

0.3T MRI 시스템에서의 동·정맥 동시 획득을 위한 자기공명 혈류 영상 기법(SAAV)과 동·정맥 color mapping

조종운¹ · 조지연¹ · 서성만² · 은총기³ · 문치웅¹

인제대학교 의용공학과¹, 마산삼성병원 진단방사선과², 인제대학교 의과대학 진단방사선과³

(2002년 12월 15일 접수, 2003년 8월 28일 채택)

MR Angiography with Simultaneous Data Acquisition of Arteries and Veins(SAAV) Method and Artery-Vein Color Mapping in 0.3T MRI System

Jong-Woon Cho¹, Ji-Youn Cho¹, Sung-Man Seo², Choong-Ki Eun³, Chi-Woong Mun¹

Dept. of Biomedical Engineering Inje-University¹, Dept. of Diagnostic Radiology Masan-Samsung Hospital²,

Dept. of Diagnostic Radiology College of Medicine, Inje University³

(Received December 15, 2002. Accepted August 28, 2003)

요약 : 일반적으로 MR Angiography(MRA)는 사전 포화방법(presaturation)을 이용하여 동맥과 정맥의 분리된 영상을 획득한다. 하지만 이러한 일반적인 사전포화방법으로 동맥과 정맥영상을 획득하기 위해서는 두 번의 영상획득이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 동맥과 정맥의 구분된 영상을 한번의 영상획득으로 얻을 수 있는 SAAV 기법을 0.3T MRI system에 적용하고, 획득된 동맥과 정맥의 두 MRA 영상을 Color Mapping으로 동·정맥을 한 영상에 구분하여 나타냄으로써 0.3T MRI system에서 MRA의 임상적 적용 및 활용 가능성을 높이고자 하였다. 마산 삼성병원의 0.3T MRI system (Magfinder, AILab. Korea)에서 SAAV sequence를 이용하여 정상적인 피험자로부터 목 부위의 동맥과 정맥 혈관영상 (volume : 256×256×64)을 동시에 얻었다. 그리고, 이들의 각 2D 영상들에서 위치정보를 획득한 후 MIP 기법과 Color Mapping으로 조합하여 3D Artery-Vein Color Mapping(AVCM) MRA 영상으로 재구성하였다.

Abstract : The method of simultaneous data acquisition of arteries and veins(SAAV) was suggested to obtain MR angiography of arteries and veins at 0.3T low field MRI system(Magfinder, AILab. Korea). Two separated artery- and vein-images were put together using AVCM(Artery-Vein Color Mapping) algorithm and presented in the same image. In this study, artery- and vein-separated angiograms of volunteer's neck were obtained. Two dimensional blood-enhanced images were sequentially obtained using SAAV pulse sequence based on time-of-flight(TOF) method with flow compensation. Imaging parameters were TR/TE=70/12msec, FOV=230mm, slice thickness=3mm, flip angle=90°, matrix size=256×256×64mm, TSat TH/SPA= 15/20mm, Ts_v=10msec and Ts_a=40ms. 3D MRA images were reconstructed using the maximum intensity projection(MIP) and the artery-vein color mapping(AVCM) algorithm. This study showed good possibility of clinical applications of MRA in 0.3T which provides valuable diagnostic information of clinical vascular diseases.

Key words : 0.3T MRI system, MRA, SAAV pulse sequence, AVCM algorithm

서 론

MRA는 MRI 장치를 사용하여 인체에 흐르는 동맥과 정맥

의 혈류를 측정하여 영상으로 구성하는 방법으로 현재 혈관질환의 진단 및 치료를 위해 매우 중요한 임상적 정보를 제공하고 있다. MRA의 영상을 획득하는 방법에는 크게 영상단면에 흘러 들어온 혈액 신호가 정지해 있는 주변 조직의 신호보다 상대적으로 강조되는 효과를 이용하는 time-of-flight(TOF) 방법과 혈류의 흐름에 의해 양성자 스핀들에 생기는 위상변화 현상을 이용한 phase contrast(PC) 방법 두 가지로 나눌 수

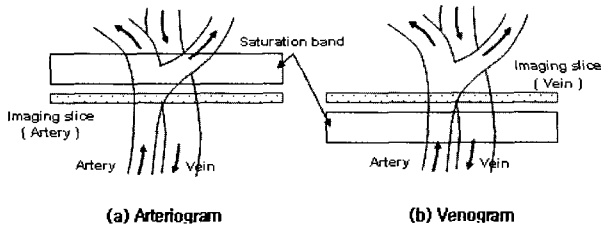


그림 1. Arteriogram and Venogram using the presaturation method

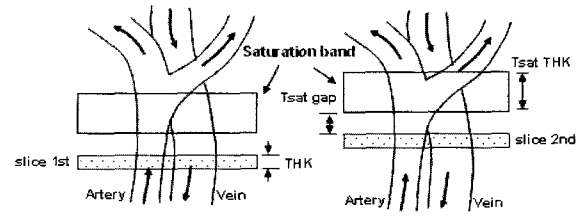


그림 2. Traveling saturation method

에 한 영상에 나타낸다면 임상적인 해부학적 정보의 획득에 많은 도움이 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 RF system 및 자장의 균일도 등의 문제 때문에 MRA의 임상적인 적용이 많이 이루어지지 못하고 있는 0.3T MRI system에 정맥과 동맥을 동시에 획득할 수 있는 SAAV 기법을 적용하여 영상 획득 시간의 단축을 가져오고[10], 또 SAAV 방법을 이용하여 획득한 영상들을 vessel segmentation과 classification의 과정을 통해 동·정맥 MIP 영상에 Color mapping 수행하여 새롭게 재구성된 3D AVCM (artery and vein color mapping) 영상을 한 영상에 나타내고자 하였다.

본 론

1. Traveling saturation 기법

Angiography에서는 임상적인 혈관의 질병진단을 위해서 이 동맥과 정맥을 구분하여 획득하는데 MR Angiography에서도 신호 포화방법을 이용하여 동맥과 정맥을 구분하여 획득이 가능하다. 그림1에서 볼 수 있듯이 Angiography 영상을 획득할 때 영상영역 내로 유입되어 들어오는 혈류의 신호를 미리 포화시키는 방법(presaturation)을 이용하여 동맥과 정맥영상을 구분하여 영상을 획득할 수가 있다. 동맥영상은 영상영역에서 심장과 반대쪽에 포화영역을 위치시켜 영상영역으로 유입되어 들어오는 정맥의 혈류 신호는 미리 포화시켜 신호강도를 최소화하고 동맥신호는 포화되지 않은 큰 신호를 나타내게 하면 동맥영상만의 획득이 가능하게 된다. 반면에 정맥영상은 동맥영상의 획득과는 반대로 포화영역을 영상영역에서 심장 쪽에 위치시킴으로써 영상영역 내에서 동맥신호만을 포화되게 함으로써 정맥 혈류의 영상만을 획득할 수 있다. 이렇게 혈류의 신호를 미리 포화시키는 방법을 이용한 동·정맥 구분 획득을 위한 MRA 영상법은 그림 2와 같이 영상영역이 이동할 때 포화영역도 같이 이동하면서 영상획득이 이루어지는데 이 때문에 이 방법을 이동포화방법(Traveling saturation)이라고 한다[3-4]. 다음 그림 3을 통해서 일반적인 이동포화기법을 이용한 MRA pulse sequence diagram을 나타내었다.

2. Simultaneous Acquisition of Artery and Vein (SAAV) 기법

앞에서 언급한 이동 포화방법을 좀더 개선하면 한번의 영상 획득으로 동맥과 정맥의 구분된 영상을 획득할 수 있다. 그림

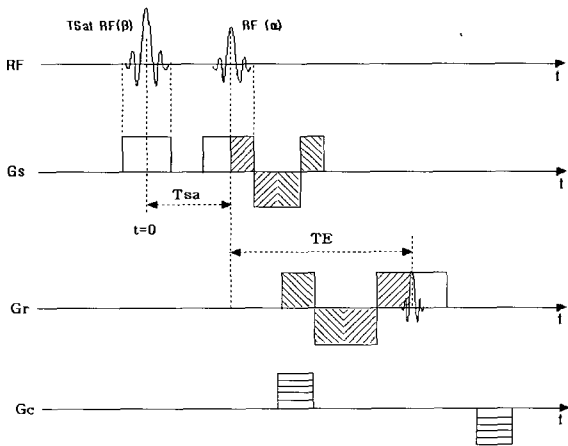


그림 3. 2D TOF MRA pulse sequence using TSat

있는데[1-5], 현재 임상적으로는 총 영상시간의 단축을 가져올 수 있는 TOF 기법을 이용한 MRA 방법을 선호하고 있다[7]. TOF 기법은 혈류에 의해 영상단면에 흘러 들어온 혈액의 양성자 스핀들은 반복적으로 가해진 RF pulse에 의한 포화(saturation)의 정도가 작아 큰 신호를 만드는 반면 정지해 있는 주변 조직의 양성자 스핀들은 반복적인 RF 펄스에 의한 포화의 정도가 심해서 작은 신호를 나타냄으로써 결과적으로 유입된 혈류신호의 상대적인 강조 효과를 이용하여 혈류영상을 획득하는 방법이다[3-5]. 여기서 T1시간보다 작은 TR을 가지는 반복된 RF pulse에 의해서 양성자 스핀들의 신호가 평형상태의 신호보다 작게 되는 상태를 포화라고 한다[1-5]. 이러한 TOF 방법을 이용하는 MRA는 혈류의 방향에 대해 미리 포화시키는 방법(presaturation)을 사용하여 동맥과 정맥을 구분하여 영상을 획득할 수 있고[5,6], 이를 이용하여 동·정맥 혈관 질환의 진단 및 치료를 위해 매우 유용한 임상적 정보를 제공하고 있다[7]. 하지만 이 방법을 이용하면 동맥과 정맥 영상의 획득을 위해선 두 번의 영상획득이 필요하다. 일반적인 presaturation 기법을 조금 개선한 방법인 SAAV (simultaneous data acquisition of artery and vein) 방법은 일정영역을 미리 포화시킨 후 위, 아래 영역에서 동시에 영상을 획득함으로써 동맥과 정맥 영상을 한번의 영상획득으로 얻을 수 있게 된다[10]. 또 이러한 방법으로 획득한 동맥과 정맥 영상을 동시

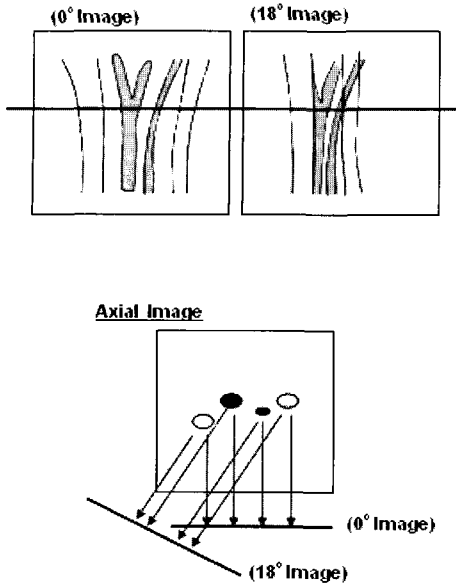


그림 7. Classification method

2) Classification (동·정맥 구분)

Vessel segmentation을 통해 생성한 VB 영상들을 일정한 각(Ψ)으로 회전하여 동맥영상과 정맥영상의 위치정보를 비교한다면 MIP 영상이 각(Ψ)으로 회전 시에 생기는 동맥과 정맥의 변화되는 위치정보의 획득이 가능하게 된다. 그림 7과 그림 8을 통해서 동·정맥 구분을 위한 위치정보 획득 방법을 보여주고 있다. 이렇게 하여 획득한 동·정맥의 회전에 대한 위치정보를 이용하여 MIP 영상에 동맥과 정맥의 color mapping을 수행한다[12]. 동맥은 적색, 정맥은 청색으로 color mapping을 수행하여 새로운 AVCM 영상을 재구성한다.

4. 영상 실험

마산 삼성병원의 0.3T MRI system (Megfinder, AILab. Korea)를 이용하여 동맥과 정맥의 동시 획득을 위한 SAAV pulse sequence로 영상 실험을 수행하였다. AI Lab.에서 제작된 수신전용 Neck-coil을 이용하여 20세 전반기의 정상인을 대상으로 목 부위의 혈관영상을 획득하였다. 사용한 영상 변수들은 slice thickness=3mm, FOV=230mm, TR/TE=70/12 msec, Flip angle=90°, volume=256×256×64, TSat TH/SPA=15/20mm, Ts_v=10msec, Ts_a=40ms 로 구성되어 있다.

결 과

1. SAAV sequence를 이용한 영상 실험

이동포화방법을 개선하여 개발한 SAAV(Simultaneous Acquisition of Artery and Vein) sequence를 이용하여 기존의 방법과 비교 실험을 수행하였다. SAAV sequence는 정맥과 동맥의 영상을 구분하여 동시에 획득이 가능하므로 총 영상획

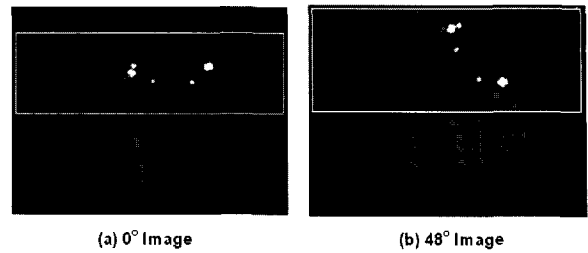


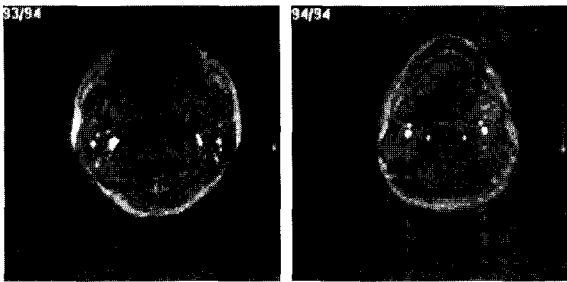
그림 8. VB image and AVCM image

득에 있어서 시간적인 이점을 가지게 된다. 하지만 기존의 TSat 방법을 사용하여 동맥과 정맥영상을 획득한 경우와 영상의 질의 차이가 생기지 않도록 하려면 여러 가지 영상변수들의 최적화가 필요하다. 이렇게 개발된 SAAV sequence를 이용하여 인체의 경동맥 부위의 MRA 영상을 획득하였다.

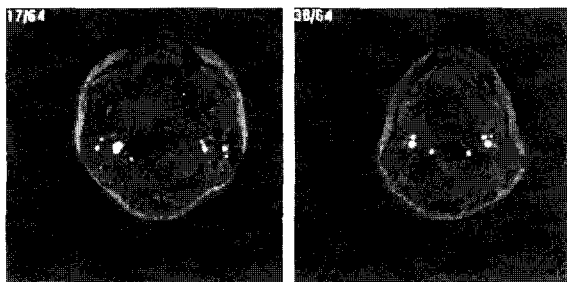
기존의 일반적인 TOF MRA기법을 이용하여 TR/TE=45/12, slice thickness=4mm, flip angle=90°,TSat TH/SPA을 15/30 (동맥영상)과 15/-20 (정맥영상)으로 동맥과 정맥 혈관영상을 획득하였다. 그림 9에서는 SAAV sequence를 이용해서 동맥과 정맥 영상을 동시에 획득하여 일반적인 TOF 영상들과 비교하였다. 영상변수는 TSat TH/SPA=15/20, Tsv=10msec, Tsa=40ms를 이용하였다. 두 영상들을 비교하여 나타내었을 때 영상의 CNR 차이는 5% 이내의 차이를 보였다. 2D TOF 기법을 이용하여 64 slice의 동맥과 정맥영상을 따로 획득할 때는 9분 36초씩 두 번 획득하여야 한다. 반면에 SAAV sequence에서는 두 Echo 신호를 발생시켜 신호를 얻어야 하므로 TR이 증가하게 되어 한 번 data를 획득하는데 14분 56초 정도로 증가하였으나 2D TOF의 동맥과 정맥 두 영상을 따로 획득하는 총 시간과 비교하면 약 23% 정도의 총 scan time의 감소를 가져왔다. 그림 10을 통해서 TSat Thickness/gap의 값과 flip angle의 변화에 의한 SAAV 영상에서 나타나는 영향을 알아보았다. (a)의 영상은 TSat Thickness/gap=5/10, flip angle=90°일 때 영상으로 화살표 부분의 느린 혈류의 신호가 상쇄되어 나타남을 알 수 있다[6]. (b) 영상은 flip angle=75°로 하여 반복 RF에 의한 신호의 포화정도를 감소시켜 느린 혈류의 신호의 상쇄 효과를 감소시켰다[6]. (c)는 TSat saturation band를 15mm로 큰 값을 설정하였기 때문에 상대적으로 느린 혈류인 정맥 혈류가 saturation 되어 나타났다. 식 (1)과 (2)에 의해서 구해지는 동맥과 정맥의 입계속도는 각각 200cm/sec, 50cm/sec 로 계산되었다.

2. AVCM 영상 재구성

본 연구에서 동맥과 정맥의 영상을 한 영상에 동시에 나타내기 위해 제작한 AVCM S/W를 SAAV 기법을 이용하여 획득한 동·정맥 영상에 적용하여 새로운 AVCM 영상을 재구성한 것을 그림 11에 나타내었다. 동맥은 붉은색, 정맥은 푸른색으로 나타내었고 여러 각도에서 관찰이 가능하게 하였기 때문에 해부학적 진단 정보를 획득하기에 편리하였다.

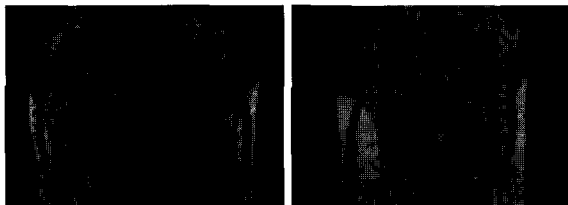


(a) Artery and vein image using SAAV



(b) Artery and vein image using 2D TOF

그림 9. MRA images obtained using SAAV and 2D TOF method



(a) AVCM image ($\theta = 0^\circ$)

(b) AVCM image ($\theta = 36^\circ$)



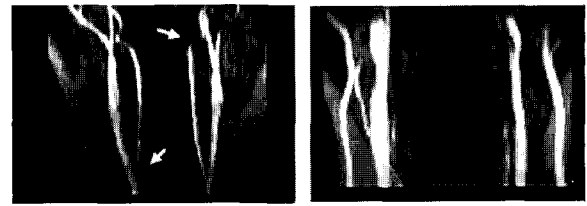
(c) AVCM image ($\theta = 72^\circ$)

(d) AVCM image ($\theta = 108^\circ$)

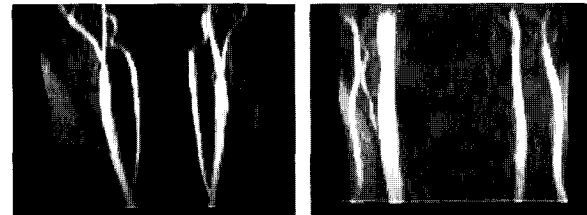
그림 10. The reconstructed AVCM images

결론 및 고찰

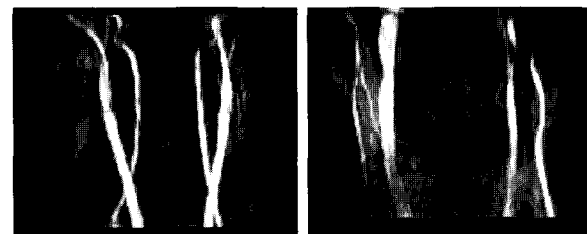
인체의 목 부위에서 SAAV sequence를 이용하여 획득한 동·정맥 MRA 영상은 carotid artery, vertebral artery (extracranial part) 그리고, intra and extra jugular vein 등의 해부학적 정보를 획득하기에 충분한 양질의 MRA 영상을 획득할 수 있었다. TSat Thickness/gap 와 flip angle 변수를 최적화하여 동맥과 정맥 분리 영상에서 혈류 속도에 의한 신호의 감소 효과를 최소화하였다. 변수의 최적화를 통하여 획득한 MRA 영상은 목 부위에서 stenosis 등에 의해 발생하는 임



(a) TSat 5/10, $\alpha = 90^\circ$ MRA images



(b) TSat 5/10, $\alpha = 75^\circ$ MRA images



(c) TSat 15/20, $\alpha = 75^\circ$ MRA images

그림 10. MRA images obtained using SAAV sequence

상적인 혈관질환의 진단하기에 충분한 가능성을 보여주었다. 또한 SAAV 기법을 이용하여 일반적인 Traveling saturation 을 이용한 방법보다 약 23% 정도의 총 영상 획득 시간을 단축시켜 임상적용 시 환자의 부담을 줄일 수 있는 이점을 가지게 되었다. SAAV sequence를 이용하여 획득된 동·정맥 MRA 영상을 본 연구에서 개발된 AVCM S/W를 이용한 color mapping을 통해 한 영상에 동맥과 정맥 영상을 동시에 나타냄으로써 0.3T MRI system을 이용하여 획득한 MRA 영상의 해부학적 정보 수집 또는 임상적 진단을 위한 편의성을 제공할 수 있었다.

본 연구에서는 현재까지 여러 가지 문제점들 때문에 임상적인 적용에 많은 어려움을 가지고 있던 저자장 시스템의 MRA 분야에 동·정맥 동시획득을 위한 SAAV sequence를 적용하고, 새롭게 개발된 AVCM S/W를 이용함으로써 0.3T MRI system 에서 MRA의 임상적 적용 및 활용의 가능성을 보여주었다. 하지만 실제적으로 뇌 부위에서 가장 많이 발생하는 AVMs (Arteriovenous malformation)이나 DAVF(Dural Arteriovenous Fistulas)같은 두개골 내부의 가는 혈관에서 생기는 혈관질환(intracranial vascular disease)을 진단하기에는 낮은 신호대잡음비의 한계가 아직 남아 있다[7]. 따라서 3D TOF MRA 기법을 이용하여 제작된 MRA pulse sequence를 좀더 개선하고 3D Rendering 기법 등을 이용하여 좀더 보완

된 AVCM S/W를 이용한다면 혈관질환의 진단 및 치료에 크게 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. L. Axel, "Blood flow effects in magnetic resonance imaging" A.J.R. Vol.143, pp. 1157-1166, 1984
2. W.G. Bradley, Jr. Waluch V, "Blood flow: Magnetic resonance imaging". Radiol, Vol.154, pp. 443-450, 1985
3. G.A. Laub. "Time of Flight Method of MR Angiography". MRI Clinics of North America Vol.3 pp. 391-39, 1995
4. C.W.Mun, "Generalized Flow Imaging in NMR: Application to Angiography of Coronary Vessels", Ph. D. Thesis, KAIST, Seoul, pp. 14~40, 1991
5. 이성우 외, "최신자기공명영상학", 여문각, pp. 152~168, 1998
6. E. Mark Haacke, et. al, "Magnetic Resonance Imaging Physical Principles and Sequence Design", WILEY-LISS, pp. 669~740, 1999
7. David D. Stark, William G. Bradley, Jr. "Magnetic resonance imaging", Mosby, pp231~256, pp. 1277~1316, 1999
8. Lei Tianhu et. al, "Artery-Vein Separation via MRA - An Image Processing Approach", IEEE Trans. on Med. Imag., Vol. 20, 2001
9. Lei Tianhu et. al, "Separation of artery and vein in contrast enhanced MRA images", SPIE, Vol. 3978, 2000
10. J.H. Kim, Z.H. Cho, "3-D MR Angiography with Scanning 2-D Images-Simultaneous Data Acquisition of Arteries and Veins(SAAV)", Magn. Reson. Med. Vol. 14, pp. 554-561, 1990
11. J. Bradley, Erickson and W. Daniel, Rettmann, "A Method for Rapid Computation of Maximum Intensity Projection Images", J. Digit. Imag., Vol.110, No.3, pp. 207-208, 1997
12. Laifa Fang, Yi Wang, "Fast Maximum Intensity Projection Algorithm using Shear Warp Factorization and Reduced Resampling", Magn. Reson. Med., Vol.47, pp. 696-700, 2002
13. Yi Sun, Dennis L. Parker, "Performance Analysis of Maximum Intensity Projection Algorithm for Display of MRA Images", IEEE Trans. Med. Imag., vol.18, No 12, 1999
14. A. Gregory, Baxes, Digital Image processing, Wiley, 1994
15. I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms and Applications, Wiley, 2000
16. William H. Press, Saul A. Teukolsky, et. al. Numerical recipes in C, Cambridge university press, 1999