

초급성 뇌경색을 일으킨 개에서 Gd-조영제의 주입이 뇌의 확산에 미치는 영향

김 범 수 · 정 소 령 · 신 경 섭

목적: 체내에 주입된 Gd-DTPA가 뇌의 확산강조 자기공명영상 신호강도 및 현성확산계수에 미치는 영향을 알아보았다.

대상 및 방법: 성숙한 잡견 5마리에 대하여 동맥내 도관삽입에 의한 좌측 내경동맥 색전방법을 이용하여 초급성 뇌경색 동물모델을 만들었다. 색전 후 1시간째 확산강조영상을 시행하고, Gd-DTPA를 주입한 다음 다시 90분까지 11회의 추가 확산강조영상을 얻었다. 관심영역을 설정하여 측정된 초급성 뇌경색부위와 반대측 정상부위의 확산강조영상 신호강도 및 현성확산계수를 분석하였다.

결과: 뇌경색은 색전 후 1시간에 시행한 확산강조 자기공명영상에서 잡견 5마리 모두에서 발견되었다. 확산강조영상에서 초급성 뇌경색부위의 신호강도는 Gd-DTPA 주입 여부와 관계없이 시간이 경과함에 따라 증가하였으나, 관류가 유지된 정상부위의 신호강도는 Gd-DTPA 주입 후 2분에 시행한 첫 검사에서 오히려 저하된 후, 시간경과에 따라 다시 증가하였다. 현성확산계수는 초급성 뇌경색부위에서 Gd-DTPA 주입여부에 관계없이 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소되었으나, 관류가 유지된 반대측 정상부위에서는 변화하지 않았다.

결론: 체내에 주입된 Gd-DTPA는 초급성 뇌경색부위 및 정상부위의 현성확산계수에 영향을 미치지 않으나, 정상부위에서는 조영제 주입 직후 초기의 자화율효과에 의해 확산강조영상의 신호강도를 저하시켰다. 조영제 주입 후 시행한 확산강조영상 신호강도의 정량적인 측정이 필요한 연구 혹은 임상 증례에 대하여는 현성확산계수를 측정함으로써 Gd-DTPA의 자화율효과에 의한 영향을 배제하여야 할 것이다.

서 론

확산강조 자기공명영상(Magnetic resonance imaging, MR 영상)은 조직내에 존재하는 물분자의 확산이나 모세혈관의 관류와 같은 미시적인 액체운동에 의한 MR영상 신호강도의 미약한 신호감소를 극대화시킴으로써 조직간의 확산차이를 쉽게 인지할 수 있는 영상방법으로 뇌경색의 조기진단 (1), 지주막 낭종과 유피낭종의 감별 (2), 뇌종양의 성분분석 (3) 및 뇌농양과 낭성종양의 감별 (4) 등에 도움이 되고 있다.

일반적으로 확산강조 MR영상에 이용되는 EPI 기법은 자화율

인공물에 매우 민감하기 때문에 (5) 자화율 인공물의 효과를 일으키는 물질을 포함한 조직에 대한 신호강도를 분석할 때 그 신호강도의 변화가 확산에 의한 것인지 자화율 인공물에 의한 것인지 구별하기 곤란한 경우가 있다 (4). 확산강조 MR영상은 조영제를 투여하기 전에 시행하는 것이 일반적이지만 고식적인 MR영상 혹은 관류 MR영상의 시행 과정에서 불가피하게 조영제를 투입한 후 확산강조 MR영상을 시행하게 되는 경우도 있다. 한편, 확산강조 MR영상에서 사용되는 경사자장은 고식적 MR영상에서 필수적으로 사용하는 경사자장 외에 매우 강한 한쌍의 경사자장을 추가로 사용하므로 에코시간이 증가되어 경사자계가 작은 경우에는 T2 강조영상과 비슷하게 보인다. 그러므로 Gd-

대한자기공명의과학회지 6: 158-165(2002)

가톨릭대학교 의과대학 방사선과학교실

이 논문은 2002년도 가톨릭중앙의료원 학술연구보조비로 이루어졌음.

접수: 2002년 10월 4일, 채택: 2002년 11월 7일

통신저자: 김범수, (137-701) 서울특별시 서초구 반포동 505번지, 강남성모병원 진단방사선과

Tel. (02)590-2324 Fax. (02)599-6771 E-mail: bumrad@catholic.ac.kr

DTPA를 투여한 후 얻어진 확산강조 MR영상을 판독하는데 있어서 그 신호강도 및 현성확산계수(apparent diffusion coefficient, ADC)의 변화는 순수한 물분자의 확산운동에 의한 정보 이외에 Gd-DTPA의 자화율효과에 의한 T2 신호강도의 변화가 포함되리라 예측할 수 있지만, 실제 임상적용에 있어 정맥주입된 Gd-DTPA가 병변의 확산강조 MR영상 신호강도 및 현성확산계수의 변화에 얼마나 영향을 주며 그 임상적 의의는 어떤 지에 대한 구체적인 연구는 아직까지 보고된 바 없다. 이에 저자는 실험적으로 초급성 뇌경색을 유발한 개의 뇌에 대하여 Gd-DTPA 주입 전의 확산강조 MR영상검사를 시행하여 초급성 뇌경색의 확산강조 MR영상 소견을 분석하고 Gd-DTPA 주입 전후 초급성 뇌경색부위와 정상부위의 확산강조 MR영상 신호강도 및 현성확산계수의 변화를 분석하여 Gd-DTPA가 확산강조 MR영상에 어

떤 영향을 미치는지 알아보려고 본 실험을 실시하였다.

대상 및 방법

대상 동물은 혈관내 도관삽입 및 뇌혈관의 선택적 색전이 가능한 체중 16-21 kg (평균 18.2 kg)의 한국산 잡견 5마리를 대상으로 암수 구별없이 사용하였다. 실험동물은 동일한 환경과 사료를 사용하여 사육하였으며, 실험전 12시간 동안 금식 시켰다. 마취는 2 mg/kg의 Ketamine(Ketamine hydrochloride, 유한양행, 서울, 한국) 과 0.125 mg/kg의 Rompun (Xylazine hydrochloride, Bayer Korea, 서울, 한국)을 혼합하여 둔부에 근육주사하여 마취를 유도한 후, 기관을 삽관하였다. 그리고 개는 앙와위 자세로 하여 목재로 제작한 틀에 머리, 팔 및 다리를 고정



Fig. 1. Arteriograms before and after selective embolization of the left internal carotid artery.

a, b. Lateral projections of early(a) and late(b) arterial phases of the left common carotid angiograms before embolization show branches of internal and external carotid arteries. **c.** Selective angiogram of the internal carotid artery shows anterior and middle cerebral arteries. **d.** Left common carotid angiogram after embolization demonstrates complete occlusion of the internal carotid artery and several branches of the distal external carotid artery.

하였다. 혈관조영실에서 개의 우측 대퇴동맥을 Seldinger법을 이용하여 18 G 침으로 천자한 후 5 Fr의 경피성 동맥도관을 삽입하여 좌측 총경동맥내에 진입한 후, 디지털 감산 혈관조영기 (Multistar, Siemens, Erlangen, Germany)를 이용하여 좌측 총경동맥 혈관조영영상을 얻었다. 동맥도관 내로 미세도관 (Tracker18, Target Therapeutics, CA, U.S.A.) 및 미세유도철사 (Seeker-14 wire, Target Therapeutics, CA, U.S.A.)를 이용하여 좌측 내경동맥내로 진입한 후 내경동맥을 통하여 선택적 좌측 중대뇌동맥과 내경동맥 색전술을 시행하였다. 조영제는 Iopromide (Ultravist 300, 한국세링, 서울, 한국)이었고, 색전물질은 polyvinyl-alcohol (Contour, Target Therapeutics, CA, U.S.A.)을 사용하였으며 그 직경은 250-355 μ m였다. 색전 진행방법은 중대뇌동맥과 내경동맥, 그리고 외경동맥의 내상악동맥의 순서로 폐쇄시킨 후 총경동맥 혈관조영술을 시행하여 색전이 잘 되었는지 확인하였다 (Fig. 1).

MR영상은 1.5 T MR영상장치 (Magnetom Vision Plus, Siemens, Erlangen, Germany)를 사용하였다. 확산강조 MR영상의 영상변수는 일반적인 뇌의 확산강조영상을 시행할 때와 같은 조건으로 TR 4700/TE 118, matrix 96 \times 128, 관심영역 230 mm, 절편두께 6 mm, 절편간격 5 mm로 하여 10개의 절편영상을 얻었다. 확산경사자계는 x, y, z축의 3 방향으로 b값 0 및 1000 sec/mm²에 대하여 각각 영상을 획득한 후 각 축에서 얻은 영상을 평균하여 등방성 확산강조영상을 얻었다.

영상의 획득은 색전 후 1시간에 기준영상으로 확산강조영상을

얻었다. 이어서 0.1 mmol/kg의 Gd-DTPA를 정맥주입한 후 90분까지 총 11회의 확산강조영상을 시행하였다. 검사의 시간 간격은 Gd-DTPA 주입 후 10분까지는 2분 간격으로 5회에 걸쳐 시행하였으며, 주입 후 15분부터 90분까지는 15분 간격으로 6회에 걸쳐 시행하였다.

색전 후 1시간에 시행한 확산강조 MR영상과 이로부터 얻은 현성확산계수영상에서 뇌에 유발된 초급성 뇌경색의 육안적 위치 및 신호강도를 분석하였다. 확산강조 MR영상 및 현성확산계수 영상에 대하여 내경동맥의 폐쇄위치를 알고 있는 상태에서 급성 뇌경색부위와 이에 대칭되는 반대측 정상부위에 직경 1 cm크기의 원형 관심영역들을 정하고 각각 3회씩 측정하여 그 평균값을 얻었다. 뇌경색부위의 기준은 색전 후 150분 (조영제 주입 후 90분)에 얻은 마지막 확산강조 MR영상에서 관찰되는 고신호강도 부위를 기준으로 하였다. 동일한 실험동물에 대하여 반복적으로 시행한 확산강조 MR영상검사에서 관심영역 지정 위치의 차이에 따른 오차를 줄이기 위하여 관심영역은 마지막 영상에서 지정한 좌표 위치와 동일하게 나머지 영상을 선택하였다.

관심영역으로부터 시간에 따른 뇌경색부위와 정상부위의 평균 신호강도를 얻은 후, 우선 경색측의 신호강도(SI)와 이에 대칭이 되는 정상측의 신호강도(SN) 차이를 계산하고, 차이값의 정상측 신호강도에 대한 비를 구하여 대조잡음비를 아래의 식을 이용하여 얻었다.

$$CNR = (SI-SN)/SN \quad (식 1)$$

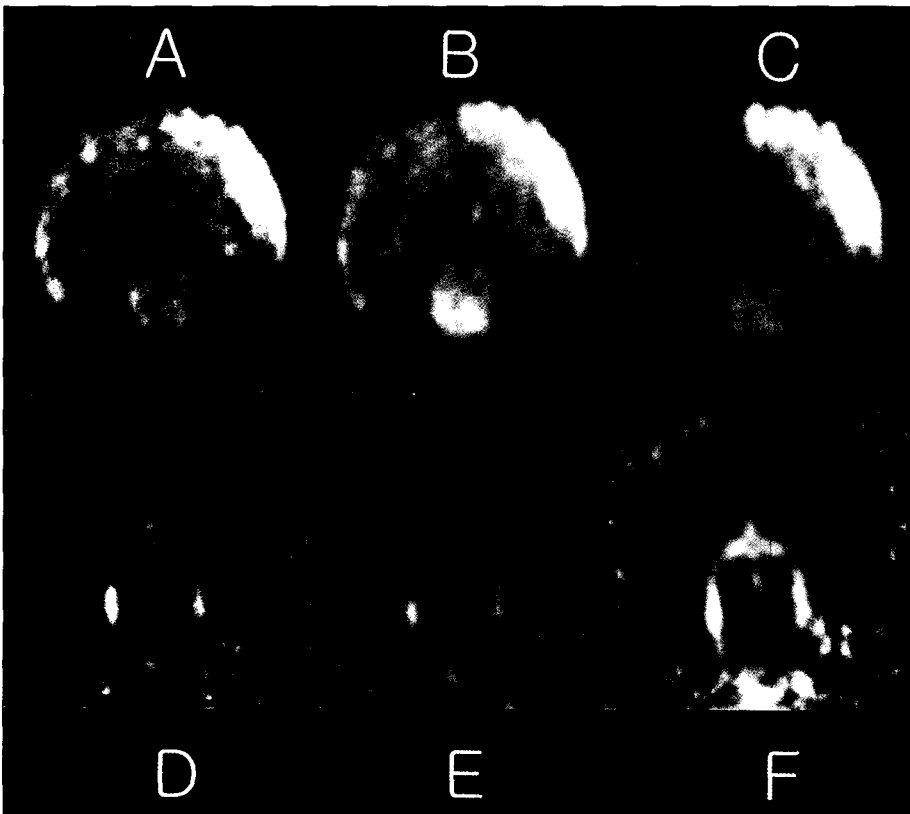


Fig. 2. Serial followups of diffusion weighted images and apparent diffusion coefficient maps.

a. Baseline isotropic diffusion weighted image obtained an hour after embolization shows a well-margined bright signal intensity of the hyperacute infarction. **b.** Signal intensity of the infarcted area is not changed on the examination just after Gd-DTPA injection. **c.** Followup isotropic diffusion weighted image at 150 minutes after embolization shows more bright signal in the infarcted area. **d-f.** Infarcted area is seen as low signal intensity on ADC map (**d**), which is not changed just after the Gd-DTPA injection (**e**), and is more clearly visualized at the 150 min-ADC map (**f**).

Gd-DTPA 투여 전후 및 시간경과에 따른 확산강조 MR영상 신호강도 및 현성확산계수, 그리고 CNR의 비교는 Repeated Measure of ANOVA를 이용하였다. 유의수준은 p값 0.05 이하로 하였으며, 통계프로그램은 SPSS for window v9.0을 이용하였다.

결 과

1. 확산강조 MR영상 및 현성확산계수 영상의 육안적 소견

색전 후 1시간이 경과한 뒤에 기준영상으로 시행한 확산강조 MR영상에서 초급성 뇌경색부위가 개 5마리 모두에서 확인되었다. 색전 1시간 후 초급성 뇌경색부위의 확산강조 MR영상 소견은 고신호강도의 병변이 색전술을 시행한 좌측 내경동맥의 혈관 분포 부위인 좌측 대뇌반구의 회백질과 피질하 백질에 걸쳐 관찰되었다. 이 고신호강도의 병변은 Gd-DTPA 주입 후 10분까지의 영상에서 육안적인 신호변화를 보이지 않았으나, 주입 후 15-90분사이에는 시간경과에 따라 점차 뚜렷한 신호증가가 나타났으며 그 면적도 증가하였다 (Fig. 2a-c).

색전 1시간 후 현성확산계수 영상에서 초급성 뇌경색부위는 저신호강도의 병변으로 관찰되어 현성확산계수가 감소된 것을 보여주었고, 그 범위는 확산강조 MR영상의 병변 범위와 일치하였다. 이 병변은 Gd-DTPA 주입 후 2분-10분까지는 육안적 변화를 보이지 않았으나, 주입 후 15분-90분사이에서 지속적으로 점차 뚜렷한 신호감소를 보였다 (Fig. 2d-f).

2. 확산강조 MR영상 신호강도의 정량적 변화

확산강조영상에서 초급성 뇌경색부위의 평균 신호강도는 Gd-DTPA 주입 후 10분까지는 서서히 증가하다가, 주입 후 15분부터는 현저히 증가하는 양상을 보였다 (F=31.783, P=0.000, df=11). 반대측 정상부위의 평균 신호강도는 Gd-DTPA 주입 전에 비하여 주입 후 첫번째인 2분에 그 평균 신호강도가 저하되

었고, 그 후로부터 다시 증가하는 경향을 보였는데, 주입 후 90분까지 정상부위의 평균 신호강도는 주입 전의 평균 신호강도를 초과하지 않았다 (Table 1, Fig. 3).

3. 현성확산계수의 정량적 변화

현성확산계수의 평균치는 초급성 뇌경색부위에서 Gd-DTPA 주입 전부터 주입 후 90분까지 지속적인 감소를 보였다 (F=20.416, P=0.000, df=11). 정상부위에서는 전기간에 걸쳐 현성확산계수의 변화가 없었으며 Gd-DTPA 주입 전후의 평균치도 통계적으로 유의한 차를 나타내지 않았다 (Table 2, Fig. 4).

4. 뇌경색부위와 정상부위의 대조-잡음비의 변화

확산강조영상에서 뇌경색부위-정상부위간의 CNR은 시간경과와 함께 지속적으로 증가하였는데 (F=134.636, P=0.000, df=11), 조영제 주입 후 2분 (F=9.260, P=0.038, df=1)과 4분 (F=9.871, P=0.035, df=1)까지 증가를 보이다가, 6분-10분사이에 비슷하게 유지되었으며, 다시 15분-90분사이에 지속적으로 증가하였다.

뇌경색부위-정상부위간 현성확산계수의 CNR의 절대값도 시간경과와 함께 증가되었는데 (F=13.238, P=0.000, df=11), 조영제 주입 전에 비하여 조영제 주입 후 10분까지 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았고, 15분-90분사이에 지속적으로 증가하였다 (Table 3).

고 찰

초급성 뇌경색부위에서 관찰되는 현성확산계수의 감소는 허혈

Table 1. Signal intensities of diffusion-weighted MR images in the infarcted area and contralateral normal perfusion area in the canine brain before and after injection of Gd-DTPA

Time (min)*	Signal intensity (n=5)	
	Hyperacute cerebral infarction**	Contralateral normal brain
Baseline	181.49 ± 5.26	145.29 ± 2.87
2	183.94 ± 6.57	138.54 ± 2.75
4	185.36 ± 6.57	138.70 ± 3.08
6	185.62 ± 5.87	140.82 ± 3.94
8	185.69 ± 4.68	141.12 ± 3.80
10	186.24 ± 4.59	142.84 ± 4.21
15	195.80 ± 6.22	142.20 ± 7.66
30	208.19 ± 10.22	142.57 ± 10.72
45	220.04 ± 11.87	140.76 ± 10.83
60	226.35 ± 16.64	142.09 ± 9.55
75	231.20 ± 17.39	141.21 ± 10.64
90	235.86 ± 15.08	142.37 ± 10.23

* : Time after injection of Gd-DTPA

** : F=30.910, df=11, P=0.000

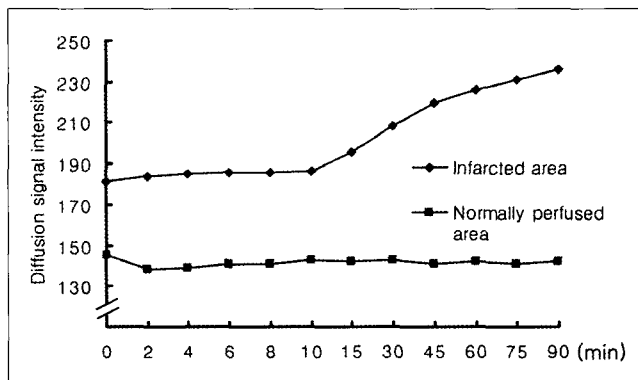


Fig. 3. Graph depicts signal intensities of diffusion-weighted MR images in the infarcted area (◆) and contralateral normal perfusion area (■) in the canine brain before and after injection of Gd-DTPA.

김범수 외

부위의 양성자의 확산이 저하되어 일어나는 것으로, 이는 세포내 대사장애와 연관된 세포벽의 Na-K 수송 장애로 인해 생기는 세포성 부종에서 기인한다는 가설이 가장 널리 인정되고 있다 (6-9). 동물실험에 의하면 초급성 뇌경색에서 세포성 부종에 의한 확산강조영상 신호강도의 변화는 뇌혈류공급 차단 후 20분에서 3시간 이내에 발견된다고 하였다 (10-13). 이는 본 연구에서 내경동맥의 색전으로 유발한 초급성 뇌경색부위가 모두 색전 후 60분에 기준영상으로 시행한 확산강조영상에서 관찰된 것과 일치하였다. 한편, 관류가 유지되지 않은 초급성 뇌경색부위의 고신호강도가 시간경과에 따라 육안적으로 뚜렷이 증가하였다. 초급성 뇌경색부위는 관류가 유지되지 않아 정맥내에 주입된 조영제에 의해 영향을 받지 않는 부위이므로 본 연구에서 관찰된 뇌

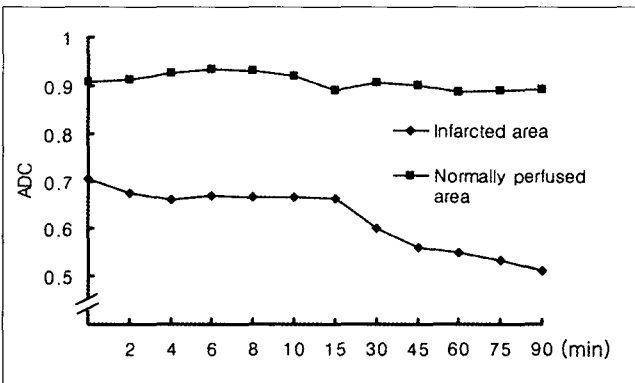


Fig. 4. Graph depicts apparent diffusion coefficients in the infarcted area (◆) and contralateral normal perfusion area (■) in the canine brain before and after injection of Gd-DTPA.

Table 2. Apparent diffusion coefficients in the infarcted area and contralateral normal perfusion area in the canine brain before and after injection of Gd-DTPA

Time(min)*	Apparent diffusion coefficient (n=5)	
	Hyperacute cerebral infarction**	Contralateral normal brain
Baseline	0.7036 ± 0.0442	0.9071 ± 0.1557
2	0.6741 ± 0.0406	0.9122 ± 0.1158
4	0.6611 ± 0.0438	0.9280 ± 0.0999
6	0.6693 ± 0.0393	0.9336 ± 0.0794
8	0.6660 ± 0.0357	0.9310 ± 0.0857
10	0.6660 ± 0.0336	0.9200 ± 0.1142
15	0.6622 ± 0.0412	0.8920 ± 0.0683
30	0.6006 ± 0.0510	0.9090 ± 0.0460
45	0.5591 ± 0.0482	0.9029 ± 0.0463
60	0.5485 ± 0.0500	0.8881 ± 0.0394
75	0.5327 ± 0.0414	0.8908 ± 0.0400
90	0.5100 ± 0.0436	0.8940 ± 0.0532

* : Time after injection of Gd-DTPA

** : F = 14.155, df = 11, P = 0.000

경색부위의 소견 변화는 Gd-DTPA 주입과 관계 없는 병변자체의 변화로 생각할 수 있고, 이는 병변부위의 세포성 부종에 따른 확산 감소가 심해져서 나타나는 것으로 설명할 수 있다. 이는 Pierpaoli 등(11)이 실험적으로 동물에서 유발한 초급성 뇌경색 부위의 현성확산계수가 경색후 3시간에 정상부위와 가장 큰 차이를 보인다고 한 것과 일치한다.

본 연구에 이용된 개는 기존에 뇌경색 동물모델로 많이 이용되던 쥐나 고양이에 비하여 뇌의 크기가 커서 기존의 두부 코일을 이용하여 비교적 좋은 질의 뇌 확산강조영상을 얻을 수 있었다. 윤정환 등(14)은 수술적 방법에 의하지 않고 손쉽게 근위부 동맥폐쇄에 의한 뇌경색을 유발하고자 혈관내 도관삽입 및 색전물질 이용한 근위 대뇌동맥 폐쇄의 실험모델을 제작하였는데, 근위 중뇌동맥을 결찰하는 기존의 방법과는 달리 색전물질을 이용한 내경동맥 색전의 경우에 색전물질이 원위부 동맥까지 과급되거나, 동물마다 폐쇄혈관의 차이가 생기고, 추골동맥을 통한 측방혈류 등으로 인해 경색의 발생부위 및 크기에 약간의 차이가 생긴다고 하였다. 본 연구에서는 근위부의 색전을 유발하기 위하여 255-355 μm의 입자크기를 가진 균일한 색전물질을 사용하였고, 중뇌동맥으로부터 시작하여 내경동맥에 대한 색전후 외경동맥에 의한 측방혈류를 막기 위해 총경동맥에 대한 색전을 추가로 시행하여 비교적 일정한 부위의 뇌경색을 일으킬 수 있었으나 (Fig. 1, 2), 그 범위는 각 동물에서 약간의 차이가 있어 윤정환 등 (14)의 결과와 유사하였다. 이는 색전되지 않은 추골동맥으로부터의 측방혈류가 동물마다 다르기 때문에 생긴 것으로 추측된다. 한편, 본 연구에서 뇌경색 부위는 실험에 사용한 모든 개에서 색전 후 1시간에 시행한 확산강조영상에서 발견되어, T2 강조영상에서 발견이 어려운 초급성기 뇌경색의 임상진단에 있어

Table 3. CNR of diffusion-weighted MR signal intensity and ADC in the canine brain before and after injection of Gd-DTPA

Time(min)*	Contrast-to-noise ratio (n=5)	
	DW MR**	ADC †
Baseline	0.2492 ± 0.0246	-0.2041 ± 0.1535
2	0.3479 ± 0.0628	-0.2517 ± 0.1052
4	0.3570 ± 0.0701	-0.2741 ± 0.0629
6	0.3190 ± 0.0553	-0.2857 ± 0.0717
8	0.3082 ± 0.0433	-0.2856 ± 0.0634
10	0.3045 ± 0.0407	-0.2328 ± 0.1080
15	0.3789 ± 0.0559	-0.2908 ± 0.0903
30	0.4626 ± 0.0447	-0.3365 ± 0.0796
45	0.5657 ± 0.0476	-0.3783 ± 0.0740
60	0.5929 ± 0.0441	-0.3804 ± 0.0725
75	0.6377 ± 0.0421	-0.4001 ± 0.0640
90	0.6580 ± 0.0370	-0.4240 ± 0.0666

* : Time after injection of Gd-DTPA

** : F = 142.274, df = 11, P = 0.000

DW MR : diffusion-weighted MR

† : F = 14.155, df = 11, P = 0.000

ADC: apparent diffusion coefficient

확산강조영상이 유용하다는 이전의 보고 (1, 13-15)와 일치하였다.

본 연구에서 Gd-DTPA 주입 후 얻은 확산강조 MR영상에서 뇌경색부위의 평균 신호강도는 기준영상에 비하여 시간이 지남에 따라 증가한 반면, 정상부위에서는 Gd-DTPA 주입 후 2분에 평균 신호강도가 일시적으로 감소하는 경향을 보였다. Parker 등 (16)에 의하면, 정맥으로 주입된 Gd-DTPA는 신장의 사구체 여과를 통해 서서히 배설되는데, 일반적으로 사용하는 0.1 mM/kg의 용량을 인체에 정맥주입한 경우 이에 의한 신호강도의 변화는 주입 초기 일차 통과시에 가장 크며, 그 효과는 약 20분 동안 지속된다고 하였다. 또한, 상자성 물질인 Gd-DTPA는 일반적으로 조영증강 MR영상에서 이완증강에 의한 T1 신호강도를 증가시킬 뿐만 아니라, 상자성 금속이온이 강한 자기력을 지닌 경우 부분적 경사 자기장을 형성하며 주변의 수소핵을 탈위 상화시키는 작용을 하여 T2 강조영상에서는 신호강도를 감소시킨다고 하였다 (17-19). 이러한 관점에서 볼 때, 본 실험에서 정상 관류가 유지된 부위에서 Gd-DTPA 주입 후 2분에 확산강조 신호강도가 낮아진 것은 혈관내 조영제에 의한 자화를 효과가 확산강조영상의 신호강도에도 영향을 미친 것으로 생각된다. 그러나 저자의 결과에서 신호강도의 저하가 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않은 것은 정맥내 주입된 Gd-DTPA의 용량과 관계되었을 것으로 생각된다. 즉, 본 연구는 고식적 조영증강 MR영상검사에 사용되는 Gd-DTPA에 의한 확산강조영상의 변화를 알아보고자 하였으므로 Gd-DTPA를 일반적으로 사용되는 용량인 0.1 mM/kg로 정맥 주입하였다. Gd-DTPA의 자화율 효과에 의한 T2 이완시간의 감소는 T1 이완시간을 감소시키는 이완증강에 비하여 상대적으로 고농도에서 일어나며, 자화율효과를 이용한 EPI영상의 신호강도 변화를 이용하여 시행하는 관류 MR영상의 경우 일반적인 용량의 두배인 0.2 mM/kg의 Gd-DTPA를 투여하여 시행한다 (20-22). 추후 고농도의 조영제에 대한 확산강조영상 신호강도 변화에 대한 분석이 있어야 하겠지만, 본 연구의 결과로 보아, 일반적으로 고식적 조영증강 검사에 사용되는 용량의 Gd-DTPA에 의한 관류가 유지된 부위에서의 확산강조 신호강도의 저하 정도는 영상에서 육안적인 변화를 일으킬 정도는 아니므로, 임상적으로 조영증강 영상검사 후 확산강조 영상검사를 시행하여도 영상의 육안 판독에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

본 연구에서 Gd-DTPA 주입 후 초기 2분에 정상부위에서 확산강조영상의 신호강도가 감소하는 경향을 보인 반면, 같은 시기에 현성확산계수는 변화가 없었다. 이는 현성확산계수를 구하는 과정에서 서로 다른 b값으로 두번 측정된 확산강조영상 신호강도의 비에 대하여 로그함수를 취하여 얻음으로써 Gd-DTPA의 자화율 효과가 감소된 것으로 추측된다. 과거 실험 (23)에 의하면 아급성기 뇌경색의 확산강조영상 신호강도에는 현성확산계수의 영향이 가장 크지만 T2 신호강도 및 양자밀도의 증가에 의한 영향도 포함된다고 하였으며, 확산자계를 올릴수록 그 영향은 감소되지만 일반적으로 많이 사용되는 b값을 1000 sec/mm²으로

시행한 확산강조영상에서 그 영향은 남아있다고 보고하여 본 연구와 연관됨을 보였다. 그러므로, 확산강조영상을 이용한 정량적인 분석이 필요한 연구 혹은 임상 증례에서는 현성확산계수를 구하여 T2 신호강도의 효과를 줄여야 하며, 특히 조영제 주입 후 시행한 확산강조영상에 대하여는 반드시 현성확산계수를 구함으로써 자화율효과에 의한 T2신호강도의 영향을 배제해야 한다고 생각된다. 한편, 본 연구에서 Gd-DTPA 주입 후 90분까지 초급성 뇌경색부위의 현성확산계수가 유의하게 감소함에 따라 CNR은 증가를 보였으며, 이는 초급성기 뇌경색부위와 정상부위의 현성확산계수차가 경색 후 3시간에 가장 높다는 Pierpaoli 등 (11)의 연구결과와도 일치된다.

본 연구는 실험동물인 개의 움직임을 최소화하고자 적절한 마취상태를 유지하였고, 자기장에 영향을 받지 않는 목재소재로 제작한 틀을 사용하여 동물의 머리를 단단히 고정된 상태에서 실험과정을 진행하였다. 저자가 얻은 12차례의 영상에서 동물의 움직임에 의한 영상의 공간적인 변화는 육안적으로는 관찰되지 않았지만, 시간이 지날수록 신호강도 측정치의 표준편차가 증가한 것은 (Table 1) 시간경과에 따라 동물의 움직임에 의한 영향이 관측된 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구를 통하여 동맥도관을 삽입한 후 동맥내 색전술을 이용한 뇌경색 동물모델의 제작이 가능하였다. 체내에 주입된 Gd-DTPA는 초급성 뇌경색부위 및 정상부위의 현성확산계수에 영향을 미치지 않으나, 정상부위에서는 조영제 주입 직후 초기 자화율효과에 의해 확산강조영상의 신호강도를 저하시켰다. 그러나, 일반적으로 사용하는 0.1 mg/kg의 조영제 용량으로는 신호강도의 변화가 매우 적으므로, 임상에서 일반적으로 시행하는 조영증강검사 후 얻어진 확산강조영상에서 그 병변부위의 육안적 진단에는 문제가 없으리라 생각된다. 그러나, 확산강조 신호강도의 정량적인 측정이 필요한 경우에는 반드시 현성확산계수를 측정함으로써 조영제의 자화율 효과에 의한 T2 신호강도의 영향을 배제하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Moseley ME, Cohen Y, Mintorovitch J, et al. Early detection of regional cerebral ischemia in cats: comparison of diffusion- and T2-weighted MRI and spectroscopy. *Magn Reson Med* 1990a;14:330-346
2. Tsuruda JS, Chew WM, Moseley ME, Norman D. Diffusion-weighted MR imaging of the brain: value of differentiating between extraaxial cyst and epidermoid tumors. *Am J Neuroradiol* 1990;11:925-931
3. Tien RD, Felsberg GJ, Friedman H, Brown M, MacFall J. MR imaging of high-grade cerebral gliomas: value of diffusion-weighted echoplanar pulse sequences. *AJR* 1994;162:671-677
4. 김영준, 장기현, 송인찬 등. 다양한 두개강내 질환의 확산강조 자기공명영상 : 임상적 유용성. *대한자기공명의 과학회지* 1998;2:104-112
5. Edelman RR, Wielopolski P, Schmitt F. Echo-planar MR

- imaging. *Radiology* 1994;192:600-612
6. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel inhomogeneous motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorder. *Radiology* 1986;161:401-407
 7. Moseley ME, Kucharczyk J, Mintorovitch J, et al. Diffusion-weighted MR imaging of acute stroke: correlation with T2-weighted and magnetic susceptibility-enhanced MR imaging in cats. *Am J Neuroradiol* 1990b;11:423-429
 8. Sevick RJ, Kanda F, Mintorovitch J, et al. Cytotoxic brain edema: assessment with diffusion-weighted MR imaging. *Radiology* 1992;185:687-690
 9. Benveniste H, Hedlund LW, Johnson GA. Mechanism of detection of acute cerebral ischemia in rats by diffusion-weighted magnetic resonance microscopy. *Stroke* 1992;23:746-754
 10. Minematsu K, Li L, Sotak CH, Davis MA, Fisher M. Reversible focal ischemic injury demonstrated by diffusion-weighted magnetic resonance imaging in rats. *Stroke* 1992;23:1304-1311
 11. Pierpaoli C, Righini A, Linfante I, Tao-Cheng JH, Alger JR, Di Chiro G. Histopathologic correlates of abnormal water diffusion in cerebral ischemia: diffusion weighted MR imaging and light and electron microscopic study. *Radiology* 1993;189:239-448
 12. Maeda M, Itoh S, Ide H, et al. Acute stroke in cats: comparison of dynamic susceptibility-contrast MR imaging with T2- and diffusion-weighted MR imaging. *Radiology* 1993;189:227-232
 13. 서대철, 최기영, 문치웅 등. 고양이에서 Lipiodol로 유발시킨 뇌경색의 확산 및 T2강조 자기공명영상: 3시간이내의 조기 소견. *대한방사선의학회지* 1997;36:921-932
 14. 윤정환, 나동규, 변홍식 등. 개의 초급성 뇌경색의 조기발견: 비조영 CT, 확산강조, 스핀에코 T2강조 및 급속 FLAIR MR 영상의 비교. *대한방사선의학회지* 1999;41:17-25
 15. 김학진, 이준우, 이창훈 등. 토끼 뇌경색의 확산 및 T2강조 MR 영상: 시간경과에 따른 영상소견과 조직학적 연관관계. *대한방사선의학회지* 1999;40:1011-1107
 16. Parker DL, Tsuruda JS, Goodrich KC, Alexander AL, Buswell HR. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of cerebral arteries. A review. *Invest Radiol*. 1998;33:560-572
 17. Rosen BR, Belliveau JW, Aronen HJ, et al. Susceptibility contrast imaging of cerebral blood volume: human experience. *Magn Reson Med* 1991;22:293-299
 18. Fossheim S, Johansson C, Fahlvik AK, Grace D, Klaveness J. Lanthanide-based susceptibility contrast agents: assessment of the magnetic properties. *Magn Reson Med* 1996;35:201-206
 19. Donahue KM, Weisskoff RM, Burstein D. Water diffusion and exchange as they influence contrast enhancement. *JMRI* 1997;7:102-110
 20. Rosen BR, Belliveau JW, Vevea JM, Brady TJ. Perfusion imaging with NMR contrast agents. *Magn Reson Med* 1990;14:249-265
 21. Rempp KA, Brix G, Wenz F, Becker CR, Guckel F, Lorenz WJ. Quantification of regional cerebral blood flow and volume with dynamic susceptibility contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 1994;193:637-641
 22. Aronen HJ, Gazit IE, Louis DN, et al. Cerebral blood volume maps of gliomas: comparison with tumor grade and histologic findings. *Radiology* 1994;191:41-51
 23. Burdette JH, Elster AD, Ricci PE. Acute cerebral infarction: quantification of spin-density and T2 shine-through phenomena on diffusion-weighted MR images. *Radiology* 1999;212:333-339

Effect of Gd-DTPA on Diffusion in Canine Brain with Hyperacute Stroke

Bum-soo Kim, So-Lyung Jung, Kyung Sub Shinn

Department of Radiology, The Catholic University of Korea

Purpose : To evaluate the effect of Gd-DTPA on signal intensity of diffusion-weighted magnetic resonance (MR) image and apparent diffuse coefficient (ADC) in dog brain with hyperacute stroke.

Materials and methods : Experimental canine model of hyperacute cerebral infarction was made by selective intraarterial embolization with particulate embolic material. Diffusion-weighted MR imaging was performed in five dogs at 1 hour after the embolization of internal carotid artery. After intravenous bolus injection of Gd-DTPA, additional 11 diffusion-weighted MR images were serially obtained from 2 minutes to 90 minutes after injection in each dog. The author evaluated findings of hyperacute cerebral infarction on diffusion-weighted MR imaging, and calculated mean signal intensity and mean ADC in infarcted region and contralateral normal region. Statistical analysis of mean signal intensity, mean ADC and contrast-noise ratio before and after Gd-DTPA injection was performed.

Results : Hyperacute cerebral infarction developed in all five dogs on diffusion-weighted MR images obtained 1 hour after embolization. The area of hyperacute infarction had steady increase in signal intensity on diffusion-weighted MR image and decrease in ADC. In normal perfusion area, decrease in signal intensity was observed at 2 minutes the Gd-DTPA injection, whereas ADC did not changed.

Conclusion : Intravenous injection of Gd-DTPA had no influence on ADC in both hyperacute infarction and normally perfused area, but caused initial transient signal reduction in normally perfused area on diffusion-weighted MR image due to susceptibility effect of Gd-DTPA. It is important to calculate ADC in evaluating the effect of diffusion after injection of Gd-DTPA.

Index words : Cerebral infarction, Gadolinium-DTPA, Apparent diffusion coefficient

Address reprint requests to : Bum-soo Kim, M.D., Department of Radiology, Kangnam St.Mary' s Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, 505 Banpo-dong, Seocho-gu, Seoul 137-701, Korea.
Tel. 82-2-590-2324 Fax. 82-2-599-6771 E-mail: bumrad@catholic.ac.kr