

풍화작용에 의한 정상모발의 형태학적 변화

홍완성* 장병수¹ 임도선² 박상옥³ 여성문⁴
동남보건대학 물리치료과, ¹임상병리과, ²서울보건대학 치위생과,
³대구효성가톨릭대학교 생물학과, ⁴단국대학교 생물과학부

Morphological Change of Men's Hair Shaft by Weathering

Wan-Sung Hong,* Byung-Soo Chang¹ Do-Seon Lim²

Sang-Ock Park³ and Sung-Moon Yoe⁴

Department of Physical Therapy, ¹Department of Clinical Pathology, Dongnam Health College

²Department of Dental Hygiene, Seoul Health College

³Department of Biology, Catholic University of Taegu Hyosung

⁴Department of Biological Sciences, Dankook University

(Received October 23, 1999)

ABSTRACT

The morphological changes in normal and weathering hair shafts of the human scalp were investigated by using the transmission and scanning electron microscopes. The hair shaft composed of cuticular layer, cortex and medulla. The surface of normal hairs are smooth and covered by imbricated cuticular scales. The cuticular layer consists of five to seven cuticle cells. These cells, which are flat and thin, measuring about 100 μm long and 0.4 μm thick, appears intercellular membrane complex in diameter 25 nm. The cortex composed of melanin granules and cornified cells, which multicomponent concentric microfibrils in diameter about 8 nm give rise to macrofibrils in diameter 0.5 μm to 0.8 μm encased in limiting membrane. The melanin granules are spherical shaped about 0.5 μm in size and scattered between macrofibrils. The medulla in the normal hairs are 16 μm in diameter centrally region of cortex. Normal hair shafts undergo progressive degenerative changes due to a variety of environmental insults. In the initial weathering process of hair, the cuticular scales became irregularly raised and broken, and then cuticle cells formed cytoplasmic vacuolation, following dissociated intercellular membrane complex, ultimately entirely lost and nuded cortex. Occasionally, transverse fissures were seen at hair shafts indicating that the hairs were deteriorated. Complete removal of the cuticular layer in the heavily damaged cortex portions appeared splitting of the cortical cell into its macrofibrils and scattering of melanin granules.

Key words : Cuticle cell, Hair shaft, Macrofibril, Melanin granule, Weathering

*Correspondence should be addressed to Dr. Wan-Sung Hong, Department of Physical Therapy, Dongnam Health College, Suwon, 440-714 Korea.
Ph: (0331) 2496-441

Copyright © 1999 Korean Society of Electron Microscopy

서 론

모발의 일반적인 구조는 크게 모근부(hair root)와 모간부(hair shaft)로 구분되며, 모근부는 진피유두(dermal papillae)를 덮고 있는 표피세포로서 모낭에서 형성된다. 진피유두에는 모세혈관이 분포하고 있어서 모낭에 영양분을 공급한다(Johoda et al., 1984; Westgate et al., 1984). 모간부는 모소피(hair cuticle)와 모피질(hair cortex) 및 모수질(hair medulla)로 구성되어 있다. 모소피는 각질화된 편평무핵세포가 중첩되어 있어서 머리의 결을 형성하고, 모소피의 1/4~1/5은 표면으로 나와 돌출되어 마치 비늘(scale) 모양을 하고 있으며, 3/4~4/5는 중첩되어 모간의 표면을 덮고 있다. 모피질은 피질세포와 세포간 결합물질로 구성되는데, 피질세포는 각질화된 편평세포로서 중앙에 macrofibril이라 불리는 섬유상 구조와 멜라닌색소(melanin pigment)가 세포사이에 산재되어 분포하고 있다. 모수질은 모간의 중심부위에 위치해 있으며, 다수의 공포를 갖고 있는 중간정도의 각질화된 세포로 구성되며, 모간 직경의 약 1/3~1/4 정도 차지하고 있다(Wall & Hunter, 1974).

모발의 구조적 차이는 병리학적 질환이나 풍화(weathering)에 의해서 나타난다. 모발의 병리학적 질환에 의한 형태변화는 유전적인 요인이나 자가면역 질환 등에 의해서 나타나며, 이와 같은 질환에는 연주모증(monilethrix), 열모증(trichorrhexis), 원형탈모증(alopecia) 등이 있다(Gummer et al., 1984; Ito et al., 1990; Lurie, 1996). 풍화는 모발이 환경에 지속적으로 노출됨으로서 나타나는 물리화학적 구조변화를 의미한다. 즉, 태양광선, 오염된 공기, 바람, 해수, 수영장의 염소화합물 등에 의해서 모발에 영향을 주게 된다. 이런 요인은 주로 모간의 외부를 둘러싸고 있는 모소피와 모피질에 손상을 주게 되고, 더욱 진행되면 손상된 부분이 부러지게 된다(Georgalas & Dowbrands, 1993; Tobin et al., 1997).

최근의 모발에 관한 연구는 모발의 병리학적 질환에 관한 연구(Adachi et al., 1997; Trurb et al., 1997; Iguchi & Anniko, 1998; Varkonyi et al., 1998)가 주류를 이루고 있으며, 모발의 풍화에 관한 연구는 정상인

의 모발이 자연상태 하에서 화장품 등의 사용과 관련된 몇몇 연구가 보고(Swift & Brown, 1972; Venning et al., 1986; Gallagher & Jones, 1993)되었을 뿐이다. 이에 본 연구는 풍화작용이 모발의 미세구조와 형태에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하고자, 정상 성인 남성의 두피에서 모근부에 가까운 부위의 모간과, 동일 모발이 성장 후 모간의 끝 부분을 시료로 하여 변화된 조직학적 구성을 광학현미경과 고배율의 주사 및 투과전자현미경을 사용하여 모발의 외부형태와 미세구조적 변화를 규명하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

모발의 형태적, 미세구조적 변화 과정을 관찰하기 위하여 정상모발과 풍화에 의해 손상된 모발을 실험 재료로 사용하였다. 정상적인 모발은 정상 성인 남성의 두피에서 모근부에 가까운 부위에 있는 모간을, 손상된 모발은 일정 성장기간을 거친 모간의 끝 부분에서 채취하였다.

2. 실험방법

1) 투과전자현미경 관찰

정상적인 모간과 풍화에 의해서 퇴화되는 모간을 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)에 1시간 동안 전고정하고, 인산 완충용액(4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 15분씩 2회 세척한 다음, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)로 1시간동안 후고정 하였다. 고정이 끝난 시료는 동일 완충용액으로 2회 세척한 후, ethanol 농도 상승순으로 탈수하였고, propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 다음, 60°C vacuum drying oven에서 36시간 동안 중합반응시켰다. 포매된 조직은 초박절편기(ultramicrotome, LKB-2088)로 준 초박절편을 제작한 다음, 1% toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다. 전자현미경 관찰을 위해 동일한 부위에서 은색절편을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 투과전자현미경(JEOL 100CX-II, Japan)으로 100kV에서 관찰하였다.

2) 주사전자현미경 관찰

모간 표면의 형태적 변화를 관찰하기 위하여 각각의 시료를 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)에서 전고정하고, 인산완충용액 (4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 수회 수세한 다음, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)으로 1시간 후고정하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 수세 후, ethanol 농도 상승순으로 탈수하여 iso-amyl acetate로 치환하였다. 처리된 시료는 임계점 건조기 (Bio-Rad Microscience Division, England)에서 건조시킨 후, Ion-sputter coater (Bio-Rad Polaron Division, England)를 사용하여 20 nm 두께로 금 도금 (gold coating)한 다음, 주사전자현미경 (JEOL-840A, Japan)으로 20 kV에서 관찰하였다.

결 과

1. 정상모발

정상적인 모발에서 모간은 구형 또는 타원형의 형태로 존재하였다. 모간을 가로절단하여 toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰한 결과, 모간의 직경은 약 110 μm이었으며, 모수질과 모피질 및 모소피층이 뚜렷하게 관찰되었다. 또한, 모수질은 내부가 비어있는 상태로 관찰되었고, 모피질은 melanin과립이 고르게 산재되어 있었다 (Fig. 1).

주사전자현미경상에서 정상 모간의 표면은 각질화된 편평무핵세포가 중첩되어 있었고, 모소피층 표면의 비늘은 손상받지 않은 상태로 관찰되었다 (Fig. 3). 모간을 가로절단한 표본에서 모소피층은 약 4 μm로 측정되었고, 5~7개의 편평무핵세포가 길고 납작하게 신장되어 모피질을 둘러싸고 있었으며, 이들 세포들의 직경은 약 0.6 μm로 관찰되었다. 모소피층에 의해 둘러싸인 모피질에는 melanin과립들이 고르게 산재되어 분포하고 있었으며, 모피질은 모간 직경에 약 3/4 정도의 크기로 관찰되었다 (Fig. 5).

투과전자현미경상에서 정상 모간에서 모소피층의 편평무핵세포는 전자밀도가 높은 외소피(exocuticle)와 전자밀도가 비교적 낮은 내소피(endocuticle)로 뚜렷하게 구분되어 나타났다. 외소피는 모소피층의 바깥쪽 세포막을 따라 약 0.1 μm의 두께로 일정하게 배

열되어 있었다. 모소피층을 구성하는 편평무핵세포 사이에는 섬유성분의 cement 물질로 구성된 세포사이막복합체 (intercellular membrane complex)가 균열없이 단단하게 부착되어 있었고, 그 간격은 약 50 nm 정도로 관찰되었다 (Fig. 6). 또한 길게 신장된 편평무핵세포의 말단은 뾰족한 침단부위를 형성하면서 종지하였다 (Fig. 7). 그리고 모피질은 macrofibril이 한계막에 둘러싸여 있었으며, 이들의 직경은 부위에 따라 다소 차이는 있지만, 약 0.6~0.8 μm의 구형 또는 타원형의 형태를 하고 있었다. Macrofibril을 채우고 있는 microfibril은 직경 약 8 nm로 가로절단면에서 마치 손가락의 지문형태로 일정하게 배열되어 있었다. 또한 macrofibril 사이에 산재되어 있는 melanin과립은 전자밀도가 높고 균일한 구형의 형태로 관찰되었다 (Fig. 8).

2. 자연상태에서 풍화된 모발

풍화에 의해 손상된 모간을 가로절단하여 광학현미경으로 관찰한 결과, 모간의 모소피층을 구성하는 편평무핵세포가 일부 박리되어 떨어지기 직전에 있거나, 이미 떨어져 나가서 모피질이 노출된 상태로 존재하였다. 또한, toluidine blue 염색에서 모피질은 진하게 호염되는 것을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2). 주사전자현미경상에서 손상된 모간은 모소피층이 탈락되어 있었으며, 표면이 매우 불규칙하였고, 일부에서는 모피질이 노출되어 있는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4). 그리고 모간의 표면에는 모소피층이 가로로 찢어져 구열현상을 보이고 있었으며, 채 떨어져 나가지 않은 비늘이 여러 층으로 관찰되었다. 모피질이 노출된 부위에서 macrofibril은 분리되어 있었고, 이들 사이에 구형의 melanin과립이 탈락되기 직전의 상태로 산재되어 관찰되었다 (Fig. 9).

초기에 모소피층의 박리과정은 편평무핵세포 사이에 균열이 생기고, 손상을 받은 세포는 세포질에 공포를 형성하면서 떨어지게 되며 (Fig. 10), 이어서 바로 밑에 부착되어 있는 또 다른 편평무핵세포의 세포사이막복합체의 부착력이 약해지면서 연속적인 탈락 현상이 진행되었다. 그리고 탈락현상이 지속되어 모소피층이 모두 떨어져 나간 후, 모피질이 노출되는 것이 관찰되었다 (Fig. 11). 모피질이 노출된 조

직표본에서 각질화세포를 구성하는 macrofibril은 각각 분리되고, 이들 사이에 공기가 채워지는 것을 관찰하였다. 또한, 탈락 직전의 macrofibril 사이에 분포하고 있는 melanin과립들이 원형을 유지한 채, 이탈되는 것이 관찰되었다(Fig. 12).

고 찰

사람의 모발 형태는 직선모(straight hair), 파동모(wavy hair), 곱슬모(curly hair), 양모(woolly hair), 말린모(peppercorn hair)로 구분된다(Lantis & Pepper, 1978). 곱슬머리는 긴 나선형의 머리채로 나타내며, 양모는 아주 납작한 코일 형태의 나선형으로 이것은 머리채를 형성하지 못한다. 말린모는 흑인에서 나타나는 일반적인 모발형태로 작은 단추모양을 하는 납작한 나선형의 형태이고, 직선모는 대부분의 황인종에서 나타나는 모발이다(Stamm et al., 1977; Whiting, 1987). 정상 모발에서 모간은 일정한 직경을 유지하고 있고, 구형이나 난형의 형태를 하고 있다. 모간의 최외곽을 둘러싸고 있는 모소피층은 편평무핵세포들에 의해서 5~7개의 중첩된 층을 이루고 있는데, 두께가 약 0.5 μm 이며, 길이가 약 80~100 μm 인 아주 얇고 납작하며, 바깥쪽으로 노출된 세포의 가장자리가 약간씩 중첩되어 비늘을 형성하고 있다. 일반적으로 모소피층의 역할은 화학물질과 물리적작용에 대한 섬유의 보호장벽으로 작용한다(Wall & Hunter, 1974; Stamm et al., 1977).

본 연구에서 정상 모간의 소피세포는 편평무핵세포로서 전자밀도가 높은 외소피와 전자밀도가 낮은 내소피로 뚜렷하게 구분되어 관찰되었다. 모간을 가로질러 단한 주사전자현미경상에서 모소피층은 약 4 μm 으로 측정되었으며, 5~7개의 소피세포가 길고 납작하게 신장되어 모피질을 둘러싸고 있었고, 각 소피세포의 직경은 약 0.6 μm 로 관찰되었다. 이는 Wall & Hunter(1974)와 Stamm 등(1977)의 연구와 동일한 결과로, 실험에 사용된 모발이 화학약품이나 열 등에 의해 인위적 손상을 받지 않았기 때문으로 생각된다.

한편, 풍화현상은 반복되는 환경의 노출에 의해서 모발의 물리화학적 구조에 영향을 주는 것을 의미한다. 즉, 모발은 태양광선, 공기오염물, 바람, 해수, 수영

장의 염소화합물 등에 의해서 영향을 받게 되어 모발섬유에 변화가 일어나고, 색깔과 광택이 상실되어 거칠어지고, 강도가 감소되어 부러지게 된다. 모발의 퇴화에 직접적인 관련이 있는 요소는 태양광선, 특히 자외선이며 습기와 산소 등도 관련되고, 이들은 keratin fiber를 광화학적반응과 화학적반응을 통해 변화시킨다(Ingles & Lennox, 1963; Rook, 1976).

남아프리카산 양의 풍화된 양모에 관한 연구에서 모간의 모소피층은 갈라지고 비늘이 떨어져 나갔으며, 심하게 손상된 모간의 끝 부분은 새로 갈라진다고 보고하였다(Louw, 1960). 또한, 모간의 표면구조가 점진적으로 퇴화되는 현상을 관찰한 연구에서는 모간의 가장자리가 뾰족해지고, 들떠지면서(scale lifting), 부분적인 마모현상이나 완전한 마모가 일어나서 모피질섬유가 찢어진다고 보고하였다(Tolgyesi, 1983). 본 연구 결과, 정상 성인 모발에서 모간의 풍화는 모소피층의 소피세포들이 박리되면서 진행되었다. 초기과정은 소피세포의 세포질에 공포가 형성되었고 세포사이 막복합체가 분리되면서 떨어지거나, 세포의 첨단부분이 박리된 다음, 모소피 전층이 모두 떨어진 후, 모피질이 노출되면서 풍화현상이 가속화되었다. 이러한 결과는 모발이 친수성과 지질친화성을 가지는 복잡한 구조로 되어 있어(Winkins & Moore, 1982), 대기중의 습기와 결합하여 수분을 함유하게 되므로, 단백질의 화학적 변화가 일어나고, 이로 인하여 모소피층이 탈락되면서 macrofibril로 구성된 모피질이 찢어지게 되는 것으로 사료된다.

또한, 본 연구에서 정상모발의 모간이 풍화되어 모피질까지 손상된 경우, 모피질을 구성하는 macrofibril은 장축을 따라 파열되어 간극을 이루고 있었고, 이들 사이에 melanin과립들이 노출되어 있었다. Lennox 등(1971)의 연구에 의하면 풍화과정에서 갈색머리의 melanin과립은 광산화적 표백작용(photooxidative bleaching)에 의해서 탈색된다고 하였고, 금발머리가 노란색으로 퇴화되는 것은 태양광선과 자외선에 노출되어 황색을 띄게 되는데, 황갈색 반응산물을 만드는 cysteine, tyrosine, tryptophan 잔기의 광반응에 의한 퇴화(photodegradation)현상으로 보고되었다. 그러나, 본 연구에서는 Lennox 등(1971)이 보고한 바와 달리, 모간의 색 변화는 나타나지 않았고, melanin과

립이 탈락되는 현상만 관찰되었다. 이러한 결과는 melanin과립의 화학적 변화는 습기가 많은 곳에 노출되었을 때 증가하여, 결국 모발이 표백된다는 보고 (Tolgyesi, 1983)로 미루어 볼 때, 본 연구에 사용된 성인 남성의 모발은 습기에 노출이 적었기 때문에 melanin과립의 광산화적 표백작용이 일어나지 않은 것으로 차료된다.

참 고 문 헌

- Adachi M, Hishino T, Mizuta K, Wu R: Ultrastructural findings of the macula utriculi in a case of a petrous apex cholesteatoma: a comparison with findings in a patient with an acoustic neuroma. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 254(5): 255-258, 1997.
- Gallagher KF, Jones RT: Emerging technology in protein copolymerization. *Cosm & Toiletry* 108: 97-104, 1993.
- Georgalas A, Dowbrands LP: Photoprotection for hair. *Cosm & Toiletry* 108: 75-80, 1993.
- Gummer CL, Dawber R, Swift JA: Trichothiodystrophy: an electron microscopic and electron histochemical study of hair shaft. *Br J Dermatol* 110: 439-449, 1984.
- Iguchi H, Anniko M: Acute effects of semicircular canal destruction on the cochlea with and without preceding *Pseudomonas aeruginosa* exotoxin a treatment. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 118(4): 511-518, 1998.
- Inglis AS, Lenox FG: Studies in wool yellowing, Part IV: Changes in amino acid composition due to irradiation. *Text Res J* 33: 431-438, 1963.
- Ito M., Hashimoto K, Katsuumi K, Yoshida S: Pathogenesis of monilethrix: Computer stereography and electron microscopy. *J Invest Dermatol* 95: 186-194, 1990.
- Jahoda CA, Horne KA, Oliver RF: Induction of hair growth by implantation of cultured dermal papilla cells. *Nature* 311: 560-562, 1984.
- Lantis SDH, Pepper MC: Woolly hair nervus. Two case reports and a discussion of unruly hair forms. *Arch Dermatol* 114: 233-238, 1978.
- Lennox FG, King MG, Leaver IH, Ramsey GC, Savige WE: Mechanism, prevention and correction of wool photoyellowing. *Appl Polymer Symp* 18: 353-356, 1971.
- Louw DF: Weathering and the resulting chemical changes in some South African wools. *Text Res J* 30: 462-468, 1960.
- Lurie R, Danziger Y, Kaplan Y, Sulkes J, Abramson E, Minouni M: Acquired pili torti—a structural hair shaft defect in anorexia nervosa. *Cutis* 57: 151-156, 1996.
- Rook A: The clinical importance of “weathering” in human hair. *Br J Dermatol* 95: 111-117, 1976.
- Stamm RF, Garcia ML, Fuchs JJ: The optical properties of human hair. I. Fundamental considerations and goniophotometric curves. *J Soc Cosmet Chem* 82: 571-573, 1977.
- Swift JA, Brown AC: The critical determination of the changes in the surface architecture of human hair due to cosmetic treatment. *J Soc Cosmet Chem* 23: 695-699, 1972.
- Tobin DJ, Hann SK, Song MS, Bystryjn JC: Hair follicle structures targeted by antibodies in patients with alopecia areata. *Arch Dermatol* 133: 57-61, 1997.
- Tolgyesi E: Weathering of hair. *Cosm & Toiletry* 98: 29-33, 1983.
- Trurb RM, Tsambaos D, Spycher MA, Muller J, Burg G: Scarring folliculitis in the ectrodactyly-ectodermal dysplasia-clefting syndrome. Histologic, scanning microscopic and biophysical studies of hair. *Dermatol* 194(2): 191-194, 1997.
- Varkonyi A, Boda M, Endreffy E, Nemeth I, Timar E: Coeliac disease: always something to discover. *Scand J Gastroenterol Suppl* 228: 122-129, 1998.
- Venning VA, Dawber RPR, Ferguson DJP, Kanan MW: Weathering of hair in trichothiodystrophy. *Br J Dermatol* 114: 591-595, 1986.
- Wall RA, Hunter LD: Normal adult hair structure and properties. *Cosmet Perf* 89: 31-36, 1974.
- Westgate GE, Shaw DA, Harrap GJ, Cuoehman JR: Immunohistochemical localization of basement membrane components during hair follicle morphogenesis. *J Invest Dermatol* 82: 259-264, 1984.
- Whiting DA: Structural abnormalities of the hair shaft. *J Am Acad Dermatol* 16: 1-23, 1987.
- Winkins JB, Moore RJ: Harris's cosmeticology. Chemical Publish, New York, pp. 308-426, 1982.

< 국문 초록 >

성인 남성의 모발에서 정상 모간과 자연상태에서 손상된 모간의 외부형태와 미세구조적 변화를 광학현미경과 주사 및 투과전자현미경으로 관찰하였다. 정상 모간

은 모소피층, 모피질, 모수질 등의 3부분으로 구성되어 있었다. 모소피층은 5~7개의 모소피세포들이 중첩되어 모피질과 모수질을 둘러싸고 있고, 길게 신장되어 모피질을 둘러싸고 있는 소피세포의 두께는 약 0.4 μm 로 확인되었다. 또한, 이들 세포사이에는 약 25 μm 의 세포사이 막복합체가 관찰되었다. 모피질은 잘 발달되어 각질화세포(cornified cell)들로 치밀하게 채워져 있었고, 각질화세포는 직경이 약 0.5~0.8 μm 인 구형 또는 타원형의 microfibril로 구성되어 있었으며, 이들은 약 8 nm 두께의 가는 microfibril이 중심원상의 규칙적인 형태로 배열되어 있었다. 그리고 microfibril 사이에는 약 0.5 μm 크기의 직경을 가진 구형의 melanin과립들이 고르게 산재되어 관찰되었다. 모수질은 공기가 채워져 있었고, 직경이

약 16 μm 의 구형의 형태로 모간의 전체 직경에 1/5 정도를 차지하고 있었다.

풍화에 의해 손상된 모간은 모소피층이 박리되어 있었으며, 모피질세포의 세포질도 손상되어 melanin과립들이 표면에 노출되어 있는 것이 확인되었다. 조직표본상에서 모소피층의 박리과정은 모소피 사이에 공포가 형성되고, 이어서 모소피의 가장자리가 떨어져 나가고, 박리되지 않은 부위는 절단되었다. 모소피가 탈락되어 모피질이 노출된 부위에서는 각질화세포내에 존재하는 microfibril이 각각 분리되고, 인접된 microfibril 사이에 공기가 채워지게 되어 모간의 풍화과정은 더욱 촉진되었다. 그리고 노출된 microfibril 사이에서 탈락 직전의 melanin과립들이 산재되어 관찰되었다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Light micrograph of the cross section of a normal hair shaft shows ovoid shape. ($\times 1,200$)
- Fig. 2.** Light micrograph of the transversely sectioned a weathering hair shaft shows round and irregular shape. The thickness of the cuticular layer appear thinner in the normal hair shaft. ($\times 1,200$)
- Fig. 3.** Scanning electron micrograph of a normal hair shaft shows imbricated cuticular scale. Bar = 100 μm
- Fig. 4.** Scanning electron micrograph of an abnormal hair shaft with fissured cuticle and loss of cortex in area of greatest distribution. Bar = 100 μm
- Fig. 5.** Scanning electron micrograph of the cross section of a normal hair shaft showing well organized cuticle (C), fully developed cortex (Co) and medulla (M). Note that the cuticle is 4 μm in diameter and composed of 5 or 7 cuticular cell layers. Bar = 10 μm
- Figs. 6, 7.** Transmission electron micrograph of transverse section of a cuticle in normal hair shaft.
- Fig. 6.** The cuticle cells are in regular concentric arrangement with endocuticle (EN) and exocuticle (EX). Note the cuticle cells are smooth flattened, and each cell is 0.6 μm in diameter. Arrowhead: intercellular membrane complex, M: melanin granule, MF: microfibril. Bar = 0.5 μm
- Fig. 7.** The end edge of a cuticular cell (Cu) appears between intercuticular cells. Bar = 0.5 μm
- Fig. 8.** High magnification electron micrograph of the cortex in normal hair shaft. The microfibrils (arrows) are well concentrically organized in the microfibril (MF) and the melanin granules (M) are distributed between microfibrils. Bar = 0.5 μm
- Fig. 9.** Scanning electron micrograph of a hair weathering. Note the transverse fissure (Arrow), disintegrated cortex and exposed melanin pigment (Arrowheads). Bar = 10 μm
- Figs. 10-12.** Transmission electron micrograph of a hair weathering. Transverse section of hair shafts show overlapping cuticular cells and cortex.
- Fig. 10.** The outer layer of a cuticle is vacuolated with loss of characteristic cuticular cell (Cu). M: melanin granule, V: vacuole. Bar = 0.5 μm
- Fig. 11.** The edge of a cuticular cells are exfoliated and fractured (Arrows). Bar = 0.5 μm
- Fig. 12.** The hair shaft were deeply fissured and broken up fragment of cuticles and cortex. Loss of the cuticles result in disintegration of the cortex and then separation of microfibrils within the cortical cells. Arrow: cuticle cell, Open arrow: fragments of microfibril. Bar = 1 μm .







