

지문의 의학적 의미와 지문형성 기전에 관한 고찰

이영호¹

¹충남대학교 의과대학 해부학교실

Study on Medical Significance and Mechanism of Fingerprint Formation

Young Ho Lee¹

¹Department of Anatomy, College of Medicine, Chungnam National University

Abstract : Fingerprint is a structure made up of skin ridges on the palm side of the distal phalanges of the fingers, and the ducts from the eccrine sweat glands are open on these ridges. Fingerprint is also formed by sweat remnants secreted from the sweat gland. In addition to prevent slipping, fingerprints stimulate the Pacinian corpuscles and play a role in sensitive feeling of the texture. Generally, fingerprint type is divided into arch, loop, and whorl. Loop type is the most common in Koreans. Fingerprint abnormalities appear in genetic diseases such as Down's syndrome and mental disorder. When the mother is diabetes patient or infected with rubella virus, the type of fingerprint or number of ridges changes. Mutation of the SMARCAD1 gene generate neither fingerprints nor the eccrine sweat glands, suggesting that development of the sweat glands is important in fingerprint formation. Although the mechanism of fingerprint formation has not been well understood yet, the folding theory, in which fingerprint is formed by buckling process of the finger skin during fetal development, is the most convincing. To elucidate the specific mechanism of fingerprint formation with folding theory, mathematical modeling using the geometric elements of the finger and the biological factors involved in fingerprint formation is required.

Keywords : Fingerprint, Eccrine sweat gland, Ridge, Mathematical modeling

지문은 손가락 바닥쪽 끝마디에 있는 피부능선이 모여서 이루어진 구조이다. 손바닥에는 지문과 비슷한 피부능선이 있는데 이는 손바닥문이라고 하며, 지문과 손바닥문을 합쳐

피부문(dermatoglyphics)이라고 한다. 조직학적으로 이들 피부능선은 진피유두와 평행하게 배열되어 있으며, 샘분비땀샘관(duct of eccrine sweat gland)이 많이 열려 있어 땀이 배출되지만, 털과 기름샘이 없다(Fig. 1A). 손가락 바닥쪽 끝마디를 슬라이드 글라스에 눌러 지문이 남도록 한 다음 현미경으로 관찰하면 땀샘관에서 나온 액체가 슬라이드 글라스에 묻어 액체는 증발되고 나머지의 땀샘 성분에 의하여 지문이 형성된다(Fig. 1B)

지문과 손바닥문의 역할은 물건을 잡을 때 미끄러움을 방

*이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.
저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.
저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.
Received: December 9, 2021; **Revised:** December 22, 2021;
Accepted: December 22, 2021
Correspondence to: 이영호 (충남대학교 의과대학 해부학교실)
E-mail: yhlee@cnu.ac.kr

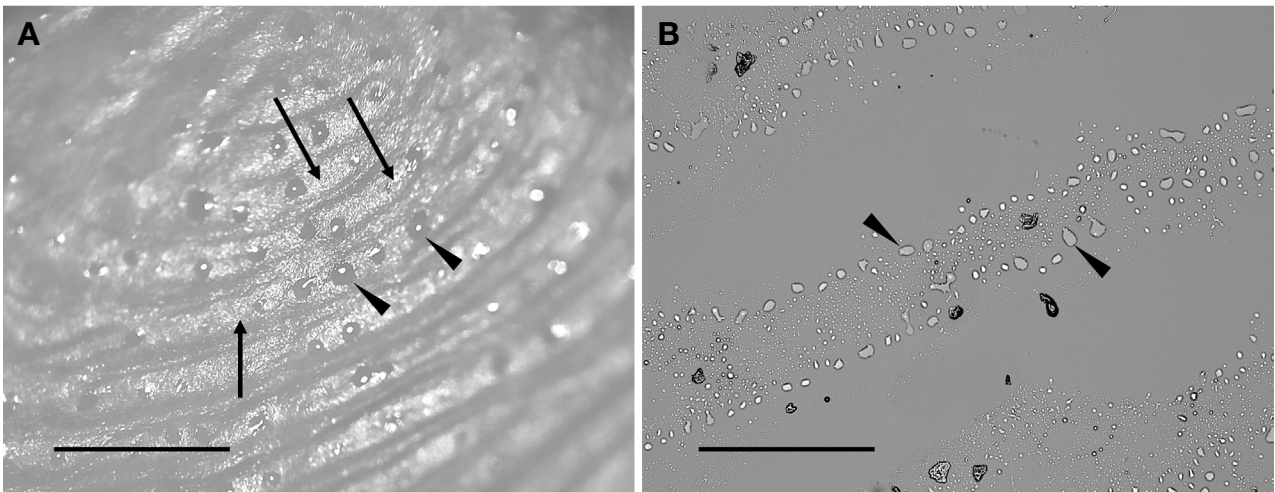


Fig. 1. Fingerprint and sweat secreted from the duct of the eccrine sweat gland on the epidermal surface of the fingerprint (A), Sweat of the fingerprint on the slide glass by pressing the fingertip. Arrows in A, ridge; Arrow head in A and B, sweat; Scale bar = 500 μm in A, 250 μm in B.

지하는 것이다[1]. 지문과 손바닥문 진피유두에는 촉각소체(Meissner's corpuscle)가 많이 분포되어 있어 촉각이 매우 예민하다. 최근 연구 결과에 의하면 지문의 역할이 촉각의 예민도를 증가시키는 데 관여한다고 보고되었다[2]. 질감 정보는 촉각소체뿐만 아니라 진동감각을 담당하는 층판소체(Pacinian corpuscle)에 의해서 이루어진다. 거친 면을 만질 경우 지문이 있는 피부 진피에는 촉각소체보다 수가 적지만 이 층판소체에 의한 진동감각을 통해 물체의 질감을 잘 느낄 수 있다. Bensmaia는 사람과 유사한 인공적인 지문을 만들어 약간 거친 유리면은 접촉시켰을 때 인공 지문이 없는 경우보다 감지기(sensor)가 더 예민하게 반응함을 확인하였다[2].

지문의 패턴은 사람마다 다르고 평생 바뀌지 않으므로 법의학 등의 분야에서 개인을 식별하는 데 사용되고 있다. 체질 인류학적인 측면에서는 민족마다 지문의 유형이 다르고 유전병을 진단하는 데도 이용되어 왔다[3,4]. 이처럼 지문의 체질인류학적 가치와 실생활에서의 가치가 크기 때문에 지문 패턴의 확인 방법이 다양하게 개발되었다.

지문의 유형을 다양하게 나눌 수 있지만 가장 대표적인 것은 활형(arch), 고리형(loop), 소용돌이형(whorl) 세 가지로 나눈다[5]. 고리형은 다시 고리의 방향이 새끼손가락 쪽인 자쪽 고리형과 엄지손가락 쪽인 노쪽고리형으로 나눌 수 있다.

인류의 지문 유형은 고리형이 제일 많으며, 동양인에서 소용돌이형이 서양인과 아프리카인에 비해 많이 나타난다. 한국인의 지문 유형에 대한 연구 결과는 연구자마다 차이가 있으나 대체로 고리형이 50% 이상 차지하고 소용돌이형이 40% 정도이며 활형은 5% 이하로 매우 드물었다. 지문 유형을 외국인과의 비교한 결과, 한국인은 백인과 아프리카인에 비

해 고리형이 적고 소용돌이형이 많은 동양인의 특성을 가지고 있었다[4].

지문의 피부능선 수는 남자가 여자보다 많다고 보고되었다[4]. 소용돌이형의 피부능선수가 고리형의 피부능선 수보다 많으며[6], 남자는 여자에 비해 활형보다 소용돌이형이 많다는 이유를 제시하였다. 두 번째 이유는 남자가 여자보다 손가락이 크기 때문인데, 손가락이 커지면 피부능선도 굵어지므로 보다 면밀한 연구가 필요하다.

지문을 확인하는 방법은 크게 세 가지 정도로 나눌 수 있다. 가장 흔한 방법은 지문의 피부능선에 인디아 잉크 등 수용성 물질이나 특정 화학물질을 묻히고 일반 종이나 특수한 종이 찍는 방법이다. 최근에는 전자과학의 발달로 손가락에 잉크나 화학물질을 묻히지 않고, 광학방식, 전기방식 및 초음파방식 등으로 손가락을 촬영하여 지문의 세밀한 유형까지 확인이 가능하다.

세 번째 방법은 주로 법의학에서 사용하는 방법으로 앞의 두 가지 방법은 지문의 피부능선 굴곡의 차이를 이용하였지만 이 방법은 지문이 있는 피부의 땀샘에서 분비된 액체의 흔적을 확인하는 방법이다. 사람이 어떤 물건을 만졌을 때 남아 있는 손가락의 흔적을 특수한 방법으로 지문을 확인하는 것인데, 지문 부위 땀샘에서 분비된 땀의 수분이 증발되고 남아 있는 성분을 검출하여 지문을 확인할 수 있다(Fig. 1B).

1. 지문의 의학적 의미

지문은 유전적 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 민족마다 특이한 지문을 가지고 있으며[7], 부모와 자식 사이에 또는



Fig. 2. Type of fingerprint. A, arch; B, loop; C, whorl.

형제 사이에서 지문 유형의 상관관계가 높으며 특히 일란성 쌍생아의 경우에는 지문이 거의 동일한 것에서 알 수 있다 [8-11]. 지문은 법의학 분야에서 개인을 식별하는 데 유용하게 사용된다. 지문의 패턴이 사람마다 다르고 유일하며 나이에 따라 지문의 바뀌지 않기 때문이다 [1,12]. 성장할 때 손가락이 커짐에 따라 지문의 능선이 커지기는 하지만 지문의 패턴은 바뀌지 않는다 [1].

지문은 유전적 질병마다 특이한 양상을 나타내며 여러 염색체에 의해 지문의 유형이 결정된다고 하였다 [9]. Medland 등 [13]은 유전학적 연구를 통해 염색체 1번, 5번, 15번의 유전자들이 지문형성에 관여함을 보고하였다.

다운증후군 환자는 자쪽고리형과 노쪽고리형 모두 정상인보다 많다는 보고가 있으며 [9,14], 정신질환과 다운증후군 환자에서 정상대조군과 지문의 유형이 다름을 확인하였고, 염색체 이상이나 다른 요인에 의해 발생하는 정신발달 장애를 평가하는 데 지문의 유형이 도움될 수 있다고 하였다 [15]. 아토피 피부염이 있는 백인 여자의 지문은 소용돌이형이 많음이 보고되었고 [16], 지문으로 일란성쌍생아와 이란성쌍생아를 구별하는 데 이용할 수 있다고 하였다 [1,17].

Nousbeck 등 [18,19]은 피부에 특이 유전자는 SMAR-CAD1 아종 변이가 있을 경우 지문이 없는 사람을 발견하였으며, 이 환자는 땀샘이 발달하지 않아 땀도 흘리지 않았다. 여기서 알 수 있는 사실은 지문 형성에 땀샘의 발달이 중요하다는 것이다.

또한 paclitaxel 등의 약물을 복용할 경우 지문이 일시적으로 없어진다 [20,21]. 그러나 약 복용을 중단하면 다시 지문이 나타나는데 이전의 지문과 동일한 지문이 형성된다. 이는 외부로 보이는 지문은 없어졌지만 피부 속의 일차능선(primary ridge)과 땀샘관은 제 위치에 남아 있어 이전과 동일한 지문이 형성된다.

Kahn 등 [22]은 중년에 발병하는 당뇨병은 태아 시기 지문형성에 영향을 주어 다섯 손가락 지문의 능선 수에 차이가 많다고 하였으며, 지문은 임신 20주경에 완성되므로 지문이 형성되는데 태아의 임신 초기 환경이 중요하다고 하였다 [23]. 풍진 바이러스에 감염된 태아의 손가락에는 노쪽고리형의 지문 유형이 많이 나타남이 확인되어 지문이 바이러스 감염 등 환경의 영향을 받는 것으로 확인되었다 [24].

2. 지문형성 기전에 대한 연구

지문은 실생활이나 법의학에서 많이 사용하여 그 중요성이 부각되어 체질인류학, 발생학, 유전학, 지문 유형에 대한 통계학 등 다방면으로 연구되어 왔다. 그럼에도 불구하고 지문형성 기전에 대한 합리적이고 과학적인 설명은 아직까지 이루어지지 않고 있다.

Mulvihill과 Smith [16]는 물체를 강하게 잡을 필요가 있는 손가락에는 피부밑조직이 많이 발달하여 소용돌이형이 나타날 수 있다고 주장하였다. 이 가설대로라면 소용돌이형이 많은 동양인이 백인이나 아프리카인에 비해 손 운동을 많이 했다고 볼 수 있다. 힘이 센 남자의 오른손가락에는 소용돌이형이 많았고, 힘이 약한 여자의 왼손가락에는 활형이 많았다고 보고되었다 [4]. 또한 손가락의 첫마디와 중간마디는 끝마디에 비해 물건을 세게 잡을 필요가 없기 때문에 소용돌이형의 지문이 나타나지 않는다는 근거를 들었다.

정민석 등 [4]은 고리형이 손가락에서 물건이 많이 닿는 쪽으로 열리는 경향이 있음을 확인하였다. 그 이유는 엄지손가락을 빼 나머지 손가락 중 가장 노쪽에 있는 집게손가락에는 노쪽고리형이 많았고, 가장 자쪽에 있는 새끼손가락에는 자쪽고리형이 많이 발견되었음을 그 이유로 들었다.

Miller [2]는 지문이 일직선이 아니고 곡선을 이루고 있는

신경생리학적 이론을 제시하였다. 인공적인 지문을 이용한 연구에서 일직선의 인공 지문보다 고리형 인공 지문에 거친 유리와 접촉했을 때 감지 민감도가 더 증가하였다. 이는 고리형 인공 지문이 있으면 어떤 방향으로 움직여도 지문 능선이 자극될 수 있기 때문이라고 하였다.

짧은꼬리원숭이(macaque monkey)의 지문은 손가락의 장축에 평행한 직선의 지문을 가지고 있다. Bensmaia는 고리형 지문은 감각의 예민도가 증가됨을 볼 때 사람 등의 유인원에서 나타나는 고리형 지문이 진화적으로 발전한 단계라고 주장하였다[2]. 소용돌이형의 지문은 형태학적으로 볼 때 고리형 지문보다 진화적으로 약간 더 발달한 단계로 볼 수 있다[25].

지문은 태어나기 전의 태아에서 이루어지기 때문에 그 과정을 확인하고 규명하는 데 한계가 있다. 그러나 최근 들어 수학적 모델링을 활용하여 지문의 형성 기전을 밝혀내고 있다.

지문은 임신 10주 때부터 만들어지기 시작한다. 손바닥쪽 피부에서 일차능선이 형성되어 지문이 만들어지기 시작한다 [26-28]. 임신 14주가 되면 땀샘관이 표피를 뚫고 나와 열리게 된다. 이러한 과정이 피부 표면에 지문 능선 형성에 결정적인 역할을 한다고 알려져 있다[27]. 이는 유전적 결함으로 땀샘이 없는 환자는 지문이 나타나지 않는다[18,19]는 연구 결과가 이를 뒷받침해 준다.

지문형성에 대한 구체적인 연구는 Kücken에 의해 행해졌으며[29], 표피 아래층의 바닥층 세포들이 빠르게 분열하여 표피 세포들이 많아지고 각질세포로 구성된 딱딱한 표피보다 부드러운 진피쪽으로 자라 침투하여 일차능선이 형성된다. 또한 지문이 형성될 표피의 세포도 증가하여 부피가 커져 피부와 평행한 축으로도 표피가 확장된다. 발생 과정 중에 이러한 표피의 확장은 표피와 진피의 경계부가 양쪽에서 압력을 받아 주름이 생기게 되는데, 이러한 버클링 과정(buckling process)에 의해 지문이 형성된다는 것이 주름잡힘이론(folding theory)으로 가장 설득력 있는 지문형성에 대한 가설이다(Fig. 3).

다른 지문형성 기전 가설로 신경가설이 있다. Hirsch [27]는 진피에 있는 신경과 혈관이 일차능선에 분포한다는 사실에서 출발하였다. 그러나 혈관-신경이 지문의 일차능선을 형성하는 데 관여한다는 직접적인 증거는 없다. 단지 신경관련 호르몬이 비정상적인 지문을 형성할 수 있다고 제시하였다. 이후 Schaumann [30]은 척추갈림증(spina bifida) 환자에서 비정상적인 지문을 관찰함으로써 신경가설이 어느 정도 근거가 있음을 보여주었다.

Morohumfola 등[31,32]은 원숭이 발바닥에 분포하는 신경을 절단한 결과 일차능선 형성에는 이상이 없지만 능선

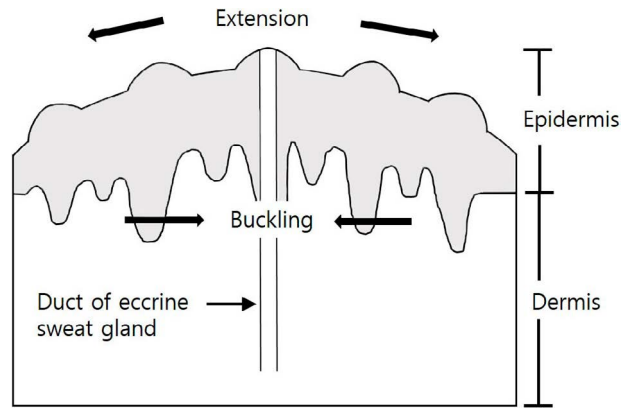


Fig. 3. Schematic drawing of folding theory for the mechanism of fingerprint formation.



Fig. 4. The creases (lines) between the phalanges of the fingers and the nail furrow (dotted line) on the fingertips.

형성이 늦어지거나 그 크기가 감소함을 확인하였다. 이는 신경계가 지문형성에 영향은 미치지만 결정적인 역할을 하지 않음을 보여주었다.

지문을 이루는 몸쪽에는 일직선의 주름(crease)이 있고 손가락 끝마디 등근 손톱 가장자리에 의해 형성되는 손톱주름(nail furrow)이 있다(Fig. 4). 지문에 있는 손가락 끝마디를 제외하면 다른 부위의 주름경계는 일직선으로 주름의 모양도 일직선에 가깝다. 지문이 있는 손가락 끝마디의 원형 또는 타원형의 모양이기 때문에 주름 즉 지문이 기하학적이고 수학적으로 다양한 양상으로 나타날 수 있다.

최근에는 이 주름잡힘이론을 바탕으로 수학자에 의해 지문형성에 대한 수학적 모델링 연구가 진행되었다[33,34]. Kücken과 Newell [34]은 태아 표피 바닥층에서 가장 큰 스트레스를 받는 방향에 수직으로 버클링이 일어나는데 Kar-

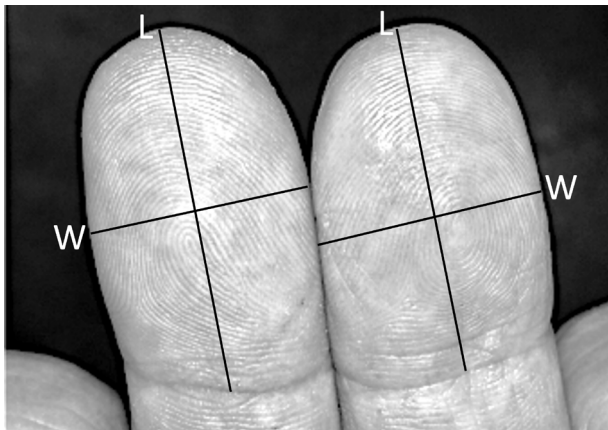


Fig. 5. Length (L) and width (W) of the distal phalanges of the second fingers and type of fingerprint

man 방정식을 적용하였다. 특이한 손가락 끝마디의 기하학적 구조(geometry)에 의해 결정되며 이들의 패턴을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하였다.

Figure 5는 각각 다른 사람의 둘째손가락 지문이다. 왼쪽은 고리형이며 오른쪽은 소용돌이형이다. 왼쪽의 손가락 끝마디는 오른쪽 손가락 끝마디보다 길며(약 1.06배). 또한 왼쪽 손가락이 오른쪽 손가락보다 약간 가는 것(약 0.97배)을 알 수 있다. 전체적으로 손가락 끝마디가 길고 가늘면 고리형이 나타나고, 반대로 손가락 끝마디가 짧고 굵으면 소용돌이형의 지문이 나타나는 경향을 보인다. 본 그림은 평면적인 2차원의 비교로 분석하였지만, 실제적인 삼차원의 기하학적 구조는 더 많은 차이가 있을 것이다. 이와 같이 지문의 유형은 기본적인 손바닥쪽 손가락 끝마디의 기하학적 구조와 땀샘관의 발달, 유전학적 요인, 그리고 신경학적 요인 등 복합적인 요인에 의해 결정될 것으로 본다.

요약하면 지문의 형성은 땀샘관 발달과 밀접하게 연관되어 있으며, 지문 능선 수의 변화는 유전적 질환, 발생 단계에서 모체의 당뇨병, 감염병 등 여러 질병과 연관되어 있다. 지문의 유형은 손가락 끝마디의 기하학적 구조와 땀샘관의 발달과 그밖에 생물학적 요소에 의해 결정되며, 지문의 형성 기전을 규명하기 위해서는 지문이 있는 손가락 부위의 기하학적 요소와 생물학적 인자를 바탕으로 한 수학적 모델링이 필요하다.

REFERENCES

- Holt SB. The significance of dermatoglyphics in medicine. A short survey and summary. *Clin Pediatr*. 1973;12:471-84.
- Miller G. Neuroscience. Fingerprints enhance the sense of touch. *Science*. 2009;323:572-3.
- Chung MS, Kim YS, Kim HJ, Sohn HJ, Han HS. Dermatoglyphic characteristics of the Korean patients with numeral aberrations of chromosome. *Korean J Phys Anthropol*. 2000;13:31-8.
- Chung MS, Lee JM, Sohn HJ, Park DJ, Park SS. Morphology of fingerprints in Koreans. *Korean J Phys Anthropol*. 1997;10:251-64.
- Karev GB. Digital dermatoglyphics of Bulgarians from northeast Bulgaria. *Am J Phys Anthropol*. 1986;69:37-50.
- Penrose LS. Medical significance of finger-prints and related phenomena. *Br Med J*. 1968;2:321-5.
- Olivier G. *Practical Anthropology*, Springfield, Illinois, Charles C Thomas, 1969.
- Loesch D. Genetical studies of sole and palmar dermatoglyphics. *Ann Hum Genet*. 1974;37:405-20.
- Loesch D. Dermatoglyphic characteristics of 21-trisomy mosaicism in relation to the fully developed syndrome and normality. *J Ment Defic Res*. 1974;18:209-69.
- Penrose LS. Finger-prints, palms and chromosomes. *Nature*. 1963;197:933-8.
- Tao X, Chen X, Yang X, Tian J. Fingerprint recognition with identical twin fingerprints. *PLoS One*. 2012;7:e35704.
- Caplan RM. How fingerprints came into use for personal identification. *J Am Acad Dermatol*. 1990;23:109-14.
- Medland SE, Loesch DZ, Mdzewski B, Zhu G, Montgomery GW, Martin NG. Linkage analysis of a model quantitative trait in humans: finger ridge count shows significant multivariate linkage to 5q14.1. *PLoS Genet*. 2007;3:1736-44.
- Preus M, Fraser FC. Dermatoglyphics and syndromes. *Am J Dis Child*. 1972;124:933-43.
- Kim DW, Choi IJ, Yang KC, Kang PS, Chang SK. Characteristics of dermatoglyphics in patients with mental retardation. *Korean J Phys Anthropol*. 2002;15:35-46.
- Cusumano D, Berman B, Bershah S. Dermatoglyphic patterns in patients with atopic dermatitis. *J Am Acad Dermatol*. 1983;8:207-10.
- Mulvihill JJ, Smith DW. The genesis of dermatoglyphics. *J Pediatr*. 1969;75:579-89.
- Nousbeck J, Burger B, Fuchs-Telem D, Pavlovsky M, Fenig S, Sarig O, et al. A mutation in a skin-specific isoform of SMARCAD1 causes autosomal-dominant adermatoglyphia. *Am J Hum Genet*. 2011;89:302-7.
- Nousbeck J, Sarig O, Magal L, Warshauer E, Burger B, Itin P, et al. Mutations in SMARCAD1 cause autosomal dominant adermatoglyphia and perturb the expression of epidermal differentiation-associated genes. *Br J Dermatol*. 2014;171:1521-4.
- Azadeh P, Dashti-Khavidaki S, Joybari AY, Sarbaz S, Ja-

- fari A, Yaseri M, et al. Fingerprint changes among cancer patients treated with paclitaxel. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2017;143:693-701.
21. Azadeh P, Yaghobi Joybari A, Amini A, Farasatinasab M. Paclitaxel-induced fingerprints loss. *Ann Pharmacother*. 2014;48:1249-50.
 22. Kahn HS, Graff M, Stein AD, Lumey LH. A fingerprint marker from early gestation associated with diabetes in middle age: the Dutch hunger winter families study. *Int J Epidemiol*. 2009;38:101-9.
 23. Kahn HS, Graff M, Stein AD, Zybert PA, McKeague IW, Lumey LH. A fingerprint characteristic associated with the early prenatal environment. *Am J Hum Biol*. 2008;20:59-65.
 24. Gibbs RC. Fundamentals of dermatoglyphics. *Arch Dermatol*. 1967;96:721-5.
 25. Diamond ME. Texture sensation through the fingertips and the whiskers. *Curr Opin Neurobiol*. 2010;20:319-27.
 26. Hale AR. Morphogenesis of volar skin in the human fetus. *Am J Anat*. 1952;91:147-81.
 27. Hirsch W, Schweichel JU. Morphological evidence concerning the problem of skin ridge formation. *J Ment Defic Res*. 1973;17:58-72.
 28. Okajima M. Development of dermal ridges in the fetus. *J Med Genet*. 1975;12:243-50.
 29. Kücken M. Models for fingerprint pattern formation. *Forensic Sci Int*. 2007;171:85-96.
 30. Schaumann BA, Opitz JM. Clinical aspects of dermatoglyphics. *Birth Defects Orig Artic Ser*. 1991;27:193-228.
 31. Morohunfolo KA, Jones TE, Munger BL. The differentiation of the skin and its appendages. I. Normal development of papillary ridges. *Anat Rec*. 1992;232:587-98.
 32. Morohunfolo KA, Jones TE, Munger BL. The differentiation of the skin and its appendages. II. Altered development of papillary ridges following neuralectomy. *Anat Rec*. 1992;232:599-611.
 33. Garzón-Alvarado DA, Ramirez Martinez AM. A biochemical hypothesis on the formation of fingerprints using a Turing patterns approach. *Theor Biol Med Model*. 2011;8:24.
 34. Kücken M, Newell AC. Fingerprint formation. *J Theor Biol*. 2005;235:71-83.

간추림 : 지문은 손가락 바닥쪽 끝마디에 있는 피부능선이 모여서 된 구조로 이 능선에 샘분비땀샘관이 열려 있고 여기서 분비되는 땀에 의해서 지문을 남기게 된다. 지문은 미끄럼을 방지하는 기능 이외에 증판소체를 자극하여 질감을 예민하게 느끼는 데 역할을 한다. 일반적으로 지문은 활형, 고리형, 소용돌이형으로 나누는데 한국인에서 고리형이 제일 많이 나타난다. 지문은 다운증후군과 정신질환 등 유전적 질환에서 이상이 나타나며, 모체가 당뇨병이나 풍진 바이러스 등에 감염되었을 때 지문의 유형이나 지문의 능선 수가 달라진다. SMARCAD1 유전자의 변이에 의해 지문이 발생하지 않았으며 땀샘도 발달하지 않아 지문의 형성에 땀샘의 발달이 중요함을 알 수 있다. 지문형성의 기전은 아직까지 잘 밝혀져 있지 않지만, 태아 발생 과정 중 피부의 버클링 과정에 의해 지문이 형성되는 주름잡힘이론이 가장 설득력 있다. 이 주름잡힘이론으로 지문형성의 구체적인 기전을 규명하려면 지문이 있는 손가락 부위의 기하학적 요소와 지문형성에 관여하는 생물학적 인자를 활용한 수학적 모델링이 필요하다.

찾아보기 낱말 : 지문, 샘분비땀샘, 능선, 수학적 모델링