

잡견에서 조영제 혈관외유출 예방을 위한 스트레인 게이지 기반의 EDA 시스템 성능 평가를 위한 실험적 연구

권대철¹, 유병규², 이종석², 조문선³, 양성환³

¹서울대학교병원 영상의학과, ²원광보건대학 방사선과, ³한국재활복지대학 의료보장구과

An Experimental Study for Performance Evaluation in Dogs of Preventive Contrast Media Extravasation with a Strain Gage Based Prototype Extravasation Detection Accessory System

D. C. Kweon¹, B. G. Yoo², J. S. Lee², M. S. Cho³, S. H. Yang³

¹Department of Radiology, Seoul National University Hospital,

²Department of Radiologic Technology, Wonkwang Health Science College,

³Department of Prosthetics & Orthotics, Korea National College of Rehabilitation & Welfare

(Received November 21, 2007. Accepted December 14, 2007)

Abstract

The major risk associated with the use of automated power injectors is the well known complication of contrast material extravasation at the injection site. Automated injection of computed tomography (CT) contrast media can produce the compartment syndrome. The purpose of this study was to assess the ability of this device during clinically important episodes of extravasation. The extravasation detection accessory (EDA) system was composed of a strain gage, an amplifier and a computer based system. A strain gage pliable adhesive patch was applied to the skin over the intravenous catheter and the catheter was connected to the power injector with a cable to monitor the resolution data. If the programmed monitoring, which was developed with MS Visual C++, at the extravasation occurred, then the injection was interrupted the auto injector. CT was used to demonstrate the clinically important extravasation. This study was a prospective, observational study in which the EDA system was used to monitor the automated mechanical injection of contrast material in 7 dogs. There were two true-positive cases (range of extravasation volumes: 18 ~ 22 ml), twenty three true-negative cases, three false-positive cases and no false-negative cases. The EDA system had a sensitivity of 100% and a specificity of 88% for the detection of clinically important extravasation. The EDA system had good sensitivity for the detection of clinically important extravasation and the EDA system has the clinical potential for the early detection of extravasation of the contrast medium that is administered with power injectors. The EDA system is easy to use safe and accurate for the monitoring extravasation of the intravenous injections, and this system may prove especially useful in CT applications.

Key words : contrast media, extravasation, EDA system, computed tomography

1. 서론

조영제의 혈관외유출(extravasation)은 조영제가 혈관 안으로 들어가는 대신에 혈관을 둘러싼 조직으로 주입되어, 조직의 괴사 및 합병증을 유발할 수 있다. 혈관외유출된 경우는 대부분의 환자는 자연히 흡수되어 치유되나, 고삼투압으로 심한 조직의 괴사가 나타나고, 구획증후군(compartment syndrome)으로

진전되어 피부괴사나 조직 재건술이 필요하다[1]. 또한 혈관외유출이 일어난 부위의 기능적 장애와, 손상 받은 조직의 색깔 변화와 부종을 수반한 후유증으로, 조직에 심한 손상을 보여 지속적인 관찰 및 치료를 해야 한다[2]. 환자에게 심한 신체적, 정신적 고통을 수반하고, 의료에 대한 불신 및 의료사고를 유발할 수 있어, CT검사에서 사용하는 조영제의 혈관외유출을 사전에 예방하는 방법이 필요하다[3].

CT 조영제를 정맥 내에 자동주입기로 동맥기에서의 bolus tracking 기법을 이용한 짧은 시간의 조영제 주입과 빠른 시간의

Corresponding Author : 권대철

서울시 중로구 연건동 28 서울대학교병원 영상의학과
Tel : 82-2-2072-3687 / Fax : 82-2-3672-4948
E-mail : kdc@radiol.snu.ac.kr

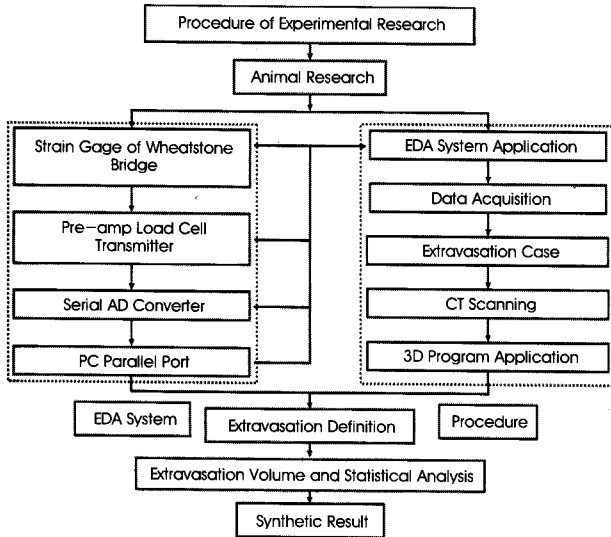


그림 1. EDA 시스템의 연구 계통도
 Fig. 1. Schematic diagram of the EDA system.

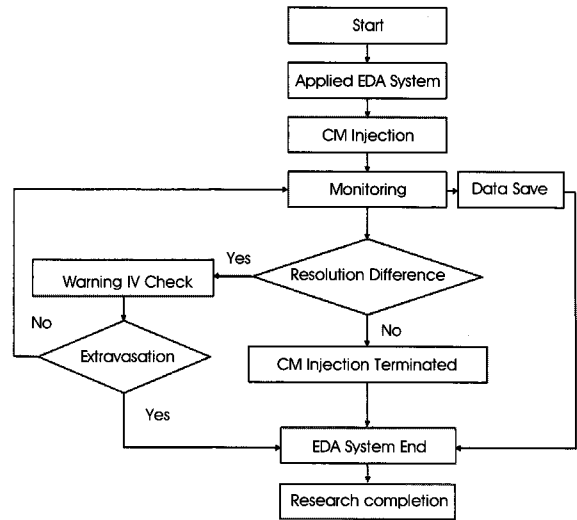


그림 2. EDA 시스템의 혈관외유출 검출의 흐름도
 Fig. 2. Diagram shows the flowchart extravasation research protocol of extravasation detection accessory system program.

검사로 인하여 발생하는 혈관외유출의 부작용을 사전에 예방하는 필요성이 매우 높다. 또한 소아의 경우에는 혈관외유출을 예방하기 위해 주사바늘의 게이지와 조영제 주입속도를 통해 혈관외유출 위험을 줄일 수 있다는 보고가 있으나, 근본적인 해결방법은 아니다[4].

환자의 진단을 위해 사용하는 조영제의 혈관외유출로 인한 의료의 질 저하와 환자의 신체 조직의 괴사 및 손상을 방지하고, 환자의 불만, 두려움을 감소하기 위해, 혈관외유출 예방이 필요하다. 혈관외유출을 예방하기 위한 방법으로 스트레인 게이지(strain gage) 기반의 혈관외유출 검출기(extravasation detection accessory, 이하 EDA) 시스템을 개발하였다[5]. 조영제의 혈관외유출을 예방하기 위해, 개발된 EDA 시스템을 평가하기 위해 잠견 정맥을 대상으로 혈관외유출의 검출 효율을 실험적으로 연구하였다.

II. 연구 방법

개발된 EDA 시스템의 혈관외유출 검출 성능의 평가를 위한 연구는 잠견을 대상으로 하여 순서적으로 연구를 진행하였다(그림 1).

표 1. 제작된 혈관외유출 검출기의 세부사양

Table 1. The detailed specification of the extravasation detection accessory system

| EDA System | Specification |
|-------------|----------------|
| Strain gage | AE-XXS300N-120 |
| ADC | MAX187 |
| Amplifier | LCT-I420 |
| Program | MS Visual C++ |

A. EDA 시스템

EDA 시스템은 증폭기와 ADC(analog-digital converter), 스트레인 게이지로 구성하고(표 1), 신호를 검출 할 수 있는 프로그램을 설계하였다(그림 2). 스트레인 게이지의 신호 데이터를 증폭기를 이용하여 증폭하고, 신호를 디지털로 변환하기 위해 직렬전송 ADC(MAX187, Maxim, Japan)를 이용하여 안정적인 저항값의 출력 변화를 통해 혈관외유출을 검출하는 EDA 시스템을 설계하여 제작하였다.

잠견의 정맥주사부위에 부착한 스트레인 게이지로부터 발생된 전위차는 증폭기(LCT-I420, CAS, Seoul, Korea)를 사용하여 센서의 신호 값을 증폭한다. 증폭된 신호 값을 디지털화하기 위해 분해능(resolution)이 12bit의 직렬전송 데이터 전송 기능을 가진 ADC를 사용해 PC로 데이터 값을 전송한다. PC의 병렬 포트 들어온 데이터는 신호비율을 지정하여 신호를 처리하였다(그림 3).

스트레인 게이지는 스트레인을 측정하고자 하는 피측정 물체에 접촉하여 대상물의 스트레인이 게이지에 전달시켜 저항변화를 가져오게 하여 사용되는 것으로 피부 층에 스트레인 게이지를 붙여 혈관외유출을 검출하였다(그림 4).

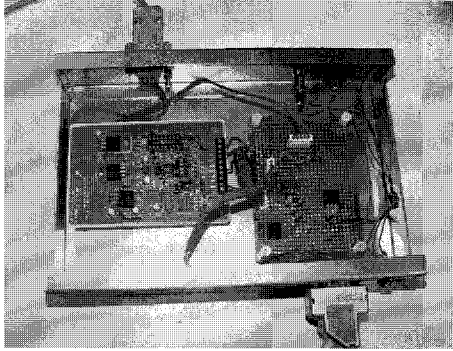


그림 3. 증폭기(좌)와 ADC(우)
 Fig. 3. Photograph shows of amplifier (left) and ADC (right).

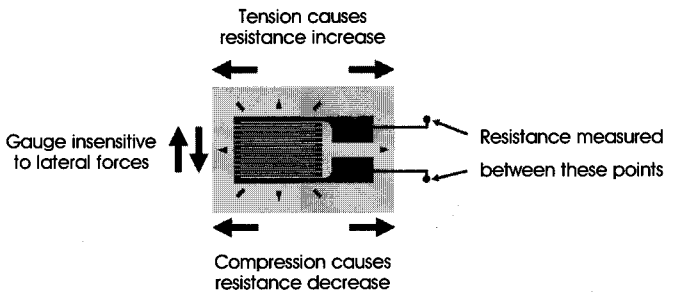


그림 4. 스트레인 게이지
 Fig. 4. Photography of bonded strain gage

스트레인 게이지의 원리는 단면적 A, 고유저항, 길이 L인 전선의 저항은 다음과 같다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

개발에 사용된 스트레인 게이지(AE-XXS300N-120, CAS, Seoul, Korea)의 크기는 a(30 mm), b(0.6 mm), c(40 mm), d(6 mm)를 사용하였다. 평탄한 전극으로 구성된 스트레인 게이지를 플라스틱으로 코팅하여 구부러지기 쉽게 하여 잡건의 정맥주사부위에 IV카테터 부위에 외과용 테이프를 이용하여 부착하여 신호를 검출하였다(그림 5).

프로그램은 Microsoft Visual C++ 5.0을 이용하였고, 혈관의 유출을 감지하는 스트레인 게이지에서 신호를 EDA 시스템을 통해 분해능의 값에 따라 Windows color 및 progress bar의 값을 조정하였으며 신호비율은 0.5 sec, 12 bit ADC로 0에서 4096 범위로 분해능을 표시하고, 입력범위 0 ~ 5 V이다. 분해능이 시간적으로 변화하는 것을 기록하기 위해 프로그램에 1초 간격으로 텍스트 파일로 데이터를 저장하였다. Windows XP에서는 주소를 직

접 컨트롤하지 못하므로 범용으로 나와 있는 DPortIO Library를 사용하여 병렬 포트에 통신 하였다. 조영제 주입 후 정맥부위에서 스트레인 게이지의 신호 값의 분해능이 혈관의 유출이 되었을 때 경고 표시를 알려주는 혈관의 유출 문턱(threshold) 값의 범위는 10에서 200까지 조정하도록 하였다(그림 6). 조영제 주입과정을 모니터링 하면서, 분해능 초기 값과의 차이가 문턱 값의 범위를 벗어나면 경고가 표시되도록 하였다.

B. CT 스캔 및 3D 영상

실험동물은 암수 구별 없이 몸무게 17~23 kg(평균 20 kg)의 건강한 잡견 7마리를 실험에 사용하였다. 전을 마취하기 위해 ketamine hydrochloride(Ketalar, Yuhan Yanghang, Seoul, Korea)을 50 mg 근육주사(intramuscular injection) 하고, xylazine hydrochloride(Rompun, Bayer Korea, Seoul, Korea)를 20 mg(0.2 mg/kg)을 정맥주사 하였다. 정맥에 18 게이지 IV 카테터(BD IV Catheter, Boin Medica, Korea)를 삽입하여 조영제(Ultravist 370; Schering, Berlin, Germany)를 자동주입기(Liebel-Flarsheim CT9000 ADV Injector for Contrast Media;



그림 5. 잡견의 앞발의 정맥에 부착된 EDA 시스템
 Fig. 5. The dog of the foot attached EDA system

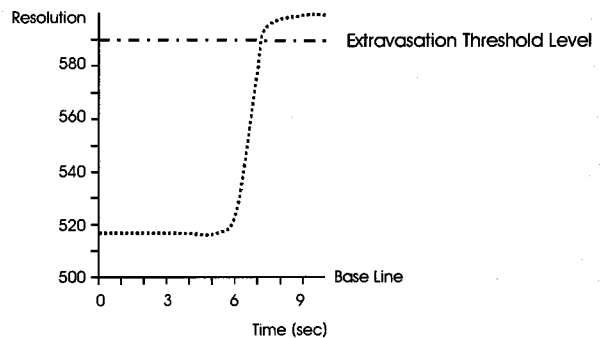


그림 6. 조영제 주입 시간에 따른 분해능의 혈관외유출 문턱 값
 Fig. 6. Diagram illustrates resolution of the extravasation threshold level of contrast media injection time

표 2. 혈관외유출된 진양성의 잠견

Table 2. Extravasation true positive cases of dogs

| Factor | Data |
|------------------------------|---------|
| Injection Rate (ml/sec) | 3 |
| IV Catheter Gage | 18 |
| Volume (ml) Attempted | 120 |
| Volume (ml) Delivered | 26~27 |
| Volume (ml) of Extravasation | 18~22 |
| Time (sec) of Extravasation | 9~12 |
| Pressure (psi) | 127~148 |

표 3. 혈관외유출 결과

Table 3. Extravasation alarm algorithm results

| Injection Rate (ml/sec) | True Positive | True Negative | False Positive | False Negative |
|-------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| 2.0 | 0 | 12 | 2 | 0 |
| 3.0 | 2 | 11 | 1 | 0 |

Mallinckrodt, MO)를 이용하여 최대압력 300 psi, 속도 2, 3 ml/sec로 주입하였다.

혈관외유출이 발생된 정맥 부위를 CT 기기(Lightspeed Ultra; GE, Milwaukee, WI)로 0.625 mm, 200 mA 0.5 sec, detector rows 1, 1:1 pitch, speed 1.25 mm/ROT의 조건을 적용하여 스캔하였고, 획득한 다이콤 파일을 네트워크를 통해 3D 프로그램 (Rapidia 2.8, Infinitt, Seoul, Korea)으로 전송하여 볼륨렌더링, maximum intensity projection(MIP), multi-planar reformation (MPR) 영상으로 혈관외유출 범위를 하였다. 테이블 기능으로 조영제 픽셀의 Hounsfield(HU)의 최소값과 최대값을 획득하여 혈관외유출 용량을 계산하였다.

C. 혈관외유출 정의 및 통계처리

EDA 시스템의 혈관외유출을 진양성(true-positive), 진음성(true-negative), 위양성(false-positive), 위음성(false-negative)으로 정의하였다. EDA시스템의 검출효율을 평가하기 위해 분해능의 산점도 표시 및 통계적 처리를 Kruskal-Wallis(SPSS 11.0, Chicago, IL, USA) 방법으로 EDA 시스템의 분해능 값의 유의함을 확인하였다.

III. 결과

잠견의 앞발과 뒷발의 정맥에 스트레인 게이지를 부착하여 EDA 시스템을 운전하여 혈관외유출 검출 여부를 실험하였다. EDA 시스템을 부착한 견을 조영제 자동주입기를 이용하여 조영제 주입하여 9초가 경과하고 프로그램에서 혈관외유출을 경고하였다. 바로 조영제 주입을 즉각 수동으로 멈추었고, 조영제 자동주입기에 표시된 조영제의 IV 주입 용량은 18 ml로 견 앞발의 IV 위

치에서 혈관외유출 발생을 확인하였다. 혈관외유출이 발생한 또 다른 견의 앞발 오른쪽에서는 혈관외유출 조영제 용량이 22 ml로 자동주입기에 표시되었고, 진양성으로 정의하였다. 조영제 주입 시간은 조영제 주입 후 9초, 12초가 경과하여 EDA 시스템이 혈관외유출을 검출하였다. EDA 시스템의 프로그램에서 분해능의 혈관외유출 문턱 값이 초기값에서 50을 초과하여 혈관외유출 검출 프로그램의 모니터에서 경고가 표시되었다.

혈관외유출 결과는 표 3에서 기술하였다. 진양성은 3.0 ml/sec에서 2건, 진음성은 2.0 ml/sec에서 12건, 3.0 ml/sec에서 11건, 위양성은 2.0 ml/sec에서 2건, 3.0 ml/sec에서 1건, 위음성의 결과는 없었다. 민감도는 진양성으로 나타나는 확률이 2건으로 100%이고, 특이도는 26건에서 실제로 진음성 23건으로 88%이었다.

혈관외유출의 시간대별로 분해능을 표시하여 문턱값을 벗어나면 EDA 시스템의 프로그램에서 경고 표시가 울려 혈관외유출을

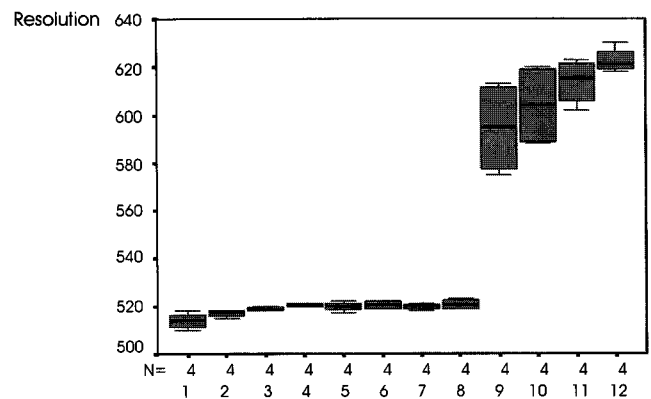


그림 7. 혈관외유출 분해능 값의 박스플롯 측정결과

Fig. 7. The boxplot graph of resolution values

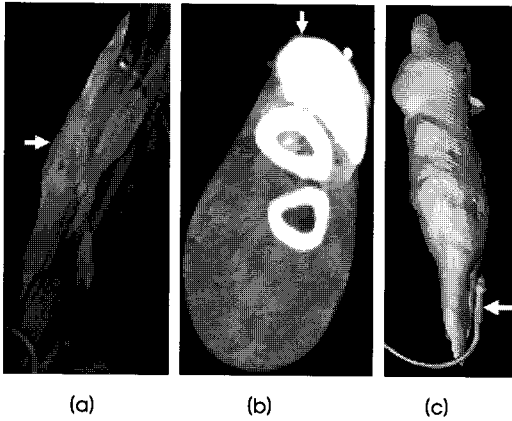


그림 8. 혈관의유출(18 ml) 진양성의 결과. CT의 scout영상(a), 스캔 영상(b), 뼈와 근육을 제거한 혈관의유출 조영제 영상(c)
Fig. 8. True-positive case of extravasation in a dog right fore foot. (a) CT scout view of the injection site shows extravasated contrast material, which was estimated to have a volume of 18 ml in right forefoot. (b) CT axial scans obtained at the extravasation site. (c) Volume-rendered obtained after eliminating the bone and muscle, shows the extravasation and IV catheter (arrow) opacity, 100%, density range; 1149 - 2266

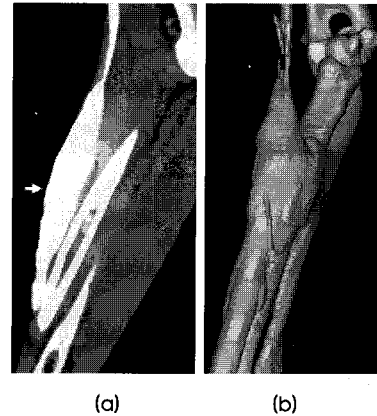


그림 9. 혈관의유출(22 ml) 진양성의 영상. CT의 sagittal MIP(a)와 볼륨렌더링 영상(b)
Fig. 9. True-positive case of extravasation in a dog left fore foot. (a) CT sagittal MIP image of the left femur, which was estimated to have a volume of 22 ml. (b) Volume rendering image extravasated contrast media adjacent to the bone.

검출하였다. 그림 7은 혈관의유출 검출의 분해능을 박스플랏으로 보여주고 있다. 혈관의유출된 분해능은 평균 534.49, 표준편차 34.38 계산되었다. 혈관의유출이 발생한 사례 2건을 그림으로 보여주고 있다. EDA 시스템을 이용하여 조영제 주입 후 주입시간에 따른 분해능 값을 그림으로 표시하고 있다. 건의 오른쪽 앞발 부위에서 발생한 혈관의유출의 용량은 18 ml이고, 진양성으로 정의하였다. 그림 8a는 CT scout 영상 이고, 그림 8b는 혈관의유출 부위를 CT transverse 스캔한 영상으로, HU가 높은 뼈와 혈관의유출 조영제와 근육이 확연히 구분되는 영상을 보여주고 있다. 혈관의유출 부위의 뼈와 근육을 제거하여 조영제가 혈관의유출된 볼륨렌더링 영상(그림 8c)으로 조영제의 혈관의유출 범위를 확인할 수 있다.

건의 왼쪽 앞발에서 혈관의유출이 발생한 영상으로, 혈관의유출 조영제 용량은 3D 프로그램을 이용하여 22 ml 용량으로 산출되었다. 혈관의유출 부위를 CT 스캔하여 그림 9a에서 MIP coronal 영상으로 혈관의유출을 묘출하였고, 그림 9b에서 볼륨렌더링 영상으로 조영제의 피부 및 근육에 침범정도를 육안으로 정확하게 확인하는데 많은 도움이 된다. 이러한 CT의 3D영상은 조영제의 혈관의유출 범위와 크기를 확인할 수 있고, 조영제가 근육부위의 침범정도를 육안으로 정확하게 확인할 수 있다.

IV. 고찰 및 결론

CT검사에서의 조영제 주입에 의한 혈관의유출의 합병증에 대한 사례 보고가 있었다[6]. 조영제 주입에 의한 혈관의유출된 부위는 부종이 형성되고 손상 받은 주위의 조직은 경계가 뚜렷해지고

피부의 색깔 변화를 초래한다. Daniel 등[7]은 혈관의유출이 생기는 경우 피하조직내의 정맥혈류를 부분적으로 방해하여 결국에 동맥의 폐쇄로 인해 피부의 괴사를 초래한다고 보고하였고, Kim 등[8]은 가토를 대상으로 혈관의유출의 괴사에 대한 실험적 연구를 하였고, Siström 등[9]은 혈관의유출에 대한 28건의 사례를 보고 하였다. Fedele 등[10]은 혈관의유출은 조영제의 bolus 주입속도와 이온성 비이온성과는 상관관계가 없다고 하였고, Jacobs 등[11]은 혈관의유출이 일어난 6,660명에서 41명(0.6%)의 조영제 주입속도는 0.5~4.0 ml 로 혈관의유출 빈도와 주입속도와의 상관관계가 없다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 조영제 주입속도를 임상에서 많이 이용하는 2~3.0 ml/sec의 주입속도로 단순화 하여 진양성의 결과가 3.0 ml/sec에서 2건 이었으나 2.0 ml/sec에서는 진음성이 12건의 결과가 나타났다. 추후 연구에서는 조영제의 다양한 주입속도에 의한 혈관의유출의 상관관계에 대한 연구가 이루어져야 한다.

혈관의유출에 대한 정의에서 진양성은 임상적으로 중요한 혈관의유출을 EDA 시스템이 검출하여 조영제 주입을 중지하고, 진음성은 혈관의유출이 10 ml 이하이고, 혈관의유출이 아니어서 조영제 주입이 중지 없이 진행되는 것이다. 위양성은 실제로는 양성의 혈관의유출이 아닌데 결과적으로 양성의 혈관의유출로 나온다는 뜻이고, 위음성은 실제로 그 정보가 양성의 혈관의유출로 검사 결과에서 음성으로 나오면 위음성으로 정의한다[5].

CT검사에서의 조영증강을 위한 IV 카테터의 정맥 삽입은 경험과 숙련된 간호사가 필요로 하고, 혈관의유출이 발생이 높은 고위험도 환자들을 분류하여 사전에 혈관의유출을 예방하여야 한다. 권 등은 혈관의유출을 예방하기 위해 EDA 시스템을 개발하여 환자

를 대상으로 한 예비보고가 있었다[5].

CT 검사에서 정맥주사에 자동주입기를 이용하여 조영제를 주입 시에 혈관외유출이 발생하는 경우에는 정맥 주사부위의 혈관외유출의 변화를 빠른 시간에 검출할 수 있도록 EDA 시스템을 설계하여야 한다.

EDA 시스템의 유용성을 파악하기 위해 잡견을 실험적 동물로 선택하였다. 피부나 피하조직을 실험부위로 사용하는 경우에 인체와 유사한 피부 및 피하조직 구조를 갖는 실험동물을 선택해야 하므로 어려움이 있다. 동물을 피부 및 피하조직의 구조에 따라 *fixed-skin animal*과 *loose-skin animal*로 나눌 수 있는데 전자에서는 근육층 밑에 위치한 분절동맥에서 수직으로 분지하는 동맥이 근육, 피하조직 및 피하에 혈액공급을 하는 반면, 후자에서는 분절동맥은 근육층에만 혈액공급을 하고 피부 직하부의 얇은 피부근층(*panniculus carnosus*)에 있는 피부동맥이 직접 피부에 혈류공급을 하며 피하지방층이 없다. 전자에 인간과 돼지가 속하고, 후자에 쥐, 토끼, 개 등이 속한다. 본 실험에서는 해부학적 구조가 차이는 있으나, 많은 수를 사용하기에 적합하고 혈관이 실험하기에 용이한 잡견을 대상으로 하였다. 해부학적 구조 차이는 있어도, 혈관외유출을 검출하는 데는 지장이 없을 것으로 생각된다. 주사부위는 실제 임상에서 조영제의 혈관외유출이 앞발, 뒷발 모두 태웠었고, 정맥주사는 기술적인 차이에 의한 오차를 배제하기 위해서 모두 검사실의 동일한 간호사가 시행하였다.

CT 검사에서 조영제의 주입과정에서 환자의 정맥주사 부위에서 발생하는 혈관외유출을 예방하기 위해 EDA 시스템을 발전하기 위해 지속적으로 개발하여 기능을 보완하도록 한다[5].

Cochran[12] 은 1993년부터 1999년 까지 비이온성 조영제를 자동주입기를 이용하여 검사할 때 해마다 0.3 ~ 0.4% 혈관외유출이 발생하여, 조영제 주입시에는 혈관외유출의 예방을 위해 주의하여야 하며, Miles[13] 는 검사환자의 1% 이내에서 혈관외유출이 발생한다고 보고하였다. 이러한 혈관외유출을 예방하기 위해 Nelson[3]은 혈관외유출 부위에 검출기를 이용하여 혈관외유출을 예방할 수 있고, 혈관외유출로 인한 조직의 구획증후군으로 진전을 예방하기 위해 흡입술을 실시한 사례를 보고하였다[14]. 또한 Birnbaum[15] 은 500명의 조영제에 의한 혈관외유출 환자를 대상으로 한 연구에서 EDA는 484명에서 진양성 이었고, 혈관외유출 용량이 13~18 ml 였다. 12명은 위양성 그리고 진음성은 없다고 보고하여 EDA의 유용성을 보고하였다.

혈관외유출이 발생한 경우의 치료법으로는 조영제에 의한 혈관외유출된 조직의 손상을 방지하기 위하여 혈관외유출 부위를 압박하거나 부종을 감소하기 위하여 거상을 시켜주도록, 조영제의 혈관외유출을 빠른 시간에 처치방법을 습득하여 처치하도록 하여야 한다[16]. 또한 혈관외유출 부위를 환자 동의를 받고 CT스캔 하여 혈관외유출의 범위와 크기를 사전에 파악하여 구획증후군으로 발전하지 않도록 적절한 치료계획으로 이용하여야 한다[15]. 혈관외유출이 예견되는 소견을 간직하고 있는 고위험도 환자는 주의할 대상으로 분류하여 EDA 시스템을 적용하여 사전에 혈관외유출을 예

방 하도록 한다. 이러한 혈관외유출에 의한 조영제 부작용을 사전에 예방하기 위해 간호사와 방사선사는 혈관외유출 예방에 대한 사전 교육을 실시하고, 혈관외유출이 발생하면 환자에게 자세하게 설명하여 혈관외유출 처치법에 따라 치료하도록 하여야 한다.

본 연구에서 자체 개발된 EDA 시스템은 CT 조영제 14 ~ 23 ml 소량의 조영제를 사전에 검출하였다. Birnbaum[15]과의 차이는 약 5 ml의 용량의 차이를 보였다. 이에 CT검사에서는 조영제를 정맥에 주입하여 검사하는 경우에 혈관외유출을 예방하기 위해 조영제 주입 위치에 혈관외유출 검출기를 부착하여 검사하도록 한다. 이러한 검출기 적용은 경제적 시간적으로 어려움이 수반되기는 하나, 혈관외유출을 예방하기 위한 최선의 방법으로 도입 설치하여 CT검사에 사용하고, 환자의 임상적 증례에 따른 가이드라인에 따라 주의하여 혈관외유출을 예방하여 검사하도록 한다[16,17].

CT 검사에서 조영제의 혈관외유출을 예방하기 위해 스트레인 게이지 기반의 EDA 시스템과 혈관외유출 검출 프로그램을 개발하여 잡견을 대상으로 하여 실험적 연구를 하였다. 결론적으로 조영제의 혈관외유출은 7건으로 혈관외유출 용량은 평균 18.86 ml, 혈관외유출이 발생하는 시간은 평균 11.29초, 민감도(100%), 특이도(90%)로 나타났다. 개발된 EDA 시스템은 혈관외유출된 소량의 조영제를 검출하여 혈관외유출을 예방하는 효과가 있다. 스트레인 게이지는 전기적 저항 값의 변화를 읽어 표시하는 기기로 환자의 IV 부위에 부착하여 측정하므로 움직임에 세심한 관찰과 지속적인 연구 개발이 필요하다.

참고문헌

- [1] D. A. Stein, S. Lee, and K. B. Raskin, "Compartment syndrome of the hand caused by computed tomography contrast infiltration," *Orthopedics.*, vol. 26, no. 3, pp.333-334, 2003.
- [2] D. C. Kweon, T. H. Kim, S. H. Yang, B. G. Yoo, M. G. Kim, and P. Park, "Subcutaneous injection contrast media extravasation: 3D CT appearance," *Korean J. Med. Phys.*, vol. 16, no. 1, pp.47-51, 2005.
- [3] R. C. Nelson, F. A. Anderson, B. A. Birnbaum, J. L. Chezmar, and S. N. Glick, "Contrast media extravasation during dynamic CT: detection with an extravasation detection accessory," *Radiology.*, vol. 209, pp. 837-843, 1998.
- [4] J. G. Amaral, J. Traubici, G. BenDavid, G. Reintamm, and A. Daneman, "Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation," *Am. J. Roentgenol.*, vol. 187, pp.580-583, 2006.
- [5] D. C. Kweon, S. H. Jeong, T. H. Kim, J. G. Kim, and P. Park, "The development of extravasation detection accessory system for the preventive contrast media extravasation in the computed tomography: a preliminary report," *Korean J. Med. Phys.*, vol. 17, no. 1, pp.32-39, 2006.
- [6] W. H. Bush, and D. P. Swanson, "Acute reaction to intravascular contrast media. types, risk factors, recognition, and specific treatment," *Am. J. Roentgenol.*, vol. 157, pp.1153-1161, 1991.

- [7] R. K. Daniel, and H. B. William, "The free transfer of skin flaps by microvascular anastomoses. An experimental study and a reappraisal," *Plast. Reconstr. Surg.*, vol. 52, no. 1, pp.16-31, 1973.
- [8] S. H. Kim, J. H. Park, Y. I. Kim, C. W. Kim, and M. C. Han, "Experimental tissue damage after subcutaneous injection of water-soluble contrast media," *Invest. Radiol.*, vol. 25, no. 2, pp.171-183, 1989.
- [9] S. L. Siström, S. B. Gay, and L. Peffley, "Extravasation of iopamidol and iohexhol during contrast-enhancement CT: report of 28 cases," *Radiology.*, vol. 180, pp.707-710, 1991.
- [10] M. P. Federle, P. J. Chang, S. Confer, and B. Ozgun, "Frequency and effects of extravasation of ionic and nonionic CT contrast media during rapid bolus injection," *Radiology.*, vol. 637, pp.637-640, 1998.
- [11] J. E. Jacobs, B. A. Birnbaum, and C. P. Langlotz, "Contrast media reactions and extravasation: relationship to intravenous injection rates," *Radiology.*, vol. 209, pp.11-416, 1998.
- [12] S. T. Cochran, K. Bomyea, and J. W. Sayre, "Trends in adverse events after IV administration of contrast media," *Am. J. Roentgenol.*, vol. 176, no. 6, pp.1385-1388, 2001.
- [13] S. G. Miles, J. F. Rasmussen, and T. Litwiller, "Safe use of an intravenous power injector for CT: experience and protocol," *Radiology.*, vol. 190, pp.69-70, 1990.
- [14] E. Vandeweyer, O. Heymans, and R. Deraemaecker, "Extravasation injuries and emergency suction as treatment," *Plast. Reconstr. Surg.*, vol. 105, pp.109-110, 2000.
- [15] B. A. Birnbaum, R. C. Nelson, F. A. Anderson, J. L. Chezmar, and S. N. Glick, "Extravasation detection accessory: clinical evaluation in 500 patients," *Radiology.*, vol. 212, pp.431-438, 1999.
- [16] M. F. Bellin, J. A. Jakobsen, I. Tomassin, H. S. Thomsen, S. K. Morcos, et al. "Contrast Media Safety Committee Of The European Society Of Urogenital Radiology," *Eur. Radiol.*, vol. 12, no. 11, pp.2807-2812, 2002.
- [17] D. C. Kweon, S. H. Jeong, S. H. Yang, M. S. Cho, K. J. Jang, S. G. Kim, B. G. Yoo, and J. S. Lee, "An Experimental Study for the Preventive of CT Contrast Media Extravasation with Extravasation Detection Accessory System in Femoral Vein of Rabbit," *Korean J. Med. Phys.*, vol. 17, no. 4, pp.238-245, 2006.