

무지외반증 환자의 증상정도의 자동분류 알고리즘 개발

한현지* · 이상식**

Algorithm development of automatic symptom degree for Patient with Hallux Valgus

Hyun-Ji Han* · Sang-Sik Lee**

요 약

본 연구에서는 현대인의 대표적 발 질환 중 하나인 무지외반증의 증상정도 자동 분류 알고리즘 개발에 대한 연구를 수행하였다. 무지외반증의 치료 및 수술을 위한 기존 아날로그적 진단법이 아닌 디지털 영상처리기법을 사용함으로써 효과적인 자동화 진단법을 제시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 각각 정상인과 무지외반증 환자의 X-Ray 영상을 이용하였다. 우선 정상인의 X-Ray 영상에 정상 각도를 오버랩과 애드 방법을 통하여 기준각도를 표시한 후, 윤곽선 검출 알고리즘인 로버츠 필터와 세션화 작업을 거쳐 통칭 정상인 기준 영상을 만들었다. 그리고 진단할 환자의 X-Ray 영상에 윤곽선 검출 알고리즘인 소벨 필터를 거쳐 환자 영상을 만들어 앞서 언급한 정상인 기준 영상과 오버랩과 애드 방법을 통하여 디스플레이 출력 영상을 구현하였다. 디스플레이 출력 영상을 이용하여 무지외반증 진단 각도를 측정하여 화면에 디스플레이 함으로써 기존의 아날로그적 진단법에서 탈피한 디지털적 영상처리 진단법을 제시하였으며 그 실용성과 타 정형외적 질환의 응용성을 확인하였다.

Key Words : Hallux Valgus, OverLap & Add, Roberts, Thinning, Sobel.

ABSTRACT

In this study, we performed algorithm development of automatic symptom degree for patient with hallux valgus one of the representative foot disease of morden. And this study proposes an efficient automated technique that is different from the original analog diagnosis for treatment and surgery of hallux valgus using digital image process. And we used X-Ray images of both a normal and a patient with hallux valgus in the procedure. First, we marked the standard angle on the X-Ray image of normal through Overlap & Add technique. Then we created a standard image through thinning filter and roberts filter(edge detection algorithm). Second, we used sobel filter of edge detection algorithm on the X-Ray image of patient. Moreover, we went another overlap & add technique procedure with both normal and patient image that we made. With the output, we projected the display detection image onto the screen. Finally, with the display detection image, we could measure and project the diagnosis angle of hallux valgus. And this confirms that this method is much more practical and applicable for another orthopedics disease than the prior one.

* 관동대학교 의료공학과

** 교신저자 관동대학교 의료공학과 교수 (lsskyj@kd.ac.kr)

접수일자 : 2011년 04월 25일, 수정일자 : 2011년 05월 20일, 심사완료일자 : 2011년 05월 30일

I. 서론

현대인들이 높은 굽이나 발 폭이 좁아지는 구조의 신발들을 선호하기 시작하면서 정형외과 문제는 날로 급증하고 있는 실정이다. 그 문제들 중 대표적 발 질환이 무지외반증이다.

무지외반증은 엄지발가락의 내반 변형을 시초로 엄지발가락이 회내되고, 심하게 외측으로 기울어져 다른 발가락들과 겹치게 되는 결과를 초래하는 질환이다[1]. 환자들은 이러한 증상으로 인한 고통 뿐 아니라 미용 목적 치료를 위해 병원을 찾게 된다.

무지외반증의 질환 유무는 한 눈에 확인가능 할 정도로 비교적 용이하다. 그러나 치료 및 수술을 위해선 정확한 각도 측정을 요하게 되는데, 나날이 발전하는 의학 속에서도 불구하고 이 무지외반증의 진단법은 단순 X-Ray 영상 촬영 후 따로 각도를 측정하는 아날로그 시스템에 의존하고 있다. 이 진단법은 번거로울 뿐 아니라 증상이 비교적 미미할 경우 아날로그적 각도 측정을 통한 오진의 가능성 또한 안고 있다.

본 연구에서는 무지외반증 환자의 증상정도를 자동으로 분류하는 알고리즘 개발을 위해 여러 영상처리기법을 사용하였다. 개발 알고리즘을 구현하기 위해 윤곽선 검출에 용이한 로버츠 필터, 소벨 필터, 세션화 작업 및 증상의 정확 비교와 각도 측정을 위한 오버랩과 애드 알고리즘을 사용하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에선 증상정도의 자동분류 알고리즘 개발을 위해 발에 체중이 실린 정상인과 환자의 오른발 정면 X-Ray 영상을 사용하였다.

표 1은 치료 및 분석의 기본인 동시에 연구에서 가장 중요한 증상 정도 자동분류의 기준이 될 각도 범위 값으로 무지외반각(HV 각도) 및 제 1, 2중족골간각(IMT 각도)이다[2].

표 1. 무지외반증의 증상 정도
Table 1. Symptom degree of Hallux Valgus

Degree	HV 각도	IMT 각도
Normal	<15	<9
Mild	15-20	9-11
Moderate	20-40	11-18
Severe	>40	>18

2. 실험 방법

증상정도의 자동분류 알고리즘을 위해 사용한 실험 재료 환자 X-Ray 영상을 7명의 환자마다 각각 10번씩 반복 측정하여 데이터베이스를 구축하였다.

이를 바탕으로 제안된 알고리즘을 정확성, 실용성 및 타부위의 응용성을 가진 디지털적 진단법을 제시하였다.

3. 증상 정도 자동 분류 알고리즘

연구의 목적인 알고리즘 개발을 위해 각각 오버랩과 애드기법과 영상처리 필터인 로버츠, 소벨, 세션화 작업을 사용하여 각도를 측정 후 표 1을 기준으로 증상 정도를 자동분류 하였다.

(1). 증상 분류를 위한 기준 표시

증상을 분류하기 위해서는 위 표 1을 토대로 한 기준이 필요한데 보다 진단에 용이하기 위해 A라는 컷과 B라는 컷을 더한다는 개념을 가진 오버랩과 애드 기법을 사용한다[3].

(2). 윤곽선 검출

정상인과 무지외반증 환자의 X-Ray 영상을 진단에 용이하게 사용하기 위해 각각 윤곽선 검출 알고리즘을 거친다.

윤곽선은 흑에서 백으로 증가하거나 백에서 흑으로 떨어지는 첨예한 밝기 변이이다. 연구에서는

단순 X-Ray 영상에 윤곽선 검출 필터를 거쳐 각도 측정을 돕는다. 정상인과 환자의 X-Ray 영상에 각각 로버츠 필터와 소벨 필터를 사용하였다.

1) 로버츠 필터

1차 미분 필터로, 대각선 크기를 미분계수로 사용한다. 로버츠 필터는 매우 빠른 계산 속도를 가짐과 동시에 잡음에 매우 민감해 선명한 윤곽선을 검출 해 낸다.

예를 들어 중심점 z_5 는 $f(x,y)$ 를 나타내고, z_1 은 $f(x-1,y-1)$ 을 나머지는 이와 비슷하게 나타낸다. 조건을 만족하는 1차 미분에 대한 가장 간단한 근사는 $G_x = (z_8 - z_5)$ 와 $G_y = (z_6 - z_5)$ 이다. 이 때 로버츠 마스크 연산 후 임계값을 이용하면 잡음을 제거할 수 있다[3].

표 2. 로버츠 필터의 마스크
Table 2. Mask of Roberts filter

-1	0	0	-1
0	1	1	0

2) 소벨 필터

이 처리는 합성 방향이고 즉 영상에서 윤곽선의 방향에 상관없이 흑대백과 백대흑 윤곽선 전이의 모든 것이 강조된다는 것을 의미한다. 소벨 필터 처리는 영상 잡음에 강하고 더욱 강한 윤곽선 식별자를 제공한다.

소벨 마스크 연산 후 임계값을 이용하면 잡음을 제거할 수 있다[4].

표 3. 소벨 필터의 마스크
Table 3. Mask of sobel filter

-1	0	1	-1	2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

(3). 세션화 작업

윤곽선 검출 필터를 거친 정상인의 X-Ray 영상에 각도 측정의 기준만 남기기 위해 세션화 작업을 진행한다.

세션화는 구조요소 B에 의한 집합 A의 세션화 작업으로, 더 이상의 변화가 일어나지 않을 때까지 세션화 작업을 반복한다. 이 개념을 사용한 세션화를 구조 요소의 열에 의해 다음 식 1과 같다.

$$A \otimes \{B\} = (((A \otimes B^1) \otimes B^2) \otimes B^n) \dots \dots \dots (1)$$

이 과정은 B^1 으로 원 패스시켜 A를 세션화하고, 그 다음 이 결과를 B^2 로 원 패스시켜 세션화하는 과정을 B^n 으로 A를 완전히 세션화 할 때까지 계속된다[3].

(4). 각도 측정

영상처리를 거친, 치료 및 수술을 목적으로 둔 환자의 정확한 각도를 측정한다.

식 2와 같이 각도는 축과 영상 x축 간의 각도로 0° 에서 360° 의 범위를 가진다. 이 결과 치는 물체의 방향을 나타내는 측정자로 활용된다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \dots \dots \dots (2)$$

여기서 (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 는 축의 양 끝점좌표이다[4].

(5). 증상 정도 자동 분류 알고리즘

연구에서는 정상인의 X-Ray 영상 1장과 각기 증상의 정도가 다양한 7명의 환자들의 X-Ray 영상을 사용하였다. 정상인의 X-Ray 영상에 표준 각도[2]를 오버랩과 애드를 통하여 표시한 후 로버츠 필터를 거쳐 윤곽선을 검출한 상태에서 세션화 작업을 실시하여 정상인 기준 영상을 만든다. 다음 환자의 X-Ray 영상에 소벨 필터를 거쳐 윤

확선을 강조시킨 환자 영상을 만든다. 만들어진 정상인 기준 영상과 환자 영상을 오버랩과 애드를 통하여 디스플레이 된 출력 영상에 표시 기준 각도를 중심으로 환자의 각도를 측정한다.

실험은 이 알고리즘의 정확성 및 실용성, 응용성을 높이기 위해 각각 10번씩 반복 측정하였다.

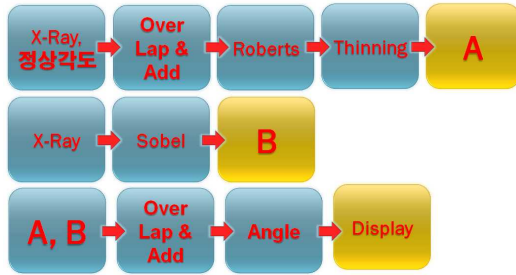


그림 1 CT영상 변환 시스템.
Fig. 1 Transform system of CT image.

III. 결과 및 고찰

개발 알고리즘을 이용하여 무지외반증 환자의 증상을 진단하였다. 이를 위해 연구에서는 각기 정상인과 무지외반증 환자의 X-Ray 영상을 사용하였고, 알고리즘을 10번씩 반복 측정하여 정확성을 높이고자 하였으며, 측정 결과 낮은 값의 표준편차를 관측할 수 있었다. 결과적으로 기존의 번거롭고 오진의 가능성을 가진 아날로그 진단법에서 벗어나 개발 알고리즘의 높은 정확성, 실용성, 응용성을 가진 디지털화 진단법을 제시하였다.

1. 정상인

연구의 개발 알고리즘에 가장 중요한 것은 비교의 기준이 될 정상 각도 값이다.

그림 2는 정상인 기준 영상이 되기 위해 각도가 표시된 자료[5](a)와 정상인의 오른발 X-Ray 영상(b)을 오버랩과 애드를 통한 후 기준 각도를 표시(c)한 것이다.

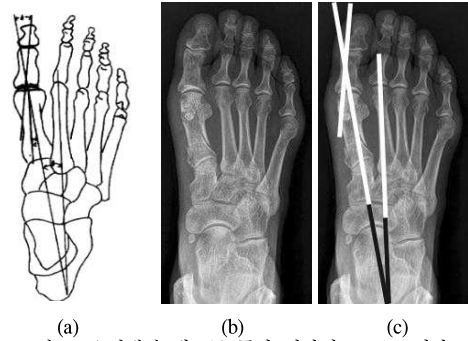


그림 2. 오버랩과 애드를 통한 정상인 X-Ray 영상
Fig. 2 Normal X-Ray image through overlap & add

그림 3은 위 그림 2에서 로버츠 필터를 거쳐 윤곽선을 검출(a)한 후 세선화 작업을 통해 정상인 기준 영상(b)을 만들어 각도를 측정하는 것이다. 기준 각도의 측정을 용이하게 하기 위해 색의 변화(c)를 주었다.

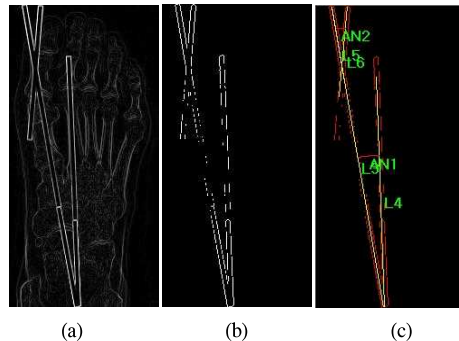


그림 3. 세선화 작업, 로버츠 필터를 거친 후 각도 측정
Fig. 3 Angle measurement after thinning filter and sobel filter

Ang 1과 Ang 2는 각각 1, 2 중족골간각, 무지외반각으로 7.5°, 14.3°로 측정되어 표 1과 비교했을 때 정상인의 값에 맞는 각도로 진단에 사용될 정상인 기준 영상의 조건을 만족하였다.

2. 무지외반증 환자

정상인 기준 영상과 비교하기에 앞서 사용에 용이하도록 소벨 필터를 거친 환자 영상과 정상인 기준 영상을 오버랩과 애드를 통하여 디스플레이 출력 영상을 구현한 후 각도 값을 측정한다.

그림 4, 5, 6은 각각 무지외반증 환자 a, b, c의

X-Ray 영상(a)으로 소벨 필터를 거쳐 윤곽선을 검출(b) 한 후 정상인 기준 영상과 오버랩과 애드 기법(c)을 사용한 것이다.

알고리즘을 통해 정상인과 각도 차이를 정확히 관측할 수 있다.



그림 4. 환자 a의 X-Ray 영상
Fig. 4 X-Ray image of patient a

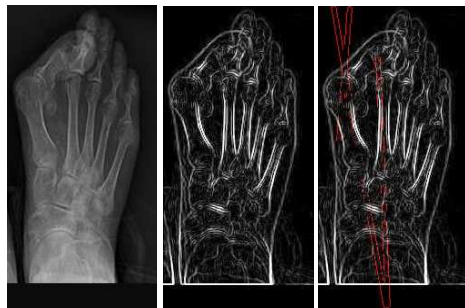


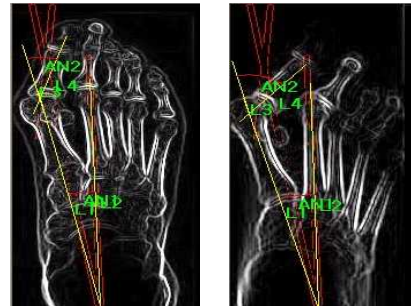
그림 5. 환자 b의 X-Ray 영상
Fig. 5 X-Ray image of patient b



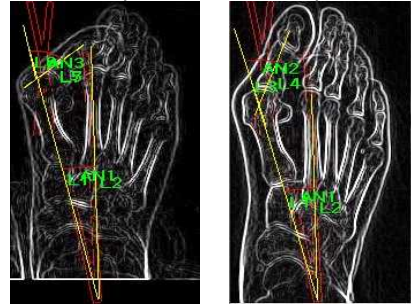
그림 6. 환자 c의 X-Ray 영상
Fig. 6 X-Ray image of patient c

아래의 그림 7은 정상인 기준 영상과 환자 영상에 오버랩과 애드 기법을 적용하여 영상의 각도를 측정하는 것이다.

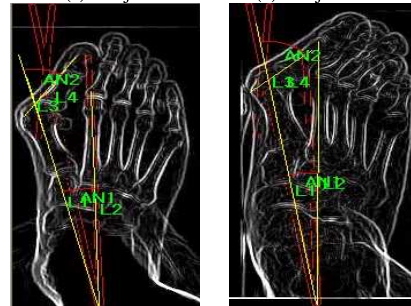
총 7명의 무지외반증 환자 X-Ray영상을 사용하였으며, 출력된 정상인 기준 영상과 비교하여 용이하게 각도를 측정할 수 있었다.



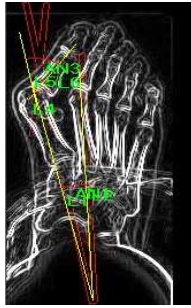
(a) subject 1 (b) subject 2



(c) subject 3 (d) subject 4



(e) subject 5 (f) subject 6



(g) subject 7
 그림 7. 무지외반증 환자의 각도
 Fig. 7 Angle of patient with Hallux valgus

알고리즘을 통한 디스플레이 출력 영상의 각도를 높은 정확성의 진단 결과를 위해 환자마다 각각 10번씩 반복 측정 하였다.

표 4는 환자들의 각도를 10번씩 반복 측정한 데이터 값의 평균이다.

표 4. 측정값 평균.
 Table. 4. Average of value.

patient	ANG1	ANG2
a	9.6	44.88
b	14.3	56.69
c	11.53	56.64
d	11.83	30.99
e	10.79	27.72
f	12.02	48.22
g	10.2	59.2

아래의 그림 8, 9는 10번씩 반복 측정한 무지외반증 환자의 각도에 대한 표준편차 값이다. Ang 1, Ang 2 의 값이 각각 0.8, 1.5 이하로 측정되어 개발한 알고리즘의 정확성 및 실용성을 확인하였으며 이를 바탕으로 타 정형외적 부위에 대한 응용 가능성을 예측할 수 있다.

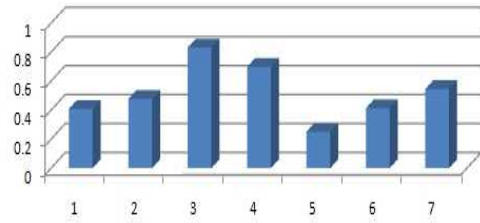


그림 8. Ang1의 표준편차.
 Fig. 8. SD(Standard deviation) of Ang1.

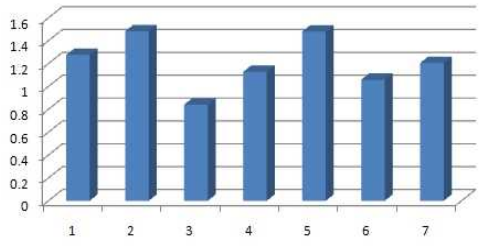


그림 9. Ang2의 표준편차.
 Fig. 9. SD(Standard deviation) of Ang2.

IV. 결 론

본 연구에서는 무지외반증 환자의 증상 정도의 자동 분류 알고리즘 개발에 대해 연구하였다. 이 방법에서는 정상인의 X-Ray 영상과 무지외반증 환자의 X-Ray 영상을 효과적으로 비교, 측정하기 위해 여러 디지털 영상처리 기법을 사용하여 진단에 용이하게 하였다.

첫째, 본 연구에서는 진단의 기준이 될 정상인 기준 영상을 만들기 위해 참고 자료와 정상인의 X-Ray 영상을 오버랩과 애드기법을 사용한 후 로버츠 필터를 통해 윤곽선을 검출하였다. 여기에 세선화 작업을 거쳐 정상인 기준 영상을 출력했다. 이 때 알고리즘을 통해 출력된 기준 각도는 2곳으로 1, 2중족골간각이 7.5°, 무지외반각이 14.3° 이다. 모두 정상인 각도에 맞게 출력되었다.

둘째, 진단의 대상인 환자 영상을 만들기 위해 우선적으로 무지외반증 환자의 X-Ray 영상에 소벨 필터를 거쳐 윤곽선을 검출 한다. 이 후 앞서 구현했던 정상인 기준 영상과 오버랩과 애드를 통하여 디스플레이 출력 영상을 구현한다.

셋째, 구현한 디스플레이 출력 영상의 각도를 측정하는데, 본 연구에서는 정확성을 높이기 위해

7명의 환자 영상마다 각각 10번씩 반복 측정하였다. 결과 값은 10번씩 측정한 데이터의 평균값이며, 이를 토대로 표준편차를 구한 결과 Ang 1이 0.8 이하, Ang 2는 1.5이하로 측정되어 정확도가 높은 것으로 관측되었다.

이상으로 본 연구는 효과적인 여러 디지털 영상 처리 기법을 사용하여 나날이 발전하는 의학 수준에 발맞춰 무지외반증에 대해 번거롭고 오진의 가능성을 가진 아날로그적 진단법에서 벗어나 정확성, 실용성을 갖춘 디지털화 된 알고리즘 개발하였으며, 위 연구 결과를 토대로 향후 여러 정형외적 질환에 대한 응용가능성도 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 강응식, 신규호, “알기쉬운 정형외과학”, 의학문화사, pp 302-303, 327-331, 2002
- [2] 유충일, 김부환, 신규석, 임종인, “한국인의 무지외반각 제 1, 2중족골간각 및 무지외반증의 임상적방사선학적 고찰”, 대한정형외과학회지, pp 1185-1187, 1990
- [3] 하영호, 남재열, 이응주, 이철희, “디지털 영상 처리”, 그린, pp 138-139, 554-555, 2004
- [4] 권준식, 김동욱, 김진태, 김태은, 송호근, 차국찬, 최중호, 최중수, “디지털 영상처리 이론 및 응용”, 에드텍, pp 160, 359-360, 2000
- [5] 이경태, 송준섭, “무지외반증에서 한국인의 정상 방사선각도 계측치에 대한 연구”, 대한 족부외과 학회지, pp 2, 1997

저자약력

한 현 지(Hyun-Ji Han)

비회원



2011년 관동대학교
의료공학과 학사과정

<관심분야> 의용메카트로닉스, 디지털 신호
처리, 의용전기전자

이 상 식(Sang-Sik, Lee)

중신회원



1993-2000년 LG전선(주)
1996-2000년 성균관대학교
박사
2001-2004년 (주)미도테크
2004-2010년 성균관대학교
연구부교수
2011-현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용메카트로닉스, u-Health,
생체역학, 의용전기전자