

복부 CT 영상에서 비장 비대 탐지를 위한 웨이브 패턴의 자동 분리 및 분석

성 원^o, 강동구^{*}, 조준식^{**}, 박종원^{***}, 나종범^{*}

^{*} 한국과학기술원 전자전산학과

{wseong^o, dgkang}@issserver.kaist.ac.kr jbra@ee.kaist.ac.kr

^{**} 충남대학교 의과대학 영상의학과, ^{***} 정보통신공학과

jscho@cnu.ac.kr jwpark@crow.cnu.ac.kr

Wave Pattern Analysis for Detection of Splenic Enlargement in Abdominal CT Imaging

Won Seong^o, Dong-Goo Kang^{*}, June-Sik Cho^{**}, Jong-Won Park^{***}, Jong Beom Ra^{*}

^{*}Dept. of EECS, Korea Advanced Institute of Science and Technology

^{**}Dept. of Diagnostic Radiology, Chungnam National University

^{***}Dept. of Info. and Comm. Eng., Chungnam National University

요 약

간경변을 보유한 환자의 복부 CT 영상을 관찰한 결과 비장의 웨이브 패턴(wave pattern)이 정상간을 보유한 사람의 복부 CT 영상과 차이가 있음이 발견되었다. 한편 간경변에 동반된 비장은 일반적으로 비대한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 두가지 원리를 바탕으로, 복부 CT 영상에서 비장의 웨이브 패턴을 이용하여 비장 비대를 효과적으로 진단하는 새로운 방법을 제시한다. 제안된 방법에서는 단순히 비장의 크기만을 이용하지 않고 비장의 형태 변화를 바탕으로 국소적 비장 비대의 자동 판정을 효과적으로 수행할 수 있음을 입증하였다.

1. 서론

비장 비대(splenic enlargement)는 그 비장을 보유하고 있는 환자가 비정상 복부를 보유하고 있다는 것을 말해준다[1-9]. 그러나, 비정상 복부를 가진 환자의 경우에 비장의 비대가 보이지 않는 경우[10]도 많다. 반대로 정상간을 가진 사람의 비장의 크기가 비정상적으로 비대해진 것이 아니라 원래부터 큰 경우도 있다. 즉, 비장 비대 측정에 있어서 비장의 크기만의 측정은 절대적인 것이 아니며 정확한 진단이 어렵다. 그래서, 방사선 의사들은 비장의 크기를 살피면서 동시에 비장의 형태나 모양 등을 병행하여 자신들만의 방법과 기준으로 최종 정상 여부를 진단한다.

일반적으로 간경변에 수반된 비장은 비대한 것으로 알려져 있다. 본 연구는 간경변을 보유한 환자의 복부 CT 영상을 관찰한 결과 비장의 웨이브 패턴(wave pattern)이 정상간을 보유한 사람의 복부 CT 영상과 차이가 있음을 발견하였다. 간경변을 가지고 있는 환자의 복부 CT 영상에서 비장은 그림 1처럼 왼쪽 측면에 깊은 웨이브 부분이 존재하였다. 정상간의 경우에도 왼쪽 측면에 웨이브가 존재하기도 하나 깊이가 깊지 않음을 알 수 있다. 그러므로, 간경변을 가진 비장의 웨이브 부분들의 면적의 합이 정상간을 가진 비장의 웨이브 면적보다 크다는 것을 알 수 있다. 나아가, 간경변을 보유한 영상에서 비장의 웨이브 부분을 추출하여 원형성(circularity)을 살펴보았을 때 정상간에 수반된 비장의 웨이브 부분보다 더 원형에 가깝다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 위와 같이 관찰된 원리를 바탕으로 복부 CT 영상에서 비장의 웨이브 패턴을 이용하여 비장의 비대를 효과적으로 진단하는 새로운 방법을 제시한다. 먼저 복부 CT 영상에서 위치 정보 이용을 강화하고 각도선 기법을 이용하여 비

정상 간과 비장을 자동 분리, 추출하였다. 이 기법은 정상 간을 보유한 영상에도 적용되어 정상 간과 비장 또한 자동 분리, 추출할 수도 있다. 비장을 자동 분리한 다음엔 두 가지 비장 비대 진단 테스트를 행한다.

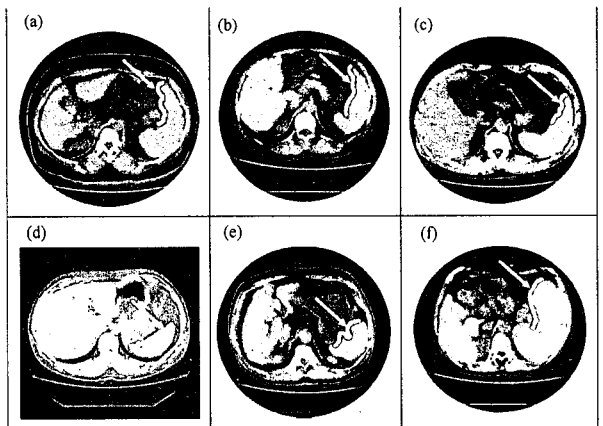


그림 1. 웨이브 패턴을 가지고 있는 비장의 예들, 여기서 화살표는 비장의 왼쪽 측면을 가리킨다. (a)(b)(c) 웨이브 패턴을 가지고 있는 비장을 (간경변), (d) 웨이브 패턴을 갖지 않는 비장 (정상간), (e) 국소 비장 비대적인 웨이브 패턴을 갖는 비장 (간경변), (f) 비대와 웨이브 패턴을 갖는 비장 (간경변)

2. 관련 연구

본 장에서는 복부 CT 영상을 통해 비장의 비대를 측정하는

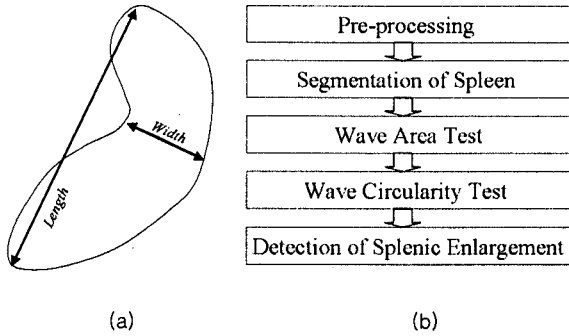


그림 2. (a) 비장 비대의 측정. (b) 자동 진단의 전체 처리 순서.

기존의 수동 방법을 설명한다. 그림 2(a)는 비장을 이용하여 어떻게 비장의 길이(length)와 폭(width)이 측정되는가를 보여 준다. 비장의 길이는 비장 맨 위 반원(dome)으로부터 비장 끝 단까지의 거리로 측정되고 비장의 폭은 비장의 중앙 잘록하게 들어간 지점부터 비장의 오른쪽 중앙부분까지의 거리로 측정 된다. 각 측정은 밀리미터 단위로 세 차례 정도 행해진 후 그 평균값으로 정해지게 된다. 그러나, 기준을 제시하는 전문가들 마다 비장 비대의 기준이 다른 것으로 알려져 있다[3][5].

3. 방법

본 시스템은 리눅스 운영체제, GNU C, X 윈도우, XV 이미지 뷰어 등의 환경을 이용하여 개발되었다. 본 시스템의 전체적인 자동 절차를 그림 2(b)에서 보여준다. 여기서, 전처리(Pre-processing) 단계는 배경 제거, 근육 제거 등으로 이루어진다.

3.1 비장(spleen)의 분리

간경변 등을 가지고 있는 비정상간과 함께 존재하는 비장은 간과 마찬가지로 불규칙한 모양 값 분포를 보이므로 단순히 모양 값 정보만을 이용해서는 제대로 된 분리가 이뤄지지 않는다. 그리하여, 본 논문은 중점으로 정한 한 픽셀의 좌표로부터 시작하여 360도로 각도선을 사방으로 퍼뜨리며 만나는 픽셀들을 간 부분으로 처리할 것인지 아니면 간 이외의 부분으로 간주할 것인지를 정한다. 비장에 대한 각도선 방법의 적용은 간의 각도선 방법과 동일하며 탐색을 시작하는 시작점의 위치만 다르다. 그림 3은 비장의 자동 분리와 추출된 웨이브들의 예를 보여준다.

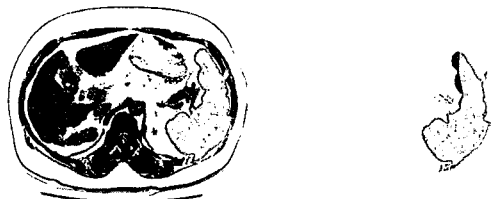


그림 3. 비장의 자동 분할과 웨이브들의 추출

3.2 웨이브 면적 테스트

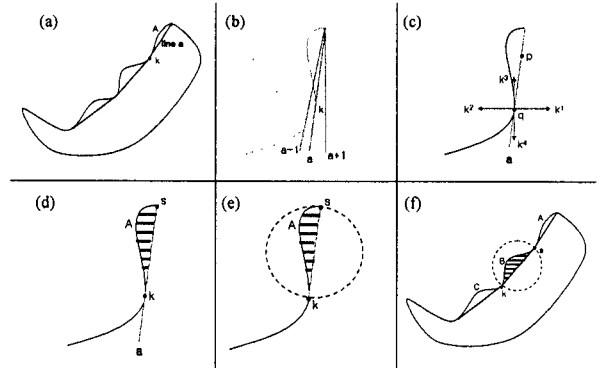


그림 4. (a) 첫번째 웨이브 부분 추출의 예 (b) 접선(tangential line) 구하기 (c) 접선으로부터 비장에 대한 점정 구하기. (d) 첫번째 웨이브의 면적 A 구하기 (e) S와 K의 연결선을 지름으로 하는 원 (f) 두번째 웨이브에서의 원형성 계산

웨이브 면적 테스트는 추출된 비장의 웨이브 부분들을 자동 추출하여 픽셀들의 개수로써 면적들의 합을 구한 후 실험으로 미리 정해진 기준 값을 기준으로 정상 간인지 간경변을 보유한 비정상 간인지를 판별하게 된다. 분리된 비장은 그림 4(a)의 예처럼 웨이브 부분들을 추출하는 절차를 따르게 된다. 먼저 비장의 맨 윗부분의 중점으로부터 시작하여 첫번째 웨이브의 꼭지점 K까지 직선으로 연결하는 line a를 만든다. 이것은 웨이브 부분 A의 면적을 계산해 내기 위한 기준선을 잡는 것이다. 웨이브 A의 면적을 구한 다음엔 다시 K의 좌표가 시작점이 되어 두번째 웨이브를 구하기 위하여 새로운 꼭지점까지 기준선을 만들게 된다. 이와 같은 방식으로 세번째 웨이브까지 처리하게 된다. 이 때 웨이브 꼭지점 K를 구하기 위한 절차는 다음과 같다.

첫째, 웨이브의 맨 윗부분 중점으로부터 비장에 접하는 접선(tangential line)을 구한다. 그림 4(b)에서 a, a-1, a+1은 세 각도선이다. 이 때, a-1과는 일정 수 이상의 길이 차이를 보이면서 a+1과는 큰 길이 차이를 보이지 않는 각도선 a가 있으면 a는 비장 표면에 접하는 접선이다.

둘째, 접선을 구한 후 그 접선을 이루는 점들 중 K^1, K^2, K^3, K^4 방향으로 점점의 조건을 만족하는 점점 K를 찾는다. 그림 4(c)의 예에서 위와 같은 조건을 만족하는 점 q는 웨이브의 꼭지점 K가 되는 것이고 점 p는 조건을 만족할 수 없으므로 웨이브의 꼭지점이 될 수 없다.

첫번째 웨이브의 꼭지점 K를 구한 후엔 비장의 맨 위 중점 S를 시작으로 꼭지점 K를 연결하는 연결선을 기준으로 그림 4(d)처럼 첫번째 웨이브의 면적 A를 구한다. 면적 A를 구하기 위해서는 시작점 S와 K를 연결하는 각도선 a보다 작은 각도를 가지는 모든 각도선들의 구성점들을 조사하여 비장의 모양값을 가지는 점들의 개수를 더하면 된다. 첫번째 웨이브의 면적을 구한 후엔 두번째 웨이브의 면적을 구한다. 두번째 웨이브 면적을 구하기 위해서는 첫번째 웨이브의 꼭지점 K를 두번째 웨이브의 시작점 S로 정하고 첫번째 웨이브 면적을 구하기 위하여 행하였던 절차를 반복하면 된다. 이와 같은 순서로 두번째 웨이브의 면적도 구한다. 세번째 웨이브에도 같은 동작을 반복한다.

3.3 웨이브 원형성 테스트

첫번째 웨이브의 예를 통하여 원형 계산 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다. S와 K의 점을 잇는 각도선을 기준으로 면적을 구한 후 다음 웨이브로 이동하기 전에 원형성 테스트를 행하게 된다. S와 K를 잇는 각도선이 웨이브의 면적을 구하는 기준선이 되어서 ROI를 형성하였는데, 바로 이 S와 K를 잇는 선분이 웨이브의 원형성을 계산하기 위한 기본 지름이 된다. 그림 4(e)에서 보여주는 것처럼 S와 K를 잇는 선분을 가상 지름으로 하여 만들어진 가상의 원(circle)을 생각할 수 있다. 이때 원의 반지름과 전체 원의 면적은 반지름을 이용하여 구할 수 있다. 이상에서 구어진 원의 면적을 이용하여 첫번째 웨이브의 원형 정도를 계산할 수 있다. 식 (1)은 한 웨이브의 원형 정도를 계산하는 방법을 보여준다.

$$\text{원형 정도} = (\text{웨이브 A의 면적} \times 2) \times 100 / \text{원의 면적} \quad (1)$$

첫번째 웨이브에 대한 원형성 계산이 끝나면 두번째 웨이브의 접선과 접점을 구하고 웨이브 면적을 구한 후 그림 4(f)처럼 다시 두번째 웨이브에 대한 원형성 계산을 행한다. 순서대로 계산된 결과값은 판정 기준에 따라 정상, 비정상 간을 판정하는데 사용된다.

4. 실험 결과

일반적으로 간경변을 가진 경우에 비장이 비대한 것으로 알려져 있다. 본 논문은 비장 비대 측정을 위하여 최종 정상간을 가진 32 case와 간경변을 가진 것으로 판정된 32 case를 합하여 전체 64 case의 복부 CT 영상으로 실험을 행하였다. 각 case는 약 17장의 슬라이스 영상으로 되어 있고 각 슬라이스 영상은 512 x 512 픽셀 크기로 되어 있다. 우리는 충남대학교 병원에서 DICOM 파일 형식으로 이 영상 파일들을 구하여 실험을 행하였다. 실험에 사용하는 64 case 복부 CT 영상들의 간경변 여부는 방사선 의사들에 의해서 미리 판정된 결과이다.

본 실험의 결과를 통하여 우리는 간경변을 보유한 영상과 정상간을 보유한 영상의 차이점을 발견하였다. 간경변을 보유한 영상은 비장에서의 유효 웨이브의 면적의 합이 1000 픽셀 이상이고 1000 픽셀보다 작은 700에서 900의 경우에는 35% 이상의 원형 정도 평균을 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 간경변을 보유하지 않은 정상간을 보유한 영상에서는 비장의 유효 웨이브 면적 합이 1000 픽셀을 넘지 못했고 간경변 보유 비장에서와 같은 700 이상의 면적 크기를 갖는 경우에는 25% 이하의 원형 정도 평균을 보이는 것으로 나타났다. 그리하여, 본 논문은 실험을 통하여 case를 구성하는 여러 슬라이스 영상 중에서 비장의 크기가 큰 3장을 선별하여 그 영상 안의 비장의 유효 웨이브 면적의 합이 700 이상이고 웨이브 원형 정도 평균이 35% 이상이면 간경변 보유 판정을 내릴 수 있음을 밝혔다. 표 1은 최종 간경변 보유 판정된 32 case를 비장 크기, 웨이브 패턴 테스트의 두가지 항목으로 비교한 결과를 보여준다.

표 1. 간경변 판정된 영상에서의 두 진단법의 비교

진단 방법들	만족 cases	Rates	Probability
Spleen size	18	18 / 32	56.2%
Wave pattern test	30	30 / 32	93.7%

5. 결론

방사선 의사들이 복부 CT 영상을 통하여 비장 비대를 진단하는 방법으로 비장의 크기만을 측정하는 방법은 효과적인 것이 아니다. 본 논문은 복부 CT 영상에서 비장의 웨이브 패턴을 이용하여 비장 비대를 효과적으로 진단하는 새로운 방법을 제시한다. 이 방법은 간경변을 가진 영상에서 비장의 웨이브 부분들의 면적의 합이 정상간을 가진 영상에서 비장의 웨이브 면적보다 크다는 원리와 간경변을 보유한 영상에서 비장의 웨이브 부분이 정상간에 수반된 비장의 웨이브 부분보다 더 원형에 가깝다는 원리를 이용한 기법이다.

본 논문에서는 이 기법을 이용하여 간경변을 보유한 간을 나타내는 복부 CT 영상으로부터 효과적으로 비장 비대를 자동 판정할 수 있었다. 이는 비장 비대의 측정에 있어, 비장의 체적이나 크기가 정상 범위라 할지라도, CT 상 비장의 모양이 웨이브 형태를 보이면 국소적 비장 비대일 가능성이 높음을 증명해 주는 것이다.

알리는 글

이 논문은 2005년도 한국과학기술원 BK21 정보기술사업단에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] P. Lamb, A. Lund, R. Kanagasabay, A. Martin, J. Webb, R. Reznek, "Spleen size: how well do linear ultrasound measurements correlate with three-dimensional CT volume assessments?," Br. J. Radiol. 75(895), pp. 573-577, 2002.
- [2] P. Prassopoulos, D. Cavouras, "CT assessment of normal splenic size in children," Acta Radiol. 35(2), pp.152-154, 1994.
- [3] P. Prassopoulos, M. Daskalogiannis, M. Raissaki, A. Hatjidakis, N. Gourtsoyannis, "Determination of normal splenic volume on computed tomography in relation to age, gender and body habitus," Eur. Radiol. 7(2), pp.246-248, 1997.
- [4] A. Schlesinger, C. Hildebolt, M. Siegel, T. Pilgrim, "Splenic volume in children: simplified estimation at CT," Radiology.193(2), pp. 78-580, 1994.
- [5] R. Groell, L. Machan, G.J. Schaffler, M. Uggowitz, K.H. Peichel, "Morphometric measurement of abdominal organs : Comparison of ultrasound and spiral CT," Acta Radiol. 38(6), pp. 982-985, 1997.
- [6] H. Rosenberg, R. Markowitz, H. Kolberg, C. Park, A. Hubbard, R. Bellah, "Normal splenic size in infants and children: sonographic measurements," Am. J. Roentgenol. 157(1), pp. 119-121, 1991.
- [7] S. Sheth, S. Mani, H. Tamhankar, P. Mehta "Spleen size in health and disease: a sonographic assessment," J. Assoc. Physicians India. 43(3), pp. 182-184, 1995.
- [8] K. Frank, P. Linhart, C. Kortsik, H. Wohlenberg, "Sonographic determination of spleen size: normal dimensions in adults with a healthy spleen," Ultrachall Med. 7(3), pp. 134-137, 1986.
- [9] W. Loftus, C. Metreweli, "Normal splenic size in a Chinese population," J. Ultrasound Med. 16(5), pp. 345-347, 1997.
- [10] L. Arkles., G. Gill, M. Molan, "A palpable spleen is not necessarily enlarged or pathological.," Med. J. Aust. 145(1), pp. 15-17, 1986.