

디지털 血管造影術 (Digital Subtraction Angiography)

関 丙 九,* 李 承 智 **

서울대학교 醫科大學 醫工學科
教授(工博)*, 大學院**

I. 序 論

血管造影術(angiography)은 관찰하고자하는 血管에 造影劑를 注入하여 그 혈관을 X-線 장비들에 의해 像으로 볼 수 있는 技術을 말한다. 이 혈관조영술을 보다 安全하면서 간편하게 施行할 수 있도록 改善하는 方法을 찾게 되었는데 금세기 중반이후 디지털 일렉트로닉스의 發達과 더불어 非觀血的 血管造影術에 많은 研究가 進行되기 시작했다. 그리하여 나타난 새로운 形態의 혈관 조영술을 일반적으로 “digital subtraction angiography”(DSA)라고 하며, 때로는 “computerized fluoroscopy”(CF)라고도 한다.

DSA의 개발로 인해 靜脈注入法 血管造影術(intravenous arteriography: IVA)의 사용이 復活되었으며, 靜脈에 造影劑를 주입하여 電算化된 X-線 장비에 의해 改善된 血管의 像을 볼 수 있다는 것이 臨床적으로 가치를 認定받고 있다.

DSA의 주요한 技法인 서브트랙션은 종래의 포토그라픽 서브트랙션에서 由來되는데 이 方法과 比較해 볼때, 새로운 디지털 테크닉은 빠르고 융통성이 있으며 보다 精密한 것으로 기대되고 있다. 이러한 理由로 靜脈注入法에 의한 주요 血管의 관찰을 기본 檢査項目으로 할 수 있게 되었다.

현재로는, 디지털 비디오 시스템을 사용한 템포럴 서브트랙션이 대부분이지만 앞으로는 에너지 서브트랙션과, 또는 이들을 組合한 하이브리드 서브트랙션이 使用될 것으로 전망된다.

II. 서브트랙션 概要 및 方法

血管은 보통의 放射線 사진으로는 나타나지 않는데 그것은 血液과 주위의 軟組織사이의 X-線 減衰의 차가 거의 나지 않아서 감지할 수 없기 때문이다.

따라서 造影劑(일반적으로 iodine+물)를 사용하게 된다. 종래의, 靜脈이나 動脈등 혈관을 볼 수 있는 血管造影術에 있어서는 작은 導管(catheter)를 직접 해당 血管內에 위치시켜 造影劑를 넣은 후 血管 映像을 얻어 낸다.

이렇게 조영제가 직접 血管으로 들어 가면 별다른 處理없이 그 血管의 映像을 放射能 사진에 의해 볼 수 있게 된다. 血管이 매우 작은 경우는 필름 서브트랙션을 이용하여 明暗도를 높여야 한다. 그리고 동맥을 보고자 하는 경우는, 導管을 해당하는 動脈內에 選擇으로 넣어야 하므로 危險성이 크고 患者가 入院해야 하는 어려움이 있다.

반면에 造影劑가 非選擇적으로 靜脈에 挿入되는 경우는, 循環系를 따라 觀察하려고 하는 動脈까지 도달했을 때, 그 동맥의 이미지는 造影劑의 稀釋으로 明暗對比가 너무 작게 되어 거의 볼 수 없게 된다. 디지털 이미지 서브트랙션 방법은 희석된 조영제의 濃度로도 유용한 動脈의 映像을 제공하므로, 靜脈注入法 動脈造影術을 가능하게 해 준다.

희석된 造影劑가 들어 있는 血管을 보기 위해서는 像으로 부터 콘트라스트가 높은 부분을 빼내야 한다. 일단 그 部分이 없으면 CT에서 쓰이고 있는 방법대로 디스플레이 윈도링 테크닉을 써서 빼낸 이미지를 강조시킬 수 있다. 만약 뼈를 얇고 강조를 하면 뼈와 軟組織, 또는 공기와 연조직간의 境界部分이 희석된 造影劑가 들어 있는 낮은 콘트라스트의 血管을 불분명하게 만들기 때문에 效果가 없다.

軟組織과 뼈 부분의 제거에 사용되는 파라메타는 기본적으로 시간(temporal subtraction)과 에너지(energy subtraction)이다.

• 템포럴 서브트랙션은 많이 알려진 方法으로, 조영제가 注入되기 前의 像(이것을 “mask”라고 함)이 필요하며, 造影劑 注入후의 連續的인 像들로부터 이

마스크 像을 빼게 된다.

• 患者의 움직임이 없다고 가정하면, 이 방법으로 조영제가 들어 있는 血管을 제외한 연조직과 뼈들이 완전히 除去될 수 있다.

디지털 라디오그래피를 이용한 템포럴 서브트랙션은 종래의 필름 서브트랙션과 세 가지 基本的인 면에서 差異가 난다.

1) 透過된 放射線의 明暗도를 对数處理하면 定量的인 값이 된다. 对수를 취하지 않으면 組織의 두께가 두꺼워질수록 減算된 像에서 혈관의 농도가 감소하게 된다.

2) 寫眞에 의한 서브트랙션의 경우 마스크를 바꾸는 것은 귀찮은 작업이지만, 디지털의 경우는 컴퓨터의 메모리에 像을 저장할 수 있으므로 빠르게 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 여러 가지의 마스크를 選擇하여 가장 좋은 서브트랙션을 행할 수 있다.

3) 디지털 라디오그래피는 필름 또는 스크린 시스템보다 造影度에 대해서 더 銳敏하다. 서브트랙션은 두 映像의 差異를 필요로 하는데 이 차이는 보통 原来 이미지의 1~3% 정도로 작기 때문에 이것을 記錄하는데 더 精確하게 할 수 있다.

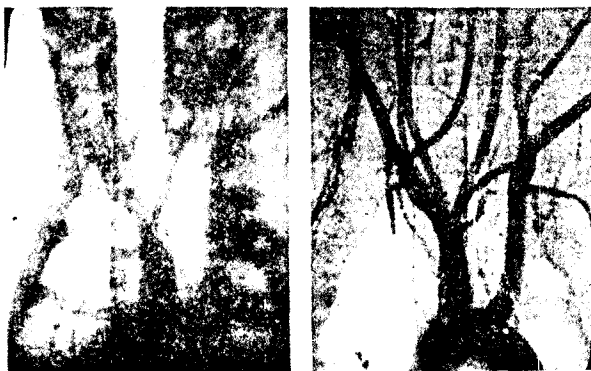
서브트랙션에서는 患者의 움직임이 가장 근본적인 制限條件으로 제기되는데, 그 理由는 造影劑를 넣기 前과 後의 像들 사이 동안(보통 3초이상)에 두 像들간의 움직임이 일어날 가능성이 크기 때문이다. 보통 높은 콘트라스트의 接合部에서는 1mm이하의 움직임도 處理된 像에서는 distortion과 artifact를 만든다. 이러한 것들은 患者의 몸이 전체적으로 움직이거나 心臟과 같이 움직이는 물체에 대해서 일어날 수 있으며, 또는 生理 현상에 따른 환자의 局部的인 움직임에 의해서도 일어난다. 움직임에 대한 効果는, 造影劑 注入 전

과 후 사이의 微細한 움직임의 결과로 나타나는 不鮮明과 높은 造影物體, 즉, 뼈, 氣道, 腸内の 가스, 肋骨와 石灰化된 血管 등의 반대쪽 끝에 明暗의 띠가 생기는 現象인 줄무늬 artifact가 있다. 일반적으로 혈管内에 주입하는 조영제의 量을 줄일수록 像은 움직임에 더욱 敏感해진다. 움직임의 效果는 컴퓨터 映像處理로는 회복되기가 매우 어렵다. 대부분의 경우 움직임은 단순한 移動이 아니라 移動과 回轉의 복잡한 組合이다.

이러한 效果는 컴퓨터에서 제거되기가 힘들며, 가능한 接近方法은 새로운 마스크를 선택하여 새로운 像을 만드는 것이다. 이 再處理 過程은 가장 좋은 像이 나올 때까지 몇 번이고 계속될 수 있다. 石灰化된 움직임은 頸動脈(carotid)分岐部에 대한 서브트랙션의 적용에 문제점이 된다. 경동맥 분기부에서의 石灰化 現象은 老年層에서 아주 普遍적인 現象이므로 이미지를 心電圖(ECG)에 同期시키지 않는다면 혈관 拍動 때문에 잘못 記錄될 가능성이 높다. 그리하여 경동맥 분기부에서 보통 생기는 病變(leision)을, 明暗의 줄무늬 때문에, 발견하기 어렵게 만든다.

• 에너지 서브트랙션은 放射線의 에너지에 따른 組織의 減衰 差異에 根本을 두고 있다. 이 방법을 사용하는데 가장 대표적인 것은 K-edge 서브트랙션으로 Iodine의 K-edge인 33Kev이상과 이하가 되는 두개의 放射線 빔을 사용한다. 이 光線이 거의 monoenergetic하다면, 두 光線에 의해서 생긴 像들을 서로 빼서 조영제가 들어 있는 血管을 제외한 모든 구조물들이 除去될 것이다.

두 에너지의 영상이 數밀리 秒내에 동시에 얻어지므로 에너지 서브트랙션은 움직임 artifact를 없앨 수 있다. 그러나 이 시스템은 템포럴 서브트랙션보다 훨씬



A
B

그림 1. A: 개의 頸動脈(carotid artery)
B: subtracted artery 이미지

복잡하다. 그리고 이 방법은 한 이미지 상에서 軟組織과 뼈를 同時に 제거할 수 없다는 短점이 있지만, K-edge이하에서 또 다른 에너지를 選擇하여 연조직이나 뼈를 제거할 수 있으며 최근에 실험중인 하이브리드 서브트랙션을 적용하여 해결할 수도 있다.

다음의 그림 1은 템포럴 서브트랙션의 한 예로써 개의 頸動脈을 보여 주고 있다. A는 조영제를 注入한 후의 像이며 B는 서브트랙션한 후의 결과를 나타내고 있다.

III. DSA 시스템

1980년 후반부터 몇 개의 시스템이 開發되어 선을 보이기 시작했으며 앞으로 많은 것들이 市中에 나올 것으로 기대되고 있다. 이러한 画面處理 血管造影術 시스템에 있어서는 고성능의 cesium iodine intensifier와 높은 dynamic range를 갖는 비디오 카메라가 기본적인 要求 事項에 해당한다. 카메라의 경우가 더 絶對的일 수가 있는데, 이것을 위해서 plumbicon camera가 필요하다. 그리고 카메라를 통과한 信號는 로그리즘 增幅器를 지난 후 디지털화 되며 다시 두개의 메모리중 하나에 貯藏된다. 여기에서 쓰이는 메모리는 動脈搏動 시간동안 연속화면을 實時間으로 集積할 수 있도록 마련되어야 한다. 이것은 시스템 雜音을 줄이며 또한 發生器의 要求 사항들을 감소시킬 수 있기 때문이다. 환자의 움직임 문제가 없을 경우 集積度를 높인다면, 雜音度가 높은 이미지튜브를 쓸 수도 있을 것이다. 조영제 주입 전후의 映像들을 빼는 방법은 시스템에 따라서 하드웨어, 소프트웨어 또는 組合 등으로 구성

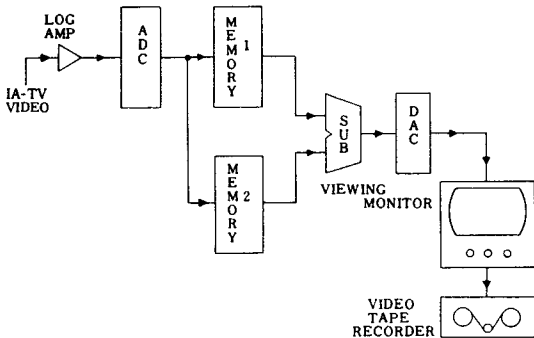


그림 2. University of Wisconsin computerized fluoroscopic system. IA-TV=image intensification television; ADC=analog-to-digital converter; SUB=subtraction; DAC=digital to-analog converter.

될 수 있으며 대체로 하드웨어 중심으로 되는 것이 좋은 것으로 믿어진다.

예로 간단한 시스템을 構成해 보면 다음 그림과 같다.

소프트웨어로 구성될 경우의 基本的인 處理 過程은 다음과 같다.

- 1) 像에 대한 메타타 수집
- 2) 여러 개의 프레임(2-32)을 集積 후 平均
- 3) 메모리에 저장
- 4) 움직임에 대한 보상
- 5) 서브트랙션
- 6) 인핸스먼트(enhancement)
- 7) 스무딩(smoothing)

그 외에도 여러 가지의 画像處理技法을 사용할 수 있다.

이러한 과정을 흐름도로 나타내면 그림 3과 같다.

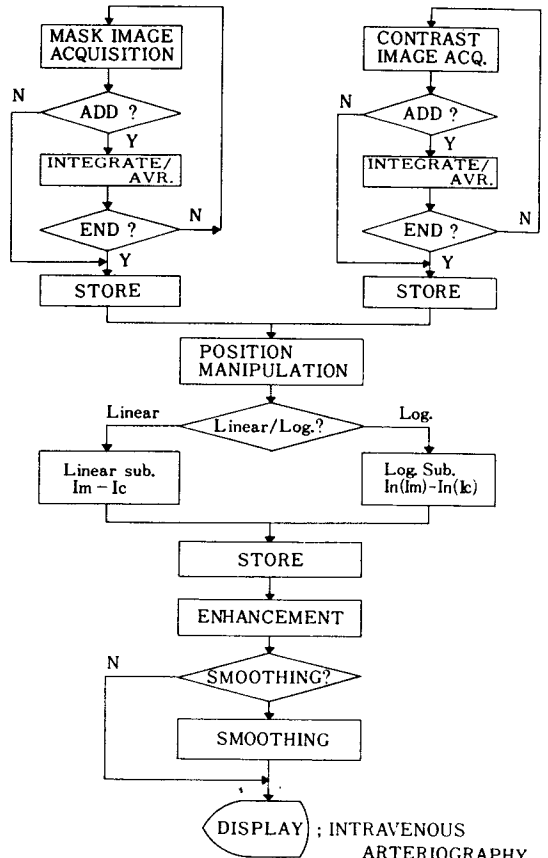


그림 3. 흐름도

IV. DSA의 限界

減算技法을 이용한 靜脈注入 動脈造影法에 있어서의 이론적인 限界는 이상적인 경우에 어떤 도구를 사용할 지라도 혈관에 들어 있는 조영제의 濃度와 방사능의 照射量(특히 분해 가능한 최소 단위내의 光子의 숫자)에 좌우된다.

信號對 雜音比, SNR은

$$SNR = K(I) \sqrt{D}$$

여기서 K는 시스템의 기하학적 構造나 디텍터의 특성에 따라 결정되는 비례常數이고, I는 조영제의 농도, D는 분해 최소 단위내의 照射量이다.

照射量은 제곱근에 비례하므로 방사능의 조사량보다는 농도를 늘리는 것이 SNR을 늘리는데 더욱 효과적이다. 따라서 높은 分解能과 低雜音의 映像이 필요할 경우에는 血管 造影術用 導管을 사용한 종래의 방법을 써야 할 것 같다. 그러나 靜脈注入法에 있어서 높은 조영제 농도를 낼 수 있는 새로운 造影劑의 開發과 방사능의 조사량등은 서브트랙션 영상에 있어서 血管의 精密度를 개선하기 위해서 사용할 수 있는 파라메타로 남아 있게 된다. 시뮬레이션 결과 DSA 방법을 이용해서 정맥주입법으로 1R 이하로 露出시켰을 때 1~2mm의 혈관 영상을 얻을 수 있었다.

정맥주입법을 사용하는 DSA의 이론적인 제한에 덧붙여 現存하는 장비들에 의해 賦課되는 制限들도 무시할 수 없다. 100%의 量子 효율과, mm이하의 분해능, 低雜音과 低散亂과 넓은 필드를 갖는 디텍터는 아직 존재하지 않는다. 조영제 농도의 증가는 기대하기 어렵기 때문에 性能의 改善은 X-線 發生器와 디텍터 技術面에서 이루어져야 할 것이다. 여기서 강조해 둘 것은 위에서 말한 이론적인 SNR의 制限은 완벽한 서브트랙션이 이루어져야만 얻을 수 있는 것이다. 움직임 효과같은 殘餘 暗影들은 특정한 映像에서 얻을 수 있었던 性能을 제한시키게 된다. 템포럴 서브트랙션이 DSA에 처음 사용되었으며 움직임에 관한 제한 條件이 이 방법에서 가장 기본적인 것임을 인식할 때, 이후 앞으로의 研究는 에너지 서브트랙션을 이용하여 이 제한 조건을 없애는 方向으로 되어야 할 것이다.

컴퓨터를 이용하여 종래의 動脈血管術로부터 혈관의 硬化를 定量的으로 해석하려는 시도에는 높은 SNR의 映像이 필요하다. 이 방법은, 각종의 그레디언트나 微分子를 사용한 에지-디텍션 방법을 쓴다. 한편 DSA를 이용한 혈관 直徑의 定量化에는 이 그레디언트 방법으로 좋은 결과를 얻는데 가끔 SNR이 크게 작용하

지 않을 때도 있다. 그리고 최근에는 아주 雜音이 많은 面에서도 혈관의 位置와 直徑을 추적할 수 있는 알고리즘들이 연구 개발중에 있다.

V. 結 論

DSA는 導管을 插入하지 않고 靜脈注入法으로 시행할 수 있기 때문에 혈관이 老衰한 患者나 無症候性 患者에 위험을 제거해 주기 때문에 臨床的으로 거의 絶對的인 방법이라고 할 수 있다.

DSA의 弱點을 補完하는 방법이 많이 연구되고 있지만, 아직도 특정한 혈관, 예를 들면 冠狀動脈(coronary)을 選擇的으로 보이게 하는 알고리즘은 定着되어 있지 않는 실정이다.

끝으로, DSA는 放射線 機器의 電算化에 또 다른 面을 제시해 주고 있으며 이것은 앞으로 診斷에 필요한 많은 情報를 제공해 줄 수 있는 시스템으로 발전하리라는 생각을 하게 한다.

參 考 文 獻

- [1] Kruger RA, et al. : Computerized fluoroscopy in real time for noninvasive visualization of the cardio vascular system-preliminary studies, *Radiology*. 130, pp.49-57, 1979.
- [2] Kruger RA, et al. : Digital k-edge subtraction radiography, *Radiology*. 125, pp.243-245, 1977.
- [3] Ovitt TW, et al. : Development of a digital video subtraction system for intravenous angiography. Recent and future development, In : *Medical Imaging SPIE II*, vol. 206, Bellingham, WA : pp. 73-76, 1979.
- [4] Mistretta CA, et al. : Digital angiography : a perspective. *Radiology*. 139, pp.273-276, 1981.
- [5] William R et al. : Digital subtraction angiography, *IEEE Trans. Nuclear Science*, NS-29, pp.1176-1180, 1982.
- [6] 李承智 外 : 컴퓨터 영상처리 방식을 이용한 정맥내 혈관 조영술 시스템 개발, *醫工學會誌* 2, pp. 109-114, 1981.