

# Extrinsic MRI Parameters

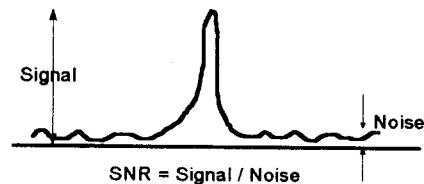
경북의대 서경진

자기공명영상은 proton density, T1과 T2 relaxation effect, flow effect, diffusion effect 그리고 susceptibility effect 등 다양한 요소에 의해 영상이 형성되고, 좋은 영상을 얻기 위해서는 각 요소의 역할을 이해하는 것이 필요하다. 영상에 영향을 미치는 **extrinsic MR imaging parameter** 들로는 **magnet, gradient coil, RF coil, radiofrequency wave, pulse sequence**와 **contrast medium** 등이 여기에 포함된다. 여기에서는 scanner의 hardware적인 요소와 contrast medium을 제외한 image quality에 영향을 미치는 요소에 대하여 살펴보겠다. Image quality는 일반적으로 SNR (Signal to Noise Ratio, 신호 대 잡음비), spatial resolution (공간분해능)과 CNR (contrast to noise ratio, 대조도)라는 용어로 표현되고, 각각은 서로의 parameter에 의해 영향을 받으므로 영상획득시 서로 간에 균형 (trade-off)을 이루어야 한다. 기술적으로 영상을 적정화시키는데는 SNR, spatial resolution과 scan time외의 요소로 magnet와 gradient 및 surface coil의 가격과, 조영제사용 유무에 따른 효과에 대한 고려가 필요하다. 그리고 SAR (specific absorption rate)과 시간당 자장의 변화 (dB/dt)에 의한 스캔의 안정성 (safety)이 반드시 고려되어야 한다. 영상의 특징은 다음의 항목으로 분류하여 생각할 수 있다.

**SNR (신호 대 잡음비)**  
**CNR (대조도)**  
**Spatial resolution (공간분해능)**  
**Scan time (스캔시간)**  
**Relaxation effects (이완효과)**  
**Trade-offs (균형)**

# SNR (Signal to Noise Ratio)

SNR (signal-to-noise ratio)은 MR영상에서 일반적으로 사용되는 용어이며 signal to background noise ratio라고도 한다. SNR의 정의는 coil로 받은 신호 (signal)의 세기의 잡음 (noise)의 강도에 대한 비 (ratio)이다. 신호 강도 (signal intensity)는 receiver coil에서 발생하는 voltage이고, 잡음은 검사시 부위의 일정한 값이고 기계의 background electric noise이다. SNR은 영상에서 결정 (grain)이 얼마나 도분도분하게 거칠게 보이느냐를 말하고 SNR이 낮을수록 영상은 더 거칠게 보인다. 즉 영상의 화질은 SNR과 밀접한 관계를 갖는데 영상에서 SNR이 낮다고 하는 것은 영상이 거친 것이고, 높다고 하는 것은 영상이 선명한 것이다. SNR은 보고자 하는 부위 (interested area)와 배경 (주로 대상을 둘러싸는 공기)사이의 신호강도의 차이를 계산함으로써 측정된다. 공기 중 어떤 signal도 noise 이다. Signal과 background noise 사이의 차는 background signal의 표준편차 (standard deviation: background noise의 다양성)로 나누어 결정한다. Noise는 두 가지 형태가 있는데 noise를 교정 할 수 있는 것은 생체 내에서 움직이는 조직에 의해 생성된 신호의 변화들이다. 이 noise들은 presaturation이나 flow compensation과 같은 pulse sequence를 이용하여 artifact를 최소화하여 noise를 줄일 수 있다. 또 다른 형태는 system 고유의 것으로 imaging sequence parameter로 noise를 교정 할 수 없는 것이 있다. 화질과 SNR은 서로 밀접한 관계를 가지고 있어 SNR이 높을수록 화질이 좋아지나 한계치가 있어 그 한계점에 이르러서는 더 이상 증가 또는 감소하지 않는다. Spectroscopy에서 SNR은 옆의 그림과 같다. SNR은 voxel의 체적에 비례하고 NEX (Number of Excitation) 과 phase step (일정한 크기의 voxel에서)의 제곱근에 비례한다.



NEX는 흔히 number of average와 동일한 용어로 사용되며 이는 같은 pulse sequence를 반복하는 숫자를 뜻한다. 즉 전체sequence를 반복하여 MR신호를 받는 경우 MR신호는 계속하여 더하여지고 잡음 (noise)은 특성상 무작위 (random)하므로 서로 상쇄 혹은 보강되지만 전체적으로 NEX를 증가시킴으로써 MR 신호는 증가하고 잡음은 그 상태를 유지하므로 SNR은 증가하게 된다. Phase step을 평균하고 증가하기 위해서 시간이 더 걸리므로 SNR은 acquisition time과 밀접한 관련이 있다. FOV (Field of View)가 감소할수록, phase 또는 frequency step (일정한 FOV에서)이 증가할수록, slice thickness가 감소할수록 SNR은 감소한다. 다시 말하면 FOV의 증가, matrix size 감소 그리고 slice thickness가 증가할수록 SNR은 증가된다. Phase step이 증가할수록 SNR이 감소하고 또는 phase step이 증가할수록 SNR은 감소하는지 의문을 가질 것이다. 전자는 voxel size가 일정하므로 FOV는 증가한다. 후자는 FOV가 일정하므로 voxel size는 감소한다. Phase step의 증가는 제곱근에 비례하여 SNR을 증가시키고, volume의 감소는 SNR을 더 빨리 감소시킨다. MRI는 영상을 얻고자 하는 부위와 인접부위에서 어떠한 병소도 놓치지 않고 영상을 얻는 것이 가장 이상적이다. 그러나 사용된 RF pulse의 종류에 따라서 slice의 cross-contamination이 유발될 수 있으며 이 때문에 SNR이 감소된다. 따라서 slice간의 gap을 증가함으로써 cross-contamination을 줄이거나 제거할 수 있다. 앞에서 살펴 본바와 같이 SNR에 영향을 미치는 인자들은 여러 가지가 있는데 proton density, , pulse sequence, field homogeneity, slice gap, voxel volume, slice thickness, TR, TE, flip angle, NEX, FOV, 그리고 matrix size가 있다. 이것들을 정리하면 SNR은 다음에서 증가한다.

- . Spin echo and fast spin echo pulse sequence
- . a long TR and a short TE
- . a flip angle of  $90^{\circ}$
- . a well tuned and correctly sized coil
- . a coarse matrix (256 x 128정도)
- . a large FOV (20 cm 이상)
- . thick slices
- . thick slice gap

- . the narrowest receive bandwidth available
- . as many NEX as possible

## CNR (Contrast to Noise Ratio)

CNR은 인접한 다른 두 부위 사이의 SNR의 차이로 정의된다. CNR은 SNR과 마찬가지로 요소에 의해 결정된다. 즉 사용된 pulse sequence (spin echo, gradient echo, inversion recovery sequence 등), TR, TE, TI, flip angle 과 proton density에 의해서 결정된다.

## Spatial Resolution

Spatial resolution은 영상이 "sharp" 하게 보이는 정도를 말한다. 즉 두 점이 분리되어 구분되는 차이이다. Resolution이 낮을수록 영상은 경계가 불명확하고 pixel의 모양을 가진다. Spatial resolution은 voxel의 크기에 의해 결정된다. Voxel은 3면을 가진 직사각형이므로 resolution은 3가지 각각의 면에 따라 다르다. Voxel의 크기와 resolution은 matrix size, FOV와 slice thickness에 의한다. Matrix size는 한 방향에서는 encoding step의 frequency수이고, 또 다른 방향에서는 phase수이다. 다른 모든 것들이 일정하다면 frequency수와 phase step의 수가 증가할수록 resolution은 증가된다. Frequency encoding은 진동수가 scanner에 의해 FID 신호강도의 sampling이 얼마나 빨리 하는가에 달려있다. FID (free induction decay)는 스핀에 의해 생성되는 x-y plane의 사인곡선 신호강도 (sinusoidal signal)로 시간이 지남에 따라 지수함수로 붕괴한다. Sampling 속도가 증가할수록 time penalty는 없다. Phase step이 증가할수록 acquisition time은 비례하여 증가한다. 이것이 phase encoding이 frequency encoding보다 더 작은 (예,  $128 \times 256$  또는  $192 \times 256$ )영상을 보게되는 이유이다. FOV는 phase와 frequency가 encoding된 전체 영역이다. Matrix size로 FOV를 나누면 pixel size를 알 수 있다. 따라서 FOV가 증가하면 voxel size가 증가하고

resolution은 감소하며, FOV가 감소하면 resolution은 증가된다. Voxel의 깊이는 slice thickness에 의해 결정된다. 이것은 항상 가장 큰 voxel에서의 의 용적이고, 따라서 영상에서 수직인 resolution은 가장 나쁘다. Square FOV에서 uneven matrix를 사용한다면 pixel은 직사각형 (rectangular)이므로 resolution은 떨어진다. 어떤 기계에서는 정사각형 (square pixel)을 사용하고, 이것은 phase matrix가 phase encoding axis를 따라 FOV의 크기를 결정하기 때문이다. 이때는 resolution이 유지되는데 pixel이 항상 정사각형이기 때문이다. 이 기계의 단점은 FOV의 크기를 필요한 만큼의 부위를 다 포함시킬 수 없는 경우가 있으며, 작은 square pixel을 사용하므로 SNR이 감소된다. 그래서 이런 기계에서는 넓은 부위의 스캔이 필요하거나 SNR이 낮을 때 사용하기 위해 square FOV의 조건을 가지고 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 spatial resolution에 영향을 미치는 인자들은 voxel, pixel, slice thickness, matrix 그리고 FOV등이 있고, spatial resolution은 다음에서 증가된다

- . thin slices
- . fine matrices (556 x 256 이상)
- . a small FOV (20 cm 이하)
- . rectangular FOV

## Scan Time

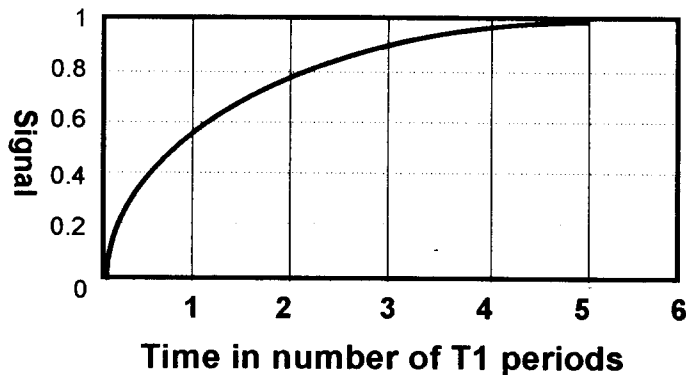
Scan time은 data를 완전히 얻는데 걸리는 시간을 말한다. Conventional spin echo 혹은 gradient echo sequence의 acquisition time은 repetition time (TR), phase encoding step, NEX에 의해 Acquisition time = TR × phase steps × NEX의 식으로 나타낼 수 있다. 예를 들어 1초의 TR, 128 phase steps, 2 NEX였다면,  $1 \times 128 \times 2 = 256$ 초 혹은 4분 16초의 acquisition time에 영상을 얻을 수 있다. 실제 스캔에 걸리는 시간은 다소 더 길어질 것이다. Fast spin echo 그리고 fast gradient echo sequence는 repetition time당 one phase encoding step이상 행해질 수 있어 acquisition time을 줄이게 된다. 정리하면 scan time은 다음에서 줄일 수 있다.

- . a short TR
- . a coarse matrix
- . the lowest NEX possible

## Relaxation Effects

T1과 T2 relaxation rate가 영상에서 SNR에 영향을 미친다. TR이 T1 times의 3~5배까지 증가된다면 SNR의 증가가 나타난다. TR time의 변화는 T1강조영상과 acquisition time에 역시 영향을 미친다. T1강조는 longitudinal magnetization의 불완전한 회복 (recovery) 때문에 moderate TR spin echo sequence에서 나타난다. SNR의 TR의 effect는 그림과 같이 T1 relaxation 혹은 exponential growth curve에 의해 나타내진다. TR이 T1의 몇 배까지 증가함에 따라 longitudinal magnetization은 SNR의 증가가 나타날 시간을 가지게 된다. 이 경우 전체적인 영상은 proton density 효과가 극대화되게

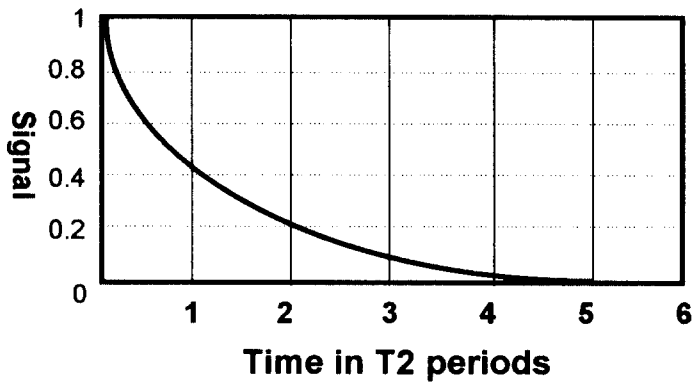
**Exponential growth curve**



된다. SNR의 감소는 spin echo sequence에서 T2 effect와 gradient echo sequence의 T2\* effect에 2차적인 TE증가로 나타난다. 다음 그림과 같이 exponential decay curve는 시간에 따라 signal 감소를 보여준다. SNR의 감소에도

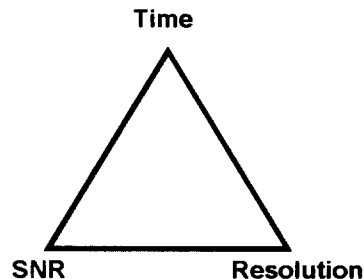
불구하고 영상의 T2강조를 위해 TE를 증가시킨다. 이상적으로 T2 weighted sequence에서 T1 effect를 줄이기 위해 T1 times의 몇 배의 long TR을 사용한다.

## Exponential decay



## Trade-offs

영상의 quality를 적정화하기 위해서는 높은 SNR, 좋은 resolution과 짧은 scan time이 필요하다. 그러나 이런 조건은 대부분에서 불가능하다. 왜냐하면 SNR, resolution, acquisition time은 모두 서로 관련되어 있어 하나를 변화시키면 다른 것에 영향을 미친다. 이것은 그림의 삼각형의 관계로 볼 수 있다. 방사선학자는 어떤 요소가 특정 장기의 검사 혹은 환자 검사에 있어 가장 중요한지를 결정하여 영상을 적정화 시켜야 한다. 예를 들어 pituitary 혹은 cranial nerve를 볼 때 더 나은 spatial resolution을 위해 SNR을 희생시키거나 acquisition time을 더 길게 할 것이다. 반면에 통증을 가진 밑폐 공포증 환자에 있어 가능한 한 가장 짧은 시간에 검사를 위해 resolution과 SNR을 희생하여야 할 것이다. 다음 table은 SNR, resolution, scan time, slice의 maximum number 그리고 distance covered 사이의 상호관계를 정리하였다.



## Trade Off Chart

Increase below	SNR	Resolution	Acquisition time	Distance covered	Max number of slices
FOV	↑	↓	-	-	-
NEX	↑	-	↑	-	-
Slice thick	↑	↓	-	↑	-
Gap	↑	↓	-	↑	-
TR	↑	-	↑	-	↑
TE	↓	-	-	-	↓
Matrix size	↓	↑	↑	-	-
Band width	↓	-	-	-	↑
Mag strength	↑	-	-	-	-

(↑) 증가, (↓) 감소, (-) 변화없음

## References

1. Stark DD, Bradley WG. Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. St. Louis: Mosby-Year Book, 1992:88-144
2. Edelmann RR, Hesselink JR, Zlatkin MB. Clinical Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. Philadelphia: Saunders, 1996: 3-144
3. Ballinger JR . MRI Tutor. Ver 1.2 1995
4. Westbrook C. Handbook of MRI Technique. Oxford: Blackwell Science, 1994:15-26