

Application of Texture Feature Analysis Algorithm used the Statistical Characteristics in the Computed Tomography (CT): A base on the Hepatocellular Carcinoma (HCC)

Jueun Yoo*, Taesung Jun*, Jina Kwon*, Juyoung Jeong*, Inchul Im*, Jaeseung Lee*, Hyonghu Park**,
Byungjoon Kwak***, Yunsik Yu*

*Department of Radiological Science, Dongeui University**, *Department of Radiology, Bongseng Memorial Hospital***,
*Department of Public Health, Daegu Hanny University****

전산화단층촬영 영상에서 통계적 특징을 이용한 질감특징분석 알고리즘의 적용: 간세포암 중심으로

유주은*, 전태성*, 권진아*, 정주영*, 임인철*, 이재승*, 박형후**, 곽병준***, 유윤식*

동의대학교 방사선학과*, 봉생병원 영상의학과**, 대구한의대학교 보건학부***

Abstract

In this study, texture feature analysis (TFA) algorithm to automatic recognition of liver disease suggests by utilizing computed tomography (CT), by applying the algorithm computer-aided diagnosis (CAD) of hepatocellular carcinoma (HCC) design. Proposed the performance of each algorithm was to comparison and evaluation. In the HCC image, set up region of analysis (ROA, window size was 40×40 pixels) and by calculating the figures for TFA algorithm of the six parameters (average gray level, average contrast, measure of smoothness, skewness, measure of uniformity, entropy) HCC recognition rate were calculated. As a result, TFA was found to be significant as a measure of HCC recognition rate. Measure of uniformity was the most recognition. Average contrast, measure of smoothness, and skewness were relatively high, and average gray level, entropy showed a relatively low recognition rate of the parameters. In this regard, showed high recognition algorithms (a maximum of 97.14%, a minimum of 82.86%) use the determining HCC imaging lesions and assist early diagnosis of clinic. If this use to therapy, the diagnostic efficiency of clinical early diagnosis better than before. Later, after add the effective and quantitative analysis, criteria research for generalized of disease recognition is needed to be considered.

Key Words : Computer-aided diagnosis (CAD), Hepatocellular carcinoma (HCC), Texture feature analysis (TFA)

요약

본 연구는 전산화단층촬영에서 간 질환의 자동 인식으로 질감특징분석(texture feature analysis, TFA) 알고리즘을 제안하고자 하였으며, 간세포암(Hepatocellular carcinoma, HCC)에 대한 컴퓨터보조진단(computer-aided diagnosis, CAD) 시스템을 설계하고, 제안하는 각 알고리즘의 성능을 평가하고자 하였다. HCC 영상에서 분석영역(40×40 픽셀)

을 설정하고 각 부분영상에 통계적 특징을 이용한 6가지 TFA 파라미터(평균 밝기, 평균 대조도, 평탄도, 왜곡도, 균일도, 엔트로피)비교하여 간세포암 인식률(recognition rate)을 구하였다. 결과적으로 TFA는 간세포암 인식률을 나타내는 척도로 유의함을 알 수 있었으며 6가지 파라미터에서 균일도가 가장 인식률이 높았으며 평균 대조도, 평탄도, 왜곡도가 비교적 높았고 평균 밝기와 엔트로피는 상대적으로 낮은 인식률을 나타내었다. 이와 관련하여 높은 인식률을 보인 알고리즘(최대 97.14%, 최소 82.86%)을 간세포암 영상의 병변을 판별하여 임상의 조기 진단을 보조하여 치료를 시행한다면 진단의 효율성이 높아 질 것으로 판단되었으며, 향후 효율적이고 정량적인 분석을 추가함으로써 질병인식의 일반화에 대한 기준 연구가 필요 할 것으로 사료되었다.

중심단어: 컴퓨터 보조진단, 간세포암, 질감특징분석

I. 서론

간세포암(hepatocellular carcinoma, HCC)은 전 세계적으로 암 사망률 4위를 차지하고 있으며 우리나라의 경우 인구 10만명 당 연간 22.8명이 사망하는 것으로 보고되고 있다^[1-3]. 특히 중앙 생물학적 특성에서 성장과 침윤 등이 빠르고 대부분 만성 간염이나 간 경변(liver cirrhosis)을 동반하고 있어 대부분 상당히 진행된 상태에서 발견되기 때문에 근치적 치료가 난해하며 간 세포에서 기원된 간세포암이 원발 간암의 약 85%를 차지하고 있어 5년 생존율이 9.6% 미만으로 예후가 좋지 않다^[4-5]. 간세포암의 진단은 혈액 중 알파태아단백(alpha-fetoprotein, AFP) 등의 중앙 표지자 검사에 의존하거나 초음파, 전산화 단층촬영, 자기공명영상 등의 영상의학적 검사를 시행하고 있으나 조기 진단예가 어렵다^[6]. 따라서 이러한 문제점에 따른 오진율을 최소화하기 위하여 디지털 의료 영상에 대한 컴퓨터 보조진단(computer-aided diagnosis, CAD) 시스템이 도입되어 다양한 분야의 알고리즘이 상업적으로 개발 및 응용되고 있다^[7].

CAD는 객체 인식(object recognition) 기술을 기반으로 주성분분석(principal components analysis, PCA) 방법, 동적 링크 구조(dynamic link structure), 질감 특징 분석(texture feature analysis), 신경회로망(neural networks)을 이용한 방법으로 세분화되어 연구되고 있다^[8-9]. 여기서 질감(texture)은 화소(pixel)의 일정한 패턴을 의미하는 것으로 영상 분할 및 반복하는 패턴 인식(pattern recognition) 등에 사용되고 있다. 특히 간세포암 CT 영상에서 간세포암의 크기 및 방향, 간세포암 간의 거리

등에 대한 규칙성과 불규칙성은 간세포암의 진행 정도를 판단하기 위하여 매우 중요하기 때문에 영상의 특징을 분석하고 판단하기 위해서는 질감특징분석이 반드시 필요하다^[10].

따라서 본 연구는 CT 영상에서 판독의 제한적 문제를 최소화하고 수치 및 통계적 정보를 전문의에게 제공하여 간세포암의 정확한 진단 및 치료 방향을 제시하기 위하여 질감특징분석을 이용한 통계적 기반의 컴퓨터보조진단 시스템을 제안하고 이를 CT 영상에서 간세포암에 적용하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 통계적 기반의 질감특징분석

본 연구에 사용된 MATLAB Ver.7.4 (R2007a release, MathWorks Inc., USA)는 Microsoft Windows XP 기반의 Borland C++ Builder 6.0을 이용하여 개발되었으며 의료용 디지털 영상 및 통신 표준(digital image communication in medicine, DICOM) 방식의 디지털 의료 영상에 맞는 12 Bit 기반의 질감 특성 추출(texture feature extraction) 프로그램이 개발된 프로그램을 사용하였다. Figure 1은 본 연구에 사용된 정상간 CT 영상(왼쪽)과 간세포암 CT 영상(오른쪽)을 보여준다. 각 픽셀에 대한 질감 특성 추출(texture feature extraction)을 위하여 저자들은 40x40 픽셀 크기로 cut-off된 분석 영역(region of analysis, ROA)을 설정하였다. 간세포의 불규칙성과 다양성이 존재하는 간세포암 CT 영상은 통계적 방법에 의한 특징이 가장 잘 나타나기 때문에 히스토그램을 이용한 통계적 방법으로 간세포암 질환 부

분만을 추출하여 질감 특징을 얻을 수 있었다.

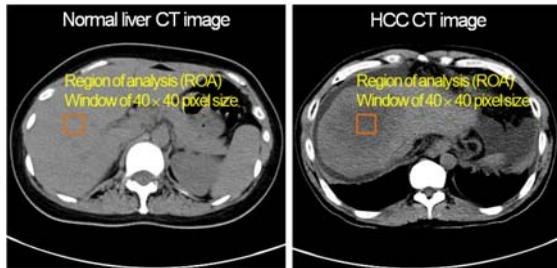


Figure 1. Shows the region of analysis (ROA) for normal and hepatocellular carcinoma (HCC) liver in training images.

질감 특징값으로 사용된 파라미터는 평균 밝기 (average gray level. GLavg), 평균 대조도(average contrast. CONavg), 평탄도(relative smoothness. R), 왜곡도 (Skewness. SKEW), 균일도(uniformity. U), 엔트로피 (entropy. ENT) 이었다^[11].

평균 밝기(GLavg)는 히스토그램의 평균값으로 다음 식(1)과 같이 정의하였다^[11].

$$GL_{avg} = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i) \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

평균 대조도(CONavg)는 측정값들이 평균값으로부터 떨어진 거리이며 측정값의 산포도를 나타내는 표준편차(standard deviation. σ)나 확률 변수(random variable. z)가 측정값으로부터 얼마나 떨어진 곳에 분포하는 정도를 나타내는 분산(variance. σ^2)과 같은 의미를 갖는다. 따라서 평균 대조도는 다음 식(2)와 식(3)으로 정의하였다^[11].

$$CON_{avg} = \sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 \times p(z_i)} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 \times p(z_i) \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

평탄도(R)는 밝기의 상대적인 부드러운 정도를 측정한다. 정규화된 평탄도는 일정한 밝기의 영역에 대하여 0이고, 밝기가 크게 벗어나는 영역에서는 1에 근접한다. 따라서 0과 1의 범위에서 정규화된 평탄도는 다음 식(4)와 같이 정의하였다^[12].

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)} \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

왜곡도(SKEW)는 히스토그램의 비대칭도 측정하는 것으로 분포의 모양(분포가 한쪽으로 치우친 정도)을 나타내는 통계적 척도이다. 따라서 왜곡도는 다음 식(5)와 같이 정의하였다^[13].

$$SKEW = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 \times p(z_i)}{\sigma^3} \dots\dots\dots \text{식(5)}$$

균일도(U)는 주변 회색조(gray scale) 값이 유사함을 의미하며 다음 식(6)과 같이 정의하였다^[13].

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i) \dots\dots\dots \text{식(6)}$$

엔트로피(ENT)는 정보량을 나타내는 척도로서 영상 내의 픽셀(pixel)들 간에는 일반적으로 상관성이 높지만 영상 내의 영역의 복잡도와 상관성은 반비례 관계가 있으며 같은 크기의 영상이라고 할지라도 정보량이 동일하지 않을 것 이라고 예상할 수 있다. 이것은 하나의 화소와 전체 영상에 대해서 적용 가능하므로 평균 정보량의 개념이 도입되어야 한다. 이 평균 정보량을 엔트로피라 한다. 따라서 엔트로피는 다음 식(7)과 같이 정의하였다^[14].

$$ENT = -\sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \times \log_2 p(z_i) \dots\dots\dots \text{식(7)}$$

2. 대상 질환 및 영역의 선정

본 연구에 사용된 영상은 2009년 1월부터 2012년 7월까지 부산 소재 종합병원에 내원한 1,069명의 환자들을 대상으로 간세포암 환자군은 임상 증상, 검사 소견, 간 생검을 종합하여 확진하였으며 정상 대조군은 간 기능 검사 및 HbsAg, anti-HCV, anti-HIV 항목이 모두 정상인 경우로 하였다. 또한 환자의 증례 영상은 영상의학과 전문의의 영상 진단을 토대로 후향적인 증례를 대상으로 하였으며 실험 영상 중 두 개 이상의 질병이 있어 영상에 겹쳐져 나타난 것은 제외하였다. 실험 영상은 고유 영상을 생성시키기 위한 학습 영상으로 정상 영상 35증례(남자 28명, 여자 7명)를 설정하

였으며 테스트영상으로 간세포암 영상 35증례(남자 28명, 여자 7명)를 구분하여 설정하였다. 이 때 간세포암 환자군과 정상 대상군의 평균 연령은 62세였다.

간세포암 CT 영상을 얻기 위해 사용된 장비(SOMATOM Definition, SIEMENS, Germany)는 두 개의 X선관과 두 개의 검출기를 사용하기 때문에 환자의 피폭선량을 줄이면서 빠른 속도로 고 해상도의 영상을 얻을 수 있었다. 각 영상에서 정사각형의 분석영역(40×40 pixel)을 선정하였으며 영상의 중복을 피하기 위하여 각 영상 당 하나만 선택하였다.

III. 결과

Figure 2는 간세포암과 정상 간 영상에 대한 평균 밝기를 보여준다. 평균 밝기는 식(1)에 의한 히스토그램의 평균 밝기로 정의하였기 때문에 간세포암 영상의 평균 밝기가 정상 간 영상의 범위를 벗어나면 질환의 구별이 가능하였다. 정상 간 영상의 평균 밝기는 최대 132.57, 최소 131.41이였으며 간세포암 영상의 평균 밝기는 최대 134.18, 최소 130.12이였다(Table 1). 따라서 평균 밝기를 특징 파라미터로 하였을 때 전체 실험 영상 35 증례에서 정상 간 영상의 평균 밝기 범위를 벗어나는 간세포암 영상은 21 증례로 인식률은 60%로 나타났다.

Figure 3은 간세포암과 정상 간 영상에 대한 대조도를 보여준다. 대조도는 식(2)에 의한 측정값들이 평균값으로부터 떨어진 거리를 의미하기 때문에 정상 영상에 대한 간세포암 영상의 질감특징값 분포가 겹치지 않았을 때 질환의 구별이 가능하였다. 정상 간 영상의 대조도는 최대 76.09, 최소 73.61이였으며 간세포암 영상의 대조도는 최대 73.70, 최소 73.09이였다(Table 1). 전체 실험 영상 35 증례에서 정상 간 영상의 대조도 범위를 벗어나는 간세포암 영상은 32 증례로 인식률은 91.43%로 나타났다.

Figure 4는 간세포암과 정상 간 영상에 대한 평탄도를 보여준다. 정규화된 평탄도는 식(4)에 의해서 일정한 밝기 영역은 1, 밝기가 크게 벗어나는 영역은 0에 근접하기 때문에 두 분포가 겹치지 않고 규칙성이 있는 정상 간 영상은 1, 불규칙성이 있는 간세포암 영상은 1에 근접할수록 질환의 구별이 가능하였다. 정상

간 영상의 평탄도는 최대 0.0779, 최소 0.0772 이였으며 간세포암 영상의 평탄도는 최대 0.0771, 최소 0.0761 이였다(Table 1). 평탄도를 특징 파라미터로 하였을 때 병변 검출의 실험 결과는 35 증례의 정상 영상 결과 범위에 대하여 29 증례의 간세포암 영상이 인식되어 인식률은 82.86%로 나타났다.

Figure 5는 간세포암과 정상 간 영상에 대한 왜곡도를 보여준다. 왜곡도는 식(5)에 의하여 히스토그램 분포가 한쪽으로 치우친 정도를 나타내는 통계적 척도이므로 두 분포가 겹치지 않으면서 히스토그램 분포의 치우친 정도가 클수록 질환의 구별이 가능하였다. 정상 간 영상의 왜곡도는 최대 -0.294, 최소 -0.408 이였으며 간세포암 영상의 왜곡도는 최대 -0.210, 최소 -0.308로 전체 실험 영상 35 증례 중에서 정상 간 영상의 왜곡도 범위를 벗어나고 히스토그램 분포의 치우

Table 1. Comparison results of texture feature analysis (TFA).

| | Pixel values of TFA | | | | | |
|---------|---------------------|-------------|---------|--------|---------|-------|
| | GL_{avg} | CON_{avg} | R | $SKEW$ | U | ENT |
| Maximum | | | | | | |
| NL | 132.57 | 76.09 | 0.0779 | -0.294 | 0.0367 | 5.49 |
| HCC | 134.18 | 73.70 | 0.0771 | -0.210 | 0.0291 | 5.88 |
| Minimum | | | | | | |
| NL | 131.41 | 73.61 | 0.0772 | -0.408 | 0.0323 | 4.94 |
| HCC | 130.12 | 73.09 | 0.0761 | -0.308 | 0.0233 | 4.62 |
| Mean | | | | | | |
| NL | 131.96 | 73.81 | 0.0774 | -0.345 | 0.0344 | 5.19 |
| HCC | 131.89 | 73.33 | 0.0765 | -0.257 | 0.0259 | 5.36 |
| SD | | | | | | |
| NL | ±0.26 | ±0.10 | ±0.0002 | ±0.033 | ±0.0026 | ±0.11 |
| HCC | ±0.99 | ±0.17 | ±0.0033 | ±0.027 | ±0.0031 | ±0.38 |

GL_{avg} : average gray level, CON_{avg} : average contrast, R : relative smoothness, $SKEW$: Skewness, U : uniformity, ENT : entropy, NL : normal liver, HCC : hepatocellular carcinoma, SD : standard deviation.

친 정도가 큰 간세포암 영상은 32 증례로 인식률은 91.43%를 나타내었다(Table 1).

Figure 6은 간세포암과 정상 간 영상에 대한 균일도를 보여준다. 균일도는 식(6)에 의하여 회색조가 동일한 값을 의미하기 때문에 두 분포가 겹치지 않으면서 회색조의 영역이 넓을수록 질환의 구별이 가능하였다. 정상 간 영상의 균일도는 최대 0.0367, 최소 0.0323 이였으며 간세포암 영상의 균일도는 최대 0.0291, 최소 0.0233으로 전체 실험 영상 35 증례 중에서 정상 간 영상의 균일도의 범위를 벗어나고 회색조 영역이 넓은 간세포암 영상은 34 증례로 인식률은 97.14%를 나타내었다(Table 1).

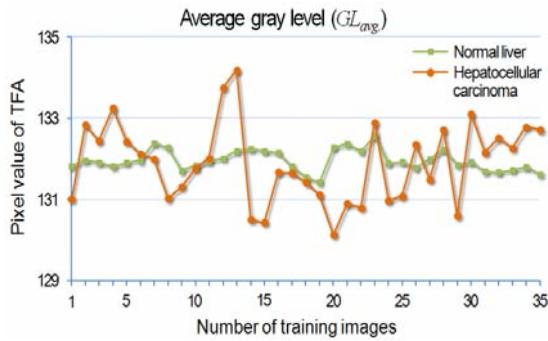


Figure 2. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the average gray level (GL_{avg}) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT image.

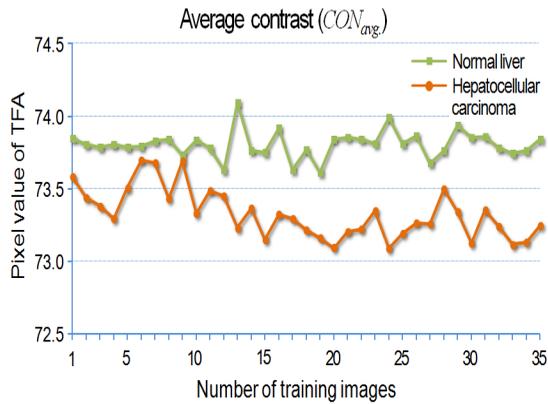


Figure 3. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the average contrast (CON_{avg}) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT image.

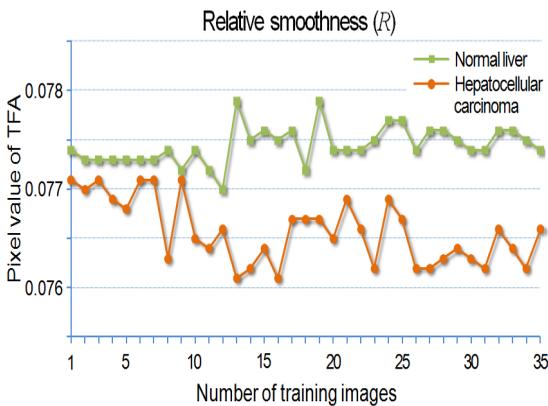


Figure 4. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the relative smoothness (R) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT image.

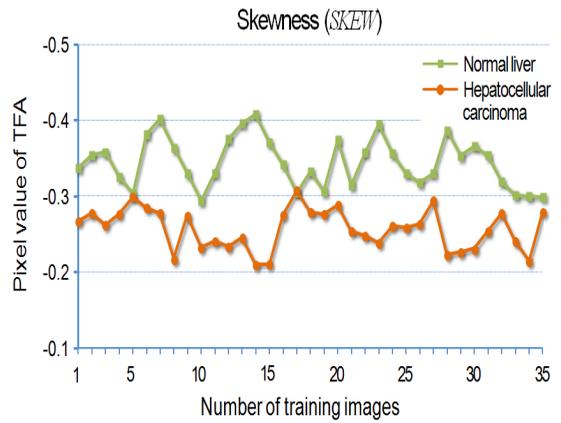


Figure 5. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the Skewness (SKEW) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT images.

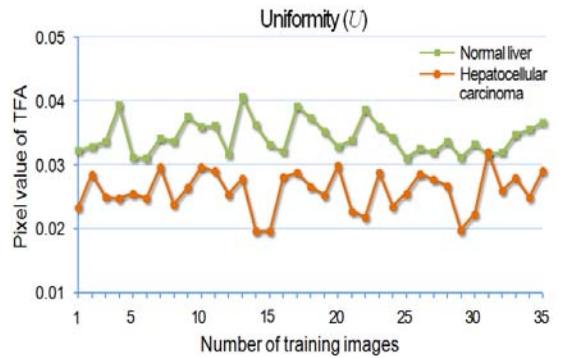


Figure 6. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the uniformity (U) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT images.

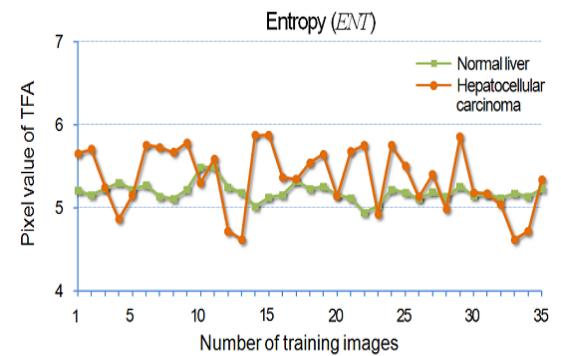


Figure 7. Result of hepatocellular carcinoma (HCC) recognition rate for the Entropy (ENT) in region of analysis (ROA) of normal and HCC liver CT images.

IV. 고찰 및 결론

본 연구는 간세포암 CT 영상에서 질감특징분석(texture feature analysis)을 이용한 컴퓨터보조진단 시스템의 구현 및 조기 진단을 위한 실험적 모형 연구로서 신뢰성 있는 보조적 진단 정보를 제공함으로써 간세포암에 대한 정확한 진단 방향을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 정상 및 간세포암 CT 영상을 실험 영상으로 하여 설정된 분석영역에 대한 통계적 질감특징값을 나타내는 6가지 파라미터를 구하였다.

각 질감특징값에 대한 간세포암 인식률은 실험 영상간 회색조의 분포가 겹치지 않으면서 영역이 넓은 균일도가 가장 크게 나타났으며 간세포암 영상에 대하여 97.14% 인식률을 보였다. 또한 영상의 분산 분포 또는 측정값들이 평균값으로부터 떨어진 거리를 의미하는 왜곡도와 대조도가 비교적 높게 나타났으며 간세포암 영상에 대하여 91.43% 인식률을 보였다. 그러나 간세포 및 간 조직의 특성이 유사한 분석영역에서 통계적 불균형성이 작기 때문에 다른 특징 파라미터에 비하여 밝기 또는 정보량을 나타내는 평균 밝기와 엔트로피는 비교적 낮은 질감특징값을 나타냈으며 약 60% 정도의 간세포암 인식률을 보였다.

본 연구와 관련하여 Liu 등^[15]은 컴퓨터보조진단 시스템의 인식률을 극대화하기 위하여 영상의 스펙트럼 히스토그램을 이용한 질감특징분석을 제안하면서 스펙트럼 히스토그램은 질감을 위한 통계적 기능을 제공한다고 하였다. 또한 Chen 등^[16]은 멀티 스펙트럼(multi-specetrum)에 대한 웨이브렛 변환(wavelet transformation)을 적용한 질감특징분석을 시행하여 다양한 파라미터들과 질환 인식률에 대한 평가를 하였으며 실험 영상간 회색조의 분포를 이용한 균일도와 영상의 분산 분포 및 질감특징값들과 평균값의 거리를 이용한 왜곡도 또는 대조도에서 인식률이 높다고 하여 본 연구와도 일치하였다.

따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 디지털 의료 영상의 컴퓨터자동진단 시스템의 발전된 프로그램을 코딩한다면 일반적인 임상 증례의 자동 검출 및 진단의 예비판독(pre-reading)으로서 1차 질병 진단 자료로서 적용 가능할 것으로 판단되었으며 최종 판독에서 정

확성 및 판독 시간 단축에 유용할 것으로 기대할 수 있었다. 향후 실험 영상의 임상 증례를 증가하여 간세포암 검출 인식률의 신뢰성을 일반화해야 할 것이다. 본 연구는 복부 CT 영상에서 간세포암의 단일 질환에 대한 연구를 진행하였으나 다른 여러 질환이 포함된 간 질환을 판별 및 인식하는 연구도 같이 병행되어야 할 것이다. 또한 복합 질병 및 특이 질환에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- [1] Bosch FX, Ribes J, Díaz M, Cléries R, "Primary liver cancer: worldwide incidence and trends," *Gastroenterology*, Vol. 127, pp.55-516, 2004.
- [2] WHO, "World Cancer Report 2003," World Health Organization, Lyon: IARC Press, pp.67-82, 2003.
- [3] 통계청, "2006년 사망원인 통계연보(시도편)," 서울, pp.259-260, 2007.
- [4] 국립암센터, "한국 중앙 암등록 사업 연례 보고서," 고양, 2003.
- [5] Cheon JH, Park JW, Park KW, Kim YI, Kim SH, Lee WJ, Park HS, Park SJ, Hong EK, Kim CM, "The clinical report of 1,078 cases of hepatocellular carcinomas: National Cancer Center Experience," *Korean J hepatol*, Vol. 10, No. 4, pp.288-297, 2004.
- [6] Giannini EG, Erroi V, Trevisani F, "Effectiveness of α -fetoprotein for hepatocellular carcinoma surveillance: the return of the living-dead?" *Expert Rev Gastroenterol Hepatol*, Vol. 6, No. 4, pp.441-444, 2012.
- [7] De Mello MR, Albuquerque DM, Pereira-Cunha FG, Albanez KB, Pagnano KB, Costa FF, Metzke K, Lorand-Metze I, "Molecular characteristics and chromatin texture features in acute promyelocytic leukemia," *Diagn Pathol*, Vol. 28, No. 7, pp.75, 2012.
- [8] Kandaswamy U, Adjero DA, Schuckers S, Hanbury A, "Robust color texture features under varying illumination conditions," *IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern*, Vol. 42, No. 1, pp.58-68, 2012.
- [9] Selvan S, Ramakrishnan S, "SVD-based modeling for image texture classification using wavelet transformation," *IEEE Trans Image Process*, Vol. 16, No. 11, pp.2688-2696, 2007.
- [10] Beil M, Irinopoulou T, Vassy J, Wolf G, "A dual approach to structural texture analysis in microscopic cell images," *Comput Methods Programs Biomed*, Vol. 48, No. 3, pp.211-219, 1995.

-
- [11] Gletsos M, Mougiakakou SG, Matsopoulos GK, Nikita KS, Nikita AS, Kelekis D, "A computer-aided diagnostic system to characterize CT focal liver lesions: design and optimization of a neural network classifier," *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, Vol. 7, No. 3, pp.153-162, 2003.
- [12] Heller MA, "Texture perception in sighted and blind observers," *Percept Psychophys*, Vol. 45, No. 1, pp.49-54, 1989.
- [13] Kontos D, Ikejimba LC, Bakic PR, Troxel AB, Conant EF, Maidment AD, "Analysis of parenchymal texture with digital breast tomosynthesis: comparison with digital mammography and implications for cancer risk assessment," *Radiology*, Vol. 261, No. 1, pp.80-91, 2011.
- [14] Chen XJ, Wu D, He Y, Liu S, "Study on application of multi-spectral image texture to discriminating rice categories based on wavelet packet and support vector machine," *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, Vol.29, No.1, pp.222-225, 2009.
- [15] Liu X, Wang D, "Texture classification using spectral histograms," *IEEE Trans Image Process*, Vol. 12, No. 6, pp.661-670, 2003.
- [16] Chen XJ, Wu D, He Y, Liu S, "Study on application of multi-spectral image texture to discriminating rice categories based on wavelet packet and support vector machine," *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, Vol. 29, No. 1, pp.222-225, 2009.