

MR Artifacts

동아대 의대 최순섭

I. 개요

의학 영상에서 Artifact란 실제 해부학적인 근거와 다르게 표현되는 영상을 총칭하는 말로서, MR에서는 장기의 변형이나 신호이상의 형태로 잘못 표현(misrepresent)되어 나타난다.

artifact는 MRI 고유의 특성이나, 부적절한 영상획득 방법, 기계자체의 오작동 등에 의한 artifact와, 특별한 부위 혹은 인접조직의 특성등에 따른 특별한 환경에서 생기는 artifact와, 외부에서 가해주는 특별한 파형에 의해 생기는 artifact등이 있다. 과거 제기된 artifact들은 기계장치나 프로그램의 개선으로 많이 없어졌으며, 새로운 파형 적용에 따른 파형의 특성에 의한 artifact들이 제기되고 있다. 대부분의 artifact들은 자기공명 영상장치 고유의 특성, 물리 화학적 특성, 여러 가지 형태의 움직임등이 복합적으로 관여하므로 원인을 설명하기 곤란한 경우가 흔하다.

이런 artifact는 대부분은 MR 자체의 물리적 특성에 기인하므로, artifact가 없는 양호한 영상을 얻기 위해서는 MR의 설치 단계부터 관심이 필요하고, MR의 기본 원리와 다양한 artifact에 대해 이해함으로써, 판독의 오류를 피하고, 제거 가능한 artifact는 제거함으로써 양질의 영상을 얻을 수 있다.

artifact를 이해하기 위해서 우선 영상획득 과정을 간단히 살펴보면, 주자장(B_0) 하에서 세 방향(X, Y, Z)의 경사자장을 가한 후, 스픈의 공명을 일으키는 파장의 주파수로, 피검체에 대하여 다양한 형태의 라디오파로 신호를 보내고 받아서, 컴퓨터에서 영상처리를 하는 과정을 거치는데, 이들 과정에 인조상을 유발할 수 있는 원인을 하나씩 살펴 보도록 하겠다.

II . 주자장, 경사자장, 공명주파수와 관련된 artifact

1. 주자장(B_0 , 정자장)과 관련된 artifact

정자장이 균일하지 않으면 공명주파수가 일정하지 않게 되고, 공명주파수가 일정하지 않으면, 주파수 부호화 방향으로 영상의 변형이나 이동, 국소의 신호 결손을 초래하게 된다. 주자장이 불균일하면 경사자장 영상에서 하나의 화적소(voxel) 내에서 의미있는 주파수 이동과 위상이동을 일으켜 신호 감소를 초래하게 된다. 예로써 초전도 자석의 경우 자장의 균일도는 0.1-1 ppm이므로, 이 정도의 균일도에서는 수십 Hz(화소 한 두개에 해당)의 주파수 이동

을 초래할 수 있다. 주자장의 균일도와 관계있는 artifact는 부적절한 shimming, susceptibility 차이, ferromagnetic 물질등에 의해 발생할 수 있다.

1) Susceptibility Artifact

자화율(Susceptibility)이란 주자장 하에서 어떤 물질이 자화(magnetization)하려는 현상으로서 자화율의 차이로 인해 국소 자장의 변화를 초래하게 된다. 자화율 차이가 있는 물질이 인접해 있는 경우 국소자장의 불균일을 초래하여, 두물질의 경계부위에 한쪽은 신호소실을 보이고 다른쪽은 밝은 신호를 보이게 된다.

인접 조직의 자화율 효과가 대부분의 조직에서 영상에 장애를 줄 정도는 아니나, 부비동의 공기로 인해 주변의 자장은 부비동 크기 만한 거리에 걸쳐 10 ppm 정도의 자장변화를 초래할 수 있으며, 이는 10여개 화소의 주파수 대역에 해당하므로, 이 정도의 거리에 신호이상이나 위치 이동을 초래할 수 있다. 영상에서는 접형동 상부, 측두골 상부의 신호 소실 혹은 신호 증가, 수술후 병변의 검사시 심한 신호 소실 혹은 증가등 영상의 불량을 초래한다.

2) Ferromagnetic Artifact

금속에 의한 강자성체 artifact는 자화율 효과의 극단적인 예로써 자장의 변형으로 인해 주파수 부호화 방향으로 변형 및 신호변화를 보인다.

ferromagnetic 물질에 의해 주자장이 수 ppm 크기로 변하면 현저한 주파수 이동을 초래하게 되며, GE 영상, 화적소 크기가 클 때, TE가 길 때 심해진다. 최근에는 강자성체 artifact를 피하기 위해서 titanium, tantalum, aluminum, stainless steel 등의 nonferromagnetic 물질을 이용하며, 이를 주변은 영상에서 신호소실로 보이며, CT에서의 beam hardening artifact 보다는 양호한 편이다.

2. 경사자장 (G_x , G_y , G_z)과 관련된 artifact

MR은 X, Y, Z축 방향으로 자장의 크기를 다르게 함으로써(gradient), 각부위의 공명주파수를 다르게 하여 위치와 신호강도를 구별해 낼 수가 있으며, 경사자장의 이상시 영상의 변형을 초래한다.

1) Eddy currents

와전류(Eddy currents)란 자장경사의 연속적인 변화시, 경사자장을 변경하는 사이에 지속되는 잔류 전류로서, shim coil, 경사 coil 등에 의해 발생하

며, 횡축 자화의 탈위상을 빠르게 하여 T2 이완의 크기를 감소시킨다.

Z축의 중심에서 멀어질수록, TE가 길수록 현저하며, 검은 때 모양이나 움직임에 의한 ghost와 비슷한 artifact가 발생하며, Eddy current를 보상하는 회로를 적용하거나, active gradient shielding으로 제거 가능하다.

3. 공명 주파수(B_1 , RF자장)와 관련된 artifact

Larmor equation에서 공명 주파수는 자장에 비례하므로 자장의 불균일시 공명 주파수는 불균일하게 되며, 피검체의 공명주파수에 변화를 초래하는 어떤 원인이라도 있으면 재구성한 영상에서 주파수 부호화 방향을 따라 피검체가 이동되어 보인다.

1) Chemical Shift Misregistration

화학적 이동(Chemical Shift)이란 같은 양성자(proton) 이더라도 화학적 결합형태에 따라서 공명주파수가 달라지는 것을 뜻하며, 영상에서는 지방 조직의 신호가 주파수 부호화 방향으로 물을 포함한 조직 쪽으로 이동하여, 한쪽은 검은 신호를 보이고 다른 쪽은 지방과 물의 신호가 중첩되어 밝은 신호를 보인다. 지방의 $-CH_2$ 군의 공명주파수는 물의 $-OH$ 군의 공명 주파수보다 3.5 ppm 적으므로, 1.5 T 자장의 경우 지방과 물의 화학적 이동은 220 Hz 정도가 된다. 즉, 한 화소는 대개 50 Hz의 주파수 대역을 가지므로 지방과 물 사이 경계부위는 네개 정도의 화소 많큼 주파수 부호화 방향으로 이동되어 보일 수 있다.

이동 정도는 적용한 경사자장의 강도에 반비례 하고, 주파수 부호화 방향의 주파수 대역과 관계가 있어서, 재구성시 이에 상응하는 화소 만큼 이동하므로, 주파수 대역을 좁게 잡으면 이동은 크게 일어나고, 주자장이 클수록 현저하게 발생다.

임상적으로는 안구 뒤쪽에 T2 강조영상에서 초생달 모양의 고신호 강도를 보이므로 망막하 출혈과 감별을 요하며, 신장이나 골반장기의 종양 병기 결정시에 오류를 초래할 수 있다.

제거방법은 지방신호 억제 방법(STIR등)이나, 넓은 주파수 대역을 이용하거나, 주파수 부호화 방향과 위상 부호화 방향을 교환하는 방법 등이 있다.

III. 시료수집(Sampling) 수와 관련된 artifact

1. Aliasing(Wraparound) Artifact

Nyquist limit 이하로 시료 수집을 하여 높은 주파수의 신호가 낮은 주파수의 신호로 잘못 표현되는 것으로서, 위상 부호화나 주파수 부호화의 수가 적을 때 발생한다. 영상을 얻으려는 대상보다 FOV가 작을 때 FOV 바깥의 조직이 FOV 안쪽의 반대쪽에 나타나 진단에 오류를 초래할 수 있는데, 예로써 흉부 MR에서 상완부가 폐실질의 종괴로 보이는 경우 등이 있다.

X축 방향의 FOV 밖의 신호를 filtering을 하거나, over sampling하거나, 주파수 부호화 방향의 경사를 감소시키거나, FOV밖의 presaturation으로 제거 가능하다.

* Sampling : 연속적인 신호(analog)를 간헐적(digital)인 신호로 일정한 시간 간격으로 전환하는 것을 말한다.

* Nyquist limit : 한 주기에 2회 자료수집을 하여 aliasing이 생기지 않게 하는 최소 주파수로서, 이 보다 적은 자료수집시 대상물체가 다른 곳에 위치한 것으로 보이게 되는데, 예로써 우리 눈의 시간적 해상력은 20회/초 미만이므로, 자동차 바퀴가 20회/초 이상 고속으로 회전할 경우 반대방향으로 움직이는 것으로 보이는 것과 같다.

* Filtering : 신호의 주파수 성분을 변경시키는 과정으로서, 주파수 부호화 방향의 wraparound artifact나, 주파수 대역을 감소시키기 위해 사용한다.

2. Gibb's phenomenon / truncation artifact(edge ringing artifact)

현저한 신호강도의 차이가 있는 두조직의 경계부위에 고신호와 저신호강도의 평행하는 띠로 보이는 artifact로서, spectrum의 raw data의 높은 주파수 부위를 과도하게 자르면(truncation) ringing artifact가 발생한다. 이 소견은 T1 강조 영상에서 현저하며, 지방과 공기, 지방과 뇌척수액의 경계면에서 발생하며, 위상부호화 방향으로 128 화소를 사용할 때 흔히 발생하고 256 화소 사용시는 거의 발생하지 않는다. 이 artifact의 강도는 피검체의 가장자리가 분명하고 화소의 크기가 큰 경우에 현저하다.

제한된 수의 공간 주파수 부호화로 인해 영상에 파동 모양의 artifact가 발생한 것이므로, 모든 공간 주파수 부호화의 입력 자료를 측정하거나 Filtering으로 제거 할 수 있다.

IV. 움직임과 관련된 artifact

1. Motion artifact

주파수 부호화 방향으로 전파하는 가상으로서, 움직임으로 인한 위상 이동이 원인이며, blurring이나 ghost의 형태로 보인다.

blurring은 주기적인 운동시 위상부호화 방향으로 고신호와 저신호가 반복되어 보이는 것으로서, 신호강도의 시간적 변화 때문에 발생한다. 심장박동, 맥동성 혈류, 뇌척수액 흐름, 호흡 등에 의하여, 신호가 높은 물질인 경우에 현저히 발생한다. 제거방법은 ECG나 Respiration gating, 움직임 제한, 짧은 TE, fast spin echo, presaturation, TR과 NEX 조절, signal averaging, 부호화 방향 변경 등이 있다.

* Ghost : 여러 다른 원인의 흐린 중복영상으로서 3가지 형태로 보인다.

- 1) central symmetric : 180^0 rotation된 영상으로서, 원인은 receiver channel의 imbalance이다.
- 2) inversion : 주파수부호화 방향으로 발생하며, stimulated echo가 원인이다.
- 3) displacement ghost : 위상 부호화 방향으로 발생하며, motion artifact 등이 원인이다.

2. Flow artifact

1) Flow misregistration artifact

혈류에 의해서 영상에서 공간 정보의 이상을 초래한 것으로서, oblique하게 흐르는 스팬은 excitation과 phase encoding, 그리고 readout하는 동안에 위상 이동이 일어나, 의견상 이동되어 보이게 된다.

2) Flow related ghost artifact

맥동성 혈류로 인해서 위상 부호화 방향으로 ghost가 발생할 수 있는데, Short TE나 GE에서 심하고, 영상에서는 후두개와의 병변, 해면동 주변 병변, 특히 hippocampus 주변 병변 관찰시 blurring등이 문제가 되며, ECG gating이나 사전포화, 그리고 위상부호화와 주파수 부호화를 바꾸어 적용하는 방법 등으로 ghost를 제거 할 수 있다.

- 3) Entrance slice artifact - unsaturated spin의 유입이 고신호 강도로 보인다.
- 4) TOF and Phase Shift Effect- spine의 T2 강조영상에서 CSF flow의 신호소실이 혈관이상으로 오인될 수 있다.

V. 기계장치 등의 이상에 의한 artifact

1. RF signal : 외부에서 들어온 라디오파로 인해 주파수 부호화 방향으로 밝고 어두운 띠를 형성한다.
2. Central line(Center line) Artifact : MR장치의 불안정이나 stimulated echo등이 원인이며 위상 부호화 방향으로 영상 가운데 띠가 나타나며, 위상 부호화와 주파수 부호화 방향을 변경하면 해소 된다.
3. Stimulated echo artifact(Zipper artifact) : 가상이나 center line artifact와 유사한 모양이며, 3개 이상의 RF Pulse의 작용으로 readout후 횡축자화의 불충분한 spoiling으로 인해 생긴다.
4. I / Q Imbalance Ghost : (+) 와 (-) 주파수 중에서 한쪽을 제거하면 영상 재구성시에 (+), (-) 주파수의 혼합으로 FOV 한쪽의 대상물이 양쪽에 나타나게 된다. I/Q channel imbalance로 인해서 X 축과 Y 축을 중심으로 180° 회전한 영상을 초래한다.
5. Cross Talk : multislice sequence에서 인접 slice간의 간섭현상으로서, 특히 T2 강조영상에서 SNR의 감소로 보이며, slice 사이의 gap을 두거나 computer optimized RF pulse로 제거가 가능하다.

References

- 1). Joseph PM, Atlas SW. Ch. 7. Artifacts. In Atlas SW. Magnetic Resonance Imaging of the Brain and Spine. New York : Raven Press, 1991 : 109-128
- 2). Henkelman RM. Ch.10. Image Artifacts. In Stark DD, Bradley WG. Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. St. Louis : Mosby Year Book, 1992 : 233-252
- 3). Wesbey G, Adamis MK, Edelman RR. Ch. 3. Artifacts in MRI : Description, Causes, and Solutions. In Edelman RR, Hesselink JR, Zlatkin MB. Clinical Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. Philadelphia: W.B.Saunders, 1996: 88-144
- 4). 이성우, 은충기, 문치웅, 박수성. 자기공명영상학. 서울:대학서림, 1994 : 167-184
- 5). Hendrick RE, RussPD, Simon JH. MRI : Principles and Artifacts. New York : Raven Press, 1993