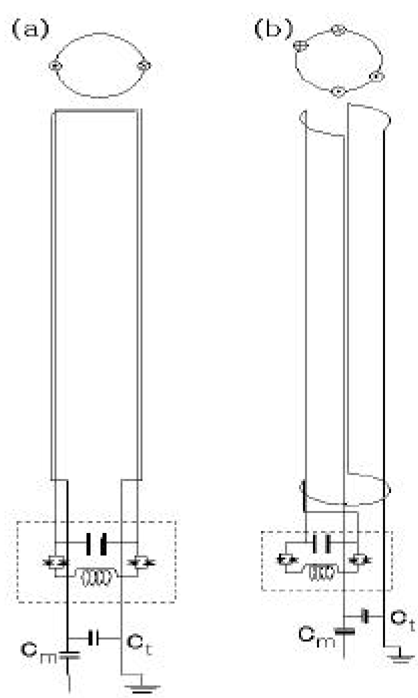

Figure 1. Schema of inside-out two turn surface coil (a) and saddle coil (b)

Fig. 1 은 각각 원기둥 모양의 이중 표면형 (surface type two turn) 코일과 안장형(saddle) 코일의 회로도이다. 테프론 봉에 서로 직교하는 두 개의 표면코일을 하나로 합친 형태의 이중 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일의 구리선을 고정하고, 그 바깥으로는 두께 1 mm 의 테프론 튜브로 감쌌으며, 항문 내 삽관 전에 LLDDE(linear low density polyethylene) 랩으로 덧씌웠다. 수신기 코일로 사용하기 위해서 Fig. 1 점선 박스 안에 나타난 것과 같이 코일의 약 1/2 되는 부분에 해리(decoupling) 회로를 연결하였으며 해리를 위해서 십자형 이극진공관(cross diode)을 사용하였다. Fig. 1 의 Ct, Cm 은 각각 동조축전기(tuning capacitor), 적합축전기(matching capacitor)를 나타낸다. 스캐너의 주자기장의 세기 1.5 T에서 H1의 진동수에 해당하는 63.87 MHz에 맞추어 동조축전기(Ct)를 조절하고, 50Ω에 적합하기 위해 적합축전기(Cm)를 조절하는데 회로망 분석기(Network analyzer)를 이용하여 적절 조건을 찾았다.

2. 팬텀 및 실험동물의 준비

팬텀은 시판되는 마요네즈를 비이커에 채워 사용하였으며, 실험동물로는 3.5 Kg, 3.8 Kg의 2 마리의 암컷 고양이를 이용하였다. 영상을 얻은 후 실험동물을 희생시켜, 포르말린 관류고정법을 이용하여 고정시킨 후 항문직장관에 수직으로 3 mm 간격으로 절편을 얻어 조직표본을 준비하였다.

3. 팬텀과 실험동물의 자기공명영상검사

자기공명영상검사는 1.5 T MR 스캐너 (Horizon 1.5 T, GE Medical System, Wisconsin, USA)로 스캔하였다. 팬텀의 검사에는 축면 및 관상면

스핀에코 T1 강조 영상법을 (TR/TE; 500/9-14 msec, FOV; 12 x 12 cm, Slice thickness; 4 mm, Matrix size; 256 x 256, Band width; 16 kHz, 1 NEX) 이용하였고, 실험동물의 검사에는 축면 스핀에코 T1 강조 영상 (TR/TE; 500/14, FOV; 4 x4, Slice thickness/gap; 2/3, Matrix size; 256 x 192, Band width; 16 kHz, 2 NEX), 축면 스핀에코 T2 강조 영상 (TR/TE 2500/80, FOV 4 x 4, Slice thickness/gap; 2/3 , Matrix size; 256 x192, Band width; 16 kHz, 3 NEX), 관상면 스핀에코 T1 강조 영상 (TR/TE; 500/14, FOV; 8 x 8, Slice thickness/gap; 2/1, Matrix size; 256 x 192, Band width; 16, 2 NEX), 관상면 스핀에코 T2 강조 영상 (TR/TE; 2500/80, FOV; 8 x 8, Thickness/gap; 2/1, Matrix size; 256 x 192, BW; 16, 2 NEX)등을 얻었다. 실험동물의 총 영상획득시간은 50- 55분 정도 걸렸다.

고양이는 실험 전 2 일 동안 금식을 시키고, 자기공명검사 30 분 전에 생리식염수로 관장을 시행하여 항문직장관에 남아있는 분변을 제거하였다. 자기공명검사 진행중에는 정맥도관을 유지하고, 케타민 1cc/kg/30min. 정맥주사로 마취를 유지하였다. 고양이를 측와위로 눕히고 코일을 항문 내에 삽입한 후, 호흡에 의한 동적인공물(motion artifact)을 줄이기 위해 클램핑 하였다.

4. 팬텀과 실험동물의 자기공명영상검사의 평가

가. 팬텀 검사

팬텀의 검사에서는 자기장 분포도를 분석하여 안장형과 표면형 코일의 자기장의 균일도 (magnetic homogeneity)를 비교분석하고, 또한 코일의 표면에서부터 거리에 따른 신호대잡음비(SNR) 변화를 비교 분석하여 두 코일의 영상영역 내에서의 성능을 비교하였다.

나. 실험동물검사

고양이는 영상을 얻은 후 희생시켜 관류고정법을 이용하여 고정한 후 항문직장관에 수직으로 3 mm 간격으로 절단하여 조직표본을 얻었다.

고양이의 항문직장관 축상면 영상에서 코일 표면으로부터의 거리에 따른 신호강도변화를 측정하여 실제로 생체의 영상화에서의 코일의 성능이 팬텀에서 얻은 신호대잡음비 변화와 부합되는지 알아보았다. 또한, 실험 동물의 축상면 영상과 조직표본을 비교하여 고양이의 항문괄약근과 항문거상근 등 주요 관심조직의 영상검출능과 함께 코일에 의한 인공물의 발생 여부, 조직해상능 등을 분석하였다. 전체적인 영상의 질은 축상 영상에서는 고양이의 내항문괄약근과 외항문괄약근의 구분 정도를 중심으로 평가하고, 관상 영상에서는 두 괄약근의 구분 정도와 함께 항문거상근 영상검출능을 중심으로 평가하였다.

Ⅲ. 결　　과

1. 팬텀에서 표면형과 안장형 코일의 성능 비교

가. 표면형과 안장형 수신기코일의 자기장 분포와 신호강도

Fig. 2 의 (a) 는 표면형 코일이 형성하는 자기장을 코일의 주축에 수직인 평면에 윤곽도(contour plot)를 나타낸 것으로 실선은 자기장의 세기가 같은 등자선을 연결한 것이고, (b)는 FOV 12 cm 으로 얻은 마요네즈 팬텀의 축상 영상에서 코일이 위치한 부분을 중심으로 확대하여 코일이 지나는 위치에서 측면상(profile)을 얻은 것으로, 가로축은 코일에서의 거리, 세로축은 신호강도를 나타낸다. Fig. 2 의 (c) 와 (d) 는 각각 안장형 코일의 등자선의 윤곽도(contour plot)와 팬텀 영상에서의 신호강도의 측면상이다.

Fig. 2 에서 두 코일의 자기장 분포도와 마요네즈 팬텀의 축상 영상을 살펴보면 표면형 수신기 코일에서는 가장 신호강도가 높은 두 정점 사이의 위와 아래 부분의 등자선의 골에 해당하는 부위에서 신호강도가 약간 떨어지는 부분이 나타나고 있으며, 안장형 수신기코일에서는 신호강도가 높은 네 부분 사이의 등자선의 골 부위에서 신호강도가 많이 떨어지는 부분이 방위각 방향으로 나타나고 있다. 따라서, 안장형보다 표면형 코일에서 방위각 방향으로의 자기장의 대칭성이(azimuthal symmetry) 더 우수하고 균일함을 알 수 있었다.

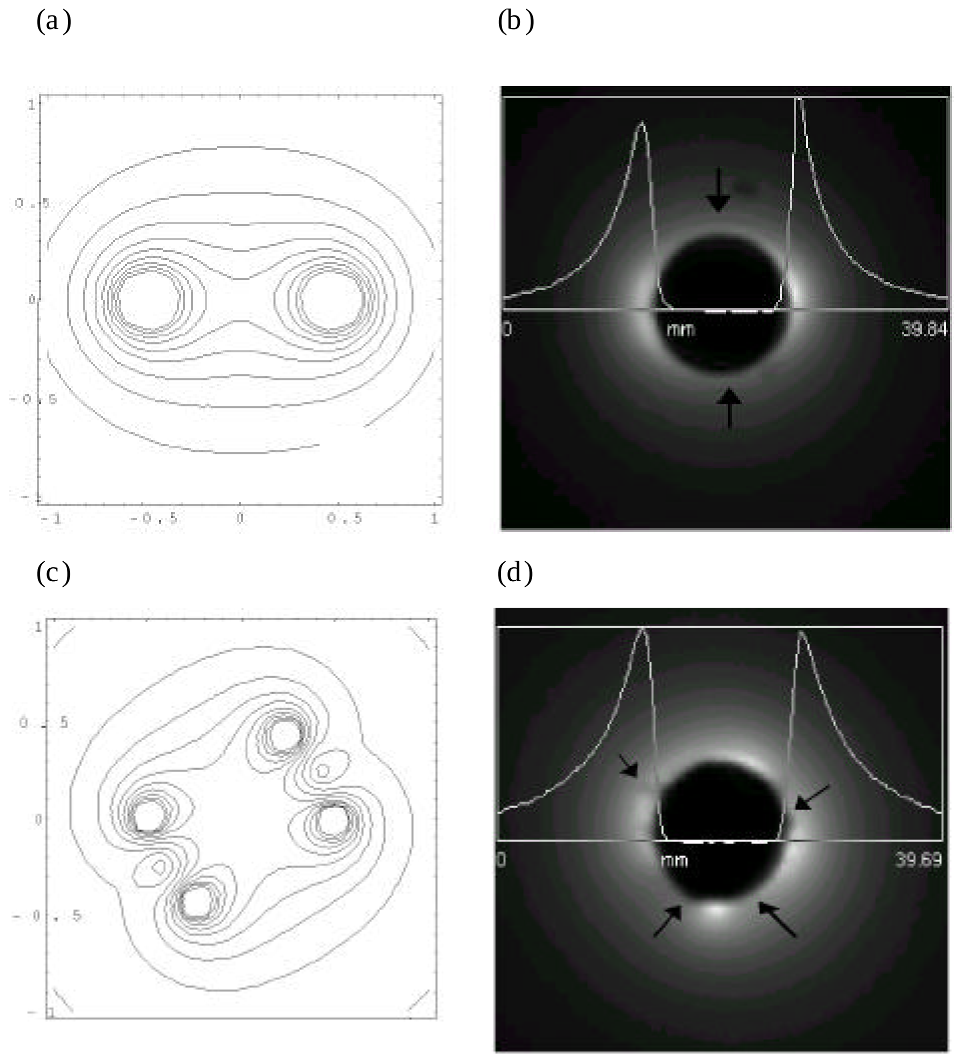

Figure 2. Contour plot of magnetic field of surface coil (a) and saddle coil (c) and signal intensity profile on axial T1 weighted image of phantom using inside-out surface coil (b) and inside-out saddle coil (d). Solid lines of (a) and (c) represent the lines interlinking the points of the equivalent magnetic strength. Contour plots of two types of coils suggest that surface two turn coil show azimuthal symmetry in magnetic strength than saddle coil. Solid arrows of (b) and (d) represent artifacts probably from intrinsic magnetic field inhomogeneity.

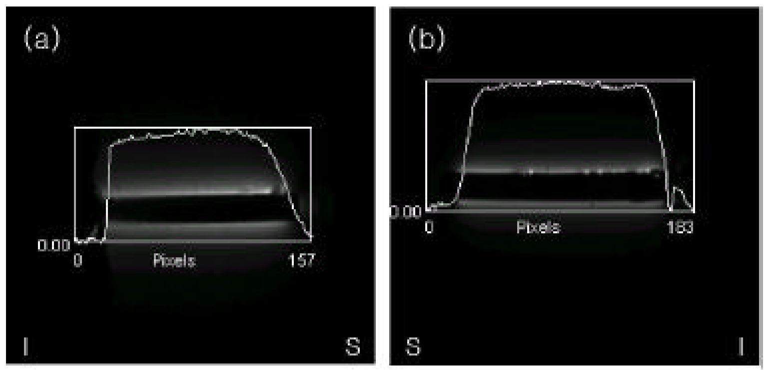

Figure 3. Signal intensity profile on coronal T1 weighted image of phantom using inside-out surface two turn coil (a) and inside-out saddle coil (b). Note both the two types of coils show relatively uniform signal intensity suggestive of homogeneous magnetic field.
S: superior, I: inferior

Fig. 3 은 마요네즈 팬텀의 관상 영상으로 S, I는 각각 위와(Superior), 아래를(Inferior) 나타낸다. 위쪽이 tuning capacitor, matching capacitor 등이 있는 코일의 시작 부위이고, 아래쪽이 코일의 끝 부분이다. 축상 영상과는 달리 안장형 코일과 표면형 코일 둘 다 마요네즈 팬텀의 신호가 거의 일정하게 나타나는 것으로 보아 형성되는 B1 자기장의 세기가 축상 영상에 비해 상대적으로 일정한 것을 알 수 있다. Superior 쪽에서의 신호 감소는 실제로 이용한 코일이 무한한 길이의 코일이 아니므로, 원기둥형 코일 끝 부분에서 돌아가는 코일로부터 생성되는 자기장에 의한 것이다. (Fig. 3 (b) 의 아래부분의 작은 신호증가는 팬텀 밖으로 새어나온 마요네즈로부터 나온 신호이다.)

나. 팬텀에서 수신기코일의 거리에 따른 신호대잡음비 변화

Table 1 과 Fig. 4 는 두 코일의 팬텀 축상 영상에서 코일표면으로부터의 거리에 따른 신호대잡음비(SNR)를 나타낸 것이다. 두 종류의 코일 모두 코일 표면으로부터 약 1.2 cm 위치까지 상당히 높은 신호대잡음비를 보였다. 영상 영역 내에서 신호대잡음비는 안장형 수신기 코일에서 약간 더 높았으며, 표면형 수신기코일은 Fig. 4 의 그래프에서 볼 수 있듯이 코일 표면에서 약 5 mm 거리까지는 신호대잡음비가 안장형 수신기코일보다

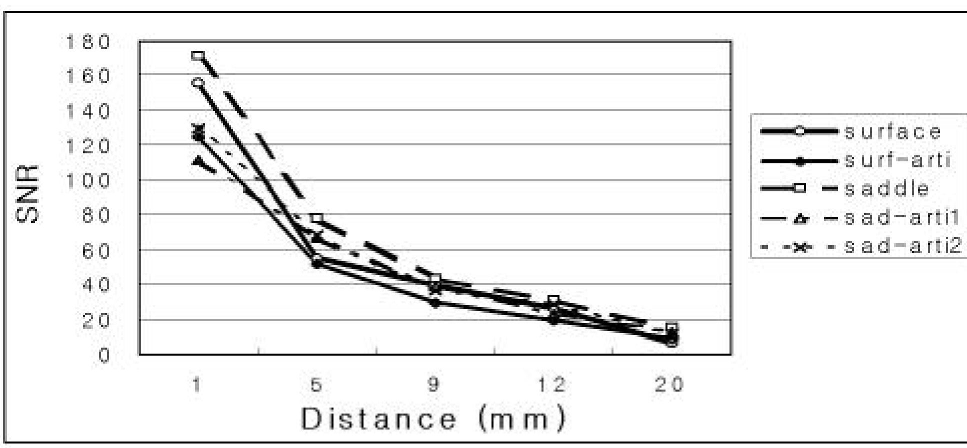

Figure 4. Change of SNR(Signal to Noise ratio) according to distance from coil surface on axial T1 weighted image of phantom using saddle inside-out coil (square) and surface inside-out coil (circle). Diamond marks represent the change of SNR at the area appearing as relatively low signal intensity in the superior and inferior direction on axial image of phantom acquired by surface coil. Triangle marks and X marks represent the change of SNR at the area that artifacts appeared on axial image of phantom acquried by saddle coil.

급격히 감소하였다. 또한, 표면형 수신기코일의 상하 방향의 등자선의 골에 해당하는 뱡향으로는 좀 더 낮은 신호대잡음비를 보였다. 안장형 수신기코일에서는 코일 표면으로부터 약 5 mm 까지는 표면형 수신기코일보다 신호대잡음비가 높고 또한 신호대잡음비의 감소가 완만한 기울기를 보였다. 그러나, 안장형 코일을 이용한 축상 영상에서 나타난 방위각 방향으로의 인공물에서는 상대적으로 표면형 수신기코일에서보다 상당히 낮은 신호대잡음비를 보여, 인공물이 나타난 부위에서의 영상의 해석이 어려울 것임을 추측할 수 있었다.

Table 1. Change of SNR (Signal to Noise ratio) according to distance from coil surface on axil image of phantom acquired by inside-out saddle coil, inside-out surface coil and at the area that artifact appeared on axial image.

Distance (mm)	**surface**	**surf-arti**	**saddle**	**sad-arti1**	**sad-arti2**
1	156	125	171	112	130
5	55	52	78	67	68
9	40	29	43	39	36
12	26	19	31	23	28
20	6	9	15	12	12

surf-arti: change of SNR according to distance from coil surface in the superior and inferior direction, which shows relatively low signal intensity probably due to magnetic field inhomogeneity
sad-arti1: change of SNR at the area that relatively shows low signal intensity
sad-arti2: change of SNR at the area in the direction of right angle to sad-arti1 area, which also shows low signal intensity

다. 고양이에서 수신기코일로부터 거리에 따른 신호강도의 변화

실제 고양이를 이용하여 얻은 축상면 T1 강조 영상에서 두 코일의 표면에서의 거리에 따른 신호강도의 변화를 살펴보면, 표면형 수신기코일이 안장형 수신기코일보다 코일 표면 부근에서의 신호강도가 높음을 알 수 있었으며 (약 3 배), 코일로부터의 거리가 멀어짐에 따라 급격히 신호강도가 감소하여, 코일로부터 약 10 mm 떨어진 거리에서는 두 코일의 신호강도가 비슷해짐을 알 수 있었다 (Fig. 5).

영상영역을 작게 (4 x 4 cm) 잡아서 배경의 신호강도를 구할 수 없어, 팬텀영상에서처럼 신호대잡음비를 구할 수는 없었다. 그러나, 배경신호강도가 비슷하다고 가정할 때, 실제 생체의 영상에서는 팬텀에서와 다르게 표면형코일에서 안장형코일보다 코일 바로 부근에서의 신호대잡음비가 더 높을 것임을 추측할 수 있었다.

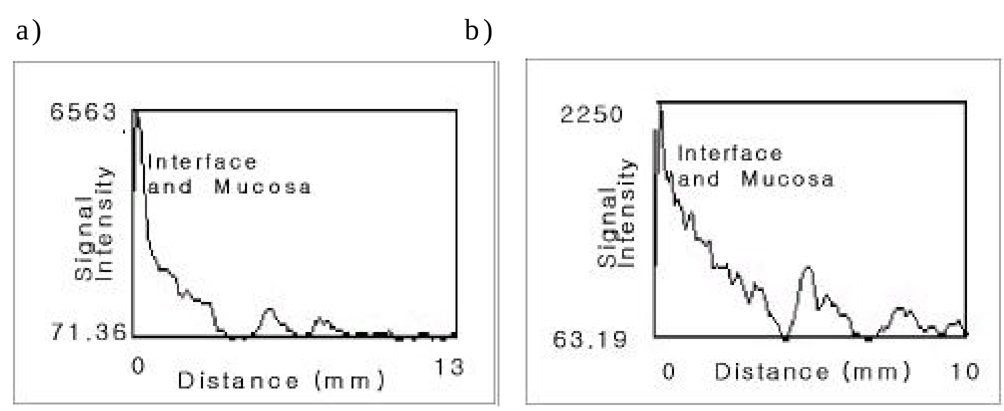

Figure 5. Change of signal intensity(SI) according to distance from coil surface on axial T1 weighted image of anorectum using surface coil (a) and saddle coil (b).

2. 항문내 코일을 이용한 고양이의 항문직장영상과 조직표본과의 비교

가. 고양이의 항문직장관과 주위구조

고양이의 배변을 조절하는 근육은 주로 횡문근인 외항문괄약근으로 사람에서와 마찬가지로 항문거상근과 협조를 이루어 배변기능을 조절하는 것으로 알려져 있다. 외항문괄약근은 다시 pars caudalis와 pars cranialis의 두 부분으로 나눌 수 있으며, 그 중 전자는 고양이의 항문 양옆에 쌍으로 존재하는 항문낭(anal sac)을 덮고 항문낭을 수축시키는 작용을 한다. (Fig. 6)

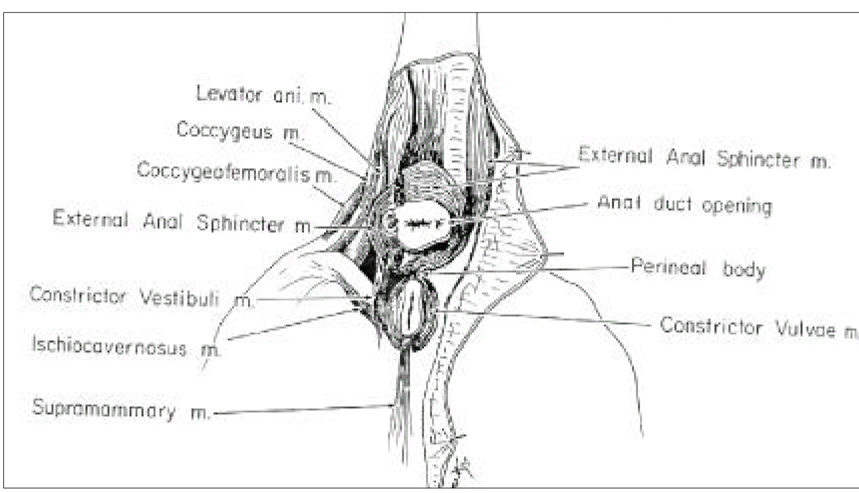

Figure 6. Schema of perineal musculature of female cat.

한편 내항문괄약근은 항문직장의 민무늬근이 약간 두꺼워진 것으로 사람에서만큼 발달되어 있지는 않으며 또다른 민무늬근인 pars analis와 pars penina는 retractor penis(clitoridis in female)의 일부로써 척추에서 기시하여 항문낭의 내측으로 항문관에 삽입되어(insertion) 내항문괄약근과 섞여서 항문관을 수축시키는 작용을 하며 앞쪽으로는 외생식기(penis or clitoris)에 연결된다[12].

나. 실험동물의 자기공명영상과 조직표본과의 비교

Fig. 7 은 표면형 코일을 이용하여 얻은 T1 및 T2 강조 축상 영상과 그 도해(Schema), 그리고 조직 표본의 비교도해이다. 또한 Fig. 8 은 표면형 코일을 이용해 얻은 T1 및 T2 강조 관상 영상과 그 도해이다. Fig. 7 의 표면형 코일을 이용한 축상 영상에서 내항문괄약근과 외항문괄약근은 비교적 잘 구분되며, 내항문괄약근은 T1 강조 영상에서 중간신호강도 그리고 T2 강조 영상에서는 중간-저신호강도를 보였다. 팬텀의 축상영상에서 등자선의 골에 해당하는 부분인 코일의 상하 방향으로 약간 신호강도가 떨어지는 것을 인지할 수 있었으나, 영상의 해석에 지장을 줄 정도는 아니었다.

한편, 안장형 코일을 이용하여 얻은 영상에서 보면, T1 및 T2 강조 축상 영상에서 팬텀실험에서와 마찬가지로 방사각 방향으로 상당히 낮은 신호강도의 인공물이 나타났다. 내항문괄약근과 외항문괄약근의 구분은 인공물이 없는 부분에서는 가능하였으나, 인공물이 나타난 부위에서는 불가능하여 전체적인 영상의 질이 떨어졌다. T1 및 T2 강조 관상 영상에서는 인지할 수 있을 만큼 신호강도가 떨어지는 인공물이 나타나지 않았으며, 표면형 코일로 얻은 영상에서와 마찬가지로 T1 강조 영상에서는 비의존부위의(nondependent portion) 내항문괄약근과 외항문괄약근을 구분할 수 있었으나, T2 강조 영상에서는 두 괄약근의 구분이 어려웠다.(Fig. 9)

이상의 결과로 두 코일을 이용하여 얻은 축상 영상의 질을 비교해 보면, 안장형 코일의 축상 영상에서 나타난, 영상의 해석에 지장을 줄 정도로 낮은 신호강도의 인공물 때문에 표면형 수신기코일이 안장형 수신기코일보다 내항문괄약근과 외항문괄약근의 구분에 더 우월하였다.

T1 및 T2 강조 관상 영상에서는 두 종류 코일에서 얻은 영상 모두에서 항문거상근과 항문괄약근을 잘 관찰할 수 있었으며, T1 강조 영상에서는

내항문괄약근과 외항문괄약근을 비의존부분에서(nondependent portion) 부분적으로 구분할 수 있었으나, T2 강조 영상에서는 내항문괄약근과 외항문괄약근의 구분이 어려웠다. 또한 표면형 수신기코일과 안장형 수신기코일을 이용하여 얻은 관상 영상에서는, 비록 자기장의 불균일성이 있을지라도, 축상 영상과는 달리 영상해석에 지장을 줄 정도로 인지할 수 있는 인공물이 나타나지는 않았다. 따라서, 두 코일로 얻은 영상들의 질적 차이는 뚜렷하지 않았다.

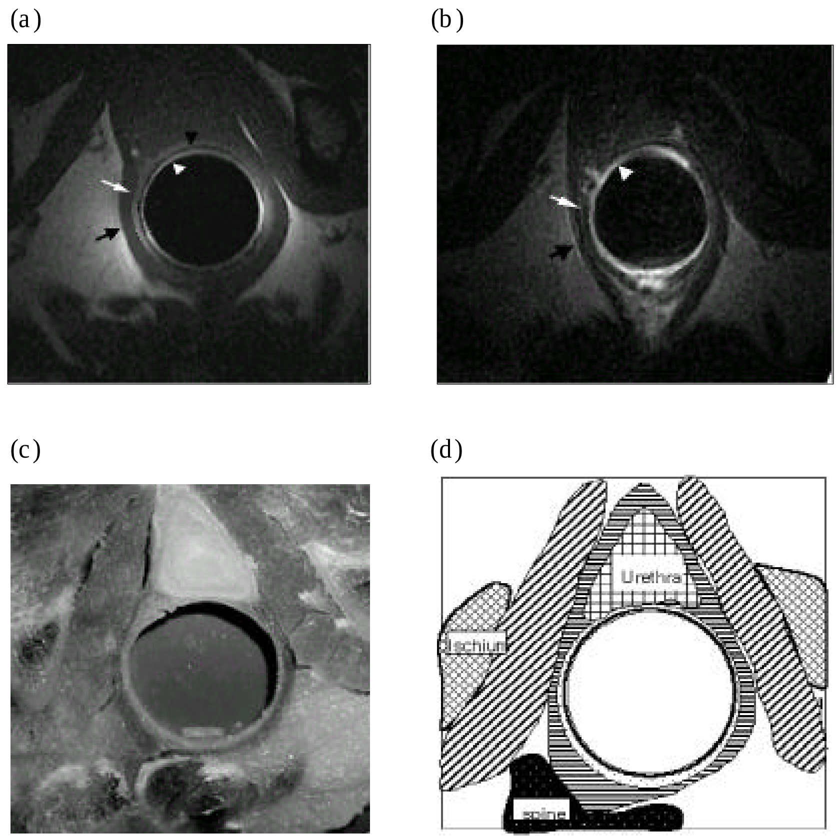

Figure 7. T1 axial (a) and T2 axial (b) images using inside-out two turn surface coil and cross-section of the specimen (c) at the similiar level and its schema (d)

IS (internal sphincter) and ES (external sphincter) are well demarcated on T1 and T2 weighted images. IS appears as intermediate signal intensity and ES appears as low signal intensity on T1 weighted image. Note that although signal intensity seems to be slightly low in the superior and inferior direction, image interpretation is little affected.

IS: white arrow in (a) and (b), dotted circle area in (d)

ES: black arrow in (a) and (b), horizontal lined area in (d)

White arrowhead: mucosa, Black arrowhead; muscularis mucosa,

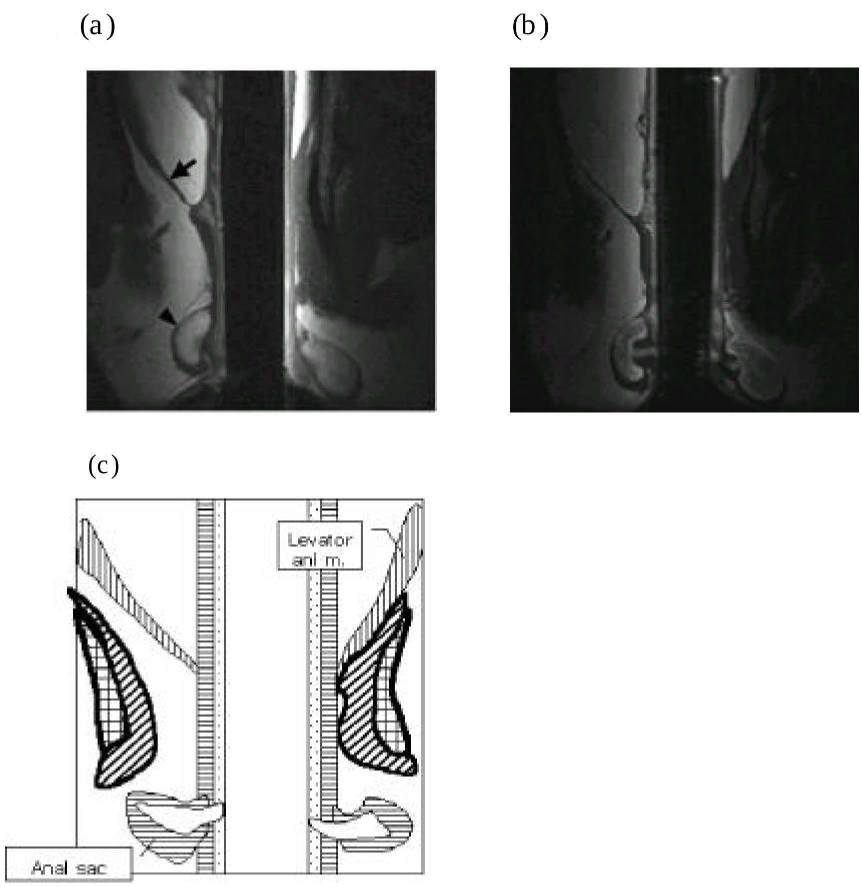

Figure 8. T1 coronal (a) and T2 coronal (b) images using inside-out two turn surface coil and an its schem (c).

Note that IS and ES are partially demarcated on non-dependent side (left side of image) at T1 weighted image, but not demarcated at T2 weighted image. LA(Levator ani muscle ; arrow) and anal sac (arrowhead) are well delineated at both the T1 and T2 weighted images. LA : arrow in (a) and the vertical lined area in (c).

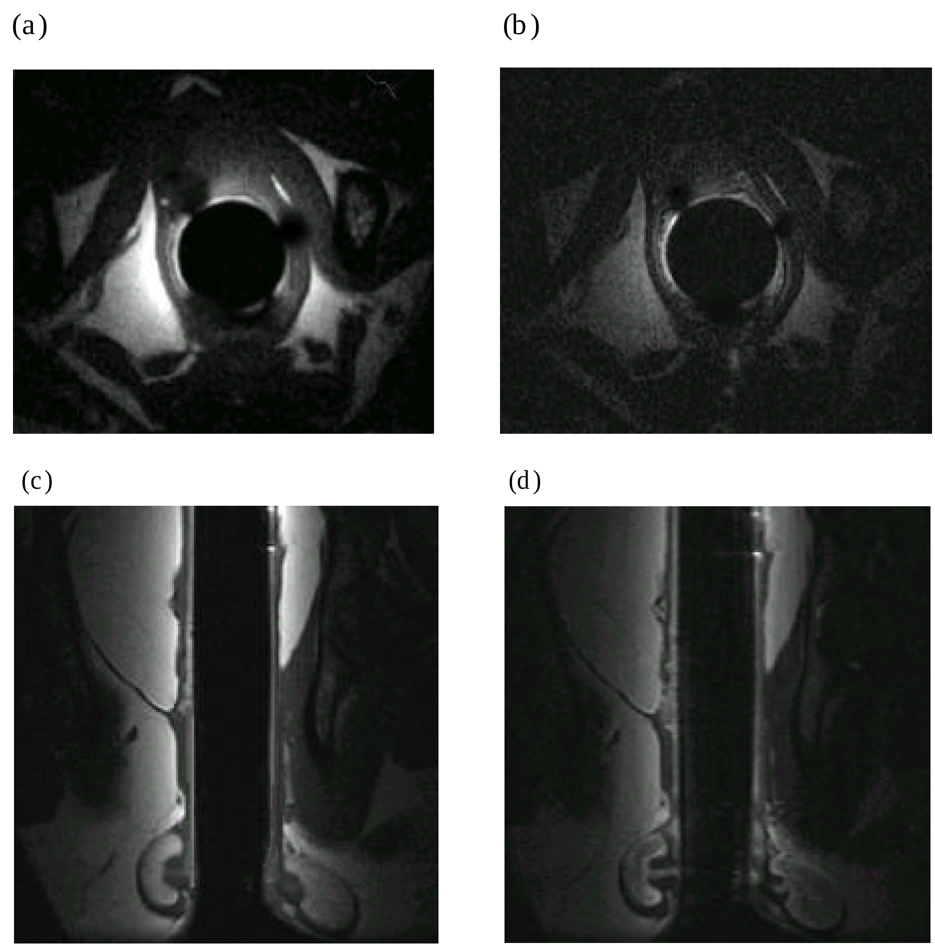

Figure 9. T1 and T2 weighted axial (a & b) and coronal (c & d) images using saddle coil. Note that, at the axial images (a & b), signal void artifacts probably from magnetic strength field inhomogeneity prohibit not only from demarcation between IS and ES but also from whole delineation of anal sphincter muscle.

Ⅳ. 고　　찰

사람의 배변조절기능은 고유감각(proprioception) 신경에 의한 반사작용(reflex)과 함께 항문거상근-외항문괄약근 복합체등의 수의근인 여러 횡문근과 불수의근이자 민무늬근인 내항문괄약근의 복합작용에 의한 것이다. 이들 중 수의적인 배변조절에 중요한 것은 항문거상근과 외항문괄약근 등의 횡문근 복합체로 알려져 있다[2,3,13,14].

소아에서 흔한 선천성 기형인 항문직장기형의 교정수술 후 가장 문제가 되는 것 중의 하나가 배변조절과 관련된 장애이다. 문헌에 다르면 교정수술을 받은 환아의 약 25 %가 변실금을 앓고 있으며, 25-30 % 의 환아가 변비, 부분적인 변실금(soiling), 설사 시 변실금(incontinence associated with episodes of diarrhea) 등을 겪고 있어, 직장항문기형 교정수술 후 50 % 이상의 환아가 배변조절과 연관된 고통을 겪고 있다[1]. 이러한 환아들 중 상당수는 성인이 된 후에도 여전히 배변조절장애를 겪고 있어, 사회적 고립 등 삶의 질적 저하를 야기한다[15].

한편, 항문직장기형의 교정수술 후 배변조절장애를 보이는 환아의 치료에는 바이오피드백과 같은 보존적 치료와 재수술을 하여 항문의 위치를 교정하는 방법 그리고 수술적으로 괄약근을 만들어주는 방법 등이 고려될 수 있다. 이러한 치료방법을 정하는 데 중요한 요소가 항문거상근-외항문괄약근 등 수의근의 이상 유무와 새로운 항문(neo-anus)의 위치이다[2,3].

이렇게 교정수술 후 배변조절장애를 보이는 환아의 적절한 치료를 위하여 중요한 새항문의 위치와 항문주위 횡문근들을 보다 명확히 영상화하기 위해서 자기공명영상검사가 이용되어 왔다. 그러나, 고식적인 팬텀을 둘러싼 형태의 수신기코일의 제한 때문에, 근래에 팬텀 안에 직접 탐침을 넣어 관심부위의 해상도와 대조도를 극대화시킬 수 있는 항문내 수신기코일을

이용한 연구들이 많이 보고되었다. 이러한 보고들 중 deSouza 등은 주로 안장형의 뒤집음 탐침 수신기코일을 고안하여 성인의 항문직장과 주위근육을 영상화하였고 특발성의 변실금을 앓고 있는 소아와 항문직장기형 교정수술을 받은 소아의 검사에서도 유용함을 보고하였다[7,10.,16.]. 또한, 최근 Rociu 등은 변실금을 앓는 성인에서 표면형 항문내 수신기코일을 이용한 자기공명검사와 경항문초음파검사를 비교 연구하여 항문내 코일을 이용한 자기공명검사가 더 우수함을 증명하였다[11]. 이렇게 뒤집음 탐침 형태의 항문내 수신기코일을 이용한 항문직장 검사가 변실금의 구조적인 원인을 밝히는 데 도움이 된다는 많은 외국 보고가 있으나 아직 우리나라에서는 이에 대한 연구보고가 없다. 또한 뒤집음 탐침형 수신기에는 내부코일의 형태에 따라 안장형, 표면형, 역솔레노이드형등 여러 형의 수신기를 고안할 수 있어 이들을 제작하여 팬텀검사로 비교한 연구가 보고되었으나[17], 실제 임상에 적용할 수 있는 크기의 코일을 제작하여 생체에서 실험하고, 비교한 연구결과는 아직 보고된 바 없다. 이에 본 연구자는 항문직장기형 교정수술 후 배변조절 장애를 앓고 있는 실제 환아의 검사에 이용할 수 있는 크기와 모양이면서, 외국문헌에서 보고된 바 있는 코일 종류인 안장형과 표면형의 항문내 수신기코일을 제작하여, 임상적용에 앞서 실험팬텀과 실험동물에 적용하여 그 유용성을 살펴보고 비교하였다.

고안된 두 종류의 뒤집음 탐침 형태의 코일은 모두 직경 7 mm, 길이 6 cm 으로, 문헌에 의하면 이 정도의 직경은 2세 미만의 소아에서도 항문직장관의 과도한 팽창 없이 검사가 가능하며, 또한 6 cm 길이는 항문거상근이 외항문괄약근에 삽입되는 부위의 검사에 충분한 것으로 보고되고 있다[10].

실험팬텀로 사용된 마요네즈를 검사한 바에 의하면 두 종류 코일 모두 영상획득범위에 있어서 코일표면으로부터 약 1.2 cm 까지 비교적 큰 신호대잡음비를 보이고 있어(Table 1, Fig. 4) 소아의 항문직장관과 괄약근 그

리고 항문거상근의 검사에는 충분할 것으로 보인다. 그리고, 영상 영역 내에서 신호대잡음비는 안장형 코일이 약간 우수하였으며, 코일 표면으로부터의 거리에 따른 신호대잡음비의 변화도 안장형 수신기코일이 더 완만하였다. 그러나, 표면형 수신기코일에서는 등자선의 골에 해당하는 부위의 신호대잡음비가 약간 떨어진 반면, 안장형 수신기코일에서는 등자선의 골에 해당하는 부위의 신호대잡음비가 다른 부위에 비해 월등히 떨어져 낮은 신호강도의 인공물이 방사방향으로 나타났다. 따라서, 실제 생체의 영상에서는 이러한 인공물이 나타난 부위에서의 해상도가 매우 떨어질 것임을 추측할 수 있었다.

한편 마요네즈의 관상면 영상에서는, 자기장의 불균일성이 존재함에도 불구하고, 안장형 코일과 표면형 코일에서 둘 다 인지할 수 있을 정도의 인공물의 영향 없이 비교적 균일한 신호강도를 보였다. 따라서, 안장형 수신기코일에서 나타나는 인공물은, 안장형 수신기코일의 회로의 배열 때문에, 코일의 장축에 직각인 축상 방향으로 더 심하게 나타나는 자기장의 불균일성 때문임을 알 수 있었다.

한편, 고양이의 항문직장관 영상에서 측정한 코일로부터의 거리에 따른 신호강도를 보면 (Fig. 5), 표면형 수신기코일이 안장형 수신기코일보다 코일 바로 부근에서의 신호강도가 훨씬 높았고 (약 3배), 코일로부터 거리가 멀어짐에 따라 신호강도가 급격히 감소하여, 코일로부터 약 10 mm 거리에서는 두 코일에서 신호강도가 비슷해졌다. 이러한 결과는 팬텀에서 안장형 코일의 신호강도가 더 높았던 것과 대조되는 결과인데 그 이유는 아마도 실제 생체의 영상에서 코일의 동조화와(tunning) 자기장의 균일도가 표면형 코일에서 더 잘 이루어졌기 때문이라고 생각된다. 또한, 이러한 결과는 실제 생체의 영상에서 코일 바로 부근 구조의 영상화에 표면형 코일의 해상도가 우월할 것임을 시사한다.

팬텀 실험에서 예측할 수 있었듯이 안장형 코일을 이용한 축면 T1 및 T2 강조 영상에서 역시 방위각 방향으로 신호소실 형태의 인공물이 나타났다. 이러한 인공물이 나타나지 않은 부위에서는 비교적 항문괄약근을 잘 나타낼 수 있었고, T1 및 T2 강조 축상면 영상에서 외항문괄약근과 내항문괄약근의 구분도 가능하였다. 반면 표면형 코일을 이용한 축상면 영상에서는 해상도나 대조도는 안장형코일과 비슷하였으며, 비록 등자선의 골에 해당하는 코일의 상하 방향으로 약간 신호강도의 감소를 보였으나, 영상의 해석을 방해할 정도로 낮은 신호강도의 인공물의 영향은 나타나지 않아서 전체적인 영상의 질은 더 우월하였다. 또한 안장형 코일에서와 마찬가지로 T1 및 T2 강조 영상에서 외항문괄약근과 내항문괄약근의 구분이 가능하였다.

축상면 영상에서와는 달리 T1 강조 및 T2 강조 관상영상에서는 자기장의 불균일성에도 불구하고, 안장형과 표면형 코일 모두에서 인지할 수 있을 정도의 인공물의 영향 없이 고양이의 항문거상근과 항문괄약근을 잘 영상화할 수 있었으며, 코일의 종류에 따른 해상도나 대조도의 차이는 뚜렷하지 않았다. 그러나, 인공물의 영향이 없음에도 불구하고 내항문괄약근과 외항문괄약근의 구분은 T1 강조 영상에서만 비의존부위에서 (non-dependent portion) 부분적으로 가능하였고 T2 강조 영상에서는 불가능하였다. 이러한 소견은 사람을 대상으로 연구한 외국문헌의 보고와는 차이가 있었다. 그 이유로서, 우선 사람과 달리 고양이의 내항문괄약근의 발달이 미약하고, 또한 7 mm 직경의 코일이 고양이의 항문직장관의 크기보다 너무 커서 항문관의 민무늬근의 일부가 비대해서 이루어진 내항문괄약근이 너무 펴져서 (stretch) 구분이 어려웠을 가능성과 의존부위에서 (dependent portion) 두 항문괄약근의 밀착의 영향 등을 고려할 수 있다.

항문괄약근과 항문거상근의 신호강도를 살펴보면 횡문근인 외항문괄약

근과 항문거상근의 신호강도는 외국문헌에서 보고된 바와 같이 저신호강도를 보였으나, 민무늬근인 내항문괄약근은 문헌에서는 T1 강조영상에서 중간신호강도, 그리고 T2 강조영상에서는 고신호강도를 보이는 것으로 보고되었다[7,8,9]. 그러나, 본 실험에서는 내항문괄약근이 T1강조영상에서 중간신호강도, T2 강조 영상에서 저신호강도의 횡문근보다 약간 높거나 비슷한 정도의 중간-저신호강도를 나타내었다. 외항문괄약근은 T1 및 T2 강조 영상에서 모두 저신호강도를 모였다. 내항문괄약근이 외항문괄약근에 비해 T1 및 T2 강조 영상에서 더 높은 신호강도를 보이는 이유는 잘 알려져 있지 않으나, 문헌에 따르면 민무늬근에 유지되는 근긴장도와 함께 상대적으로 높은 혈관분포등이 원인으로 추측되고 있다[7,10]. 본 연구에서 내항문괄약근이 T2 강조 영상에서 낮은 신호강도를 보이는 원인은 잘 알 수 없으나, 고양이와는 달리 직립보행을 하는 사람의 내항문괄약근의 발달 정도와 근긴장도의 차이, 그리고 고양이에게는 상대적으로 큰 항문내 코일의 삽입에 의한 내항문괄약근의 펴짐(stretching) 등이 원인으로 추측된다.

본 실험의 결과를 정리해보면, 안장형과 표면형 항문내 수신기코일, 두 종류 다 영상획득범위에 있어서는 소아의 항문직장관과 주위조직의 영상화에 충분한 것으로 나타났다. 또한 영상 영역 내에서 신호대잡음비는 팬텀실험에서는 안장형 코일이 약간 우수하였으나, 실제 고양이의 생체 영상에서는 표면형코일이 안장형코일보다 코일 바로 부근에서의 신호강도가 훨씬 높아, 코일 부근 관심영역에서의 해상도에서 표면형코일이 우월한 것으로 나타났다. 실험동물의 실제 영상을 분석해보면, 두 코일 모두 고양이의 항문괄약근과 항문거상근을 잘 영상화하여, 소아의 항문직장관과 배변조절기능에 중요한 항문괄약근-항문거상근의 영상검사에 이용 가능할 것으로 보인다. 그러나, 코일 바로 부근의 관심부분에서의 영상의 해상도는 표면형코일이 우수하였으며, 더욱이 안장형코일을 이용한 축상 영상에서는, 코일

회로의 배열 때문에, 코일에 내재된 자기장의 불균일에 의한 신호소실의 인공물들이 방위각 방향으로 표면형 수신기코일보다 더 두드러지게 나타나 축상영상의 해석에 제약을 주었다. 특히 항문직장기형 교정수술을 받은 환아에서는 외항문괄약근의 결손이나 낮은 신호강도의 섬유화 등이 나타날 수 있으므로, 이러한 환아의 검사에 있어서는 안장형 항문내 수신기코일은 제한이 있으리라고 보인다.

본 실험에서는 관형의 인체구조 검사에 적합한 뒤집음 탐침 형태의 수신기코일 중 문헌에 보고된 안장형과 표면형의 항문내 수신기코일을 고안하여 임상적용 전에 팬텀과 실험동물에서 그 유용성을 비교 평가하여, 표면형 수신기코일이 보다 항문직장관의 자기공명영상검사에 유용할 것이라는 결론을 얻었다.

이로서 이번 실험에서 고안된 항문내 수신기코일을 이용하여, 실제 항문교정수술 후 배변조절장애를 겪고 있는 유・소아를 검사하는데 기초자료가 될 것으로 생각된다.

Ⅴ. 결　　론

항문직장관 교정수술을 받은 후 배변조절장애를 겪고 있는 유·소아의 항문 괄약근 평가를 위해 고안된 MR 항문내 안장형 수신기코일과 항문내 표면형 수신기코일의 마요네즈 팬텀과 고양이를 이용한 유용성의 비교 평가에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표면형과 안장형의 항문내 수신기코일 둘 다 유소아의 항문관에 적용할 수 있는 크기와 모양으로 제작이 가능하였고, 영상 영역 내 신호대잡음비는 두 코일 모두 주요 관심 조직인 항문괄약근과 항문거상근의 영상화에 충분한 것으로 판정된다.
2. 팬텀 영상에서 영상영역 내 신호대잡음비는 안장형 수신기코일이 약간 우수하였으나, 실제 고양이의 생체 영상에서는 표면형 수신기코일이 코일 부근에서 더 높은 해상도를 보였다.
3. 마요네즈 팬텀을 이용한 자기공명영상검사에서, 코일내 회로의 배열 때문에, 코일의 장축에 직각 방향에서 안장형 수신기코일이 표면형 수신기코일보다 더욱 불균일한 자기장을 나타내었고, 그 결과로 축상 영상을 얻을 때 안장형 수신기코일을 이용한 영상에서는 방위각 방향으로 신호소실 양상의 인공물이 나타났다.
4. 고양이의 자기공명영상검사에서 관상면 영상에서는 두 종류 코일 모두 항문괄약근과 항문거상근의 영상화에 만족할 만한 해상도를 보였으나, 축상면 영상에서는 표면형 수신기코일이 안장형 수신기코일보다 코일 부근에서의 해상도가 우월하고, 더욱이 안장형 수신기코일에서는 영상 해석을 방해할 정도의 인공물이 나타났다. 따라서, 항문괄약근의 평가에 있어서 표면형 수신기코일이 안장형 수신기코일보다 전체적인 영상의 질이 우수하였다.

5. 위의 결과를 종합하여 볼 때 본 연구에서 고안한 두 종류의 뒤집음 탐침 형태의 항문내 수신기코일은, 항문직장관기형 교정수술 후 배변조절장애를 보이는 유소아의 검사에 유용할 것으로 보이며, 특히 안장형보다 표면형 항문내 수신기코일이 실제 유·소아의 항문괄약근의 이상 유무를 알기 위한 영상검사에 더 적합할 것으로 판단할 수 있었다.

본 연구에서 얻은 결과는 앞으로 이번 실험에서 고안된 항문내 수신기코일을 이용하여, 실제 항문교정수술 후 배변조절장애를 겪고 있는 유·소아를 검사하는데 기초자료가 될 것으로 생각되며, 또한 다른 원인이나 특발성으로 변실금을 앓고 있는 유·소아에서도 그 구조적인 이상을 밝히기 위한 검사에 본 실험에서 고안된 항문내 수신기코일이 이용 가능하리라 생각된다.

참고 문헌

1. Pena A. Treatment of anorectal malformations. In colorectal physiology: fecal Incontinence. Boca Raton, FL, CRC Press; 1994. p 213-318.

2. Smith ED. The bath water needs changing, but dont throw out the baby: An overview of anorectal anomalies. J Pediatr Surg 1987;22(4):335-48.

3. Paidas CN. Fecal incontinence in children with anorectal malformation. Seminars in Pediatric Surgery 1997;6:228-34.

4. Sultan AH, Kamm MA, Hudson CN, Beynon J, Bartram CL. Anal endosonography and correlation with in vitro and in vivo anatomy. Br J Surg 1993;80:508-11.

5. Sultan AH, Kamm MA, Talbot IC, Nicholls RJ, Bartram CI. Anal endosonography for idenfying external sphincter defects confirmed histologically. Br J Surg 1994;81:463-65.

6. Husberg B, Resenborg M, Frenchkner B. Magnetic resonance imaging of anal sphincter after reconstruction of high or intermediate anorectal anomalies with posterior sagittal anorectoplasty and fistula-preserving technique. J Pediatr Surg 1997;32:1436-42.

7. deSouza NM, Kmiot WA, Puni R, Hall AS, Burl M, Bartram CI, et al. High resolution magnetic resonance imaging of the anal sphincter using an internal coil. Gut 1995; 37:284-87.

8. deSouza NM, Hall AS, Puni R, Cilderdale DJ, Young IR, Kmiot WA. High resolution magnetic resonance imaging of the anal sphincter using dedicated endoanal coil: comparison of MR imaging with surgical findings. Dis colon Rectum 1996;39:926-34.

9. deSouza NMm Puni R, Kmiot WA, Bartmam CI, Hall AS, Bydder GM. MR imaging of the anal sphincter. J Comput Assist Tomogr 1995;19:745-51.

10. deSouza NM, Gilderdale DJ, Malclaver DK, Ward HC. High-resolution MR imaging of anal sphincter in children. AJR 1997;169:201-6.

11. Rociu E, Stoker J, Eijkemans MJC, Schouten WR. Lameris JS. Fecal incontinence: endoanal US versus endoanal MR imaging. Radiology 1999;212:453-58.

12. Martin WD, Fletcher TF, Bradley WE. Perineal musculature in the cat. Anat Rec 1974;180:3-14.

13. Stephens FD, Smith ED. Ano-rectal malformations in children. Chicago, Year Book Medical; 1971

14. NGuessan G, Stephens FD. Covered anus with anocutaneous fistula. The muscular sphincters. J Pediatr Surg 1986;21:33-9.

15. Rintala R, Mildh L, Lindahl H, Helsinki. Fecal continence and quality of life for adult patients with an operated high or intermediate anorectal malformation. Seminars in Pediatric Surgery 1997;6:228-34.

16. deSouza NM, Ward HC, Williams AD, Battin M, Harris DNF, Mclver DK. Transanal MR imaging after repair of anorectal anomalies in children. AJR 1999;173:723-28.

17. **이도훈**, **고락길**, **정은기**. **핵자기공명 영상법과 핵자기공명 분광법을 위한 뒤집음-탐침의 개발에 대한 연구**. **의공학회지** 1995;16:309-16.

Abstract

Endoanal coil designed to evaluate anal sphincter in young children
- Comparison of surface coil with saddle coil in usefulness in phantom and cat -

Min Jung Kim

Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Jin-Suck Suh)

We designed inside-out type endoanal surface and saddle coil to evaluate the anal sphincter of young children with difficulty in control of defecation after correction of anorectal malformation and compared the two coils for the usefulness of imaging phantom and cat anorectum.

We acquired T1 weighted and T2 weighted axial and coronal images of the phantom and cats. We compared the two coils in changes of signal intensity and of SNR according to distance from coil surface. We compared the two coils in delineating capability of internal and external anal sphincter of cat anorectum which was important in control of defecation.

It was disclosed that saddle coil was a little superior to surface coil in SNR of the phantom study, whereas surface coil was superior to saddle coil in signal intensity comparison in the region of interest of the cat

specimen study. Moreover, artifacts of low signal intensity appeared in azimuthal direction on axial images acquired using saddle coil and prohibited from whole delineation of anal sphincter, so that surface coil was superior to saddle coil in image quality.

In this study, we concluded that surface coil might be superior to saddle coil in MR examination to evaluate the anal sphincter of young children.

Key Words : magnetic resonance(MR), experimental ; magnetic coil; anal sphincter; anorectal malformation