

CT 영상을 이용한 체지방의 체적 및 비율 계산

이경민^{0*}, 유강민^{**}, Sreekanta Swamy^{*}, 성윤창^{***}, 노승무^{****}, 조준식^{*****}, 박종원^{*}
 충남대학교 ^{*}정보통신공학과, ^{**}서라벌대학, 의과대학 ^{***}일반외과, ^{****}진단방사선과,
^{*****}버추얼 아이 테크(주)
 {kmlee⁰, gmryu, swamy, ycsung, jwpark}@crow.cnu.ac.kr, {seungnoh, jscho}@cnuh.co.kr

Calculation of the Volume and Ratio of the Fat in CT Image

Kyung-Min Lee^{0*}, Gang-Min Ryu^{**}, Sreekanta Swamy^{R*}, Sung Yun Chang^{***}, Seung-Moo Noh^{****},
 Jun-Shik Cho^{*****}, Jong-Won Park^{*}
 Dept. of ^{*}Info. Comm. Eng., ^{****}General Surgery, ^{*****}Radiology Chungnam University
^{**}Virtual I Tech. Int, ^{***}Dept. of Comp. Info. Sorabol collage.

요 약

본 논문은 CT 영상을 이용하여 체지방과 근육의 체적 및 비율을 분석하는 알고리즘 개발에 대하여 기술한다. CT 영상에는 체지방, 근육, 공기, 뼈 등의 구성성분들이 서로 다른 명암값을 가지고 분포한다. 이 논문에서는 히스토그램을 통하여 각 구성성분에 대한 명암값을 찾아내었다. 찾아낸 명암값에 따라 체지방과 근육 그리고 뼈, 공기에 각각 색을 입혀 시각적으로 표현하여 체지방과 근육의 분포와 비율을 볼 수 있는 환경을 만들고 수치적으로 체적 및 비율의 결과 값을 출력하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 단계적인 체지방 측정 프로그램을 위해 DB 환경을 구축하여 모든 자료를 저장하고 불러올 수 있는 환경을 만들어 체지방 측정 알고리즘을 완성하였다. 알고리즘은 돼지 실험에서 측정된 체지방과 비교하여 정확성을 검증한 결과 약 92.86%의 정확도를 보였다.

1. 서 론

현재까지 개발된 비만 측정기기는 BMI, 캘리퍼, 수중측정, 바이오임피던스등이 있다. BMI는 무게/키² 계산식으로 체지방을 계산하는 가장 단순한 방법이다. 그만큼 정확한 수치와 자세한 정보를 얻을 수가 없다. 집게 모양의 캘리퍼 측정 방법은 전통적인 지방측정 실험으로 지방이 축적되어 있는 특정 신체 부위의 피부를 집어 그 두께를 측정하는 방법이다. 이 방법은 측정기술자에 따라 오차가 발생한다. 수중측정 방법은 물탱크에 몸을 담가 체지방을 측정하는 유체역학적인 방법으로 지방이 근육보다 부력이 있어 뜨기 쉽다는 것을 이용한다. 이때 폐에 있는 모든 공기를 배출하는 것을 요구하며 측정 결과값은 매우 정확하나 측정 방법이 어렵다. 가장 널리 이용되고 있는 바이오임피던스(전압/전류)는 측정자가 몇 볼트의 전기를 가하여 전류를 통과시켜 그 시간을 측정하는 방법으로 다른 사람이 그렇지 않은 사람보다 전하의 차가 크다는 것을 이용한 방법이다. 이 방법의 결과는 높은 정확성을 가지고 있으나 비싼 장비를 요구한다. 나아가, 위와 같은 측정기기는 측정기술자와 측정을 받는 사람에게 다양한 시각적 데이터를 보여주고 있지 못하고 또한 DB화가 되어 있지 않아 장기적인 프로그램에 적합하지 못하다.

CT(Computed Tomography)나 MR(Magnetic Resonance) 영상은 장비의 보편화로 널리 사용되고 있어 이 영상을 이용한 의료 영상 처리 기술은 전문의들에게 있어 치료를 위한 계획과 방법 등을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다.

이에 본 연구는 영상처리 기법들을 이용하여 자동적으로 복부, 다리 CT 영상내의 체지방과 근육의 체적 계산을 행하였다. 또한 이 방법은 복부와 다리 영상뿐만 아니라 모든 부분에 적용할 수 있다.

조영증강제를 사용하지 않은 CT 영상데이터는 여러 가지 명암 값으로 체지방과 근육에 대한 정보를 나타내고 있다. 체지방

은 79-90의 분포로 이루어지고 근육은 82-94의 분포로 구성 되어 있으나, 이 명암값은 체지방과 근육의 순수 명암값이 아닌 공기, 뼈 등의 다른 구성성분과의 혼합된 명암값을 나타내고 있다. 그래서 혼합된 명암값의 비율에 따른 체지방과 근육의 체적 계산 알고리즘을 개발하였고 다양한 시각적인 효과와 전문가로 하여금 다양한 측정을 할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 체계적인 체지방 관리 프로그램에 적합한 알고리즘으로 시간에 따른 단계별 체지방과 근육의 측정을 따른 데이터를 DB화 하여 체지방의 변화를 쉽게 관찰 할 수 있으며 몸무게의 감소가 근육의 감소인지 체지방의 감소인지 판단 할 수 있어 올바른 체지방 관리 프로그램에 적합하다.

본 논문은 2장에서 복부 CT 영상의 특징과 전처리 과정을 먼저 기술한 후, 각 몸의 구성성분에 따른 Coloring 과정과 그리고 특정 부분 체적 계산을 위한 Hand Scribe 과정, 체지방과 근육의 체적계산 과정을 설명하고 3장에서 실험결과를 보이고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 방법

본 연구는 그림1과 같은 과정을 거쳐 CT 영상을 이용한 체지방의 체적 및 비율 계산을 수행한다.

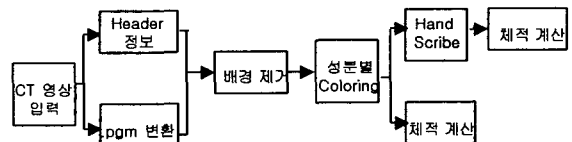


그림 1. 개발된 알고리즘의 순서도

2.1 전처리 과정

2.1.1 CT 이미지의 물리적 특징

CT영상을 처리하기 위해서 .dcm 파일로 되어 있는 원 CT 영상을 .raw파일로 읽어 들인 후 ACR/NEMA2.0에서 정의된 형식에 맞추어서 Header정보를 읽고 Image data 부분은 .pgm 파일로 변환하는 작업을 거친다[1]. 이때 .pgm으로 변환된 파일은 512*512크기의 이미지 파일로써 하나의 픽셀을 표현하는데 8비트를 사용한다. 이 8비트 pgm은 0에서 255까지의 명암값을 가지고 인체의 여러 장기 및 구성성분들이 표현되어 있다.

2.1.2 배경제거

pgm으로 변환된 CT 영상을 분석해 보면 몸통 부분과 네 모서리를 중심으로 명암값 155값을 갖는 부분, 침대와 시트 그리고 공기층으로 구성되어 있다. 몸통을 제외한 부분은 체지방과 근육의 비율을 계산할 때 영향을 줄 수 있기 때문에 사진에 명암값 255로 바꿔줌으로써 배경을 제거한다. 특히 침대와 시트 부분은 체적에도 영향을 줄 수 있기 때문에 선의 Depth와 선과 선 사이의 Distance를 이용하여 제거한다[2]. 이와 같은 배경제거를 통해 체지방과 근육의 체적 및 비율 결과 값의 오차를 줄일 수 있다. 배경이 제거된 영상은 그림2와 같다.



(a)CT 복부 영상 (b)배경제거 (c)CT 다리 영상 (d)배경제거
그림 2. 원 CT 영상(a),(c)와 배경이 제거된 결과 영상(b),(d)

2.1.3 CT영상에서의 명암값 분석

CT영상에서 뼈, 체지방, 근육, 공기등이 일정 영역의 명암값 분포를 가지고 있기 때문에 이 명암값을 이용하여 체지방과 근육의 체적 및 비율 계산이 가능하다. CT 영상의 히스토그램을 통하여 두 Peak 점을 찾아 체지방과 근육의 명암값을 찾고, 그 명암값을 중심으로 체지방과 근육의 분포영역을 시각적으로 색을 변화시켜 찾아내었다[3]. 체지방, 근육, 공기, 뼈의 명암값 분포는 다음 표1과 같다.

표 1. CT 영상에서 구성 성분의 명암 값 분포 범위

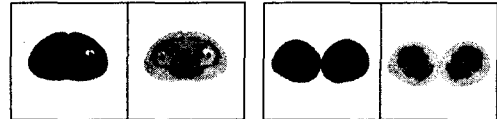
성분	명암값 분포
공기	26 ~ 33
체지방	79 ~ 90
근육	82 ~ 94
뼈	167 ~ 194

2.2 영상 변환

2.2.1 Coloring

CT 영상에서 Coloring은 근육과 체지방의 위치와 분포 그리고 피하지방과 장지지방의 비율을 시각적으로 확인 할 수 있어 수치값으로만 비만의 정도를 측정하는 것보다 올바른 체지방에 관한 측정을 가능케 하는 역할을 해 준다. 아무리 정상적인 체지방 수치 결과가 나올지라도 장지지방이 피하지방에 비해 월등하게 많을 경우 이 사람은 치료의 필요성이 있다. 체지방은 피하지방보다 장지지방이 위험성을 더 많이 가지고 있어 단순한 체지방 수치로는 정확한 진단을 내릴 수 없다. Pixel 명암값 79~90을 갖는 체지방은 순 체지방의 명암값 81을

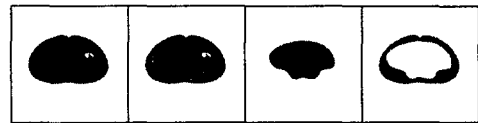
노란색으로 설정하고 채도를 변화 시켜 다른 체지방 Pixel 명암값을 표현한다. 그리고 Pixel 명암값 82~94을 갖는 근육은 순 근육의 명암값 91을 붉은색으로 설정하고 채도를 변화시켜 다른 근육 Pixel 명암값을 표현한다. Pixel 명암값 167~194를 갖는 뼈는 흐린 푸른색으로 나타내고, 명암값 26~33을 갖는 공기는 배경색과 같은 흰색으로 그림 3과 같이 표현하여 CT 영상에 대해서 쉽게 눈으로 근육과 체지방과 공기, 뼈를 구분할 수 있는 Coloring 알고리즘을 구현하였다[4].



(a)CT 복부 영상 (b)Coloring (c)CT 다리 영상 (d)Coloring
그림 3. 원 CT 영상(a),(c)와 Coloring 한 영상(b),(d)

2.2.2 Hand Scribe

전체 CT영상에 대한 체지방과 근육의 체적 및 비율의 수치값보다 특정 부분의 체지방과 근육에 대한 결과값이 필요할 경우가 있다. Hand Scribe는 CT 영상에 흰색의 폐곡선을 그려주는 기능을 제공하여 간이나, 심장 주변의 체지방 량을 알고자 할 때 CT 영상에서 간과 심장 주변에 폐곡선을 그려 그 부분의 체지방과 근육의 체적 및 비율의 결과 값을 얻을 수 있다. Hand Scribe를 이용하여 폐곡선이 그려진 CT 영상은 본 연구에서 개발된 알고리즘에 적용되어 그림4와 같이 폐곡선을 중심으로 안과 밖의 영상이 각각 입력으로 사용된다[5].



(a)CT 복부 영상 (b)폐곡선 삽입 (c)폐곡선 안 (d)폐곡선 밖
그림 4. Hand Scribe를 이용하여 CT 영상 특정 부분 분리

2.3 체적 및 비율 계산

보통 한 사람에 해당하는 CT 영상은 여러장으로 구성된다. 각각의 slice에서 Pixel 명암값으로 체지방과 근육의 Pixel 수를 찾아내고 CT 영상에서 얻어낸 header 정보를 이용하여 체지방과 근육의 체적을 계산하였다. 이때 체적 계산하는 알고리즘 구현을 2가지 방법을 이용하여 그 정확성을 더 높였다. 우선 첫 번째 방법은 절대비율 체적계산 알고리즘으로 체지방 Pixel 명암값 범위 79~86을 100% 체지방의 명암값이라 하고 근육은 87~94의 Pixel 범위를 100% 근육의 명암값이라 하여 Pixel 값을 1이라고 놓고 체적을 계산하는 알고리즘이다[6]. 두 번째 방법은 가변비율 체적계산 알고리즘으로 체지방 Pixel 명암값 범위는 79~90이라 놓고 근육 Pixel 명암값 범위는 82~94로 놓은 후 그 각 Pixel 명암값의 체지방과 근육의 분포비에 따라 각 Pixel의 값을 0부터 1까지 범위의 값으로 놓고 체적을 계산하는 알고리즘이다. 이 두 알고리즘에 사용되는 계산식은 아래와 같다.

가. 절대비율체적계산식

$$V = P_A X \left\{ (P_{s_1} + P_{s_2}) X \frac{1}{2} + \sum_{s=2}^{n-1} P_{s_1} \right\} X D_s$$

나. 가변비율체적계산식

$$V = P_A X \left[\left(\sum_{s=1}^n P_{s_1} X R_s \right) + \right]$$

$$\left(\sum_{j=1}^{F_s} P_{s_j} \cdot X R_j \right) X \frac{1}{2} + \sum_{j=2}^n \left(\sum_{i=1}^{F_s} P_{s_i} \cdot X R_i \right) X D_s$$

- V : 체지방, 근육에 해당하는 체적
- P_A : 한 Pixel의 면적
- P_{S_i} : 슬라이스 j에서의 픽셀수 (1 ≤ i ≤ n)
- R_j : Pixel 명암값 j에 대한 비율 (F_s ≤ j ≤ F_e)
- P_{S_j} : 슬라이스 i에서의 Pixel 명암값 j의 픽셀 수
- D_S : 슬라이스 간 간격
- F_S : Pixel 명암값 범위 시작값
- F_e : Pixel 명암값 범위 끝값

위의 식을 이용하여 체지방과 근육의 체적, 체지방과 근육의 비율 그리고 근육에 대한 체지방의 비율을 계산하였다. 체지방과 근육의 비율은 전체 CT 영상의 체적에 대한 근육과 체지방의 비율이고, Hand Scribe를 이용하여 체적 계산을 하였을 경우에는 폐곡선을 중심으로 내부 체적 및 비율 결과 값과 외부 체적 및 비율 결과 값이 동시에 처리한다.

2.4 데이터 저장

CT 영상을 통해 얻은 헤더정보와 CT 영상 .dicom 파일에서 .pgm 파일로 변환된 이미지 그리고 본 연구에서 구현된 절대, 가변비율에 따른 체지방과 근육의 체적 및 비율 결과값을 데이터베이스화 하였다.

데이터베이스는 Images, Patients, ResFat의 table로 구성되어 있고 PatientID를 key값으로 한다. Images Table은 PatientID, SeriesNo, ImageNo, Rows, Cols, Pixel의 가로, 세로 길이등의 에트리뷰트로 구성되어 있고, Patients Table은 PatientID, 환자이름, 생일, 성별, 나이, 몸무게, 슬라이스 간격, 두께, 이미지 생성 날짜등의 에트리뷰트로 구성되어 있다. 그리고 ResFat Table에는 절대, 가변비율에 따른 체지방과 근육의 체적 및 비율 결과값과 그 결과값을 보고 판단되는 진단 결과를 기록한 Text 그리고 Hand Scribe를 이용하여 체적계산을 하였을 때 영상에 그려진 폐곡선 압축파일의 에트리뷰트들로 구성된다.

3. 실험 결과

본 연구에서 개발된 알고리즘에 피하지방과 장기내 지방을 Hand Scribe를 통해 편집된 Sample CT 영상을 적용시켜 나온 결과는 표 2와 같다.

표 2. 가변비율을 이용한 sample 체적 및 비율 계산 결과

	Internal		External		Total	
	절대	가변	절대	가변	절대	가변
Fat Volume(ml)	111.55	130.59	249.52	247.03	360.07	377.62
Fat Ratio	18.11	21.21	40.52	40.11	58.63	61.32
Muscle Volume(ml)	204.72	201.72	29.34	34.55	234.07	236.27
Muscle Ratio	33.24	32.75	4.76	5.61	38.01	61.32
Fat to Muscle Ratio	54.49	64.74	850.32	714.91	154.26	159.83

위의 결과값은 한 Sample CT 영상에서 다리와 복부만의 체지방과 근육의 체적 계산결과이며, Internal은 장기내 지방과 근육에 관한 수치값이고, External은 피하지방 수치값이다.

이 알고리즘의 정확성을 검증하기 위해 돼지 다리를 통한 실험을 하였다. 19kg의 돼지 다리를 10mm 간격으로 CT를 촬영하

고 외과 전문의에 의해 지방과 근육 그리고 뼈의 분리 작업을 하여 실제 돼지 다리의 무게 19kg, 부피 17620ml 중에 뼈가 0.9kg에 800ml, 지방은 2kg에 1910ml 그리고 근육은 6.2kg에 6100ml 라는 것을 실측하였다. 다음 과정으로 돼지 다리 CT 영상을 본 연구에서 개발된 알고리즘에 적용시켜 체적을 계산하였다. 표 3은 돼지 실측 부피와 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용하여 계산된 결과 값이다.

표 3. 돼지의 실측 체적과 알고리즘으로 계산된 체적 비교

돼지	실측	절대비율	가변비율
지방(ml)	1910	2164.96	2046.51
오차(%)		13.3	7.14

위의 결과에서 가변비율 체적 계산시 7.14%의 오차를 보였다. 이는 현재 널리 사용되어지고 있는 CT를 이용하여 충분히 체지방 측정이 가능함을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 CT 영상을 이용하여 체지방과 근육의 체적 및 비율을 계산하기 위해 지방 Pixel 명암값은 79~90의 분포를 가지고 근육은 Pixel 명암값 82~94의 분포를 가지고 있다는 것을 찾아내고 특정 부분의 체적계산을 위해 Hand Scribe를 이용하여 헤더정보와 Pixel 수를 이용하여 체적을 계산하였다.

또한 시각적인 효과를 주기 위해 근육과 체지방을 각기 다른 색으로 채도를 변경하여 표현하는 Coloring을 사용하였다.

또한 실제 돼지 다리의 실험을 통해 확인한 적은 오차로 값비싼 다른 체지방 기기들 대신 사용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 CT 영상을 이용한 체지방 측정은 새롭게 시도했는데 의의가 있고 DB화로 계속적인 단계별 치료가 가능하고 또한 이 CT 영상을 이용하여 다른 질병 진단도 가능하다는 점에서 의학용 프로그램으로 폭 넓게 이용될 수 있을 것이다. 또한 간지방과 같이 특정 장기내 지방을 측정 할 수 있다는 점에서 다른 체지방 분석기와는 차별화 되는 기능을 제공할 수 있는 것에 큰 의의가 있다.

참고문헌

- [1] NEMA draft standards, "Digital Image and Communications in Medicine(DICOM)", Part 1-14
- [2] D. H. BALLARD and C.M.BROWN "Computer Vision", Prentice Hall, 1982
- [3] M. J. CARLOTTO, "Histogram Analysis Using a Scale Space Approach", IEEE Transaction on PAMI, pp.121-129, Jan. 1987.
- [4] H. E. Burdick, "Digital Imaging theory and application ", McGraw_Hill, inc. 1997
- [5] J. R. Parker, "Algorithm for image processing and Computer Vision", John Wiley and Sons, inc. 1997
- [6] S.H.Yoo, J.S.Cho, S.M.Noh, K.S.Shin, J.W.Park, "Advanced Liver Segmentation by Using Pixel Ratio in Abdominal CT Image", 2000 International Technical Conference on Circuits/International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications(ITC-CSCC'2000), Vol.1, pp.39-42, 2000