

3D Modeling of Cerebral Hemorrhage using Gradient Vector Flow

Seok-Yoon Choi*

Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: April 19, 2024. Revised: June 26, 2024. Accepted: June 30, 2024.

ABSTRACT

Brain injury causes persistent disability in survivors, and epidural hematoma(EDH) and subdural hematoma (SDH) resulting from cerebral hemorrhage can be considered one of the major clinical diseases. In this study, we attempted to automatically segment and hematomas due to cerebral hemorrhage in three dimensions based on computed tomography(CT) images. An improved GVF(gradient vector flow) algorithm was implemented for automatic segmentation of hematoma. After calculating and repeating the gradient vector from the image, automatic segmentation was performed and a 3D model was created using the segmentation coordinates. As a result of the experiment, accurate segmentation of the boundaries of the hematoma was successful. The results were found to be good even in border areas and thin hematoma areas, and the intensity, direction of spread, and area of the hematoma could be known in various directions through the 3D model. It is believed that the planar information and 3D model of the cerebral hemorrhage area developed in this study can be used as auxiliary diagnostic data for medical staff.

Keywords: Computed Tomography, EDH, SDH, Segmentation

I. INTRODUCTION

서구 국가에서 45세 미만의 사망원인 중 외상성 사고가 주요 원인 중의 하나이다. 외상성 뇌손상 시 뇌출혈이 발생하고 생존자의 경우 지속적인 장애를 유발한다. 뇌출혈을 동반한 외상성 뇌 손상의 가장 중요한 합병증 중 하나는 혈종 발생이고, 중증 외상성 뇌손상에서 25-45% 를 차지하는 것으로 알려졌다. 따라서 급성 외상성 뇌출혈로 인한 경막외 혈종(Epidural Hematoma) 및 경막하 혈종(Subdural Hematoma)은 주요 임상 질환 중 하나라고 볼 수 있다^[1].

경막외 혈종은 뼈와 경막 사이에 혈액이 비정상적으로 고이는 것을 말한다. 대부분의 경막외 혈종은 외상성 뇌 손상으로 인해서 두개골에서 발생하지만, 드물게 척수에서도 발생할 수 있다. 혈종 부위는 원발성 경막외 혈종의 경우와 같이 수막 동

맥, 파열된 정맥동에서 발생 할 수 있다. 수술 후 합병증으로 인한 경막외 혈종은 지혈이 잘 안되거나, 환자에게 혈소판 감소증 또는 응고 결손이 있는 경우에는 근육, 피하 조직 또는 피부에서도 발생할 수 있다^[2].

외상성 사고로 인한 뇌혈종의 경우 구조에서 외과적 처치 시간이 치료 결과에 영향을 있을 수 있다. 경막외 혈종을 평가하기 위해서 Glasgow, 혼수 척도, 컴퓨터단층검사, 두개내 압력 등의 지속적 기록이 필수인데, 이 중 컴퓨터단층검사의 경우 검사실로 이동 및 준비 단계 등의 절차가 필요해서 처치 시간 지연에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 빠른 검사와 빠른 판독에 변수가 발생 할 수 있다^[1,2].

본 연구에서는 컴퓨터단층영상(CT; Computed Tomography)을 기반으로 경막외 혈종 및 경막하 혈종을 동반한 영역을 자동 검출하고 3차원으로 모델링을 하고자 한다. 해당 영역을 정확히 구현하기

* Corresponding Author: Seok-Yoon Choi

E-mail: image@cup.ac.kr

Tel: +82-051-510-0585

위해서는 영상 분할이 매우 중요하다. 영상 분할은 관심이 되는 객체에 대해서 사람의 개입 없이 원하는 영역만 자동으로 분할 하는 방법이며, 최근까지도 연구되고 있다.

영상 분할은 컴퓨터비전 영역에 속한 이론으로 혈종 영역에 대해 자동으로 계측을 하는 방법이다. 보조적 진단 기술로 알려진 이러한 방법은 미래 의료 환경에서는 꼭 필요한 분야이다. 과거의 연구 중 뇌출혈 및 혈종 부위에 대해서 좌표를 출력하는 내용^[2,6] 등의 유사 연구의 사례가 있으나, 다양한 연구 사례는 부족한 편이다.

본 연구에서는 영상 분할을 위해서 choi^[3]의 연구 내용을 기반으로, 개선된 GVF(gradient vector flow) 알고리즘을 구현하여 뇌출혈의 패턴인 혈종 부위를 분할 하고자 하였다. GVF는 기울기 벡터의 확산 방정식 개념으로 작동하며, 에너지가 수렴하는 방식으로 가변하면서 최종 분할을 완성하는 과정을 거친다. 다른 분할 방법에 비해 제한적인 모양에 대해서 정교하게 움직이는 특성이 있다^[9,10].

기존의 수동 방식의 초깃값 설정 문제를 해결하고, 영상에서 기울기 벡터의 계산 과정과 반복 계산을 통해서 자동 분할을 하는 과정을 생성하였다. 분할 된 좌표로부터 얻어진 이진영상으로 3차원 모델을 생성하였고, 혈종 부위의 평면정보와 함께 의료진에게 도움을 주고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험영상 획득

실험을 위해서 CPU AMD 9 3900x 12-core, 64GB RAM 사양의 컴퓨터를 사용하였다. 계산 시 CPU로 계산하였고, 프로그램은 MATLAB2020a(mathworks, USA)를 사용하여 개발하였다.

환자 정보를 익명으로 처리한 데이터 셋으로 케이스 실험을 하였다. 영상데이터는 연구자를 대상으로 공개된 데이터 셋^[6]으로써 2018년 2월부터 8월 사이에 Al Hilla Teaching Hospital에서 수집된 후향적 연구 자료이다. 혈종 유형, 위치 및 경계에 대해서 출혈 유형을 기록된 자료를 포함하고, 방사선 전문의가 각 조각의 영역을 기술, 두 명의 방사선

전문의를 주석을 달아서 같이 공개된 자료이다^[6]. Fig. 1과 같다.

데이터 1은, 72세 여성 환자의 데이터 셋이다. 경막내 혈종과 두개내 혈종(Intracranial Hematoma)의 소견을 보이고 있다. 28장의 슬라이스 영상에 대해서 출혈은 보이는 영상은 17 장으로 되어있다. 5장의 영상은 뇌 실질 영역에서 발생하였고, 16장에서는 경막내 영역에서 발생하였다. 이 중 4건은 두 영역에 포함되며, 경계가 불규칙한 특징을 보였다.

데이터 2는, 22세 남자 환자 데이터 셋이다 경막외 혈종과 뼈 골질을 포함한 두개골 외부(extracranial)의 혈종 소견을 보이고 있다. 전체 31장의 슬라이스 중 출혈을 보이는 영상은 6장이고, 모두 경막외 에서 출혈을 보이고 있으며, 경계가 부드러운 특징을 보였다.

2. 자동 초깃값 계산

GVF^[9]는 영상 분할에 최적이지만 초깃값을 수동으로 지정해 주어야 하는 단점이 있다. 따라서 뇌 혈종 형태를 효과적으로 분할하기 위해서 다음의 과정과 같이 초기 값을 자동으로 계산하는 과정을 개발하였다.

첫째, 뼈 조직을 제거 후 뇌 혈종 영역의 1차 후보군 영역을 추출하였다. 뼈 조직 제거는 역치 값 적용과 모폴로지 연산으로 이진화 된 뇌 혈종 영역을 선별 하였다. 후보군을 조사하기 위해서 70장의 영상을 16비트 영상에서 double 형태로 데이터 변환 후, 두개골 및 각 조직에 대한 픽셀 값을 조사하였고, 평균값 0.76을 이진 영상의 역치 값(Eq. (1))으로 사용해서 두개골이 제거하였다.

둘째, 모폴로지 연산(열림 1회, 닫힘 2회)을 통해서 조직간 경계를 나누고, 필요 없는 조각들을 없애거나(Eq. (2), (3)) 병합하였다. 셋째, 남아있는 후보군 조각에 대해서 원형률^[3]과 최소 면적 기준을 적용하여 제거하였다.

$$S(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(x,y) > T \\ 0 & \text{if } p(x,y) \leq T. \end{cases} \quad (1)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \text{ open} \quad (2)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B, \text{ close} \quad (3)$$

A : 이진영상
 B : 형태마스크

3. 자동분할 및 3차원 모델링

GVF는 영상에서 에지 영상을 계산하고 (Eq. (4)), 다음 기울기 벡터를 계산한다¹⁸⁾. Eq. (5)의 초기 값에서 경계의 변화가 진행되다가 외부에너지와 외부에너지가 같아지는 지점에서 최종 분할 경계를 가지게 된다.

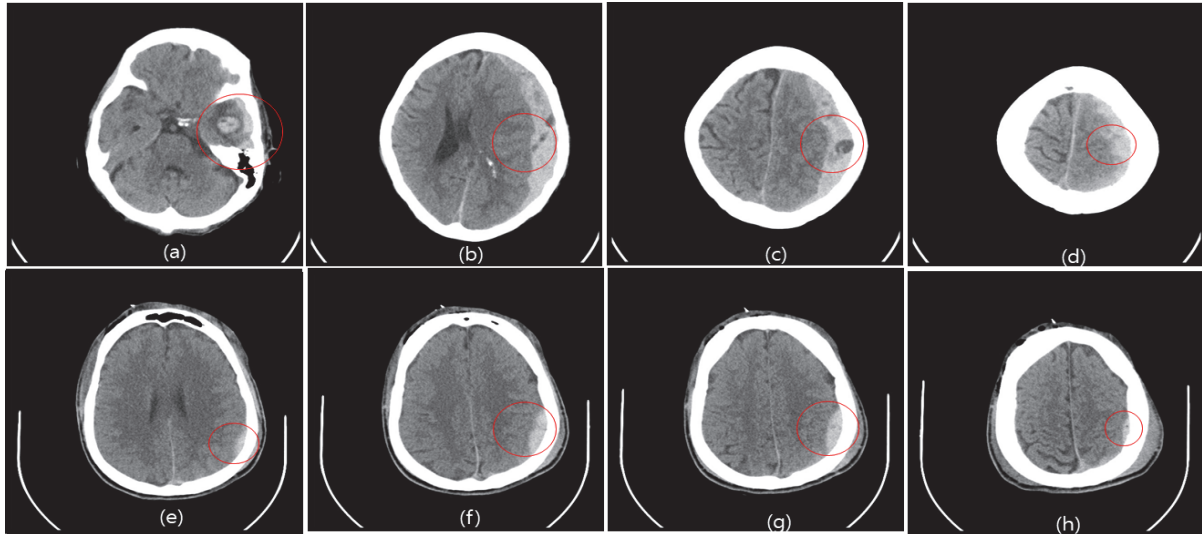


Fig. 1. CT images(case 1) with event information removed.
 (a) - (d) : Case 1 images (slice no.-13, 18, 23, 27)
 (e) - (f) : Case 2 images (slice no.-22, 23, 25, 27)

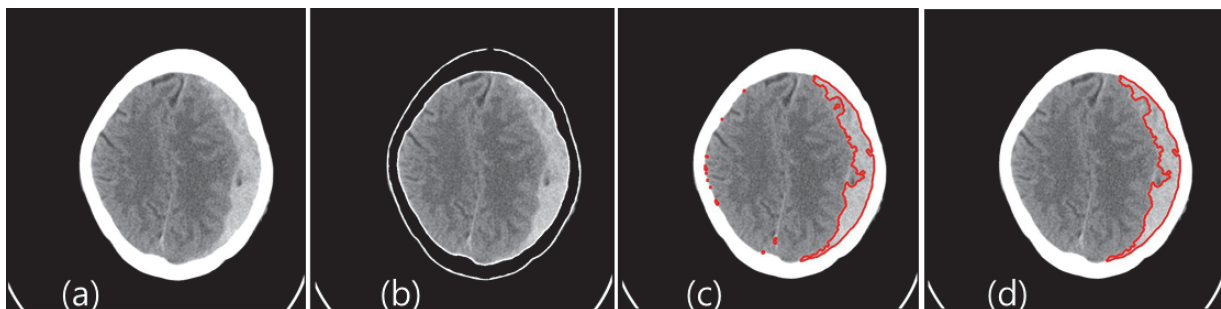


Fig. 2. Preprocessing for automatic initial value and Automatic segmentation result.
 (a) original image, (b) skull removal, (c) candidate site, (d) final hematoma border

$$f(x,y) = -E_{ext}(x,y) \quad (4)$$

$V(x,y) = [u(x,y), v(x,y)]$ 일 때,

$$E = \iint \lambda(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + \nabla f^2 V - \nabla f^2 dx dy \quad (5)$$

분할된 경계에 대해서만 3차원 모델을 구현하기 위하여 등가곡면(isosurface) 알고리즘^[7]을 적용하였고 matlab[®] s/w를 사용해서 시각화 하였다. 큐브 알고리즘은 제공된 그리드 구조를 기반으로 데이터 세트를 큐브로 분해 한 다음 각 큐브를 검색하여 표면이 특정 큐브와 교차하는지 과정을 거치는데, 큐브 알고리즘으로 부터 개선된 등가곡면 알고리즘은 표면 모양에 대한 정성적 정보뿐만 아니라 해당 표면 내부 또는 아래에 포함된 정량적 정보를 생성할 수 있는 방법을 제시한다.

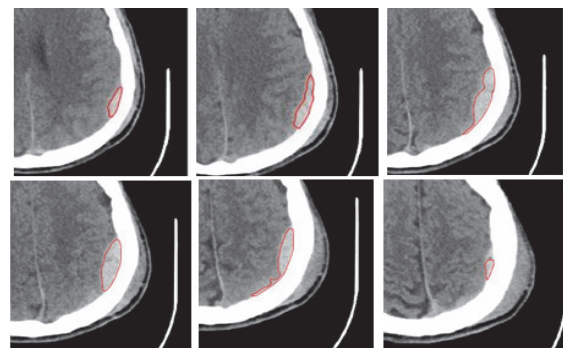
III. RESULT

실험에 사용된 영상의 샘플에 대해서 제시하였다. Fig. 1 - (a), (b), (c), (d)는 케이스 1에 대해서 슬라이스 13, 18, 23, 27번 영상을 보여주고, Fig. 1 - (e), (f), (g), (h)는 케이스 2의 슬라이스 22, 23, 25, 27번에 대한 영상을 보여준다. Fig. 1 - (a)에서 경막하 영역과 두 개 내 영역에서 혈종이 동시에 나타난 것이 보인다. Fig. 1 - (e)에서는 경막외 영역에서 혈종 발생이 보인다.

실험 영상을 대상으로 자동 초깃값 계산을 위한 전처리 및 자동 분할 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 전처리 과정을 거쳐 두개골을 제거하고, GVF 방식의 자동 분할을 위해 자동 초기 값을 제시하였다. GVF의 반복 계산을 통해서 Fig. 2 - (d)의 최종 분할 좌표를 얻었다. 자동으로 계산된 초기 값은 계산량과 오차를 줄여준다. Fig. 2 - (c)와 같이 CT 스캔 시 나타나는 경계 부분의 기하학적 출력 특성상 특정 부분이 밝게 나타나거나 혈관 등으로 수동 분할 시 혈종 부위로 오인하는 경우가 있는데, 본 실험에서는 자동으로 제거 하였다.

초깃값을 활용하여 GVF를 계산하기 위해서는 Fig. 4와 같이 벡터성분을 먼저 계산해야 한다. Fig. 4 - (a)에서는 케이스 1 데이터에 대한 벡터성분 계산 결과를 보여준다. 뇌실 및 혈종 부위에 있어서는 벡터 성분이 거의 표시되지 않고 뇌 실질 영역 부분에서는 벡터 성분이 다양하게 제시되고 있다. Fig. 4 - (b)의 케이스 2 데이터의 경우에도 뇌실 및 혈종 부위의 벡터성분에 표시되지 않고 있다. 벡터가 적게 활성화 된 부분에서 초깃값이 설정 되

었고, GVF 반복 계산 시 경계가 원활하게 가변 될 수 있다. 반복 계산을 통한 최종 경계의 영역을 Fig. 4에서 케이스 2에 대한 뇌 혈종 연속 영상을 제시하였다. Fig. 3 - (a)에서 제시된 영상은 최종 자동 분할 경계에 대한 결과를 보여주며, 경계 부분과 얇은 두께의 혈종 부분에서도 결과가 좋은 것으로 나타났다. Fig. 3 - (b)에서의 이진영상은 최종 좌표로 부터 생성되었다. 뇌 혈종의 영역만을 나타내기 때문에 정량적 분석에 도움이 되고 3차원 출력을 위해서도 사용된다.



(a) The bleeding area is marked with a red line



(b) The hematoma area is presented as a binary image

Fig. 3. Automatic boundary extraction results for hematoma areas in continuous images (data2).

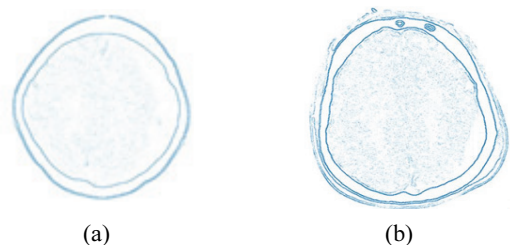


Fig. 4. Vector components for GVF iterative calculations.

이진영상으로부터 뇌 혈종 부위에 대한 3차원 모

텔링 영상의 결과를 Fig. 5에 제시하였다. 데이터 1의 Fig. 5 - (a), (b) 투시 상에서 혈종 부위가 상단

하단에는 좁고 중간 부위가 넓게 있어서 혈종이 시작된 곳으로 판정된다.

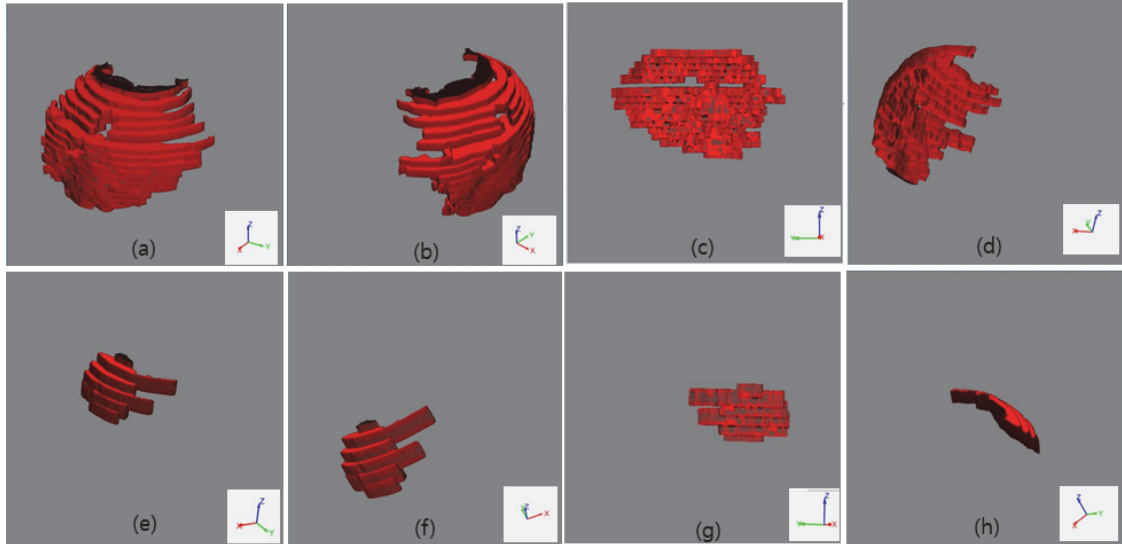


Fig. 5. 3D modeling images of cerebral hematoma area.

Fig. 5 - (c), (d) 투시 상에서 혈종이 중간에서 시작되어 상하부로 확산 되고 있는 것이 확인된다. 데이터 2의 Fig. 5 - (e), (f), (g), (h) 투시 상에서 혈종부위가 상단 측방으로 빠르게 확산하고 있으며, 중간 영역에는 혈종 면적이 가장 많고, 혈종이 측면으로 확산 중이다. 하부에서는 혈종의 확산이 약하게 나타났다.

Fig. 6에서 자동 분할 과 수동 분할 방법에 대해 소요 시간을 비교하였다. 케이스 1을 예를 들어 단순비교를 하였고 경향에 대해서만 제시를 하였다. 실험 결과 자동 분할이 수동 분할 보다 약 70% 시간 절약을 할 수 있었고, Fig. 5와 같이 정확성도 높게 나타났다.

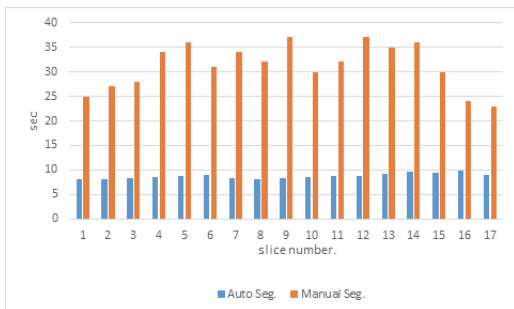


Fig. 6. Comparison of automatic and manual segmentation times for cerebral hematoma areas.

IV. DISCUSSION

컴퓨터단층검사 영상은 출혈 판독 시 확산 방향 및 분포 정도를 주관적 해석하고 있다. 컴퓨터단층검사의 장점을 극대화하기 위해서는 자동화된 정량 지표 및 3차원 모델과 같은 보조적 기술 개발은 필수적이라 판단한다.

Fig. 6의 영상 분할 시간 제시 값에 대해서 단일 케이스에 대한 결과를 제시하였다. 비교 데이터 수가 부족하지만 추세 정보만을 제시하는데 목적을 두었다. 수동 분할의 결과는 사람의 숙련도에 따라 결과는 더 차이가 나타낼 수 있고 분할 시간에도 영향을 받을 수 있다. 본 연구와 관련된 기술이 더 발전한다면 일관성, 정확성, 처리시간 등에서 유리한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

향후 연구에서는 집단으로 정확성 및 계산시간에 대해서 수동 분할과 비교를 할 계획이다. 계산 시간 비교에 있어 본 실험의 단편적인 결과와 오차는 있을 수 있으나 자동 계산의 우수성을 확인하는데 중점을 두었다.

본 실험에서는 혈종의 형태에 대해서, 초기 개발 단계로 적합하다고 판단하여 비교적 간결한 형태

의 데이터를 선별하여 개발을 진행하였다. 향후 연구에서는 복잡도가 강한 데이터를 추가로 확보하여 제시된 방법으로, 집단 실험을 할 계획이고 최적화에 대한 연구를 할 계획이다.

V. CONCLUSION

뇌출혈에 따른 혈종을 자동 분할하고 3차원으로 모델링하고자 하였다. 혈종의 경계에 대해서 정확히 분할하였고, 얇고 작은 혈종부분에서도 좋은 결과를 얻었다. 3차원 모델은 여러 방향으로 투사가 가능해서 뇌출혈에 대한 추가 정보를 획득 할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 평면정보와 3차원 모델은 보조적인 진단자료로서 의료진에게 큰 도움을 줄 것으로 판단한다.

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

Reference

- [1] C. C. Liao, F. Xiao, J. M. Wong, I. J. Chiang, "Computer-aided diagnosis of intracranial hematoma with brain deformation on computedtomography", *Computerized medical imaging and graphics*, Vol. 34, No. 7, pp. 563-571, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2010.03.003>
- [2] T. Chan, "Computer aided detection of small acute intracranial hemorrhage on computer tomography of brain", *Computerized medical imaging and graphics*, Vol. 31, No. 4, pp. 285-298, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2007.02.010>
- [3] S. Y. Choi, S. S. Kang, C. S. Kim, J. H. Kim, D. H. Kim, S. Y. Ye, S. J. Ko, "Intracerebral Hemorrhage Auto Recognition in Computed Tomography Images", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 141-148, 2013.
- [4] M. Aromatario, A. Torsello, S. D'Errico, G. Bertozzi, F. Sessa, L. Cipolloni, B. Baldari, "Traumatic Epidural and Subdural Hematoma: Epidemiology, Outcome, and Dating", *Medicina (Kaunas)*, Vol. 57, No. 2, pp. 125, 2021.
<http://dx.doi.org/10.3390/medicina57020125>
- [5] J. R. Junior, A. Andrade, L. Yeng, E. Koterba, E. Figueiredo, G. Lepski, M. Teixeira, "Epidural Hematoma: A Prospective Analysis of Morbidity and Mortality in 173 Patients", *Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery*, Vol. 34, No. 1, pp. 20-24, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1547391>
- [6] M. Hssayeni, "Computed Tomography Images for Intracranial Hemorrhage Detection and Segmentation", *PhysioNet*, 2019. <https://doi.org/10.13026/g1kq-sc84>
- [7] J. J. Hare, J. Grosh, C. E. Schmitt, "Volumetric measurements from an isosurface algorithm", *SPIE Digital Library*, Vol. 3643, 1999.
<https://doi.org/10.1117/12.342836>
- [8] Matlab EXPO, From URL; <https://kr.mathworks.com/>
- [9] M. Mustafa, N. A. O. Rashid, R. Samad, "BreAst Cancer Segmentation Based On GVF snake", 2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), pp. 928-931, 2014.
<https://doi.org/10.1109/IECBES.2014.7047647>
- [10] W. Bingrong, X. Mei, L. Guo, G. Jingjing, "Medical Image Segmentation Based on GVF Snake Model", 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 637-640, 2009.
<https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.159>

기울기 벡터 플로우를 이용한 뇌출혈의 3차원 모델링

최석윤*

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

요약

뇌손상에서 생존자의 경우 지속적인 장애를 유발하고 뇌출혈에 따른 경막외 혈종(EDH) 및 경막하 혈종(SDH)은 주요 임상 질환 중 하나라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 컴퓨터단층검사(CT; Computed Tomography) 영상을 기반으로 뇌출혈에 따른 혈종을 자동 분할하고 3차원으로 모델링하고자 하였다. 혈종의 자동 분할을 위해서 개선된 GVF(gradient vector flow) 알고리즘을 구현하였다. 영상으로부터 경사 벡터를 계산과 반복계산을 거친 후 자동 분할을 하고 분할 좌표를 이용해서 3차원 모델을 생성하였다. 실험결과, 혈종의 경계에 대해서 정확하게 분할 성공하였다. 경계 부분과 얇은 혈종부분에서도 결과가 좋은 것으로 나타났고, 3차원 모델을 통해서 여러 방향에서 혈종의 강도, 확산 방향, 면적 등을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발한 뇌출혈 부위의 평면정보와 3차원 모델은 의료진에게 보조적인 진단자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

중심단어: 컴퓨터단층검사, 경막외 혈종, 경막내 혈종, 영상분할

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	최석윤	부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과	교수