



최지혜

- 해마루 동물병원 부원장
- 대한수의사회
- 학술홍보국제협력위원회 위원
- vetwelcom@hanmail.net



디지털 방사선 장비Ⅱ (DR; digital radiology)

영상의 디스플레이

디지털 장비는 방사선 관독자가 이미지를 관독하는데 있어 단말기의 성능, 영상의 디스플레이, 하드웨어와 소프트웨어, 그리고 장치간 연결성 등에 영향을 받는다. 이번 호에서는 의학용 이미지 형식인 digital imaging and communication in medicine (DICOM) 과 영상을 전송하는 방식인 picture archival and communications systems (PACS)에 대해 주로 살펴보자.

컴퓨터를 이용해 소프트웨어 형식의 이미지

를 모니터로 보면 view box로 필름을 보는 것에 비해 디스플레이 질이 낮은 것이 소프트웨어 이미지의 큰 한계였다. 하지만, 좀더 정교한 컴퓨터 모니터가 개발되고 이미지와 관련된 소프트웨어가 크게 발전하면서 이러한 한계를 뛰어넘게 되었다.

동물용 영상의 디스플레이에 대한 정보는 아직 부족하지만, 인체 의학용 영상에서 얻은 정보를 수의학에 적용할 수 있다. 따라서, 미국 방사선 대학 협회 (American College of Radiology; ACR)에서는 소프트웨어 이미지를

보는 방식과 방사선 원격 진료를 위해 필요한 여러 요소를 추천하고 있다.

최근에는 잘 찍은 필름처럼 양질의 디지털 이미지를 얻을 수 있도록 하기 위해 영상을 디스플레이하는데 필요한 하드웨어와 소프트웨어에 대한 규정들이 만들어지고 있다. 이러한 노력이 지속되면서 앞으로 디지털 의학의 표준 요소들이 더 발전적으로 만들어질 것으로 보인다.

디스플레이용 하드웨어

컴퓨터 단말기에 사용하는 모니터는 세 가지 인자, 즉 해상도, 발광성 (luminance), 대비도가 중요하며 이 요소를 바탕으로 모니터의 질을 평가한다. 추천되는 모니터는 사용하는 컴퓨터의 중요성에 따라서 달라진다. 즉, 방사선 사진을 촬영한 후 가장 먼저 이를 검토하고 진단을 하는 일차 검토용 컴퓨터는 진료실이나 수술실에 있는 이차, 삼차 검토용 컴퓨터보다 중요하다.

일차 검토용 컴퓨터는 가장 좋은 해상도를 가지는 모니터가 필요하며, 일차 검토용 컴퓨터가 있는 방은 빛의 밝기를 조절할 수 있는 것이 좋다.

또, 중요하게 검토해야 하는 사항은 그 컴퓨터로 어떤 진단 장비의 이미지를 판독할 것인가 하는 것이다. 디지털 방사선 사진은 이미지를 구성하는 matrix의 크기가 크다.

모니터는 큰 이미지를 모두 평가할 수 있을 정도로 질이 뛰어나야 한다. 예를 들어 MRI용 모니터는 디지털 방사선 사진용 모니터보다 질이 떨어져도 괜찮다 (Fig1).

각 진단 장비별로 추천되는 모니터의 사양이 제시되어 있다. 하지만, 최근 모니터와 그래픽 카드 기술이 매우 빠른 속도로 발달하고 있으므로 구입시 최근에 개발된 장비와 성능을 비교해 보는 것이 중요하다.



그림 1. landscape mode를 적용한 컬러 모니터 두 개를 양 옆으로 배치하여 MRI 이미지를 판독할 때 사용한 예. 이들 모니터는 1900×1250 픽셀의 LCD 모니터 (SyncMaster 243T, 삼성전자, Ridgefield Park, NJ)이다. 이들 모니터는 디지털 방사선 사진 같이 pixel의 matrix가 큰 이미지를 일차적으로 검토하는 컴퓨터에는 사용되지 않는다.

진단 영상에서 cathode ray tube (CRT) 기술을 유동 액정 소자 즉, Active matrix liquid-crystal display (LCD) 모니터로 대부분 교체되었다.

Active matrix 는 잔존 현상이 적은 고해상도의 액정 표시 방식 중 하나이다. 예전에 사용하던 CRT와 초기 LCD 모니터는 너무 어둡고 시간이 갈수록 밝기가 떨어지고 큰 pixel의 matrix를 디스플레이 하기에는 해상도가 낮았다. 기술이 발달하면서 LCD 모니터는 이러한 단점을 극복하였고, 다양한 종류의 의료용 모니터가 개발되었다. CRT 모니터와 비교하여 LCD 모니터는 진단 정확도나 판독 시간면에서 뛰어난 결과를 보인다.

액정 소자(액상 크리스털)는 외부 전기장 (electrical field)에서 다양한 투명도를 가지는 분자이다.

LCD 모니터는 역광 조명이 있어 액상 소자 주변의 외부 정기장을 조절해 각 pixel의 투명도를 조절하는 방식으로 작동한다. 이 기술을 바탕으로 모니터의 질을 높이는 다양한 장치들을 이용해, 다양한 가격대의 일반 사용자용 모니터와 의료용 모니터가 만들어진다. 이러한 사항은 장비 구입할 때 반드시 검토해야 하는 중요한 항목 중 하나이다.

의료 영상에서는 흑백 LCD 모니터가 표준으로 사용된다. 일반 사용자용 모니터와 의료용 모니터를 비교해보자.

사용자용 모니터는 대체적으로 (1) 컬러 모니터이고 (2) 밝기가 약하고 (3) pixel의 matrix가 작고 (4) 그래픽 카드가 정교하지 못하고, (5) DICOM의 grayscale display function standard (GSDF)에 맞게 조정(calibrate)하는 과정을 거치지 않았다.

GSDF란 모니터의 영상이 일정한 질(quality)로 디스플레이 되도록 조정(calibrate)하는 기준이다. 의료용 흑백 모니터는 일반 사용자용 컬러 모니터보다 가격이 비싸지만, 방사선 판독자의 수행 능력(정확도와 재현성)을 증진시킨다.

확대나 window, level 같은 디지털 방사선 소프트웨어의 기능을 이용하면 낮은 해상도를 가지는 컬러 모니터를 이용해도 흑백 모니터를 이용하는 것처럼 진단 정확도를 유지할 수 있다는 주장도 있었다.

하지만, 판독하는데 걸리는 시간과 판독자의 피로는 흑백 모니터에 비해 증가한다. 의료용 모니터는 컬러 모니터에 비해 해상도, bit depth, 발광성(휘도; luminance)가 높다.

컬러 CRT 모니터는 회색 음영 하나를 일차원적인 세 가지 색을 합쳐져 세 pixel로 표시되므로 전체 스크린의 해상도가 떨어진다. Active matrix LCD 모니터는 디스플레이된 각 픽셀을 세 개의 sub-pixel로 나누고 각각에 컬러 필터(빨강, 초록, 파랑)를 추가하는 sub-pixel modification을 통해 컬러를 표현하는 방식이다. 이로 인해 역광 조명에서 화면(viewing surface)으로 전달되는 빛의 양이 줄어든다. 이와는 달리 의료용 모니터는 color modification 방식 대신 같은 기술을 이용해 회색 디스플레이의 bit depth를 올린다. 디스플레이 된 회색 음영은 sub-pixel level에서 다른 회색 음영들이 이 합산된 것이기 때문에 각 픽셀이 디스플레이 하는 회색 음영의 수가 증가해 해상도가 높아진다.

기존 필름 방식에서 사용되는 view box는 매우 밝은 흑백 모니터에 비해 10배 정도 밝으며, 흑백 모니터는 컬러 모니터보다 약 2배 정도 밝다. 모니터의 밝기는 휘도(발광성)로 표시하는데, foot-lamberts (ft-L or the SI unit candela [cd] /m²)(3.42cd/m²=1 ft-L) 단위로 측정하며 최소 50 ft-L (ACR/NEMA technical standard) 이상이어야 한다.

밝기가 어두운 모니터를 사용하면 진단의 정확도가 떨어지고 판독하는데 걸리는 시간이 길어지며, 최종 진단에 이르는 시간도 길어진다. 모든 모니터가 시간이 지날수록 질이 떨어지므로 흑백 모니터의 디스플레이 기능을 표준 수준으로 유지하기 위해서는 질 보증(quality assurance) 단계를 확실히 해야 한다.

의료용 GSDF는 앞서 언급한 것처럼 모니터 간의 일정한 균일성을 유지하기 위해 조정하는 것을 말한다. 영구적이지 않은 1차원의 디스플레이 (e.g., Society for Motion Picture and Television Engineers test pattern)에 대한 조정 작업(calibration)과 비교하면 DICOM calibration 과정은 이미지를 검색하는데 걸리는 시간을 줄여 판독자의 수행 능력을 향상시킨다. 이러한 모니터의 질 보증 과정은 사용자가 명령을 입력하지 않아도 자동적으로 시행되도록 컴퓨터를 세팅할 수 있다. 비록 LCD 모니터가 시간이 지날수록 질이 떨어져도 최근 연구에 의하면 3 메가픽셀(MP) 흑백 의료용 LCD 모니터의 경우 2.5년 이하에서는 진단 정확도가 떨어지거나 병변을 찾거나 진단에 걸리는 시간이 늘어나지 않는 것으로 보고되어 있다.

공간 해상도 (Spatial resolution; pixel matrix)는 모니터를 서로 비교할 때 사용되는 용어이다. 공간 해상도는 주로 MP라는 용어로 쓴다. 일반 사용자용 컴퓨터는 0.75~2 MP (e.g., 1024×768-1600×1200)이며, 의료용 모니터는 2~5 MP (e.g., 1600×1200-2560×2048)이다. 낮은 해상도의 모니터와 높은 해상도의 모니터, 프린트한 사진 사이의 진단 능력을 비교해보면 다양한 결과가 나타난다. 이전 연구에서는 프린트한 사진이 모니터로 보는 두 경우에 비해 정확도가 높고, 모니터를 이용한 경우는 해상도에 따른 차이가 없는 것으로 보고되었다. 특히, 몇몇 연구에 의하면 해상도가 낮은 모니터라도 줌 기능을 이용하면 높은 해상도의 모니터와 차이가 없다고 알

려져 있었다. 하지만, 높은 해상도를 가지는 모니터가 낮은 해상도의 모니터에 비해 밀도 차이가 나지 않는 두 병변을 구별하는 능력이 더 뛰어나다고 보고되었다.

현재 5 MP 모니터까지 개발되어 있지만 가격이 비싸기 때문에 이런 모니터는 높은 해상도가 필요한 유방용 x-ray (mammography)에 국한하여 주로 사용되고 있다.

Dynamic range 즉 contrast ratio 대비도는 가장 밝은 음영과 가장 어두운 음영 사이의 밝기(휘도) 비율이다. 비율이 높을수록 좋다. 이 비율을 합친 것이 전체 모니터의 휘도이기 때문에 더 밝은 모니터일수록 일반적으로 더 대비도가 높고 dynamic range가 더 넓다. 의료용 모니터는 대비도가 600:1에서1000:1까지 이다.

필요한 모니터의 수는 컴퓨터의 용도에 따라 달라진다. 컴퓨터로 평가할 영상 진단의 종류와 한 번에 봐야하는 이미지의 수를 고려해야 한다. 예를 들어, 고양이의 흉부 검사를 실시한 경우 촬영한 외측상과 복배상은 두 개의 모니터로 한번에 볼 수 있지만, 말의 여러 관절을 검사할 때는 4개 혹은 8개의 모니터 시스템이



FIG. 2. 대동물 디지털 방사선 판독용 컴퓨터. 3 MP의 의료용 흑백 모니터(GSDF calibrated) 4개를 landscape mode 하여 반원 형태로 배치시켰다. 병원 전자 차트를 볼 수 있도록 컬러 모니터를 추가로 좌측에 위치시켰다. 5개의 모니터를 이용하기 위해서는 컴퓨터에 2개의 그래픽 카드가 추가로 필요하다.

필요하기도 한다 (). 또, 이번 사진과 함께 비교하면서 봐야하는 이전 사진의 수도 고려해야 한다 전자 차트 같은 프로그램에 사용할 컬러 모니터가 추가적으로 필요한 경우도 있다. 모니터를 옆에서 보면 휘도가 떨어지므로 여러 모니터를 한꺼번에 볼 때는 모니터의 정면이 판독자를 향하도록 위치시켜야 한다.

판독 환경

방사선을 판독하는 환경은 기존 필름 방식보다 소프트웨어 이미지를 판독할 때 더 중요하다. 모니터의 질과 판독자의 능력을 고려해 환경을 마련해야 한다. 컴퓨터 모니터는 view box에 비해 화면의 밝기, 공간 해상도와 dynamic range가 낮으며 보는 각도나 반사되는 빛의 영향을 많이 받는다. 따라서, 주변 조명은 낮고 조절이 가능한 간접 조명일수록 좋다. 주변 빛이 밝으면 모니터에 반사되어 모니터의 밝기가 떨어지고 모니터 전체 대비도가 낮아져 대비도가 낮은 병변 (예를 들어 작은 폐결절 병변)은 보기 어려워진다. 일차 판독용 컴퓨터 모니터가 있는 방에는 창문에 커튼이나 덮개가 반드시 있어야 한다.

또한, 번쩍이는 것을 줄이기 위해 방사선 사진을 판독할 때에는 흰색 가운을 입지 않는 것이 좋다. 흑백 모니터 앞에 흔히 부착하는 모니터 보호용 투명한 플라스틱 커버도 번쩍거림을 유발할 수 있다. 앞서 언급한 것처럼 LCD 모니터는 옆에서 보면 밝기와 대비도가 떨어진다. 여러 모니터를 사용하는 경우 혹은 여러 판독자가 같은 모니터를 보는 환경에서는 이것이 매우 중요하다.

컴퓨터 모니터를 이용해 영상을 판독하는 환경이 판독자 자신에게 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 알려진 것이 없다. 두통, 눈 떨림, 목 통증, 피로, 안구 건조와 자극, 눈의 초점을 맞추기 어려운 경우 등을 Computer vision syndrome이라 한다. 이런 증상은 빛의 정도가 부적절하여 (예를 들어, 머리 위쪽으로 너무 밝은 빛이 있거나 빛이 번쩍거리는 경우) 혹은 눈을 지나 공기가 흐르는 환경 (예를 들어, 머리 위쪽으로 통풍구가 있는 경우)에서 더 가중된다. 하나의 형식으로 된 이미지만 보는 것보다 필름과 모니터의 이미지 이미지를 함께 보면 판독자의 피로가 더 쌓인다. 판독 시간과 computer vision syndrome의 증상 혹은 판독자의 피로와는 상관 관계가 있다. 모니터의 해상도나 휘도가 낮거나 GSDF 조정이 되지 않으면 판독하는 시간이 더 길어진다.

이미지 디스플레이 소프트웨어

디지털 방사선 사진을 볼 때 다양한 영상 소프트웨어를 효과적으로 이용할 수 있다. Window와 Mac을 바탕으로 하는 다양한 버전의 소프트웨어가 있으며 무료로 다운로드가 가능한 freeware부터 연 사용료를 내는 고가의 프로그램도 있다.

대부분의 의료용 프로그램은 DICOM 뷰어로 이미지를 볼 수 있도록 되어 있고 모든 디지털 진단 영상이 이 DICOM형식으로 저장될 수 있다.

디지털 이미지의 중요한 장점은 디지털 방사선 사진을 볼 때 이용할 수 있는 디스플레이 기능이 소프트웨어에 포함된다는 점이다.

ACR은 DICOM 뷰어 소프트웨어에 window 와 level (analogous to contrast and brightness), 줌에 대한 간단한 컨트롤, flip, 회전, 측정 기능이 최소한은 포함되어 있어야 한다고 규정하였다.

하지만, 일반적으로 사용되는 대부분의 뷰어 프로그램은 위의 기능 이외 추가적인 기능을 제공하여 진단에 대한 효용성을 높이고 있다. 이들 기능은 프로그램에 따라 다양하며 직접 프로그램을 사용하면서 파악하게 된다. DICOM 뷰어 프로그램에 대해서는 여기서 더 자세히 다루지 않겠지만 구입을 원하는 사람은 여러 소프트웨어 프로그램과 비교하여 자기가 특별히 요구하는 내용이 들어가 있는지 다양한 소프트웨어 프로그램을 비교하는 것이 필요하다.

디지털 방사선 사진의 판독은 컴퓨터 모니터에 방사선 사진이 디스플레이 되는 방법에도 영향을 받는다.

2-3 MP 모니터 하나당 방사선 사진 하나가 디스플레이 되도록 하여 디지털 사진(matrix)에 저장된 정보가 모니터에 정확하게 나타나도록 하는 것이 가장 좋다.

즉, 큰 이미지를 작은 모니터에 억지로 넣으면 진단 정보를 잃게 된다는 것이다.

또, Window, level, 줌 같은 이미지 뷰어 프로그램의 기능은 자유자재로 사용하여 진단의 정확도를 높여야 한다. 방사선 사진이 촬영되지 않은 주변 부위를 자르는 Cropping tools 이나 자동 collimation detection 기능을 이용해 촬영된 부분 주위를 둘러싸고 있는 흰 부분을 최소화하여 역광을 줄이는 것이 좋다.

그 외 소프트웨어 프로그램의 효율을 높이기 위한 특성으로는 default 이미지의 해상도와 user interface 등이 있다.

Default 해상도는 가능한 한 높게 세팅하여 사용하는 것이 좋으며 중요한 진단 결정을 방사선 사진을 처음 봤을 때 빠르게 할 수 있도록 도와준다.

user interface 는 방사선 판독자의 생산성을 올리거나 낮추는 중요한 특징이다. 판독자는 사전 연습없이 이미지 뷰어 시스템을 사용하게 되므로 뷰어가 사용자 친화적이어야 한다. 한 연구에 의하면 골격 방사선 사진을 판독하는 동안 판독자의 눈은 소프트웨어 프로그램 중 메뉴 옵션에 머무는 시간이 총 판독시간의 20%에 해당한다고 하다. 소프트웨어 옵션 중 남은 이미지를 작은 그림으로 만들어 쌓아두거나 디스플레이 할 수 있도록 하면 판독시에 많은 도움이 된다.

user interface는 소프트웨어 프로그램마다 다르며 장비의 구입을 결정할 때 비교해야 할 중요한 포인트이다.   수