

피부병변의 정량적 평가를 위한 디지털 컬러 영상 시스템

한병관¹, 정병조^{1,2}

¹연세대학교 의공학부

²연세대학교 의료공학연구원

(Received January 17, 2007. Accepted April 2, 2007)

Digital Color Imaging Systems for Quantitative Evaluation of Skin Lesions

Byungkwan Han¹, Byungjo Jung^{1,2}

¹Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Korea

²Institute of Medical Engineering Yonsei University, Wonju, Korea

Abstract

In this paper, we introduce a digital cross-polarization and fluorescent color imaging system for quantitative evaluation of skin lesions. We describe the characterization of the imaging systems and the quantitative image analysis methods to show the feasibility for quantitative evaluation of skin lesions. The polarization color image was used to compute erythema and melanin index image which are useful for quantitative evaluation of pigmentation and vascular skin lesions, respectively. The fluorescent color image was used to quantitatively evaluate "sebum" and "vitiligo". In quantitative evaluation of various skin lesions, we confirmed the clinical efficacy of the imaging systems for dermatological applications. Finally, we sure that the imaging systems can be utilized as important assistant tools for the evaluation of skin lesions by providing reproducible quantitative result for widely distributed skin lesions.

Key words : color image, fluorescence, polarization, skin, quantitative evaluation

1. 서 론

기존의 점 측정 방식의 피부병변 진단 장비는 접촉식 측정 방법으로 인해 측정자에 의한 측정 오차 발생의 문제점이 있으며 병변의 측정 평균값만을 제공함으로써 피부병변(skin lesion)이 광범위하게 분포하고 있는 경우에는 측정의 반복성 및 재현성에 한계를 가지고 있었다. 또한 장기간의 치료를 요하는 피부병변의 평가 시 동일한 병변 영역을 측정하는데 어려움으로 인해 치료 효과의 정확한 평가에 오차를 수반하게 된다. 이러한 한계를 보완하기 위해 조직광학(tissue-optics) 기반의 분광 영상법(spectral imaging method)[1-3]을 이용한 피부병변의 정량적 평가 방법이 제안되었다. 생체 분광 영상법은 피부에 조사되어 반사되는 빛의 파장(wavelength) 정보를 분석하여 피부병변을 2차원의 정량화된 영상으로 표현하는 의광학 영상 기법으로 다양한 측정 방식과 분석

방법이 있으나 본 논문에서는 디지털 컬러 영상의 3과장(적색, 녹색, 청색) 영상 정보를 이용한 피부병변 정량적 평가 방법에 대한 본 연구실의 연구 결과를 소개한다.

최근에 광범위하게 분포되어 있는 피부병변의 정량적 평가에 디지털 편광(polarization) 및 형광(fluorescence) 영상을 적용하는 연구가 이루어지고 있다[4-14]. 편광영상(polarization image)은 피부에서 반사되는 빛의 평행(parallel-) 및 교차편광(cross-polarization) 현상을 이용한다. 평행편광 영상은 주름살과 같은 피부 표면의 형태학적 정보를 제공하며, 교차편광 영상은 멜라닌(melanin)과 히모글로빈(hemoglobin) 같은 피하 발색단(subsurface chromophore) 정보 획득에 유용하다. 본 논문에서 소개할 교차편광 영상은 멜라닌의 과도 침착으로 인한 색소성 병변(주근깨, 점, 잡티, 흑자, 검버섯, 오타모반 등)과 진피 층(dermis layer)과 상피층(epidermis layer) 사이에서 발생하는 혈관모반(port wine stain) 같은 혈관성 병변(안면홍조, 모세혈관 확장증, 주사비, 빨간 여드름 자국 등)의 정량적 평가에 유용하다. 형광 영상은[9-12] 피부 조직의 발색단 성분과 여기광원(excitation light source)의 상호 작용에 따라 피부 발색단이 여기광원의 파장보다 긴 파장의 빛을 발하게 된다. 일례로, 자외선-A(ultraviolet-A)의 빛을 피부에

본 연구는 산업자원부 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터(RRC)의 지원에 의한 것임.

Corresponding Author : 정병조

강원도 원주시 흥업면 매지리 234 연세대학교 의공학부

Tel : +82-33-760-2786 / Fax : +82-33-763-1953

E-mail : bjung@yonsei.ac.kr

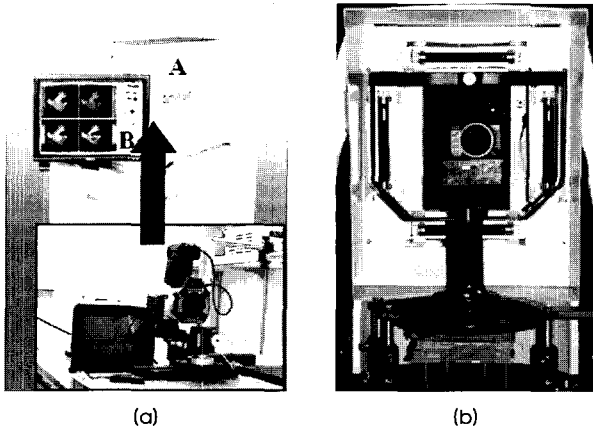


그림 1. 표준 영상 획득 시스템. (a) 교차편광 컬러 영상 시스템. (b) 형광 컬러 영상 시스템.
 Fig. 1. Standard image acquisition systems. (a) Polarization color imaging system. (b) Fluorescent color imaging system.

조사했을 경우 피지샘주머니(sebaceous follicle)가 폐쇄된 경우는 피지는 백색 형광을 발하고 그 내부에 여드름 유발 인자인 P-acne균에 의해 생성되는 porphyrin은 적색 형광을 발하게 된다 [11]. 멜라닌의 과도 침착으로 일어나는 색소성 질환의 경우는 흑색으로 관찰 되어 진다. 형광 영상의 장점은 자외선 광원의 조사 후 질환별로 다른 파장의 정보를 제공함으로써 병변의 구분이 용이하다는 것이다.

디지털 컬러 영상을 피부병변 평가에 사용하기 위해서는 영상의 재현성 및 반복성 구현을 위한 영상 시스템의 최적화 및 획득된 영상의 정량적인 분석 방법이 필요하다. 본 논문에서는 피하 발색단의 정보를 선택적으로 획득하여 피부병변을 정량적으로 평가할 수 있는 교차편광 컬러 영상 시스템(cross-polarization color imaging system)과 [4-6, 14] 피지(sebum)와 같은 자가형광(endogeneous fluorescence)성 피부 발색단의 정보를 평가하는 형광 컬러 영상 시스템(fluorescent imaging system)[13] 및 해당 영상의 정량적 분석 예를 소개한다.

II. 재료 및 방법

A. 표준 컬러 영상 획득 시스템

그림 1(a)에 보이는 교차편광 컬러 영상 시스템은 영상 획득시 안면(frontal face)의 균일한 빛 분포를 얻기 위한 환형 광원(ring light)과 영상 획득시 안면의 움직임 최소화하기 위한 얼굴 지지대 그리고 컬러 CCD 카메라로 구성되어 있다. 교차편광 영상은 광원과 영상 획득부의 선형 편광판(linear polarizer)의 방향을 수직으로 배열함으로써 영상의 정량적 분석에 오차가 될 수 있는 피부 표면의 현휘(glare)를 제거하여 피하의 피부 발색단의 정보만을 선택적으로 획득 할 수 있도록 했다. 안면 표준 영상은 영상 시스템의 최적화 및 안면의 빛의 분포도 테스트(light distribution),

병변에 따른 최적의 영상 각(Optimal imaging angle)을 사용함으로써 획득 되었다[5]. 그림 1(a)에 보이는 작은 사진은 초기 시스템으로 영상 획득의 신뢰성 및 반복성을 높이기 위해 상층에 보이는 영상 박스에 단일 시스템으로 집적하여 임상 적용이 가능하게 하였다.

그림 1(b)에 보이는 형광영상 시스템은 [13] 피부 발색단의 자가형광을 유발하기 위해 인체에 무해한 4개의 자외선-A(파장: 320~380nm)광원과, 얼굴 지지대 그리고 컬러 CCD 카메라로 구성되어 있으며 교차편광 영상 시스템과 유사한 방법으로 안면의 형광 분포도 테스트를 통해 최적화된 영상 시스템을 구성 하였다. 영상 획득 거리와 카메라 변수 및 암실조건 등을 최적화 시켰고 안면의 위치는 광원과 카메라 단에 대해서 정 중앙에 위치시켰다.

B. 교차편광 컬러 영상 분석

교차편광 컬러 영상은 홍도 및 멜라닌 인덱스를 사용하여 정량적으로 분석된다. 홍도 인덱스(erythema index: E.I.)는 피부에서 붉은색을 띠는 혈관모반(port wine stain)같은 혈관성 병변의 분석에 유용하며 멜라닌 인덱스(melanin index: M.I.)는 색소성 병변(pigmentation skin lesions)의 정량적인 평가에 유용하다. 인덱스 영상에서 높은 인덱스 값은 병변의 정도가 심한 것을 의미한다. 홍도 및 멜라닌 인덱스 영상은 컬러 영상의 적색과 녹색의 영상을 이용하여 계산 된다[4, 6, 14]. 컬러영상은 각각 적색, 녹색, 청색 영상으로 구성 되어 있기 때문에 획득된 컬러 영상의 적색(R)과 녹색의 영상(G) 자체를 아래의 수식에 적용하여 홍도 및 멜라닌 인덱스 영상을 계산하게 된다.

$$M.I. = 100 \times \log_{10}(1/\text{적색 영상}) \tag{1}$$

$$E.I. = 100 \times [\log_{10}(1/\text{녹색 영상}) - 1.44 \times \log_{10}(1/\text{적색 영상})] \tag{2}$$

C. 형광 영상 분석

형광영상 분석은 안면 피지 및 백반증의 정량적 분석방법의 예를 소개하기로 한다. 피지의 정량적 분석을 위해서는 획득된 형광 영상의 실제 면적을 계산해야 된다. 면적은 1cm²의 면적을 갖는 형광조각(fluorescent patch) 영상을 측정거리 21.6cm 에서 획득하여 총 픽셀수(10816 픽셀)를 측정함으로써 계산 하였다. 형광 컬러 영상을 이진화 영상(binary image)으로 전환하여 피지를 검출한 후 피지의 총면적 및 개수, 밀도, 피지 하나의 평균 면적 및 직경 등과 같은 피지와 관련된 정보를 정량적으로 계산 하였으며 백반증의 실제 면적도 유사한 방법으로 계산되었다.

피지의 형광 색 정보는 피지샘주머니 상태를 간접적으로 평가하는 지표로 사용 될 수 있는데 수식(3)에 보이는 유클리디안 디스턴스(euclidean distance) 공식[15, 16]을 사용한 색 분할 알고리즘(color segmentation algorithm)을 적용하여 피지의 형광 색 정보를 분리 할 수 있다. 피지의 형광영상은 적색(red), 녹색(green), 청

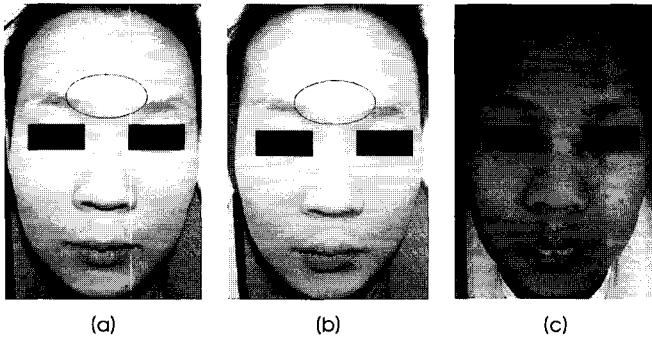


그림 2. 표준 영상 시스템으로 획득된 컬러 영상.
 (a) 일반 컬러 영상. (b) 교차 편광 컬러 영상. (c) 형광 컬러 영상.
Fig. 2. Color images acquired with the standard image acquisition systems.
 (a) Regular color image. (b) Cross-polarization image.
 (c) Fluorescent color image.

색(blue)의 3가지 색상 정보를 포함하고 있으므로 백색과 적색을 나타내는 피지 픽셀의 삼색 각각의 평균을 계산하여 기준 값으로서 사용한다. 백색과 적색 피지의 기준 값은 10명의 참가자를 대상으로 10개의 형광 영상을 획득하여 각 영상에서 적색 5개, 백색 5개의 피지를 선정하여 각 피지의 적색, 녹색, 청색의 평균값을 구하고 전체 10개의 영상에 적용시켜보았다. 이렇게 계산된 적색과 백색의 기준 삼색 값은 색 분할을 위한 유클리디안 디스턴스 공식에 사용된다. 수식에서 R, G, B는 원 영상의 임의의 피지의 적색, 녹색, 청색 값을 의미하고 Rref, Gref, Bref는 피지의 기준 적색, 녹색, 청색 값을 나타낸다.

$$E.D. = \sqrt{(R - R_{ref})^2 + (G - G_{ref})^2 + (B - B_{ref})^2} \quad (3)$$

III. 결과 및 고찰

A. 표준 컬러 영상 획득

그림 2(a)와 2(b)는 일반 컬러 영상과 교차편광 컬러 영상과의 차이를 보여준다. 두 영상의 흑색타원으로 표시된 부분을 보면 교

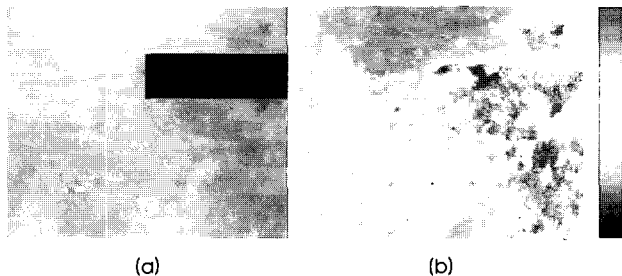


그림 3. 교차 편광 컬러 영상의 정량적 분석. (a) 혈관모반 환자의 교차 편광 영상. (b) 영상(a)의 홍도 인덱스 영상.
Fig. 3. Quantitative analysis of cross-polarization image. (a) Cross-polarization image of a port wine stain patient. (b) Erythema index image of (a).

차편광 컬러 영상의 경우 일반 컬러 영상에서 빛의 정반사 현상에 의해 발생하는 피부 현회가 완전히 제거되었음을 보여준다. 컬러 영상을 이용한 피하 발색단의 정성적, 정량적 분석에서 피부표면의 현회 현상은 영상의 정확한 분석에 오차 원인으로 작용하기 때문에 평가 및 분석 전에 반드시 제거 되어야 한다. 결과적으로 교차 편광 컬러 영상은 피부 표면에서 반사되는 현회를 효과적으로 제거함으로써 컬러 영상의 임상학적 적용을 가능하게 한다. 그림 2(c)는 안면 형광영상으로 본 논문에서 분석하고자 하는 피지의 분포를 잘 보여주고 있다. 영상에서 적색부분으로 보이는 작은 점들이 피지의 분포를 나타낸다. 본 연구에서는 적색과 백색 피지의 분포만이 관찰되었으나 피지샘주머니의 상태에 따라 다른 형광색의 피지 관찰이 가능하다. 형광 영상은 피지 검출 이외에 백반증(vitiligo), 각화증(keratosis), 과색소성(hyper-pigmentation), 일광 흑색점(solar lentigo) 같은 다양한 피부 질환의 임상적 평가에도 사용될 수 있다[9, 11].

B. 컬러 영상의 정량적 분석

색소성 및 혈관성 병변은 피부과에서 일반적으로 사용하고 있는 일반 컬러 영상보다는 교차편광 컬러 영상을 이용하여 정량적으로 분석될 수 있다. 본 논문에서는 혈관병변의 정량적인 분석의 예를 제시하기로 한다. 그림 3(a)는 혈관모반 환자의 교차편광 컬러 영상의 예를 보여준다. 병변 위치에 따른 최적의 영상각도에서 영상을 획득하여 빛의 분포도에 따른 분석 오차를 최소화 하였다. 교차 편광 컬러 영상의 경우 위치에 따른 피부병변의 정성적인 분석이 가능하나 병변 색상의 유사함으로 인해 병변간의 비교 분석이 어렵다. 이러한 어려움은 그림 3(b)에서 보이는 홍도 인덱스 영상을 통해 정량적으로 비교 분석될 수 있다. 피부병변의 홍도정도를 정량적으로 표현함으로써 혈관모반의 분포를 보다 정확히 분석하는 것이 가능하다. 색소성 질환의 경우도 획득된 교차편광 컬러 영상으로부터 수식 (1)을 사용하여 멜라닌 인덱스 영상을 계산함으로써 홍도 인덱스 영상과 동일하게 피부 색소 분포를 정량적으로 분석하는 것이 가능하다.

그림 4(a)는 형광 영상의 부분적인 영상을 보여준다. 정성적인

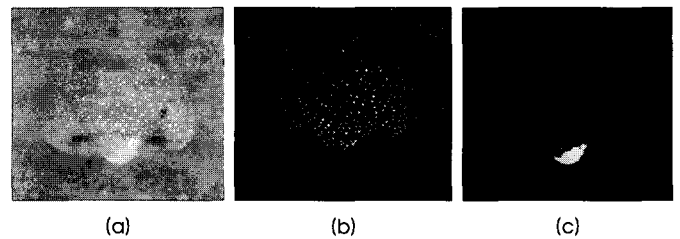


그림 4. 형광 컬러 영상의 정량적 분석을 위한 영상 처리. (a) 형광 컬러 영상. (b) 피지 검출 영상. (c) 백반증 검출 영상.
Fig. 4. Image processing for quantitative analysis of a fluorescent color image. (a) Fluorescent color image. (b) Sebum detection image. (c) Vitiligo detection image.

표 1. 그림 4(a)의 형광 컬러 영상으로부터 계산된 정량적 피지 변수들
Table 1. Quantitative sebum parameters computed from fluorescent color image of Fig. 4(a).

정량적인 변수	피지	백반증
원부의 면적(cm ²)	1.05	0.40
원부의 밀도(%)	2.05	-
피지 구멍의 개수	897	-
피지 한개의 평균면적(cm ²)	0.0012	-
피지 한 개의 평균직경(cm)	0.03912	-

영상 분석으로 코 부위에 피지가 많이 분포하고 있으며 부분적으로 백반증이 분포되어 있음을 알 수 있다. 피지 정량적 평가는 영상 처리와 정량적 분석 기법을 형광 영상에 적용함으로써 가능하다. 그림 4(b) 와 4(c)는 형광 영상으로부터 검출된 피지와 백반증의 영상을 보여준다. 피지의 개수, 면적, 밀도, 평균 크기 및 직경 같은 정량적인 변수들은 그림 4(b)로부터 추출 될 수 있다. 표 1은 추출된 변수들의 정량적인 값의 예를 보여준다. 본 영상의 경우 피지의 대부분은 적색을 나타내어 적색 피지에 대한 분석만을 표 1에 나타내었으나 백색 피지의 경우도 색 분할 알고리즘을 적용하여 분리될 수 있다. 형광 영상은 피지의 정량적 분석 이외에도 그림 4(c)의 백반증의 정량적 분석도 가능하다. 본 논문에서는 백반증의 실제 면적을 계산하였으며 백반증의 치료 정도에 따라 면적의 변화량을 계산하여 백반증의 치료 정도를 정량화 하는 것이 가능하다. 또한 백반증 병변의 상태는 형광 세기(fluorescent intensity)를 정량적으로 계산함으로써 평가하는 것이 가능하며 치료효율을 평가할 수 있는 지표로서 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구실에서는 백반증의 정량적 분석을 통한 치료 효과의 평가에 관한 임상 실험을 진행하고 있다.

정량적 영상 분석의 장점은 피부병변의 평가 시 평가자의 주관적인 판단이 배제된 재현성 있는 결과를 얻을 수 있다는 것이다. 또한 장기간의 치료를 요하는 병변의 경우 치료 효과의 비교 분석이 기존의 점 측정 방식에 비해 용이하며 비 접촉식 측정으로 인해 측정 오차가 적다는 장점이 있다.

IV. 결 론

컬러 영상을 이용한 병변의 정량적인 분석은 표준 영상 획득을 위한 영상 시스템 개발 및 병변 특성에 따른 분석 알고리즘의 개발이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 피부병변의 정량적 진단에 사용될 수 있는 디지털 컬러 영상 시스템 및 영상의 정량적 분석 방법을 소개 하였다. 향후 연구는 다양한 안면 피부병변을 종합적으로 진단 및 평가 하기위해 편광 및 형광 기능이 통합된 단일 복합 영상 시스템의 개발에 중점을 두고 있다.

참고문헌

- [1] Y. Garini, I.T. Young, and G. McNamara, "Spectral imaging: principles and applications," *Cyto. P. A.*, vol. 69, no. 8, pp.735-747, 2006.
- [2] A.T. Harris, "Spectral mapping tools from the earth sciences applied to spectral microscopy data," *Cyto. P. A.*, vol. 69, no. 8, pp.872-879, 2006.
- [3] R.C. Ecker, R. D. Martin, G.E. Steiner, and J.A. Schmid, "Application of spectral imaging microscopy in cytomics and fluorescence resonance energy transfer (FRET) analysis," *Cyto. P. A.*, vol. 59, no. 2, pp.172-182, 2006.
- [4] B.J. Jung, B. Choi, A.J. Durkin, K.M. Kelly, and J.S. Nelson, "Characterization of port wine stain skin erythema and melanin content using cross-polarized diffuse reflectance imaging," *Lasers Surg. Med.*, vol. 34, no. 2, pp.174-181, 2004.
- [5] B.J. Jung, B. Choi, Y.G. Shin, A.J. Durkin, and J.S. Nelson, "Determination of optimal view angles for quantitative facial image analysis," *J. Biomed. Opt.*, vol. 10, no. 2, pp.24002, 2005.
- [6] B.J. Jung, C.S. Kim, B. Choi, K.M. Kelly, and J.S. Nelson, "Use of erythema index imaging for systematic analysis of port wine stain skin response to laser therapy," *Lasers Surg. Med.*, vol. 37, no. 3, pp.186-191, 2005.
- [7] S. Taylor, W. Westerhof, S.B Im, and J. Lim, "Noninvasive techniques for the evaluation of skin color," *J. Am. Acad. Dermatol.*, vol. 54, no. 5, pp.282-290, 2006.
- [8] S.L. Jacques, J.R. Roman, and K. Lee, "Imaging superficial tissues with polarized light," *Lasers Surg. Med.*, vol. 26, no. 2, pp.119-129, 2000.
- [9] L.R. Paraskevas, A.C. Halpern, and A.A. Marghoob, "Utility of the Wood's light: five cases from a pigmented lesion clinic," *Br. J. Dermatol.*, vol. 152, no. 5, pp.1039-1044, 2005.
- [10] J.3rd. Niamtu, "Digitally processed ultraviolet images: a convenient, affordable, reproducible means of illustrating ultraviolet clinical examination," *Dermatol. Surg.*, vol. 27, no. 12, pp.1039-1042, 2001.
- [11] P. Asawanonda, and C.R. Taylor, "Wood's light in dermatology," *Int. J. Dermatol.*, vol. 38, no. 11, pp.801-807, 1999.
- [12] B.W. Chwirot, S. Chwirot, J. Redzinski, and Z. Michniewicz, "Detection of melanomas by digital imaging of spectrally resolved ultraviolet light-induced autofluorescence of human skin," *Eur. J. Cancer.*, vol. 34, no. 11, pp.1730-1734, 1998.
- [13] B.K. Han, B. Jung, J.S. Nelson, E. Choi, "Analysis of facial sebum distribution using a digital fluorescent imaging system," *J. Biomed. Opt.*, vol. 12, no. 1, 014006, 2007.
- [14] B.J. Jung, "Polarization spectral imaging system for quantitative evaluation of port wine stain blanching following laser treatment," *J. Opt. Soc. Kor.*, vol. 7, no. 4, pp.234-239, 2003.
- [15] R.D. Dony, and S. Wesolkowski, "Edge detection on color images using RGB vector angles," in *Proc. IEEE. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering.*, Alberta, Canada, May. 1999, pp.687-692.
- [16] S. Wesolkowski, R.D. Dony, and M.E. Jernigan, "Global color image segmentation strategies: euclidean distance vs. vector angle," in *Proc. IEEE. Signal Processing Society Workshop.*, Madison, WI, USA, Aug, 1999, pp.419-428.