

컴퓨터 영상처리 방식을 이용한 정맥내 혈관 조영술 시스템 개발

李承智 · 李泰洙 · 閔丙九 · 韓文熙* · 韓萬青*

= Abstract =

Digital Subtraction Technique for Intravenous X-ray Image System

Sung-Ji Lee, Tae-Soo Lee, Byung-Goo Min
Moon-Hee Han*, Man-Chung Han*

The objective of this research is to develop the hardware and software systems of the digital intravenous angiographic system. The system will be used in clinical diagnosis of cardiovascular and cerebrovascular diseases. By utilizing computer image processing technique and digital subtraction method, the system can decrease the patient's hazard and expenses in performing intravenous angiography, as compared with conventional angiograms of the arterial injection.

1. 서 론

Roentgen에 의해 Xray가 발견된 후 거의 1세기 동안 radiology가 진료에 이용되고 있으며, 현재의 angio system은 radiology의 대표적인 의료장비로서 진단 면에서의 그 역할은 대단한 것이다.

그러나 catheter를 사용하여 조영제를 동맥에 주입 하여서 혈관을 관찰하는 angiography를, 보다 안전 하면서 비용이 적게 들고 outpatient검사를 할 수 있도록 개선하는 방법을 찾게 되었다^{1,2}. 이러한 비관혈적 technique인 intravenous injection 방법을 사용하였는데 contrast material을 많이 주입하여야 하고, 또 그 image가 좋지 않다는 취약점이 있었다. 금세기 중반이후에는 digital electronics의 발달과 더불어, computer를 사용하고 television의 도움으로 digital subtraction을 이용한 noninvasive intravenous angiography를 새로운 관점에서 많은 관심을 끌게되어 1970년대 중반이후에 많은 연구 결과가 발표되었으며

특히 Kruger와 Mistretta^{3,4}, Ovitt^{5,6}등이 사전 연구를 통해 좋은 결과를 얻은 후 실제 임상에서의 적용으로 진료에 도움을 주는 system을 구상하기에 이르렀다^{7~10}.

최근 1980년에는 이러한 것들을 바탕으로 종래의 angiography의 결과와 거의 유사한 image를 얻을 수 있어서^{11~13} 이제 그 필요성은 절대적인 것으로 생각되고 있으며, radiology의 또 다른 방향에서 computer 화합으로서 diagnostic radiology의 발달에 큰 도움을 줄 수 있다고 인정되고 있다.

이러한 radiographic image subtraction 기술은 의학적인 측면뿐만 아니라 공학적인 image processing에도 사용되고 있으며 특, High-energy real time Inspection¹⁴에서도 거의 같은 원리를 적용하고 있는 실정이다.

Subtraction technique라고 하던 현재 이용되고 있는 angiogram에서 mask image, 즉 조영제를 주사하기 전의 image를 photoprocessing으로 subtraction하여 background image를 제거하고 vessel만 남게 하는 기술을 말한다. 그러나 이러한 angiography에서는 catheter를 동맥에 삽입시켜서 조영제를 주사하기 때문에 무증후성 환자나 혈관이 노쇠한환자에게는 매우 위험하므로 정맥에 조영제를 주사하여 관찰하기 어려운 혈관, 특히 동맥을 computer에 의해 화상처리

<1981. 11. 25. 접수>

서울대학교병원 醫工學科, *서울대학교병원 診斷放射線科
Dept. of Biomedical Eng. of Seoul National University Hospital

* Dept. of Diagnostic Radiology of Seoul National University Hospital

하여 잘 보이게 하는 것을 digital subtraction angiography라고 한다. 다시 말해서 정맥주입법 혈관조영술을 시도할 경우, 조영제는 정맥을 통하여 심장, 폐 그리고 다시 심장을 거쳐 동맥으로 오는데, 이때 조영제의 농도는 급격히 떨어지게 되며 이렇게 거의 보이지 않는 혈관을 잘 보이게 하는에는 영상처리 기술이 필요하게 된다. 즉 computer에 의한 digital subtraction을 실시하여, 조영제를 주사한 후의 image로부터 주사하기 전의 image를 빼면 contrast에 의한 difference image만 볼 수 있게된다.

그리고 여기에서 또 하나의 중요한 개념은 logarithmic processing이며 이것은 혈관내의 조영제 농도와 Xray image의 명암사이에 지수적인 관계가 있다는 것을 고려하여 정량적인 정보를 유출할 수 있도록 하는 것이다.

본 연구는 computer를 사용해서 비편월적 정맥주입법 혈관조영술을 개발하고 그것을 사용하여 임상에서의 결과를 얻는데 그 목적이 있으며, 이러한 목적에 맞도록 Xray generator, image intensifier, video camera, video frame store, computer, logarithmic amplifier 및 CRT monitor와 VTR을 사용하여 간단하고 쉽게 적용할 수 있는 system으로 구성하여 그 결과를 얻었다.

2. 방법 및 재료

(1) 원 리

Digital subtraction의 원리를 살펴보면, mask image는

$$I_M = \alpha \cdot N(x, y)$$

로 표현될 수 있는데 여기서 $N(x, y)$ 는 image intensifier에 입사되는 Xray 양의 spatial distribution을 나타내며 α 는 Xray photon으로부터 light photon 즉 video signal로 변환하는 상수이다.

Contrast material(Iodine)을 injection한 후의 image는

$$I_C = \alpha \cdot N(x, y) \exp[-u_I c_I t_I(x, y)]$$

나타낼 수 있으며 u_I 는 iodine에 대한 mass attenuation coefficient(cm^2/mg)를 말하며 C_I 는 iodine의 concentration(gm/cm^3)을, 그리고 $t_I(x, y)$ 는 vascular thickness(cm)를 나타낸다. 또한 u_I 와 c_I 는 image field 내에서 constant하다고 가정하고 있다.

따라서 subtraction한 후의 difference image는

$$\begin{aligned} D &= I_M - I_C \\ &= \alpha N(x, y) - \alpha N(x, y) e^{-u_I c_I t_I(x, y)} \\ &= \alpha N(x, y) [1 - e^{-u_I c_I t_I(x, y)}] \end{aligned} \quad (1)$$

로 되는데 이것은 vessel이 없는 부분($t_I=0$ 일때), 즉 다시 말해서 bone 등을 포함하는 background에 해당하는 부분은 없어지고 보고자하는 혈관만 남게되는 것을 쉽게 알 수 있다.

또한 정맥주입법을 사용하게 되기 때문에 iodine concentration은 항상 10%미만이라고 가정할 수 있다.

즉 $u_I c_I t_I < 0.1$ 이 되며 $u_I c_I t_I \ll 1$ 일 때의 식을(1)

$$D = \alpha N(x, y) [u_I c_I t_I(x, y)] \quad (2)$$

로 간단히 할 수 있다.

한편 logarithmic processing의 경우에 difference image는

$$\begin{aligned} D_{In} &= \ln I_M - \ln I_C \\ &= \ln[\alpha N(x, y)] - \ln[\alpha N(x, y) e^{-u_I c_I t_I(x, y)}] \\ &= u_I c_I t_I(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

로 된다.

Linear processing의 결과에서는 iodine image의 형태가 iodine 정보를 포함하고 있지 않는 mask image에 의해서 modulate되지만 logarithmic difference에서는 단지 vessel에 의한 정보만을 가지고 있기 때문에 artifact를 제거하여 image를 개선하는 목적에 사용될 뿐만 아니라 blood pool volume과 같은 정량적인 정보를 제공해 줄 수 있으며, 목적에 따라서는 매우 유용하게 사용될 수 있는 개념이라고 판단된다.

한편 system은 크게 네 부분으로 되어 있는데 Xray image system, image 수집부분, processing부분, 그리고 display로 구성되었다.

Xray imaging부분은, 현재 서울대학병원 진단방사선과에서 사용되고 있는 angio system을 그대로 이용하여 X-ray tube(maxiray 100)와 image intensifier(cesium iodine)는 GE의 300 system을 사용하였으며 video camera는 resolution이 좋은 plumbicon을 사용하여 system noise를 극소화할 수 있게 했다. Image채집부분은 A/D변환기, video memory, logarithmic amplifier와 computer interface가 필요하며 processing은 DEC의 MINC-11 computer system을, display에는 D/A변환기와 T.V. monitor를 사용하였다.

특히 A/D변환기, videomemory와 D/A변환기는 하나의 장치로 되어있는 Colorado INC의 video frame store(memory: $256 \times 256 \times 8$ bits) A/D, D/A: 30 frames/sec로 대응하였다.

< IMAGE SYSTEM >

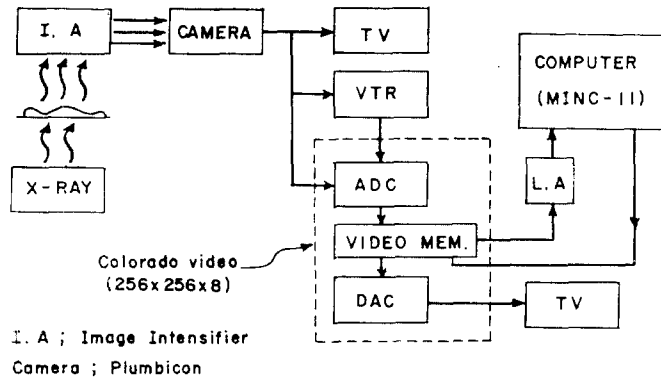


그림 1. 시스템 개요도

Fig. 1. System block diagram

System에 대한 block diagram은 그림 1과 같다.

(2) 모오드와 시스템

Digital subtraction angiography는 여러가지의 형태로 구분할 수 있는데 대체로 다음과 같이 세가지로 나눌 수가 있다.

우선 기본적으로 mask image와 contrast image를 각각 채집하여 한번의 subtraction으로 결과를 얻는 mask mode radiography를 들 수 있다.

그리고 cardiac motion 등의 관찰에 유용한 mask mode fluoroscopy가 있는데 이 mode는 기준 mask로부터 연속되는 contrast image들을 계속 subtraction하여 보여줌으로써 기준시간의 image에 대한 변화량을 관찰할 수 있으며, 끝으로 time interval difference mode(TID)는, mask와 contrast image는 어떤 일정한 시간 간격을 가지고 계속 바뀌어 가는 것이다. 즉, 현재의 image가 전상대에서는 contrast image로 선택되지만 그다음 상태에서는 mask image로 되어 짧은 시간 간격동안의 변화를 알 수 있기 때문에 myocardial infarction 등의 영향에 대한 것을 연속된 화상으로 볼 수 있게하는 것이다.

이러한 mode들 중에서 우리는 우선 mask mode radiography에 주안점을 두어 system을 구성하고 그 결과를 관찰하였다.

(3) 기법과 처리

실험부위에 따라서 그 정도는 조금씩 다르지만, X-ray tube는 대략 70 kvp와 200~300 mA에서 수행시

켰으며 X-ray는 9" (22.9 cm) mode의 cesium iodine image intensifier로 검출하였다. 또한 조영제는 iodine이며 몸무게 1 kg 당 1 ml를 기준으로하여 대개 1초당 12~18 ml씩 총 40~60 ml가 되도록 하였다. 보다 좋은 image를 얻기 위해서 시행시간동안 가능한 한 호흡을 정지하도록 하였으며 경동맥을 관찰할 경우는 침을 삼키는 동작도 subtraction하는데 장애요인이 되므로 되도록 피하는 방향으로 실시하였다.

Mask image와 intravenous injection한 후의 image에 대한 정보는 video camera로부터 많은 image frame(1~32 frames)을 순서대로 analog-to-digital 변환하여 video memory에 digital data로 저장함으로써 채집된다. 이러한 data들을 integration하고 averaging하여 noise가 어느정도 제거된 표준 image를 각각 만든후 subtraction을 시행하므로써 원하는 intravenous arteriography를 T.V.화면에 display할 수 있다. 우리의 system에서는 video memory의 한 계때문에 VTR을 buffer로 사용하여 off-line으로 필요한 image들을 integration하여 memory에 store한 후에 subtraction을 실시하였다.

Subtraction program은 linear와 logarithmic processing을 선택하여 수행할 수 있는 algorithm으로 구성되어 있으며 혈관이 black level로 보이고 background가 white level로 보이도록 data를 반전하였다. 또한 mask image와 contrast image의 위치가 잘 조화되지 않을 때는 이것을 바로 잡아 정확한 subtraction을 할 수 있는 기능이 동시에 수행가능하며 경우에 따라서 subtraction할 때 gray level에 bias를 걸어줌으로써 image 해석에 보다 더 도움을 줄 수 있도

thing)을 선택하여 보다 실제에 비슷한 image를 나타낼 수가 있다.

지금까지 서술한 내용에 관한 functional flow chart는 그림 2와 같다.

3. 결 과

전술한 방법에 의해 intravenous angiography를 한 결과 그림 3(a)~(d)의 image를 얻었다.

이 그림들은 computer memory에 있는 angio image를 CRT에 display시켜 negative로 촬영한 것이다. 그림 3(a)에서도 right, left corotid artery가 상측으로 뻗어있고, right, left subclavian artery가 양측으로 휘어져 뚜렷이 나타나 있으며, carotid 근처에 vertebral artery가 희미하게 보이고 있다.

하측의 밝은 부분은 aortic arch이다. 그 주위에 pulmonary artery가 나타나 있다.

그림 3(b)에서는 abdominal aorta가 중앙에 굵게 나타나 있고, 좌상으로부터 hepatic artery, right renal artery가 있고, 우상으로부터 splenic artery, left renal artery, superior mesenteric artery가 있다. 좌우측 renal artery가 있는 부분에 right, left kidney가 희미하게 나타나 있다.

그림 3(c)는 Hepatoma가 있는 환자의 angio image인데 abdominal aorta로부터 우측으로 splenic artery가 있고, 좌측으로 celiac trunk를 통해 common hepatic artery가 나와서 liver의 right lobe로 연결되어 있는 것이 나타나 있는데 여기서 hepatoma가 있는 부분이 밝게 나타난 것을 알 수 있다.

그림 3(d)는 abdominal aorta로부터 좌우로 common iliac artery가 나뉘어져 다시 internal, external iliac artery는 네 갈래로 나누어진 것이 나타나 있다.

4. 결 론

연구 결과는 실제의 임상에서 요구되는 image에 접근하는 것을 볼 수 있으며, 몇가지의 보완에 의해 보다 개선된다면 종래의 angio를 진일보시킬 수 있다고 생각된다.

앞으로 해결되어야 할 사항과 전망을 살펴보면 Xray system의 최적상태 유지와 동시에 noise에 대한 대책을 강구하여야 하며, 많은 임상실험을 통해 injection technique의 정립이 필요하다.

Intravenous angiography의 경우는 원하는 혈관만

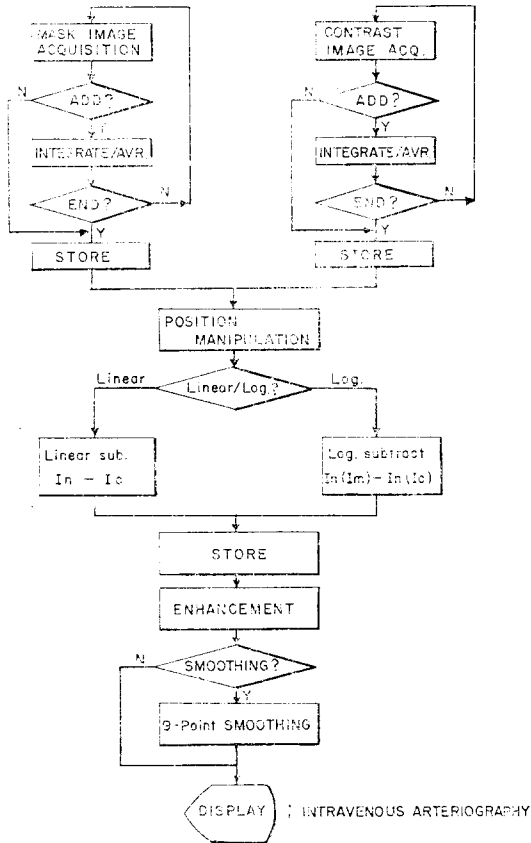


그림 2. 흐름도
Fig. 2. Flow chart

록 했다.

이렇게 하여 얻어진 image는 contrast의 difference가 적은 양으로 나타나기 때문에 이것을 상대적으로 강조하기 위해서 image scaling을 이용한 enhancement algorithm을 사용하여 혈관을 보다 까맣게 하고 artifact와 noise가 섞인 background는 아주 하얗게 하므로써 보다 윤곽을 뚜렷이 하였다.

Digital화하여 처리하였기 때문에 이러한 image들은 discrete하고 rough하게 보일 때가 있으며 이런 경우에는 smoothing routine(9 points weighted smoo-

을 보는 것이 아니라 겹쳐져 있는 모든 혈관이 나타나기 때문에 selective angio를 하는데는 현재로서 부적합하다. 그러나 앞으로 velocity 측정을 통하여 이러한 문제도 해결할 수 있을 것이다.

그리고 digital subtraction angiography는 digital data로 변환되어 처리되기 때문에 functional imaging 등과 같이 정량적인 분석을 시도할 수 있는 좋은 system으로 생각된다. 앞으로 computer의 능력, video memory의 용량등이 개선된다면 real time으로 훨씬 좋은 image를 얻을 수 있을 뿐 아니라 mask mode fluoroscopy와 TID mode를 수행할 수 있을 것이다.

* 본 연구는 서울대학교 병원 연구개발비 보조에 의한 것임.

참 고 문 헌

- 1) Steinberg I, Findy N, Evans JR.: *A safe and practical intravenous method for abdominal aortography, peripheral arteriography, and cerebral angiography.* AJR 82:758-772, 1959.
- 2) Steinberg I, Stein HI.: *Intravenous angiography, abdominal aortography, and peripheral arteriography with single-arm pressure injection.* AJR 92:893-906, 1964.
- 3) Kruger RA, Mistretta CA, et al.: *Computerized fluoroscopy in real time for noninvasive visualization of the cardiovascular system—preliminary studies.* Radiology 130:49-57, 1979.
- 4) Kruger RA, Goodsitt MM, Mistretta CA, et al.: *Digital K-edge subtraction radiography.* Radiology 125:243-245, 1977.
- 5) Ovitt TW, Capp MP, Fisher HD, et al.: *The development of a digital video subtraction system for intravenous angiography.* In: Miller HA, Schmidt Ev, Harrison Pc, eds. "noninvasive cardiovascular measurements", Vol 167 Bellingham, WA: SPIE 1978:61-65.
- 6) Ovitt TW, Capp MP, Christenson PC, et al.: *Development of a digital video subtraction system for intravenous angiography. Recent and future developments, In: medical imaging II, Vol 206 Bellingham, WA:SPIE 1979;73-76.*
- 7) Crummy AB, Strother CM, et al.: *Computerized fluoroscopy: Digital subtraction for intravenous angiography and arteriography.* AJR 135:1131-1140, 1980.
- 8) Ovitt TW, Christenson PC, Fisher HD, et al.: *Intravenous angiography using digital video subtraction: X-ray imaging system.* AJR 135:1141-1144, 1980.
- 9) Christenson PC, Ovitt TW, et al.: *Intravenous angiography using digital video subtraction: Intravenous cervicocerebrovascular angiography.* AJR 135:1145-1152, 1980.
- 10) Meaney TF, Weinstein MA, et al.: *Digital subtraction angiography of the Human Cardiovascular system.* AJR 135:1153-1160, 1980.
- 11) Hillman BJ, Ovitt TW, Nudelman S, et al.: *Digital video subtraction angiography of renal vascular abnormalities.* Radiology 139:277-280, 1981.
- 12) Buonocore E, Meaney TF, et al.: *Digital subtraction angiography of the abdominal aorta and Renal Arteries.* Radiology 139:281-286, 1981.
- 13) Chillocote WA, Modic MT, et al.: *Digital subtraction angiography of the carotid arteries: A comparative study in 100 patients.* Radiology 139:287-295, 1981.
- 14) Ting CH.: *Processing of real time radiographic images.* SPIE 241(real time signal processing III):70-74, 1980.



그림 3-a. Carotid and Subclavian arteries.

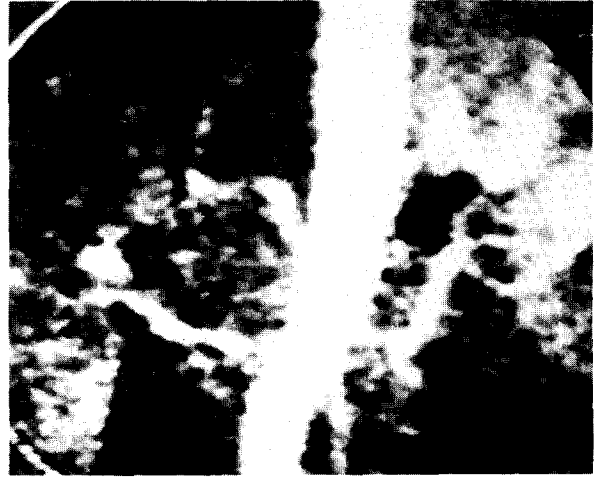


그림 3-b. Abdominal and renal arteries.

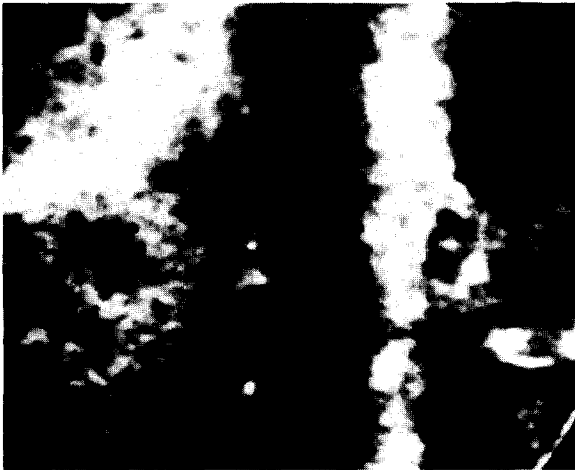


그림 3-c. Abdominal Portion and liver with hepatoma.



그림 3-d. Iliac artery.

그림 3. Intravenous angigram Image.