

논문 2006-43IE-4-4

뇌 영상처리를 위한 백질과 회백질의 추출 및 체적 산출에 관한 연구

(A Study on Segmentation and Volume Calculation of the White Matter and Gray Matter for Brain Image Processing)

김 신 홍*

(Shin-Hong Kim)

요 약

본 논문은 사람의 뇌에 대한 자기공명영상에서 백질과 회백질을 분리하고 각각의 체적을 산출하기 위한 것이다. 정상인과 비정상인의 대뇌 영상으로부터 백질, 회백질, 뇌척수액을 분리하고, 분리된 조직의 체적을 계산한다. 본 논문에서는 뇌 MR영상에서 체적을 산출하고 백질과 회백질을 산출하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 그리고 각 구성 비율에 따라 표현되는 명암값 분석을 통한 대뇌 자기공명영상으로부터 백질 및 회백질을 추출할 수 있는 판별값을 결정하는 방법을 개발하였다. 각 슬라이스에 추출된 화소의 수를 이용하여 백질 및 회백질의 체적을 구하는 방법을 제안하였다. 그리고 환자의 뇌척수액/대뇌 체적비와 연령을 입력으로 받아 판별식을 통해 판별값을 계산하며, 계산된 판별값을 이용해 기준점과 비교함으로써 정상과 비정상을 진단하였다. 결과적으로 연령이 증가 할수록 백질과 회백질의 체적은 감소하고 뇌척수액의 체적은 증가하고 있는 것을 알 수 있었다.

Abstract

This paper is for the segmentation and volume calculation of the white matter and gray matter from brain MRI. We segment white matter, gray matter and CSF from the Brain image in the normal and abnormal person, and calculate the volume of segmented tissue. In this paper, we present a new method of extracting white matter, gray matter and CSF and calculation its volume from MR images for brain. And we have developed the determining method of threshold that can extract white matter and gray matter from MR image for brain through the analysis of gray values represented by ratio of each component. We proposed the calculation method of volume for white matter and gray matter by using number of extracted pixels in each slice. This algorithm input CSF/Head volume ratio and age of patient and calculates discriminant value through discriminant expression, classifies normal and abnormal using calculated discriminant value. As a result, we could know that white matter and gray matter volume decrease and CSF volume increase as we grow old.

Keywords : MRI, White matter, Gray matter, CSF

I. 서 론

각종 뇌 질환의 발견 및 치유를 위한 의료기술도 역시 많은 진전이 있어왔다. 이러한 의료기술의 발전에는 전산화 단층촬영기나 자기공명영상기를 이용한 영상진단이 매우 중요한 역할을 담당해왔으며, 앞으로도 이러한 의학영상을 통한 진단기술은 지속적인 발전을

이룰 것으로 기대하고 있다. 그러나 퇴행성 뇌 질환의 경우 질병의 발생 여부를 자기공명영상에 대하여 진단 방사선 전문의의 육안에 의한 주관적인 판단에만 의존하고 있을 뿐이며, 백질 및 회백질의 위축 및 그에 따른 뇌척수액의 증가 정도를 정량적으로 산출하여 객관적인 기준에 의해 질병의 발생 유무를 조기진단 할 수 있는 방법은 현재 개발되어 있지 않다^{[1][2][3]}.

현재까지 정상인의 뇌, 특히 대뇌를 구성하고 있는 백질 및 회백질과 뇌척수액 조직의 체적에 대한 통계적 자료조차 준비되어 있지 않음에 따라 뇌 위축을 수

* 정회원, 주성대학 인터넷정보학과
(Dept. of Internet Information, Juseong College)
접수일자: 2006년6월3일, 수정완료일: 2006년12월4일

반하는 퇴행성 뇌질환 환자와의 체적 비교를 통한 진단은 불가능한 상태이다. 이러한 국내외 현실을 고려하여 본 연구는 각 조직의 체적 값과 디지털화된 영상의 헤더 분석을 통해 얻어진 각종 정보를 바탕으로 환자의 성별, 연령별로 결과 값을 세분화하여 분석하였다. 그리고 이러한 알고리즘을 이용하여 정상인과 비정상인을 판단 할 수 있는 조기진단 시스템을 구축하였다. 그리고 환자의 뇌척수액/대뇌 체적비와 연령을 입력으로 받아 판별식을 통해 판별값을 계산하며, 계산된 판별값을 이용해 기준점과 비교함으로써 정상과 비정상을 구분하였다.

II. 체적산출 및 판별값 결정

1. 뇌척수액의 처리

T2 강조영상에 있어서 백질과 회백질의 구별은 어려우나 뇌척수액의 경우 밝게 강조되어 있다. 따라서 먼저 T2 강조영상에서 명암 값이 분포를 이용하여 뇌척수액을 분리하게 되며, 뇌척수액을 분리한 T2 강조영상을 이용하여 대응되는 양성자 밀도영상에서 T2 강조영상의 뇌척수액 부분과 동일한 위치의 화소를 양성자 밀도영상의 뇌척수액으로 분리하게 된다.

그림 1의 (a)는 전체 슬라이스 중 8번째와 9번째에 해당되는 T2 강조영상이며, (b)는 이러한 T2 강조영상에서 뇌척수액이 제거된 영상이다. (c)는 T2 강조영상에 대응되는 양성자 밀도영상에서 (b)의 T2 강조영상을 이용하여 뇌척수액을 제거한 영상이며, (d)는 양성자 밀도영상에서 추출된 뇌척수액의 영상이다. 양성자 밀도영상으로부터 추출된 뇌척수액은 T2 강조영상과는 다

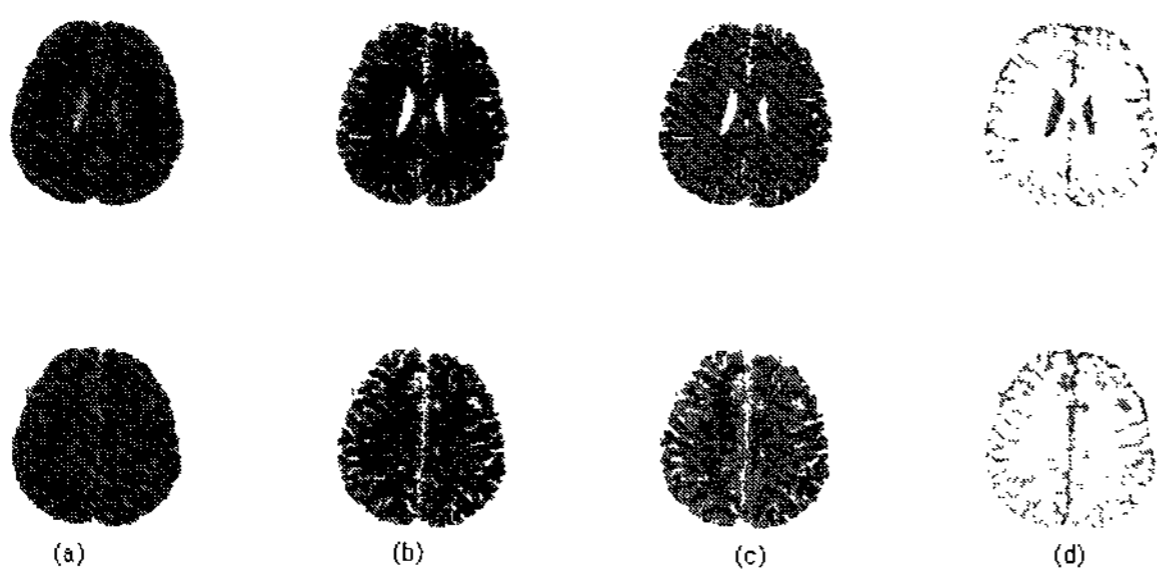


그림 1. (a) T2 강조영상 (b) 뇌척수액이 제거된 T2 강조영상 (c) 뇌척수액이 제거된 양성자 밀도영상 (d) 양성자 밀도영상으로부터 추출된 뇌척수액

Fig. 1. (a) T2 image (b) Extracted T2 image (c) Extracted PD image (d) Extracted CSF from PD image.

르게 표현된다. 일정한 두께 내에 순수한 뇌척수만 존재하는 경우 비교적 밝은 색으로 표현되나, 백질 또는 회백질과 함께 섞여있는 경우 백질의 양에 비례하여 어둡게 표현된다.

2. 양성자 밀도영상의 히스토그램 분석

그림 2는 양성자 밀도영상에 대한 히스토그램이다. 이 히스토그램에서 가장 큰 면적으로 나타나고 있는 영역 A는 주어진 양성자 밀도영상에서 대응되는 T2 강조영상을 이용하여 전체 뇌척수액을 제거한 영상(그림 1의 (c))에 대한 히스토그램으로, 이 부분은 백질과 회백질 부분으로 구성되어 있다. 또한 영역 B와 C를 합한 부분은 양성자 밀도영상에서 추출된 전체 뇌척수액(그림 1의 (d))에 대한 히스토그램이다. 이 부분에서 영역 C에 해당되는 부분은 백질 또는 회백질과 섞이지 않는 순수한 뇌척수액에 해당되는 부분이며, 영역 B는 백질 그리고 회백질과 함께 섞여있는 뇌척수액으로 볼 수 있다. 따라서 영역 B에 해당되는 부분으로부터는 뇌척수액의 부분체적에 해당되는 만큼의 화소를 추출하고 난 후 남은 부분에서 백질과 회백질의 부분체적이 고려되어야 한다.

그림 2에서 명암 값 y_1 은 백질 성분이 가질 수 있는 명암 값의 하한이며, y_3 는 회백질 성분이 가질 수 있는 명암 값의 상한에 해당되는 동시에 뇌척수액 성분이 갖는 명암 값의 하한이기도 하다.

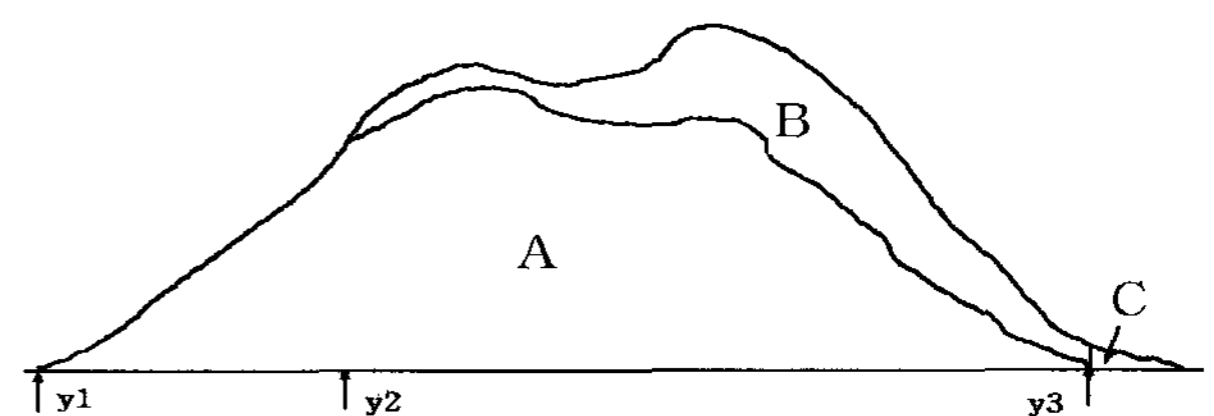


그림 2. 양성자 밀도영상에 대한 히스토그램
Fig. 2. Histogram for PD image.

3. 백질, 회백질, 뇌척수액의 부분체적 산출

그림 2의 히스토그램에서 영역 A는 전체 뇌척수액이 제거되고 난 후 백질과 회백질로만 이루어진 부분이다. 이러한 히스토그램에 대한 분포함수를 H 라 할 때, $H(G)$ 는 명암 값 G 에 해당되는 화소의 수이다. 여기서 일정한 두께 안에 y_1 의 명암 값을 갖는 성분이 $z\%$, y_3 의 명암 값을 갖는 성분이 $(100-z)\%$ 포함되어 있을 때 번짐 효과에 나타나는 명암 값 G 는 다음과 같다.

$$G = y_1 \cdot \frac{z}{100} + y_3 \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) \quad (1)$$

만약 명암 값 G 가 y_1 과 y_3 의 중간에 해당되는 명암 값을 나타낸다면 이러한 명암값에 해당되는 화소 중 50%는 백질에 해당되고 나머지 50%는 회백질에 해당되는 성분으로 볼 수 있다. 따라서 영역 A에서 백질의 부분체적에 해당되는 화소의 수는 다음과 같이 계산되며, 이때 z 는 각 명암 값에 따라 다른 비율로 적용된다. 즉 y_1 의 명암 값에서는 100%로 y_3 의 명암 값에서는 0%로 적용된다.

$$PV1 = \int_{y_1}^{y_3} H\left(y_1 \cdot \frac{z}{100} + y_3 \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right)\right) \cdot \frac{z}{100} dy \quad (2)$$

다음으로 영역 B로부터 백질의 부분 체적을 구한다. 그러나 이러한 부분은 뇌척수액과 함께 섞여있는 분으로 먼저 뇌척수액의 부분체적에 해당되는 화소를 제거할 때 $W(G)$ 는 명암 값 G 에 해당되는 화소의 수이다. 여기서 먼저 y_3 이상의 명암 값에 해당되는 화소는 순수한 뇌척수액으로 추출하게 되며 추출된 순수한 뇌척수액의 화소의 수는 다음과 같다.

$$PCSF1 = \int_{y_3}^{255} W(G) dy \quad (3)$$

다음으로 영역 B의 각 명암 값에서 뇌척수액의 부분 체적에 해당되는 화소를 추출하여 제거한다. 만약 일정한 두께 안에 y_3 의 명암값을 갖는 뇌척수액이 $z\%$, y_2 의 명암 값을 갖는 백질 및 회백질 성분이 $(100-z)\%$ 포함되었을 때 나타나는 명암 값 G 는 다음과 같으며, 이때 영역 B의 명암 값 y_2 에서 y_3 까지의 각 명암 값에서 뇌척수액의 부분체적에 해당되는 화소의 수 $PCSF2$ 는 다음과 같다.

$$G = y_2 \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) + y_3 \cdot \frac{z}{100} \quad (4)$$

$$PCSF2 = \int_{y_2}^{y_3} W\left(y_2 \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) + y_3 \cdot \frac{z}{100}\right) \cdot \frac{z}{100} dy \quad (5)$$

따라서 $PCSF1$ 과 $PCSF2$ 의 합 $PCSF$ 는 주어진 양성자 밀도영상에서 전체 뇌척수액에 해당되는 화소의 수이다.

$$PCSF1 = PCSF1 + PCSF2 \quad (6)$$

이제 영역 B로부터 백질과 회백질의 부분체적에 해당되는 화소의 수를 계산할 수 있다. W' 를 영역 B에서

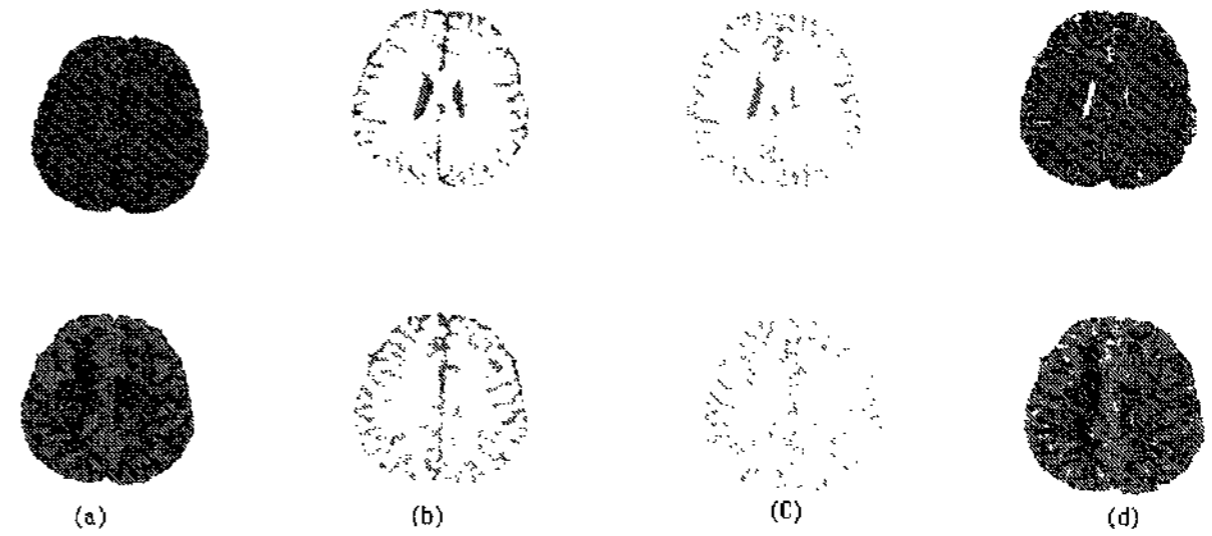


그림 3. (a) 초기의 양성자 밀도영상 (b) 양성자 밀도영상으로부터 추출된 초기의 뇌척수액 (c) 초기의 뇌척수액으로부터 분리된 순수한 부분체적에 해당되는 뇌척수액 (d) (a)로부터 (c)가 분리된 양성자 밀도영상

Fig. 3. (a) PD image (b) Extracted CSF from PD image (c) Pure and partial CSF (d) PD image of extracted (c) from (a).

뇌척수액의 부분체적에 해당되는 화소를 제거하고 난 후 남은 부분에 대한 히스토그램의 분포함수라 할 때, $W'(G)$ 는 영역 B에서 명암 값 G 에 해당되는 화소의 수이다. 이때 백질의 부분체적에 해당되는 화소의 수는 다음과 같다.

$$PV2 = \int_{y_1}^{y_3} W\left(y_1 \cdot \frac{z}{100} + y_3 \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right)\right) \cdot \frac{z}{100} dy \quad (7)$$

이제 $PV1$ 과 $PV2$ 의 합 PV 는 주어진 양성자 밀도영상에서 백질에 해당되는 화소의 수이며, 이때 회백질에 해당되는 화소의 수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$PG = \left[\int_{y_1}^{y_3} H(G) dy + \int_{y_1}^{y_3} W'(G) dy \right] - PV \quad (8)$$

그림 3은 주어진 양성자 밀도영상에서 초기에 추출된 뇌척수액(그림 3의 (b))으로부터 순수한 뇌척수액 및 부분체적에 해당되는 뇌척수액(그림 3의 (c))을 분리한 후, 이 부분을 원래의 양성자 밀도영상으로부터 제거하여 최종적으로 백질과 회백질을 분리하는데 사용될 영상(그림 3의 (d))을 보여주고 있다.

4. 판별값의 결정

주어진 양성자 밀도영상으로부터 뇌척수액을 분리학 이러한 뇌척수액을 재처리함으로써 그림 3의 (d)영상은 주어진 양성자 밀도영상에서 순수한 뇌척수액 및 부분 체적에 해당되는 뇌척수액을 제거함으로써 뇌척수의 영향을 배제한 양성자 밀도영상으로 볼 수 있으며, 이러한 영상을 대상으로 백질과 회백질을 분리할 명암값, 즉 판별값(threshold)을 결정하게 된다. 그림 4는 판별값의

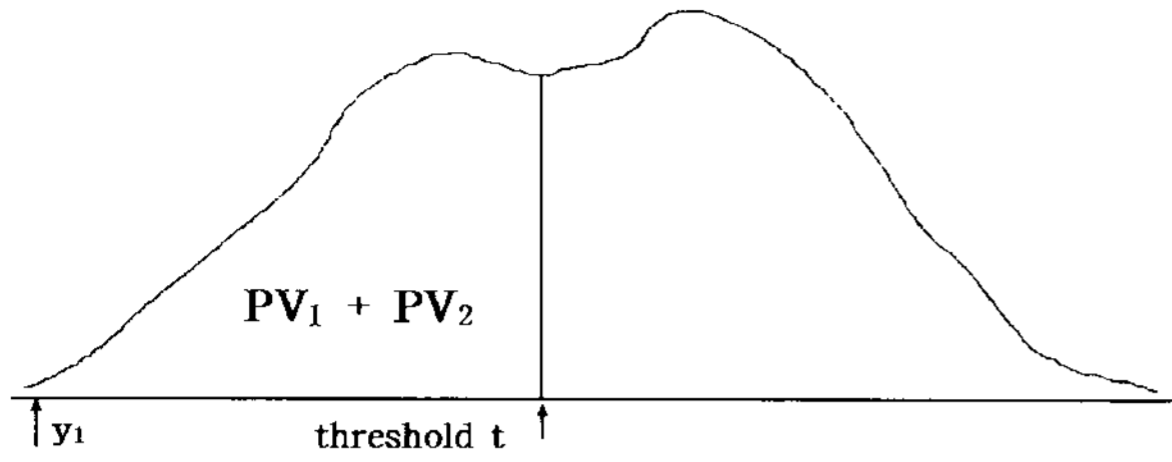


그림 4. 판별값 결정을 위한 히스토그램
Fig. 4. Histogram for determine threshold.

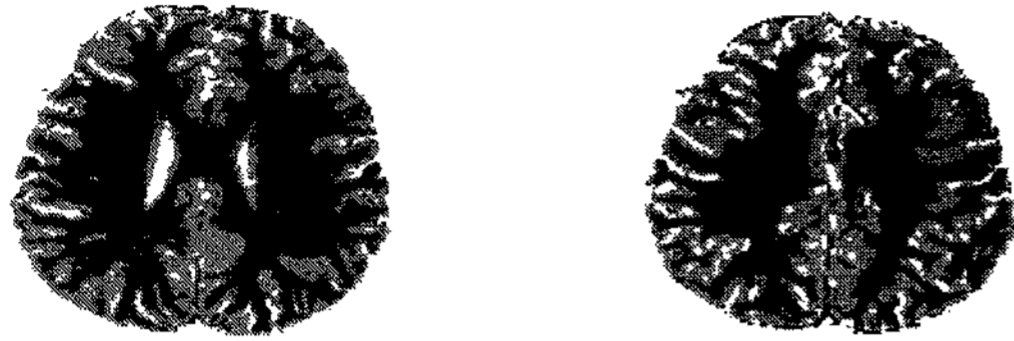


그림 5. 백질과 회백질로 분리되는 양성자 밀도영상
Fig. 5. PD image of extracted white matter and gray matter

결정을 보여주는 히스토그램이다.

$$PV1 + PV2 \leq \int_{y1}^t T(y) dy \quad (9)$$

5. 백질, 회백질 그리고 뇌척수액의 체적계산

의료영상기기에서 발생하는 의료영상 데이터는 현재 국제표준으로 정해진 DICOM 3.0 포맷을 의료기기 제작사, 소프트웨어 제작사, 병원등 이용하고자 하는 기관 및 단체에서는 표준으로 사용하고 있다. 특히 이의 이용분야에서는 CT, MR이 가장 보편적이면서 많이 활용되고 있는 실정이다. DICOM 3.0 의료영상 포맷은 영상 데이터의 헤더에는 각 영상에 관한 물리적 정보 및 환자의 신상에 관한 정보에 이르기까지 다양한 정보가 포함되어 보관되어 있다. 이러한 정보들 중에서 영상을 구성하는 각 화소의 크기 및 슬라이스 사이의 간격에 대한 정보가 면적 및 체적을 산출하는데 이용되며 체적은 다음과 같은 식에 의하여 계산될 수 있다.

$$V = \sum_{i=1}^n (((W_p \cdot X \cdot Y) of S_i + (W_p \cdot X \cdot Y) of S_{i+1}) / 2) \cdot D \quad (10)$$

- n : 추출된 영상 슬라이스의 수
- S_i : 슬라이스 번호
- W_p : 추출된 성분을 구성하는 화소의 수
- X : 한 화소의 가로 길이
- Y : 한 화소의 세로 길이
- D : 슬라이스 사이의 간격

III. 실험 및 고찰

1. 뇌세포 용량의 차이

두 그룹의 뇌질 세포 분포는 아래 표와 같다. 표 1은 표준편차, 평균값을 이용하여 유의수준을 나타낸다. 두 그룹간의 전체 체적은 95% 유의수준에서 통계적으로

표 1. 실험군과 대조군의 대뇌, 뇌척수액 체적 및 뇌척수액/대뇌 체적비

Table 1. Brain, CSF volume and CSF/Brain volume ratio of EG and CG.

	Head		CSF		CSF/Head	
	대조군	실험군	대조군	실험군	대조군	실험군
평균	1.3574352 6	1.4528389	0.0895627 2	0.18857204	0.0629949 6	0.1288297
표준편차	0.5390083	0.5522970	0.0727551 7	0.09547531	0.0322382 8	0.0335611
최소	0.5948157 3	0.6578747	0.0199623 4	0.07275214	0.0208021 6	0.0770855
최대	2.1023792 5	2.1646428	0.3205603 1	0.47355335	0.1524750 2	0.2297260
유의수준	0.018		0.001		0.022	

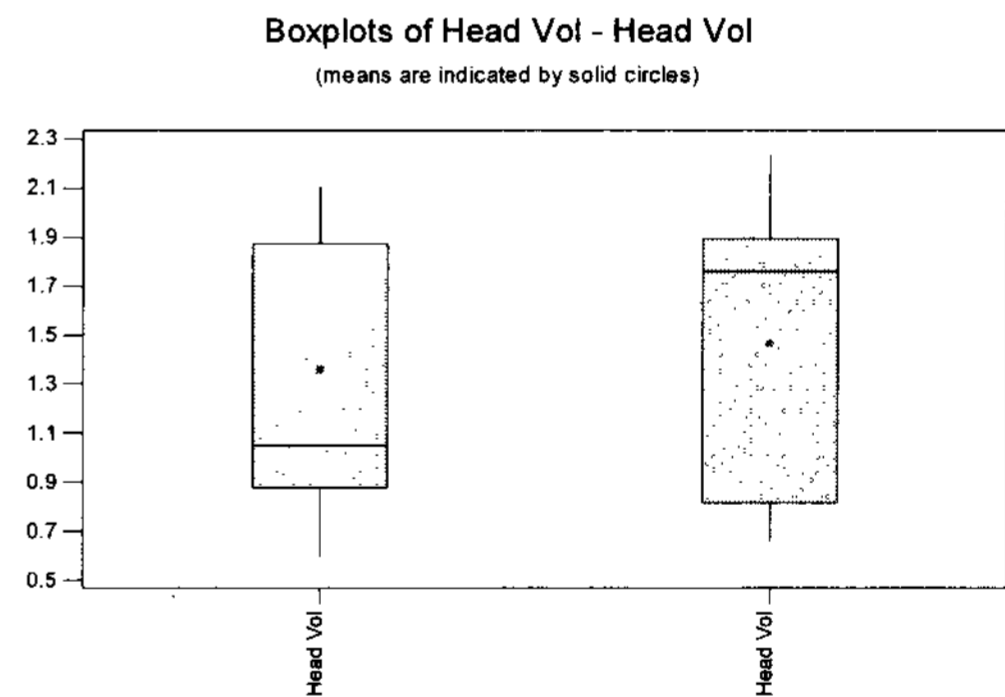


그림 6. 실험군과 대조군의 대뇌 체적 비교
Fig. 6. Brain volume ratio of EG and CG.

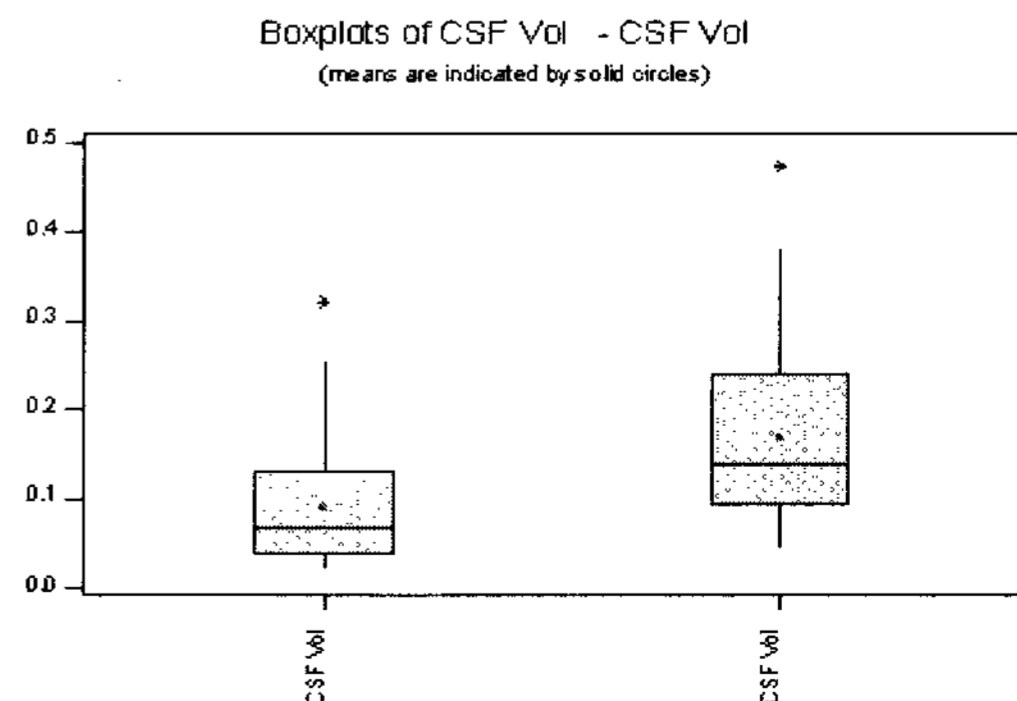


그림 7. 실험군과 대조군의 뇌척수액 체적 비교
Fig. 7. CSF volume ratio of EG and CG.

유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(P=0.022). 그리고 두 그룹간의 뇌척수액 체적은 95% 유의수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있다(P=0.001). 그리고 두 그룹간의 대뇌 체적은 95% 유의수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(P=0.018). 따라서 두 그룹간에는 통계적으로도 유의한 차이가 있었다. 결론적으로 실험군은 정상인과 비교하여 뇌척수액 체적이 증가하기 때문에 쉽게 비정상인을 판단 할 수 있다. 그림 6, 그림 7은 실험군과 대조군의 대뇌 및 뇌척수액 체적 비율이다.

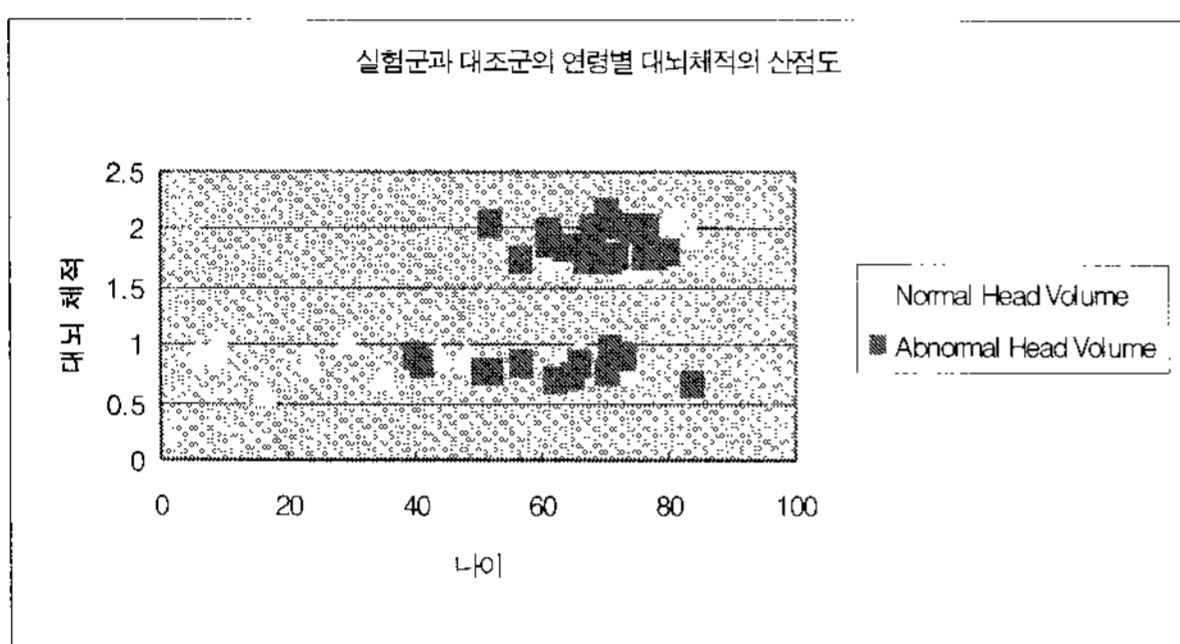


그림 8. 실험군과 대조군의 연령별 대뇌 체적 산점도
Fig. 8. Head volume scatter diagram of EG and CG.

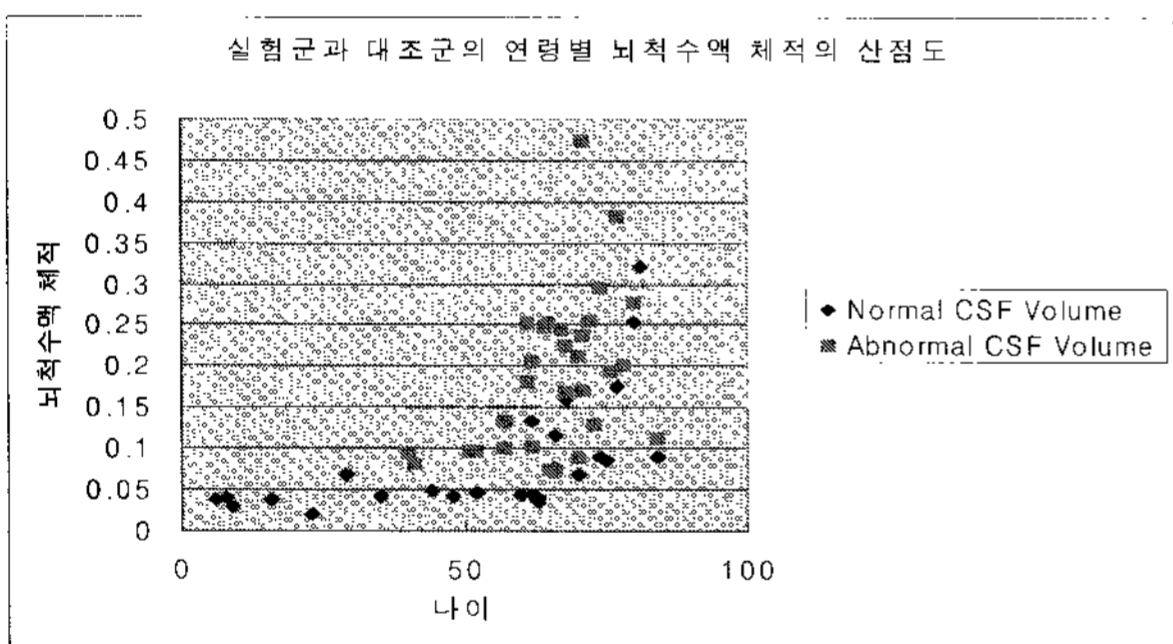


그림 9. 실험군과 대조군의 연령별 뇌척수액 체적 산점도
Fig. 9. CSF volume scatter diagram of EG and CG.

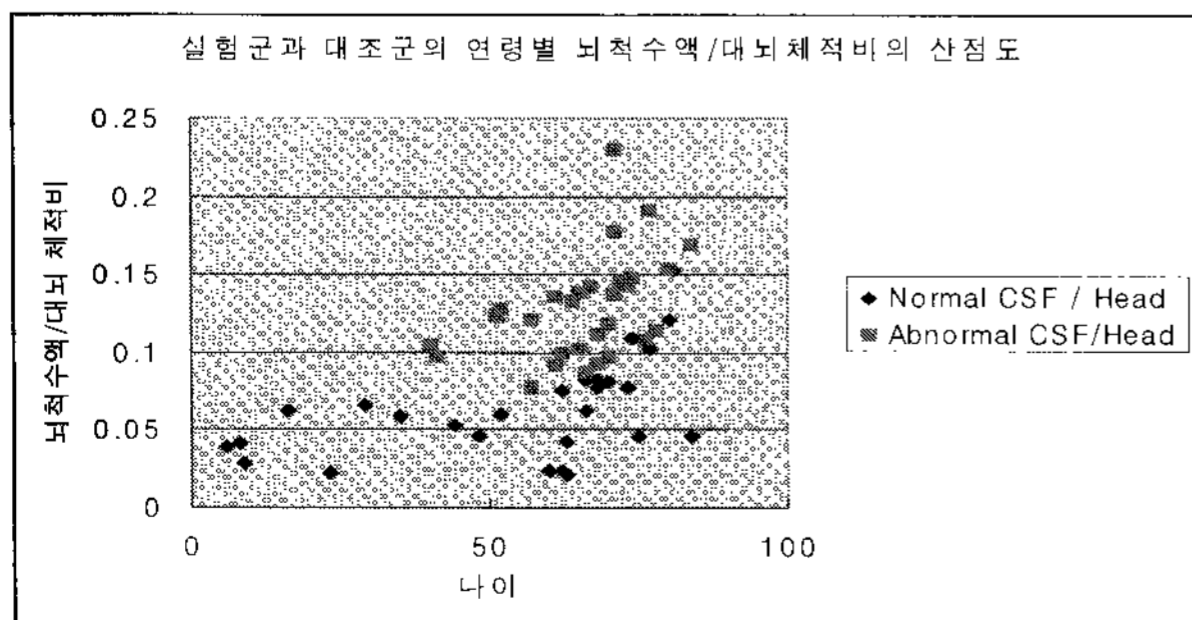


그림 10. 실험군과 대조군의 연령별 뇌척수액/대뇌 체적 비 산점도
Fig. 10. CSF/Head volume scatter diagram of EG and CG.

2. 나이

대조군과 실험군에 대한 연령에 따른 체적 비교가 필요하여 평균, 표준편차와 95% 신뢰구간을 비교하였다. 두 그룹간의 평균차이는 95% 유의수준 안에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.(P=0.011) 그림 8, 그림 9, 그림 10은 실험군과 대조군의 연령별 뇌척수액, 대뇌, 뇌척수액/대뇌 체적 산점도이다.

3. 판별분석

본 연구에서는 이러한 결과 데이터를 근거로 통계처리를 통한 조기 진단 알고리즘을 구현하기 위해 SPSS 10.0 통계패키지를 사용하였으며, 패키지 내의 분류분석 방법 중의 하나인 판별분석을 이용하여 분석하였다. 판별분석의 집단변수로서 전문의의 진단에 의한 정상(1)과 비정상(0) 변수가 사용되었으며, 독립변수로서 뇌의 위축정도를 가장 잘 반영하는 뇌척수액과 대뇌의 체적비와 연령을 사용하여 처리하였다. 옵션으로써 통계량의 함수의 계수 부분에서 표준화하지 않음을 선택하였으며, 처리 결과는 다음과 같다.

표 2. 판별함수 계수표

Table 2. Discriminant function table of factor.

	함수
	1
CSF_HEAD	33.865
AGE	-.007
(상수)	-2.862

표 3. 함수의 집단중심점

Table 3. Central point of function.

	함수
NORMAL	1
0	1.050
1	-1.211

위의 결과를 이용하여 정상과 비정상인의 조기진단 알고리즘을 다음과 같이 구현하였다.

판별식 :

$$-2.862 + (\text{환자의 뇌척수액 체적} / \text{환자의 대뇌체적}) * 33.865 - (\text{환자의 나이}) * 0.007$$

$$\text{기준점} : (26 * 1.050 - 30 * 1.211) / (26+30)$$

표 4. 조기 진단 알고리즘의 진단 확률

Table 4. Diagnostic probability of early diagnostic algorithms.

	진단 환자 수 /전체 환자 수	진단 확률
정상인	23 / 26	88.5 %
비정상인	26 / 30	86.7 %

환자의 뇌척수액/대뇌 체적비와 연령을 입력으로 받아 판별식을 통해 판별값을 계산하며, 계산된 판별값을 이용해 기준점과 비교함으로써 정상과 비정상을 진단할 수 있게 된다. 이러한 조기 진단 알고리즘은 함께 개발된 응용프로그램에 내장되었으며, 실제 환자데이터에 대한 처리결과는 표 4와 같다. 본 연구에서 개발된 조기 진단 알고리즘은 처리케이스가 증가하고 이를 바탕으로 분석된다면 정확도가 점차 증가할 것으로 본다.

IV. 결 론

본 연구에서 제안된 알고리즘은 정상인과 비정상인에 대하여 연령별로 각각 30명의 자기공명영상에 적용하여 보았다. 그 결과로 얻은 각 연령별 평균체적을 비교해 볼 때 연령이 증가 할수록 백질과 회백질의 체적은 감소하고 뇌척수액의 체적은 증가하고 있었으며, 이러한 사실은 실제로 뇌에 대한 자기공명영상을 이용하여 퇴행성 뇌질환 진단 등의 의료 활동을 수행하고 있는 진단 방사선 전문의의 일반적인 의학적 지식과 일치하며, 또한 백질과 회백질로 분리된 최종적인 영상에 대한 육안적 판단에서도 정확한 분리가 이루어지고 있다는 판단을 얻을 수 있었다. 본 알고리즘을 검증하기 위하여 환자의 뇌척수액/대뇌 체적비와 연령을 입력으로 받아 판별식을 통해 판별값을 계산하며, 계산된 판별값을 이용해 기준점과 비교함으로써 정상과 비정상을 진단할 수 있었다. 판별분석을 통한 진단결과는 비교적 높은 정확도를 갖으며, 앞으로 실제 임상에서 처리 케이스가 점차 증가하고 이를 바탕으로 분석된다면 정확도가 점차 증가할 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] M. A. Foster, "Magnetic Resonance in Medicine and Biological", Pergamon Press, NewYork, 1984.

- [2] Y. C. Sung, et al, "Partial volume Effects on Segmentation of White Matter from the Brain", Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering, pp.210-212, 1999.
- [3] A. Brun and L. Gustafson, "Distribution of cerebral degeneration in Alzheimer's disease", Arch. Psychiatry 223, pp.15-33, 1976.
- [4] B. E. Tomlinson, G. Blessed, and M. Roth, "Observations on the brains of demented old people", J. Neurol. Sci. pp. 205 - 242, 1970.
- [5] 박일영, 권달관, 홍시영, "자기 공명 영상학", pp.11-55, 청구문화사, 1993.
- [6] A. Carrington and A. D. McLachlan, "Introduction to Magnetic Resonance", Chapman and Hall, London 1967.
- [7] J. Szumowski and D. B. Plewes, "Separation of Liquid and Water MR Imaging Signals by Chopper Averaging in the Time Domain", Radiology 165, pp.247-250, 1987.
- [8] M. I. John, N. K. Tanna, and G. T. Herman, "Analysis of brain and cerebrospinal volumes with MR imaging", Radiology 178, pp.115 - 122, 1991.
- [9] N. Shareef and D. L. Wang, "Segmentation of Medical Images Using LEGION", IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol. 18, No 1, pp.74-91, 1999.
- [10] H. Suzuki and J. Toriwaki, "Automatic Segmentation of Head MRI Images by Knowledge Guided Thresholding", Computerized Medical Image Graphics, Vol.15, No 4, pp.223-240, 1991
- [11] 김신흥, "의료영상 추출 알고리즘을 이용한 알츠하이머 환자의 뇌 체적 분석", 전자공학회 논문지 제 40권, 제2호, 42-46쪽, 2003년 6월
- [12] 김신흥, "자동화된 뇌 영상처리 분석을 통한 뇌 위축질병 진단 시스템", 정보처리학회 논문지, 기술교육 제1권 제2호, 130-135쪽, 2006년 9월

저 자 소 개



김 신 흥(정회원)

1986년 2월 울산대학교 전자계산학과 학사 졸업

1990년 8월 인하대학교 전자계산학과 석사 졸업.

2005년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.

1990년 7월~1999년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원.

1991년 7월~1993년 6월 이태리 알래니아스파지오 연구원.

1999년 3월~현재 주성대학 부교수.

<주관심분야 : 의료영상처리, 생체인식>