

디지털 X선 촬영술의 기술 발전과 전망

閔 丙 九
(서울대 醫大 副教授)

■ 차 례 ■

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 서 론 2. Digital Radiography System의 최근 기술 3. D.R.의 장점과 문제점 4. D.R. 기술의 발전전망 | <ol style="list-style-type: none"> 4. D.R. 기술의 발전전망 5. D.R.의 방사선 분야에서의 영향 6. 서울대학교 병원의 D.R. 관련 연구 <p>참고문헌</p> |
|--|--|

① 서 론

Digital Radiography (D.R.)는 기존의 X선용 film을 사용하여 영상을 수집하고 보관하던 흉부, 복부의 촬영방법을 대신하기 위한 영상법이다. 전기적인 변환 검출기를 이용하여서 신체를 투과하여 온 X선을 전기적인 신호로 변환시킨 후 정량화하여 컴퓨터에 접속시켜 연결하고, 컴퓨터를 이용하여 영상처리 및 재구성 과정을 통하여 진단 목적에 가장 알맞은 형태의 영상을 Display Monitor에 제시하여 주는 새로운 형태의 X선 촬영 방법을 의미한다. 최근에 의료용 진단 장비들은, 점차 발전하는 전자공학과 컴퓨터의 개발에 힘입어, 컴퓨터가 내장 또는 부착되는 등의 방법으로 디지털 시스템화 되어가고 있는 추세이며, 진단 방사선 분야에서도 이미 C.T., 초음파 진단기, NMR, 핵의학용영상, DSA 등이 개발되어 사용되어 가고 있으며 그 사용 비율도 점차 증가하여 이들이 차지하는 비율이 약 50% 정도에 이르고 있다. 그러나 가장 많은 비중을 차지하고 있는(나머지 촬영진수, 50%정도) 흉부, 복부 촬영용 X선 장비가 현재로는 디지털시스템화 되고 있지 않은 실정이다. 이 X선 촬영방법을 디지털화한 디지털 Radiography 시스템이 개발되면 진단방사선 장비 중 가장 중요한 분야가 컴퓨터 부착이 됨으로써 그 자체로서의 가치와 효용성을 나타냈을 물론, 현재의

필름에 의한 방사선 진단방식과는 달리 100% 디지털화 되고 컴퓨터가 부착되어 상호간에 디지털 통신의 방법으로 화상 전송등이 가능한 Total Digital Radiographic Department가 될 수 있다. 외국의 경우는 이러한 전망아래 Digital Radiographic 시스템 개발은 물론 화상의 전송 및 저장의 방법까지 본격적인 연구를 시작하고 있어 일부 학자들은 수년 내에 Digital Radiography System이 보편화 되리라고 주장하고 있다.

여기에서는 최근의 Digital Radiography의 기술을 소개하고, 그 장점과 문제점, 앞으로의 발전 전망, 실용화 되었을 때의 효용성과 방사선과 내에서의 영향 등을 검토하며, 현재 서울대학교병원 의공학과에서 진단방사선과와 함께 연구 개발중인 D.R. System에 관하여 간단히 소개한다.

② Digital Radiography System의 최근 기술

현재 국내외의 각 대학 및 연구소에서 개발중인 D.R.을 방법에 따라서 나누어 보면 크게 두가지 형태로 구분할 수 있다. 첫째로, 선형검출기 (linear detector array)와 scanning을 위한 구동 장비를 이용하여 2차원의 영상을 얻는 방법이 있고, 둘째로, Image Intensifying Tube나 Plate를 사용하여 2차원 영상을 직접 얻는 방식이 있다.

선형검출기를 이용하는 방법은 그림 1 과 같이 fan beam 또는 pencil beam을 fore-slit, aftey slit과 조합하여 사용함으로써, X선 진단 분야에서의 가장 커다란 단점인 산란 효과를 제거하여서 Contrast resolution을 향상시키는 장점이 있으나, 촬영 시간이 다소 길어져서 그 동안의 Motion artifact와 X선 tube의 heat-loading 등이 문제점으로 지적되고 있다. 한편 Area 방식의 경우에는 그림 2 와 같이 현재의 투시 방식을 개선한 것으로 촬영시간이 짧은 장점은 있으나, 산란효과를 근본적으로 제거하기 어렵고, tube에서의 veiling glare 등의 문제점이 있다.

X선을 전기적 신호로 변환 검출하는데에는, Rare-earth Screen-photodiode 결합을 사용하는 방식과, Image Intensifying Tube, Photo-multiplier tube, Selenium imaging Plate 등이 사용되고 있으며, 이러한 검출기를 통과하여서 나온 전기적인 신호는 A/D 변환기를 통과하여 디지털 신호화한 뒤 컴퓨터에 입력된다.

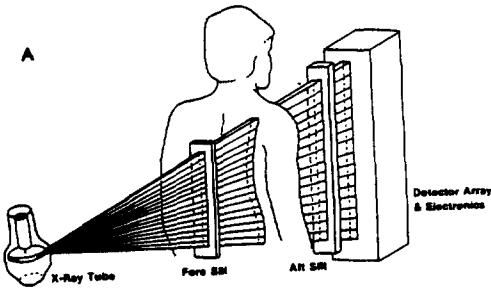


그림 1. Fan beam과 선형검출기를 이용한 X선 촬영방법

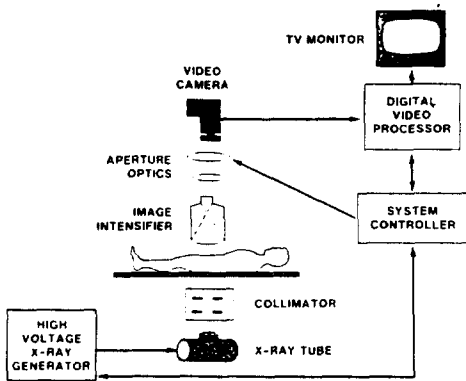


그림 2. 영상증폭관을 이용하여 2차원 영상을 직접 얻는 디지털 X선 촬영법

컴퓨터에 입력된 영상은 디지털화 된 Data이므로 각종의 디지털 영상 처리 기술을 적용시켜서 개선된 형태로 볼 수 있다. 종래의 film을 사용하는 X선 촬영 방법에서는 불가능했던 Contrast enhancement 등의 방법이 그 효과적인 방법의 하나이다. 이 방법은 그림 3 에서 보듯이 진단에 필요한 특정부위의 Contrast를 확장시켜서 미세한 Contrast의 변화도 관찰할 수 있어, 폐암 등의 초기단계에 나타나는 미세한 조직의 변화의 검출에 매우 중요한 역할을 하게 되어 조기 진단을 가능하게 한다. 이러한 특성은 기존의 film을 이용한 X선 촬영 방식에서의 5 ~ 6 : 1 정도의 Contrast에 비하면 Data의 bit수에 따라 수십~수백배로 신호대 잡음비가 허락하는 정도까지 높일 수 있어서 기존 방법에서는 구별하기 어려웠던 Pulmonary nodule의 검출 등 진단의 효율을 향상시킬 수 있게 된다. 또한, Data가 digital format이므로 진단을 정량적으로 수행할 수 있게 되어, 진단의 객관화 및 정량적 분석을 가능케 한다.

산란 효과가 제거된 X선 영상은 Dual energy Subtraction의 방법을 가능케 한다. 흉부X선 촬영 시에는 높은 Contrast 차이를 갖는 뼈와 폐 조직을 동시에 촬영하게 되는데, 높은 Contrast 차를 갖는 조직들 간의 영상을 동시에 조영할 때 Display Unit의 Contrast의 한계성에 의하여 작은 Contrast 차를 구별하여 보기 어렵다.

이러한 경우 Dual Energy 촬영법을 이동하면 X선 영상을 높은 에너지(High KVp)에서 촬영하고, 낮은 에너지 상태(Low KVp)에서 다시 촬영하여 두 영상을 조합하여 높은 Contrast차를 갖는 뼈와 폐조직의 영상을 따로 얻어내는 방법이다. 이는 신체내의 각

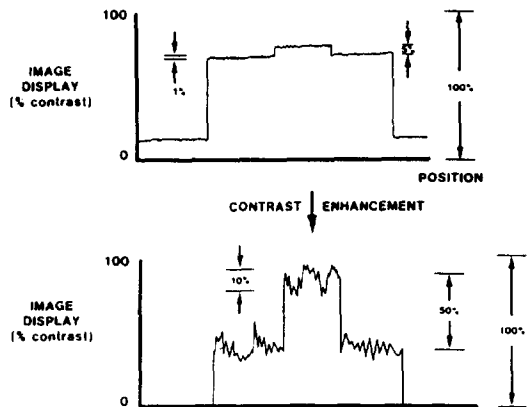


그림 3. Contrast 향상의 원리

조직들의 X선 투과 특성이 조직의 특성에 의해서도 달라지지만, 에너지(KVp)가 변화 하였을 때도 같은 조직에서의 투과 특성이 달라지는 것을 이용한 것이다.

또한, Digital Radiography의 가장 큰 필요성 중의 하나가 병원 정보망의 Network 구성의 선결 조건이라는 것이다. 현재 병원 이외의 대형 건물이나 연구소 등에서도 Local Area Network의 설치가 요구되고 있으나, 병원에서도 이러한 국부적인 Network의 구성이 필요하다. 즉 현대의 의료 진료는 고도의 의료기술에 의한 종합적 진단이기 때문에, 여러 환자 정보의 각 병동간의 전송이 필수적으로 등장한다. 특히 의료 정보 중의 많은 부분은 의학 영상인데, 이러한 영상을 전송하기 위하여서는 의학 영상이 모두 Digital화 되어야 한다. 이러한 경우 의학 영상의 50% 이상을 차지하는 흉부X선 촬영의 Digital화는 의학의 발전 방향에 비추어 볼 때 필수적인 단계이기도 하다. 또한 많은 양의 Data를 전송하고 저장하기 위하여서는 Data의 압축방법, 복원 방법 등이 동시에 필요하게 되는데 이는 역시 모두 Digital화 된 X선 System을 필요로 하는 것이다.

③ D.R.의 장점과 문제점

현재 개발중인 D.R.들은 대부분 영상용 Monitor에 최종 영상을 출력으로 제시하는 형태로 구성되어 있는데, 영상 Monitor의 Spatial resolution이 지금까지 개발된 것으로는 1024×1024의 정도밖에 되지 않아서 기존의 film을 사용하는 방법에 비하여 Spatial resolution이 떨어지는 문제점이 있다.

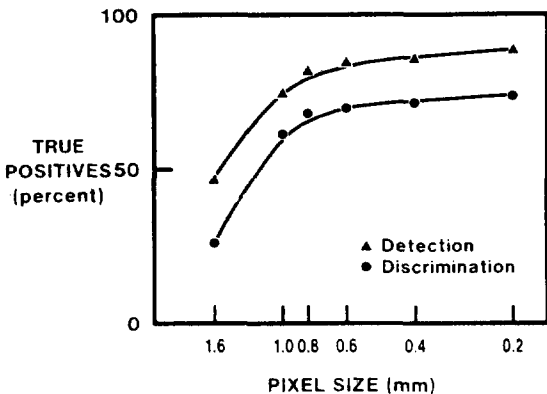


그림 4. Pixel size에 따른 폐의 노odule(결핵) 검출의 정확성

D.R.의 경우 Spatial resolution이 Film의 경우의 1/2 정도인 2.5-1.5lp/mm 정도되나, 그대신 film의 경우에 비하여 수십배의 Contrast resolution을 갖는 장점이 있다. Spatial resolution과 Contrast resolution 중에서 어느것이 의학적인 관점에서 진단에 더욱 중요한가에 대하여서는 계속 연구 단계에 있으나, 현재까지의 연구 결과로는 진단의 정확성과 정밀성에는 Contrast resolution이 보다 큰 의미가 있다는 것이 임상적인 자료로 발표되고 있다.

그림 4에 나타난 것처럼 특히 Spatial resolution이 1.6line pairs/mm 이상이 되는 경우에도 진단의 정확성에는 크게 기여하지는 못한다는 임상 Data에 근거한다면, 현재의 D.R.의 resolution으로도 정확한 진단을 하게 될 수 있으리라고 판단된다.

또한 이와 병행하여서 2048×2048의 display 방식이 연구되고 있는데, 이와 함께 D.R.의 Spatial resolution을 향상시킬 수 있으리라고 기대된다.

Spatial resolution이 갖는 문제점 이외에도 촬영시간이 기존의 X선 촬영때와 비교할 때 10~20배 정도 증가하는 데에 따른 문제점이 지적되고 있다. 조사되는 X선의 양을 효과적으로 이용하지 못하여서 tube의 Heat loading을 증가시키고 있으며 motion 등에 의한 영상의 왜곡이 생길 가능성이 있다. 이러한 문제점 때문에 선형검출기를 사용하는 경우에도 scanning time을 0.1초에 가까이 하여 film의 X선 노출시간에 근접시키려는 노력을 계속하고 있다. D.R.을 film 방식의 촬영 방법에 비하면 다음과 같은 장점을 열거할 수 있다.

- a) 산란효과를 제거하고, Data를 전산화 함으로써, 영상처리술을 적용한 영상의 질을 개선하게 되고, dual energy subtraction 방법 등의 정량적인 분석을 통하여 진단의 효과를 높일 수 있다.
- b) 컴퓨터 Network과 연결시켜서, 영상을 전송하여 film으로 보관할 때의 관리문제와 운반의 불편함을 제거하고, data의 저장 및 검색을 컴퓨터를 이용하여 자동화할 수 있다.
- c) 경제적인 관점에서 현재의 film의 사용량을 10% 이하로 줄일 수 있게 되어서, D.R. System의 설치 비용을 감안하더라도 약10년 정도의 사용기간동안을 통하여 볼 때에는 경제성이 있다는 것이 판단되었다.

④ D.R. 기술의 발전전망

D.R.의 문제점으로 지적되고 있는 Spatial resolu-

tion을 해결하기 위한, 대량의 data storage 장비 (약 1건당 1M byte 정도) 와 display 기술은 관련된 분야에서 계속 연구 개발되어, 현재에는 실용화 단계로 접어들고 있다. Digital 형태의 data를 저장하기 위한 고밀도의 optical disc, data의 고속 전송을 위한 fiber optics, 고해상도의 모니터 등의 개발은 많은 양의 data를 저장하고, 전송하고, display 하는 D. R.의 실용성을 높이고, D. R.의 시스템에 효과적으로 이용될 수 있으리라고 판단된다. 표 1에 film based operation과 digital based operation의 경제성을 10년의 Project를 대상으로 비교 하였는데, digital operation의 경우에 그 경제성이 있음을 알 수 있다. 또한 전자공학 분야의 발전 상태를 토대로 전망하기에는 이러한 고밀도의 장비 및 기술들이 점차 개발되어, 5년 이내에 D.R.에 필요한 hardware의 가격이 film의 가격에 비교하여서 월등히 유리하리라고 추측된다. 이러한 hardware쪽의 기술적인 전망과 함께 기대되는 것은 영상 진단의 과정에서 Visual System을 고려한 optimal image의 구성 및 제시에 관한 연구로 진단의 psychophysical한 분석등을 고려한 영상처리 방법이다.

이러한 방법의에도 의학용 영상과 진단 과정에서 특수성을 고려한 image analysis, 패턴인식 방법 등의 적용으로 D.R.의 유용성은 한층 증대될 것으로 기대된다.

5 D.R.의 방사선 분야에서의 영향

현재의 film을 이용한 X선 촬영 방법을 D.R.로 대체하는 경우 앞에 기술한 것 이외에 다음과 같은 중요한 영향을 주게 되리라고 기대된다.

a) 현재의 진단 방식은 촬영된 film을 근거로한 수동적인 형태에 국한되었으나, D.R.방식에서는 환자의 영상을 진단하는 과정에서 직접 영상의 filtering parameter라든지 contrast enhancement의 parameter를 변화시키면서 할 수 있어, 방사선과 의사의 능동적 진단 역할이 훨씬 향상된다. 이와 함께, 이러한 능력을 극대화하기 위한 교육 및 훈련이 요구된다.

b) 영상의 정량화에 의하여, 각 부위의 조직들을 특성화하여 감쇄 상수 등의 정량적 매개 변수를 산출할 수 있어, 현재의 해부학적인 병변의 진단에 국

Table 1. Ten year projection and cost comparison between a film based operation and a digital based operation.*

Film Based Operation	in Thousands	Digital Based Operation	in Thousands
Film	7,000	Replace conventional chest to digital chest	
H ₂ O for the processors (60 M gallon @10.0/1000 gallon)	600	Six units @ \$500,000	3,000
FTE (34)	7,000	Image memory	1,000
Processor	1,000	TV monitors 1000 unit	1,000
Film storage rental	500	Terminals 2000 unit	2,000
Matrix camera purchase	500	Analog/Digital storage	1,000
Space (equivalent cost)	2,350	Communication network	1,000
Physicians time lost (\$10/hr)	1,500	Sub Total	9,000
Equipment (x-ray)	2,000	Maintenance 10%/year for ten years of equipment cost (9,000) we take half of this value.	4,500
		FTE (15)†	3,000
		Sub Total	16,500
		10% of film based operation**	2,250
Total	22,450	Total	18,750

* Excluding digital based equipment purchase.

** We believe films are still necessary in a digital based operation.

† We anticipate the FTE qualifications will be the same in both operations.

한되었던 film의 방식에서, 생리학적 또는 병리학적인 변화에 대하여서도 비관혈적(non-invasive)인 진단이 가능하리라고 판단되어 방사선 진단분야의 역할을 증대시키리라 예상된다.

㉔ 서울대학교 병원의 D.R.관련연구

서울대학교 병원에서는 약 2년간의 이 분야에 대한 기초 및 임상연구 결과를 토대로 하여 D.R. System을 개발하고 있다. 현재 개발하고 있는 System은 다음과 같은 부분들로 구성되어 있다.

- a) X선 발생장치 및 Control부분
- b) 산란효과 제거를 위한 fore-slit 및 after-slit 과 구동장치
- c) X선을 광신호로 변환하기 위한 rare earth screen과, 광신호를 전기적인 신호로 변환시키기 위한 photo-diode array detector의 결합체.
- d) data 수집부분, 증폭장치와 A/D변환기, 고속 data 저장용 기억장치부분.
- e) data 처리와 display를 위한 Bit-slice processor
- f) Picture Archiving and Communication Systems (PACS)

이러한 부분 이외에 SNR을 향상시키고 좁은 부위의 region of interest를 보다 정확하게 관찰하기 위해서 5lp/mm의 고밀도 선형검출기를 병행으로 사용하고 있다. 이 선형검출기를 이용하여 일부의 영상을 관찰하여 그 결과를 Wiener filter 등의 방법의 매개변수 선정에 이용하여 전체적인 영상의 질을 향상시키고자 하는 것이다.

이외에도 dual energy방식을 이용한 tissue의 정량적 분석과 digital imaging technique을 이용한 영상 개선에 관한 연구가 진행중이다.

參 考 文 獻

- 1) S. Nudel man, et. al., "A study of photoelectronic-Digital Radiography-part I. II. III" Proc. of IEEE Vol. 70, No. 7, July 1982, pp. 700-727.
- 2) P. Sashin, et. al., "Computerized electronic-radiography." Proc. of the 6th conference on computer Applications in Radiology and computer-Aided Analysis of Radiological Images, ACR/IEEE Computer Society, pp. 153-158, 1979.
- 3) D. Sashin et al., "Diode Array Digital Radiology: Initial clinical Experience", American J. of Reontgenology, Vol. 139, Dec. 1982, pp. 1045-1050.
- 4) I.A. Cunngnam, et. al., "A Photo-diode Array x-ray imaging system for digital angiogmpy", Med. Phys., Vol. 11, No. 3, pp 303-310, May/Jun, 1984.
- 5) W.d. Fooley, et. al., "The effect of varying spatial Resolution on the Detectability of Diffase Pulmonary Nodule". Radiology, Vol. 41, pp. 25-31, Oct. 1981.
- 6) G.T. Barnes, et. al., "Radiology, Vol. 120, pp. 691-694, Sep. 1976.
- 7) L.T. Nikalson, "Scattered radiation in chest radiography", Med. Pays., Vol. 8, pp. 677-681, Sept./Oct. 1981.