

흉부 단순 X선 사진에 있어서 폐의 간질성 음영의 컴퓨터 해석

김 응 규*, 권 영 도*, 이주신**
대전산업대학교 정보통신공학과, 청주대학교 이공대학 전자공학과**
대전시 동구 삼성2동 305-3, 충북 청주시 상당구 내덕동 36
kimeung@hyunam.tnust.ac.kr, ydkwon@hyunam.tnust.ac.kr

Computer Analysis of Pulmonary Interstitial Patterns in Chest Radiographs

Eung-Kyeu Kim*, Young-Do Kwon* and Joo-Shin Lee**

* Dept. of Information Communication Engineering
Taejon National University of Technology
305-3 Samsung-2dong, Tong-Gu, Taejon
** Dept. of Electronical Eng., Chongju University

요 약

흉부 단순 X선 사진에 있어서 폐의 간질성 음영의 특징을 컴퓨터를 이용하여 해석하는 시스템을 구축하여 그 정확도를 검토하였다. 이 시스템에서는 X선 사진을 디지털화 해서 관심영역을 설정하여, 4방향 라플라시안-가우시안 형상필터를 행하여 2차화 한후, 계속해서 선상음영 판정처리 및 선상음영 차분처리를 행해 간질성 음영의 특징을 나타내는 몇가지 물리적인 지표를 계산하였다. 82명의 정상예와 이상예에 대하여 이들 물리적 지표의 ROC 해석을 행하여 간질성 폐질환 변화의 양호한 검출결과를 얻었다.

1. 서 론

흉부 단순 X선 사진의 취급은 방사선과 의사의 일상업무중 매우 자주 접하는 업무이다[1]. 이중에서, 폐의 간질성 음영은 비교적 자주 보게 되는 병의 변화임에도 불구하고, 이를 진단함에 있어서 많은 어려움이 수반되고 있다. 그 이유로서, 간질성 음영의 화상진단에는 패턴의 종류가 다양하거나 음영이 미세하여 그 소견을 기술하는 용어가 일치하지 않는 것 등을 들 수 있다 [2]. 디지털화 한 흉부 단순 X선 사진으로부터 간질성 음영을 정량적으로 해석해서 방사선과 의사의 진단에 유용한 정보를 제공함을 목적으로 하여, 이번 연구에서는 라플라시안-가우시안 형상 필터처리를 한 후, 그 화상에 선상음영 판정처리를 행한다. 간질성 음영특징의 정량적 해석시스템을 사고하여 그 가능성을 검토한 바도 있다[3]. 본 연구에서는 이 시스템을 개량하여 선상음영 이외의 음영도 추출한 시스템을 제안한다. 아울러 그 유용성을 검토하기 위하여 최근 화상 평가에서 많이 사용되고 있는 ROC(Receiver Operating Characteristic) 해석법을 이용한 평가를 행하였다 [4,5].

2. 증상에

2.1. 증상에

평가에는 대학교 부속병원에서 촬영된 82개의 흉부 단순 X선 사진을 이용했다. 모든 증상에 대하여 X선 CT 검사가 흉부 단순 X선 사진을 촬영한 일주간 내에 실시되었다. CT에서 폐영역에 이상소견을 인정하지 아니한 정상예는 41개(남자 18, 여자 23)의 예로, 평균연령은 37.9±13.0세(최고령 70세, 최연소 18세)였다.

CT에서 폐영역에 이상소견을 인정한 이상예는 41개의 예로, CT 또는 임상적으로 간헐적인 간질성 폐질환으로 진단되었다. 그 진단내역은 남자 22예, 여자 19예로 평균연령은 58.1±11.4세(최고령 78세, 최연소 28세)였다.

CT 검사는 GE9800(또는 Quantex)를 사용해서 폐를 slice 두께 1.5mm(또는 2mm), slice gap 15mm로 촬영했고, 촬영후 고분해능 화상을 만들었으며, 정상과 이상의 판정기준에 고분해능 CT(HRCT)를 사용했다. 고분해능 CT는 흉부 X선 단순 사진에 비해 진단 정밀도에 있어서 대단히 높다고 알려져 있다. 입상상 음영에 관해서 Remy-Jardin 등[6]은 흉부 단순 X선 사진에서 이상을 인정치 않은 84예의 진폐증상예에 있어서 고분해능 CT를 사용한 경우, 이것의 30%에 해당하는 소입상상 음영을 인정했다고 한다. 또한, 선상음영과 망목상 음영에 관해서 Schurawitzki 등[7]은 23예의 PSS 병예에 있어서 고분해능 CT는 21예(91%)에 이상을 인정해, 이것의 1/3에 해당하는 벌집모양 음영을 포함하고 있음에 대해, 단순 X선 사진에서는 9예(91%)밖에 이상을 인정치 않았다고 하였다.

고분해능 CT의 독영은 적어도 2명의 방사선과 의사에 의해 독자적으로 실시 되어, 판정에 있어서 합의제로 하여 의견이 일치하지 아니한 증상예는 제외시켰다.

고분해능 CT에 있어서 이상소견은 다양하다. 살포성의 결절음영, 기관지 혈관벽의 불규칙한 두꺼워짐, 흉부막면의 요철과 벌집모양의 음영, 폐영역 농도의 심한 상승 등을 들 수 있다. 폐기종에 관해서는 CT상에서 기종모양의 변화밖에 인정할 수 없는 것은 제외했다. 이상진단은 흉부 X선 사진에 설정된 관심영역(ROI)에 대체로 대응하는 위치의 CT 슬라이스의 3장소를 선택해서 적어도 1 슬라이스에 대해 이상소견을 인정하는 경

우에 행해졌다.

2.2. 간질성 음영 해석시스템의 개요

흉부 단순 X선 사진의 간질성 음영해석 시스템의 개요를 그림1에 나타내며, 각 단계를 아래에 설명한다.

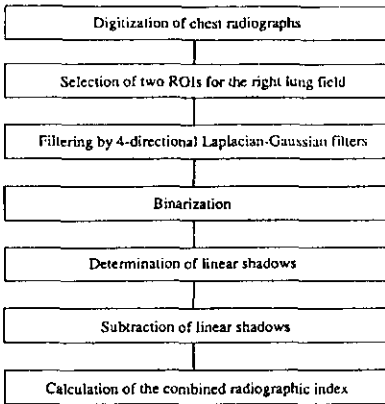


그림1 음영해석 시스템의 개요

1) 흉부 단순 X선 사진을 레이저 스캐너를 사용해서 10bit, 175 μ m의 매트릭스 크기로 디지털화 해서 2000 \times 2000의 디지털 화상을 얻는다.

2) 디지털 화상을 화면에 표시해서 우측폐의 위쪽과 아래쪽 영역에 51.8mm \times 51.8mm(296 \times 296 화소)의 관심영역 2개소를 설정한다(그림2).

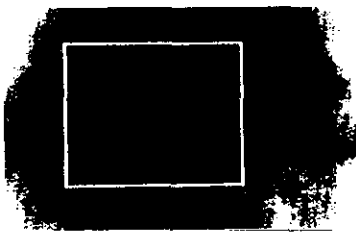


그림2(a) 정상폐

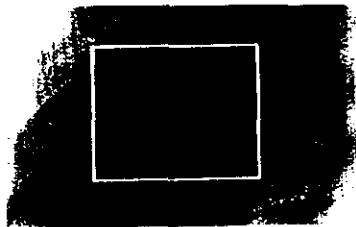


그림2(a) 이상폐

그림2 우측폐 관심영역의 흉부 X선 사진

3) 설정된 각각의 관심영역에 대해서 4 방향 ($\alpha_1=0, \alpha_2=\frac{\pi}{4}, \alpha_3=\frac{\pi}{2}, \alpha_4=\frac{3\pi}{4}$)의 라플라시안-가우시안 형상 필터처리를 행한다. 필터의 식을

나타내면 다음과 같다. α , 방향과의 수직방향을 x축으로 하면,

$$\nabla^2 G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^5} (x^2 - \sigma^2) e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

4) 4 방향의 필터처리 화상을 일정한 경계값에 의해 2치화 한후, 이 2치화 화상을 가산해서 가산화상을 만든다.

5) 필터처리 2치화 화상에 의해 얻어진 각 방향의 성분추출 화상에 대해서 44.8mm \times 44.8mm(256 \times 256 화소)의 관심영역을 설정해서 서어치라인법[8]을 이용한 선상음영 판정처리를 행하여 선상음영의 화상을 추출한다.

6) 라플라시안-가우시안 형상 필터처리 2치화 화상에서 얻어진 화상으로부터 선상음영 판정처리 화상에서 얻어진 2치화 화상을 차분처리 함으로써 선상음영 차분화상을 얻는다. 이러한 방법에 의해 폐혈관 음영과 갈비뼈 음영을 포함한 선상음영을 제거해서, 서어치라인 경계값 이하의 길이가 짧은 입자상 음영등의 화상을 얻게된다.

7) 폐의 간질성 음영의 검출결과를 객관적이고 정량적으로 표시하기 위하여 각 처리화상에서 추출된 음영의 ROI가 차지하는 면적을, 특징량을 나타내는 물리적 지표로서 도입 하였다. 더욱이 병에 사이에서의 값을 비교하기 위하여 정상에 증에서 평가실험에 사용치 아니한 예에서 폐의 위쪽 부분과 아래쪽 부분에 각각 제어군을 만들어, 이 지표를 정규화 하였다. 이 경우 제어군의 정규화 면적률의 평균은 0, 표준편차는 1 이다. 이와같이 얻어진 정규화 면적률을 물리적 지표(radiographic index:D)라 한다. 라플라시안-가우시안 형상 필터처리 2치화 화상으로부터 얻어진 화상을 D_{in} , 선상음영 판정처리 화상으로부터 얻어진 화상을 D_{lin} , 선상음영 차분화상으로부터 얻어진 화상을 D_{sub} 라 한다. 더욱이 D_{lin} 과 D_{sub} 2종류의 물리적 지표로부터 아래의 정의에 의해 통합된 물리적 지표 D_{com} 을 얻는다(그림3).

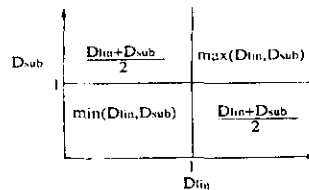


그림3 물리적 지표 $D_{com}, D_{lin}, D_{sub}$ 의 정의

$$D_{com} = \min(D_{lin}, D_{sub}) \quad D_{lin} < 1 \text{ 과 } D_{sub} < 1 \quad (2)$$

$$D_{com} = \max(D_{lin}, D_{sub}) \quad D_{lin} \geq 1 \text{ 과 } D_{sub} \geq 1 \quad (3)$$

$$D_{com} = (D_{lin}+D_{sub})/2, \text{ 그외} \quad (4)$$

화상처리와 화상의 특징량에 관한 해석처리를 위해 TVIP 4100 II EXCEL과 PC-9801 RA를 사용했다.

2.3. ROC 해석

각 처리화상으로부터 얻어진 물리적 지표인 D_{bin} , D_{lin} , D_{sub} 및 통합된 물리적 지표 D_{com} 의 검출성능 평가에는 ROC 해석을 사용했다. 구체적으로 기술하면, 특이도와 같은 TPF(True Positive Fraction)를 종축에, 1-특이도와 같은 FPF(False Positive Fraction)를 횡축으로 하여 곡선을 그린다. 또한 검출성능의 우열의 판단에는 Az(Area under the ROC curve)를 이용했다.

ROC 해석을 행하기 위하여 각 지표범위의 분류를 다음과 같이 정의했다.

$$\begin{aligned} T &= 0 && (D \leq 0) \\ T &= \text{int}(D) && (0 < D < 4) \\ T &= 4 && (D \geq 4) \end{aligned}$$

T는 범위번호 이고, D는 물리적인 지표 및 통합된 물리적인 지표이다. int(D)는 D를 정수화 함을 나타낸다.

ROC 해석은 Metz등에 의해 개발된 ROCFIT를 이용했다 [5]. 이것은 FORTRAN 언어로 기술 되었으며, 퍼스널 컴퓨터상에서 움직이는 ROC 곡선용 프로그램 이다.

3. 결과

선상음영 판정처리와 선상음영 차분처리 결과에서 얻어진 화상을 그림4에 나타낸다. 또한 82예에 대해서 선상음영 판정처리 화상으로부터 얻어진 D_{lin} 과 선상음영 subtraction 화상으로부터 얻어진 D_{sub} 를 그림5에 나타낸다. 이 그림5에서 정상예는 (D_{lin}, D_{sub})가 (0,0) 부근에 분포하고, 이상예는 $D_{lin} > 0$, $D_{sub} > 0$ 에 주로 분포하고 있으나, 이들 2군은 서로 겹쳐 있음을 알 수 있다. 정상예와 이상예의 위쪽폐 영역과 아래쪽폐 영역에 있어서 각 지표의 평균값 계산결과를 표1에 나타낸다. 정상예와 이상예의 각 지표에는 명확한 차이를 확인했다. 더구나 정상예의 각 지표의 평균값은 제어군의 평균값 0에 비해 약간 크지만, 이 2군간에 통계적인 유의도 차를 확인할 수 없었다.

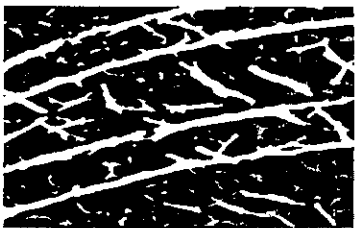


그림4(a) 선상음영 판정처리에 의해 얻어진 정상폐의 ROI 화상

그림4 선상음영 판정처리와 차분으로부터 얻어진 ROI 영역의 처리화상

각 처리화상으로부터 얻어진 D_{bin} , D_{lin} , D_{sub} 및 D_{com} 의 검출성능 평가에는 Az를 이용했다. 우측 위쪽폐 영역과 우측 아래쪽폐 영역에 설정된 각 ROI에 대해서 지표마다 구한 Az를 표2에 나타낸다. 위쪽폐 영역과 아래쪽폐 영역의 어떤 경우에도 Az는 모두 0.9 이상 이었다. 또한 D_{lin} , D_{sub} 인 경우는 어느쪽도 D_{bin} 에 비해 약간 뒤떨어

졌다. 그러나 D_{lin} 과 D_{sub} 에 의해 얻어진 D_{com} 은 D_{bin} 보다 약간 우수했다.

ROC 곡선의 그래프를 그림6에 나타낸다. 각 ROC 곡선은 위쪽폐 영역과 아래쪽폐 영역의 데이터의 합을 이용했다. 4가지 각 지표의 ROC 곡선에서는 D_{com} 이 가장 좌측 위쪽에 위치해 있고, 약간 아래쪽에 D_{bin} 의 ROC 곡선이 위치해 있으며, 이것보다 약간 아래쪽에 D_{lin} , D_{sub} 의 ROC 곡선이 위치하는 결과가 되고 있다.

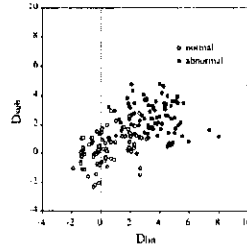


그림5 정상폐와 이상폐의 물리적 지표(D_{bin} , D_{sub})사이의 상관관계

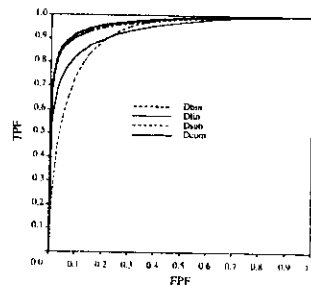


그림6 각 물리적 지표의 ROC 곡선

4. 고찰

본 연구에서는 라플라시안-가우시안 형상 필터처리 2차화 화상, 선상음영 판정처리 화상 및 선상음영 차분처리 화상으로부터 정규화 면적률을 나타내는 물리적인 지표 D_{bin} , D_{lin} , D_{sub} 및, D_{lin} , D_{sub} 로부터 계산된 통합된 물리적 지표 D_{com} 에 대해서 검출성능의 평가를 ROC 해석을 통하여 각 지표의 성능을 비교해 보았다. 본 시스템의 필터처리에 4방향의 라플라시안-가우시안 형상 필터를 이용한 것은 인간의 시각에 관한 생리학적인 식견과 일치하고 있기 때문이다[9].

검출성능의 평가에는 ROC 해석을 이용했다. 일반적으로 감도와 특이도를 이용해서 검출성능을 평가하는 경우가 많다. 그러나 감도와 특이도는 판정기준에 의존하기 때문에 판정기준의 차이에 따라 감도와 특이도가 다른 조합을 발생시켜 판단시에 어려움을 수반하기도 한다. 특히 폐의 간질성 음영의 화질평가와 같이 정상과 이상을 명확히 구별할 수 없는 경우에는 판정기준을 변경함으로써 감도와 특이도는 크게 달라진다.

ROC 해석에서는 이와같은 판정기준에 대한 의존성을 해결하기 위하여 감도와 특이도에 대해 판정기준을 변

화시켜 측정한다. 이렇게 때문에 ROC 해석은 폐의 간질성 음영의 화질평가와 같이 정상과 이상을 명확히 구별할 수 없는 경우에는 감도와 특이도에 비해 유효한 평가 방법이다.

판정기준의 범위수효에 관해서, TP 혹은 FP의 한쪽이 0의 범위가 계속되지 않고, 각 범위에 TP와 FP가 포함됨이 바람직하다고 생각된다. 정상예의 평균은 0.23~0.64 이고 표준편차는 1.10~1.46 이다. 표준편차를 SD라 할 때, 정규분포의 경우에는 $\pm 2SD$ 의 범위에 95.4%가 포함되기 때문에 판정기준의 상한값을 +2SD 정도로 하면 바람직하다고 판단된다. 따라서 상한값은 4로 충분하다고 생각된다. 또한 하한값에 관해서는 이상예의 평균이 2.59~3.90 이고 표준편차가 0.96~1.82 이기 때문에 상한값과 같게 하한값도 -2SD 정도로 하면 하한값은 0로 충분하다고 판단된다. 범위의 폭은 1로 SD와 같다.

Az는 위쪽폐 영역과 아래쪽폐 영역으로 나누어 4개의 지표마다 구하였다. Az는 모두 0.9 이상에서 높은 정확도를 나타냈으나 표1에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 이용한 증상에는 각 지표에 있어서 정상과 이상의 차이가 비교적 확실한 예였던 것도 그 요인의 하나일 것이라고 생각된다.

선상음영 판정처리 화상과 선상음영 차분화상으로부터 각각 얻어진 물리적인 지표 D_{lin} , D_{sub} 는 라플라스안-가우시안 형상 필터처리 2차화 화상으로부터 얻어진 지표 D_{bin} 에 비해서 약간 뒤떨어진다. 또한 그림 6에서도 D_{lin} , D_{sub} 의 ROC 곡선은 D_{bin} 의 ROC 곡선에 비해 아래쪽에 위치하고 있다. 선상음영 판정처리에서는 서어치라인 경계값 이상의 선상음영이 선택적으로 추출되고, 선상음영 차분처리에서는 서어치라인 경계값 이하의 짧은 음영이 선택적으로 추출되고 있지만, 그 어느쪽도 간질성 음영의 일부에 해당된다고 사료된다.

D_{lin} 과 D_{sub} 로부터 얻어진 통합된 물리적 지표 D_{com} 은 D_{bin} 과 비교해서 약간 우수하고, 그림6에서도 ROC 곡선이 약간 위쪽에 위치하고 있다.

각 지표는 어떤것도 매우 높은 정확도를 나타내고 있지만, 4가지 지표중에서 통합된 물리적 지표인 D_{com} 의 정확도가 더욱더 높았다.

본 연구에서 이용한 증상에는 폐의 간질성에 의한 병의 변화가 비교적 심했던 것이 많았기 때문에 각 처리화상에 있어서 지표에 의한 정상예와 이상예가 비교적 명확히 분류되어 Az도 모두 0.9 이상이라는 높은값을 나타낸 결과가 되고 있다. 각 지표에 대한 평가를 보다더 상세히 하기 위하여 흉부 단순 X선 사진에 있어서 간질성 음영이 경미한 증상예를 선택할 필요가 있다고 사료된다. 또한 방사선과 의사의 독영에 의한 평가와의 비교도 필요하다.

본 연구에서의 시스템은 최종적인 진단까지 결정한다는 자동진단 시스템이 아니라, 방사선과 의사의 진단정도를 향상시키기 위한 정보의 제공을 목적으로한 시스템이다. 이러한 시스템을 컴퓨터에 의한 진단지원 시스템(Computer Aided Diagnosis System)이라 한다[10]. 이 시스템은 종래의 texture 해석을 이용한 수법과 비교해서[11~13] 음영을 직접 추출하기 위하여 처리결과

를 방사선과 의사에게 제시할 수 있고, 이를 위해 비교적 큰 ROI(51.8mm×51.8mm)를 설정했다. 또한 ROC 해석의 결과에서도 본 시스템은 CAD 시스템 구축을 위한 기초가 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Mettler FA, "Diagnostic Radiology : Usage and Trends in the United States, 1964-1980", Radiology 162, pp.263-266, 1987.
- [2] Genevex GP, "Pattern recognition in diffuse lung disease", Med. Radiogr. Photogr. 61, pp.2-31, 1985.
- [3] 김응규, "흉부 X선 사진으로부터 간질성 음영추출", 98한국정보과학회 봄 학술발표논문집(B), pp. 631-633, 1998. 4.
- [4] Hanley JA and McNeil BJ, "A Method of Comparing the Areas under Receiver Operating Characteristic Curves Derived from the Same Cases", Radiology 148, pp.839-843, 1983.
- [5] Metz CE, "Some Practical Issues of Experimental Design and Data Analysis in Radiological ROC Studies", Invest Radiol 24, pp.234-245, 1989.
- [6] Remy-Jardin M, Degreef JM, Beuscart R et al, "Coal worker's pneumoconiosis: CT assessment in exposed workers and correlation with radiographic findings", Radiology 177, pp.363-371, 1990.
- [7] Schurawitzki H, Stiglbauer R, Graninger W ET AL, "Interstitial lung disease in progressive systemic sclerosis: High-resolution CT versus radiography", Radiology 176, pp.755-759, 1990.
- [8] Tamura M, Uga M and Ono T, "Straight line extraction for wafer alignment", Proc. IEEE Comput. Vis. and Patt. Recog. 83, pp.285-290, 1983.
- [9] Marr D, Hildreth E, "Theory of edge detection", Proc. of Royal Soc. of London, B, 207, pp. 197-217, 1980.
- [10] MacMahon H, Chan HP, Giger ML et al, "Computer-aided diagnosis in chest radiology", Jour. of Thor. Imag. 5, pp.67-76, 1990.
- [11] Katsuragawa S, Doi k, MacMahon H et al, "Quantitative computer-aided analysis of lung texture in chest radiographs", Radiographics 10, pp.257-269, 1990.
- [12] Sutton RN and Hall EL, "Texture measures for automatic classification of pulmonary disease", IEEE Trans. Comput. 21, pp.667-676, 1972.
- [13] Katsuragawa S, Doi K and MacMahon H, "Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography: Classification of normal and abnormal lungs with interstitial disease in chest images", Med. Phys. 16, pp.38-44, 1989.