

우주비행 훈련 기간에 채취한 예비우주인 모발의 형태적인 변화 - 증례 보고 -

이 원 근, 장 병 수^{1,*}

한서대학교 보건학부 건강관리학과, 피부미용학과

Morphological Changes of Pre-Astronaut's Hair During Spaceflight Training -A Case Report-

Weon Kun Lee, Byung Soo Chang^{1,*}

Departments of Health Management, ¹Cosmetology, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea
(Received November 30, 2009; Accepted December 30, 2009)

ABSTRACT

This study was investigated to observe morphological changes of two pre-astronauts' hair, male and female by electron microscopy and to analyze its tensile strength by using rheometer. The surface of those two pre-astronauts' hair, which were very rough and irregular, contained separated scales and destroyed remnants of cuticular cells. Also, there were many holes on the cytoplasm of the cuticular cells which forms the cuticle layer. The destruction begins when the endocuticle where the holes form gets destroyed. And then, The tensile strength of female pre-astronaut's hair was 14.60 mm which is 10% reduced, compared to that of the normal healthy hair. Thus, this result thought to be due to the prolonged change of the biorhythm and psychological instability of the pre-astronauts.

Keywords : Aerospace medicine, Astronaut, Microgravity, Hair, Tensile strength.

서 론

우주비행사는 오랜 기간 우주공간에 머무는 동안에 인체에 생리적인 변화가 일어난다. 우주비행을 하는 동안에 우주비행사들은 중력의 변화, 신체 격리, 압박, 정신 사회화적인 혼동 (psychosocial conflict), 불안감, 수면상실 (sleep deprivation) 등의 스트레스를 받는다. 이와 같이 우주비행 동안에 받는 스트레스는 신체의 면역체계뿐만 아니라 여러 가지 생리학적 측면에서 영향을 미치고, 우주공간에서 조사되는 방

사선에 의해 신체에 병리학적 변화를 초래하게 된다.

최근까지 항공우주의학적 연구로서 우주비행을 하는 동안 미세중력 (microgravity) 상태에 노출된 신체는 골밀도와 근육량의 감소, 적혈구 수의 감소가 나타나고, 그리고 체액이 신체의 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동하고 심혈관계와 감각운동기관이 나빠지고 면역체계의 변화가 일어난다고 보고되어 왔다 (Kaur et al., 2005; Buckley et al., 2007).

우주인이 오랜 기간 동안 미세중력에 노출되면 뼈와 무기염류의 대사작용에 나쁜 영향을 미치게 되는데, Whedon et al. (2006)의 보고에 의하면 사람이 움직이지 않고 누워 있을

이 연구는 2007년도 한서대학교 교비 학술연구 지원 사업에 의하여 연구되었음.

* Correspondence should be addressed to Dr. Byung Soo Chang, Department of Cosmetology, Hanseo University, Seosan, Chungnam, 356-706, Korea. Ph.: (041) 660-1584, Fax: (041)-660-1590, E-mail: bschang@hanseo.ac.kr

때나, 누워서 요양할 때에 오줌으로 칼슘이 배출되어 뼈의 밀도가 감소하게 되고 이것은 골격운동을 하지 않은 불용성위축에 의한 것으로 우주비행사에서도 마찬가지로 우주비행 중 미세중력에서 적어도 1~2주 동안 오줌으로 칼슘의 배출이 증가된다고 하였다. 미세중력 상태에서 뼈의 밀도 감소는 적어도 3개월 이상 지속되는데 우주비행에서 뼈 밀도가 감소하는 것은 불용성 위축, 뼈의 재흡수율 증가, 뼈 형성의 지연, 장내 칼슘 흡수의 감소, glucocorticoid의 증가, 요관 결절 형성 등에 의한 생리적 현상으로 확인되었다.

우주비행사들의 건강과 안전한 임무수행을 위해서 많은 면역학적 연구가 진행되어 왔다(Taylor et al., 1983; Sonnenfeld et al., 1990; Meehan, 1992; Taylor et al., 1997). Kaur et al. (2005)은 우주 비행에 참여한 비행사로부터 채취한 단핵구의 항세균성 기능에 관한 연구에서 단핵구는 대장균의 탐식능력과 탈과립현상 및 산화물의 방출(oxidative burst) 등의 현상을 나타냈고, 탐식작용 능력이 우주비행 동안 현저히 감소하였다. 이런 식세포작용의 감소는 포식작용에 관여하는 세포표면 표지인자인 CD32, CD64의 발현 변화에 의해서 일어난다고 보고하였다. 이와 같이 우주비행 중에 면역혈구에 의한 이물질의 탐식 능력의 감소는 우주비행사의 면역기능이 떨어짐을 나타내는 증거이다.

Soyuz호와 Mir호의 우주비행 중에 우주인의 혈구세포 수와 혈구의 기능에 대한 변화가 나타났고(Taylor, 1986; Meehan, 1992), 림프구의 증식반응과 림프구에 의한 cytokine의 생산은 비행 후 감소하였다(Berry, 1991; Konstantinova, 1991; Stein & Schluter, 1994). 또한, 우주 비행하는 동안에 잠복되어 있는 herpes virus의 재활성화가 증가 되었고, 이것은 우주비행사의 면역상태를 나타내는 척도로 사용되어 왔다(Payne et al., 1999; Mehta et al., 2000; Stowe et al., 2001)

우주인들은 무중력상태에서 과도한 에너지의 소비가 없음에도 불구하고 체중의 감소를 경험하게 된다. 우주에서 식욕부진은 70 kg의 우주비행사가 1일에 1,330 kcal의 결핍을 초래할 수 있고 임무를 수행하고 지탱하는데 결정적으로 영향을 미칠 수 있다. 또한, 미세중력은 주야간의 생체리듬을 변화시키고 우주비행 동안 방사선에너지에 노출됨으로써 식욕과 음식물의 섭취 및 위장의 기능에 영향을 미친다. 시상하부의 활성 조절인자인 serotonin과 corticotropin-releasing factor는 식욕을 감퇴시키는데 중요한 역할을 하는데, 무중력상태에서 식욕감퇴와 24시간 주기 리듬의 변화에 결정적인 역할을 한다(Da Silvia et al., 2002).

이상과 같이 지금까지 보고된 항공우주의학 연구는 주로 우주인의 우주임무 수행 중 건강유지를 위한 생리적, 면역학적 변화와 정신 스트레스의 변화에 관한 연구가 진행되어 왔다. 즉, 우주인이 우주비행 임무를 완벽하게 수행하기 위해서 지상에서 임무 수행과 같은 신체적 조건을 이루기 위해 무중력상태에서 일어나는 생리적 변화에 대한 대

응책(countermeasure)의 연구에만 집중되어 왔다.

그러나, 무중력상태에서 인체를 구성하는 세포의 성장과정에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 모발의 성장과 변화에 관한 연구는 전혀 보고된 바가 없다.

본 연구는 인체에서 빠르게 분열하는 모발이 무중력상태에서 성장과 성장 방향 및 형태적인 변화과정을 연구하기 위한 기초 단계로서 예비우주인들이 우주공간과 유사한 조건의 지상훈련에서 성장한 모발의 특성을 추적하였다.

따라서, 본 연구는 2006년 한국에서 최초로 선발된 남녀 예비우주인의 모발을 지상에서 우주비행 훈련 중에 채취하여 훈련기간 중 성장한 모발의 형태적인 변화와 인장강도 변화를 모발에 관한 선행연구(Hong et al., 2000; Chang, 2003; Lee & Chang, 2008a, b; Roh et al., 2009)와 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 연구는 한국에서 최초로 선발된 남녀 예비우주인이 2007년 3월부터 2008년 4월까지 러시아에서 지상훈련을 받는 과정 중에 2008년 1월 4일 남녀 예비우주인 각각의 모발을 측두부 두피 기저부위에서 채취하여 실험 재료로 사용하였다. 실험에 사용한 모발은 남녀 예비우주인이 채취 직전까지 약 10개월 동안 우주비행 훈련 기간 동안 성장한 모발로서 채취 당시 남성 예비우주인은 약 3~5cm의 짧은 머리모양을 하고 있었고 여성 예비우주인은 20~30cm의 긴 모발을 뒤로 묶은 모양을 하고 있었다.

2. 방 법

1) 주사전자현미경 관찰(Scanning electron microscopic method)

남녀 예비우주인 모발을 각각 채취한 후 즉시 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)와 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)로 각각 2시간씩 전, 후 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 인산완충용액 (4°C, 0.4 M phosphate buffer, pH 7.4)으로 수회 수세한 다음, ethanol 농도 (70%, 80%, 90%, 95%, 100%) 상승순으로 탈수하여 isoamyl acetate로 치환하였다. 처리된 재료는 임계점건조기(critical point dryer, SCP-II, Hitachi)에서 건조시킨 후, JFC-1100 ion coater를 사용하여 20 nm 두께로 금 도금(gold coating)한 다음 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)으로 20 kV에서 관찰하였다.

2) 투과전자현미경 관찰

남녀 예비우주인 모발을 2.5% paraformaldehyde-glutar-

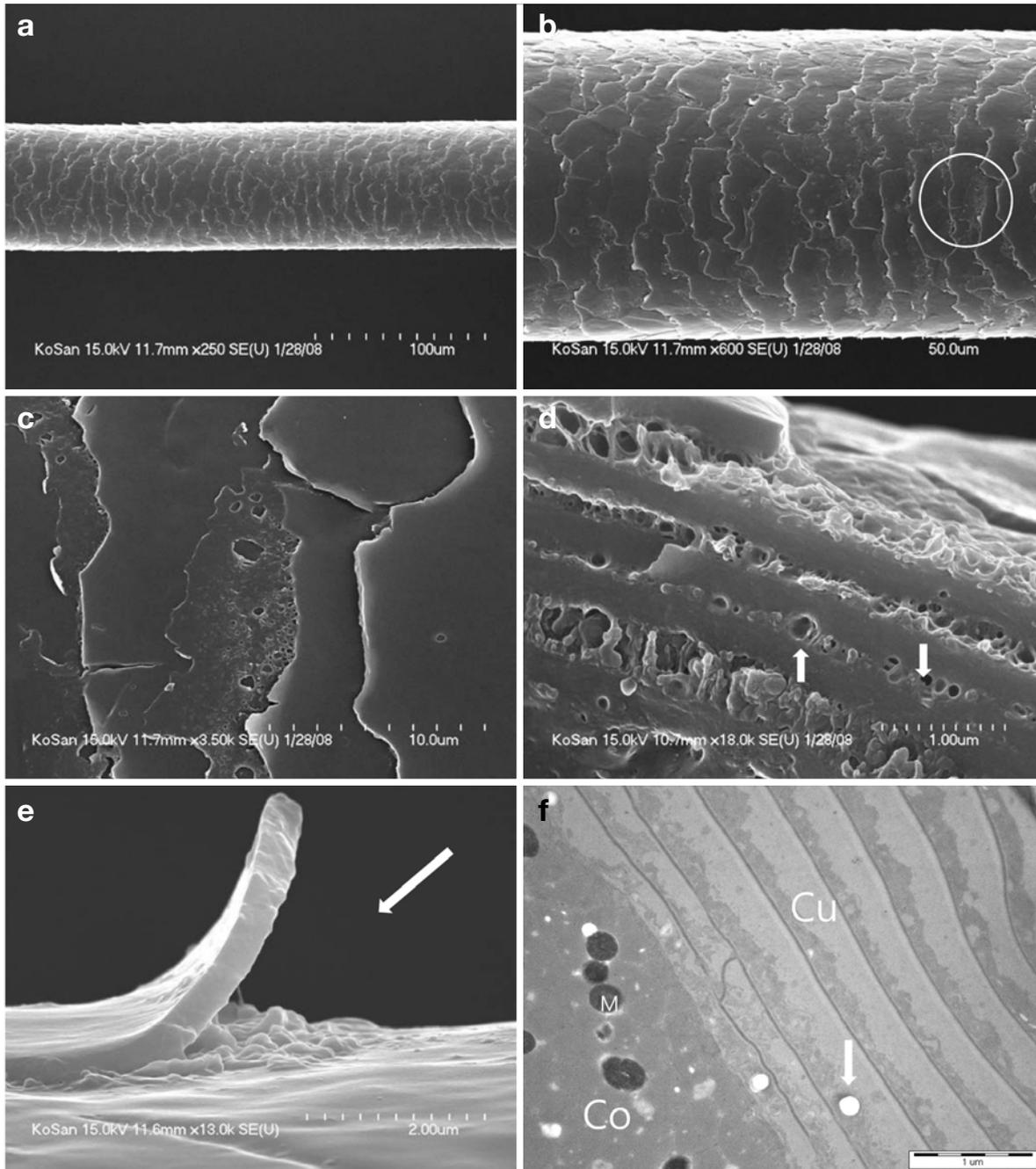


Fig. 1. Electron micrographs of male pre-astronaut' hair. The scanning electron micrographs of figure a and b show coarse hair surface. c: Magnification scanning electron micrograph of a circle in figure b shows many cell debris of endocuticle and its destroyed holes. d: Cross sectioned hair have many holes (arrows) in the endocuticle. e: High magnification scanning electron micrograph of hair surface shows lift off of the scale (arrow). f: Transmission electron micrograph of hair shows cortex (Co) and cuticle layer (Cu). Arrow: hole, M: melanin granule.

aldehyde (4°C, phosphate buffer, pH 7.4)에 2시간 전고정하고, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer)로 2시간 후고정하였다. 고정이 끝난 재료는 동일 완충용액으로 2회씩 세척한 후, 알콜농도 상승순으로 탈수하고, propylene oxide로 치환하여 Epon-Araldite 혼합액에 포매한 다음, 60°C vacuum drying oven (Yamato, Japan)에서 36시간 동안 중합반응 시켰다. 포

매된 조직은 초박절편기 (ultramicrotome, LKB-2088)로 준 초박절편을 제작하였다. 이어서, 초박절편을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 투과전자현미경 (H-7500, Hitachi, Japan)으로 100 kV에서 관찰하였다.

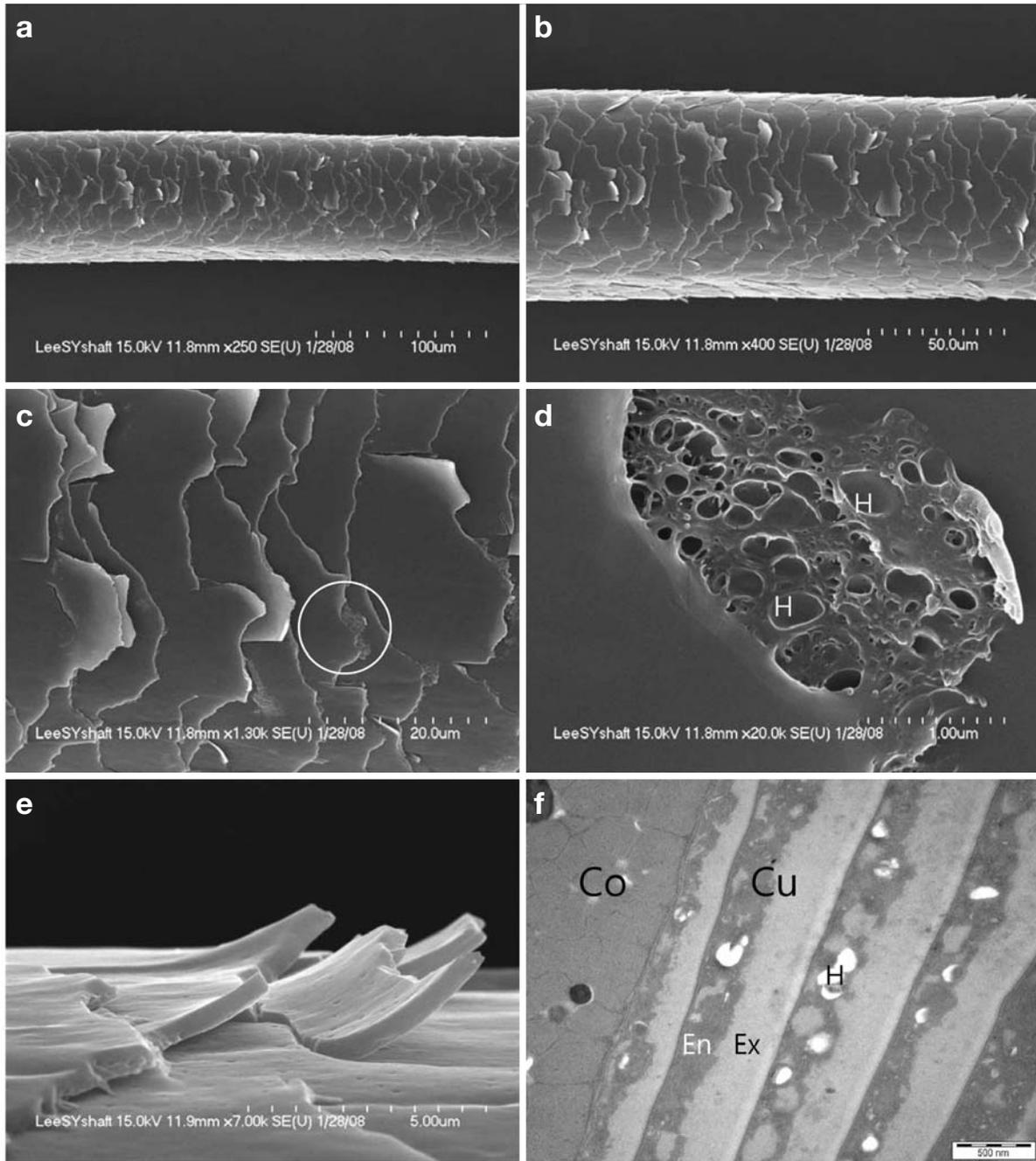


Fig. 2. Electron micrographs of hair of female pre-astronaut's hair. Scanning electron micrographs of figure a and b show coarse hair surface and separated scale. c: Magnification scanning electron micrograph of figure b shows irregular and destroyed scales. d: High magnification scanning electron micrograph of a circle of figure c appears many holes (H) in the destroyed cell debris. e: The scales on the hair surface are fissured and lifted off. f: Transmission electron micrograph of hair shows cortex (Co) and cuticle layer (Cu). The endocuticle (En) of cuticular cells have many holes (H). Ex: exocuticle.

3) 인장강도 측정

지상의 중력 하에서 모발의 잡아당기는 힘, 즉 인장강도를 측정하기 위해서 여성 예비우주인 모발을 두피 기저부에서 약 20 cm의 길이로 절단하였다. 이어서 인장강도기 (Rheometer, CR-500DX-S II, Japan)의 영점을 조정 한 후 30

분 이상 항온, 항습 조건에 방치한 여성 예비우주인 모발을 기기에 장착하여 인장강도를 측정하였다. 실험은 총 10회를 실시하고 얻어진 값을 통계처리 하였다. 인장강도기는 모발의 길이가 최소 10 cm 이상이 되어야만 하는 측정 가능한 장비의 특성상 짧은 모발을 가지고 있는 남성 예비우주인

Table 1. Tensile properties of female pre-astronaut's hair

Name	Peak stress (g)	Sample height (mm)	Distance (mm)	Tensile energy (erg/cm ²)	Tensile strength (g/cm ²)
*Virgin hair	162.25	1.00	12.47	130.85	16.23
Female pre-astronaut's hair	146.00	1.00	14.26	14.57	14.60

*Virgin hair data from Roh et al. (2009)

의 경우 인장강도 측정이 불가능하였다.

결 과

남성 예비우주인 모발을 채취하여 주사전자현미경으로 관찰한 결과 모발 표면은 매우 거칠게 관찰되었다(Fig. 1a). 모발 표면의 결을 이루고 있는 비늘(scale) 즉, 큐티클세포(cuticular cell)는 각이진 상태로 불규칙한 모양을 하고 있었다. 노출된 큐티클세포의 표면적은 건강모발에서보다 넓게 관찰되었다(Fig. 1b).

고배율의 주사전자현미경 관찰에서 모발 표면에 노출된 큐티클세포들의 세포질이 부서져서 떨어져 나간 부위에는 내큐티클(endocuticle)의 일부가 붙어 있었는데, 이 부위에는 세포질이 부서져 떨어지기 전 내큐티클에 형성되었던 구멍(hole)과 세포잔유물들이 아래의 큐티클세포에 밀착되어 붙어 있는 것이 확인되었다(Fig. 1c).

남성 예비우주인의 모발을 가로 절단하여 주사전자현미경으로 관찰한 결과 큐티클층(cuticle layer)을 이루고 있는 큐티클세포들은 세포질 내에 많은 구멍을 형성하고 있었는데 이들 구멍은 큐티클세포의 내큐티클에 집중적으로 분포하고 있었다(Fig. 1d). 또한, 고배율의 주사전자현미경상에서 모발표면의 일부는 큐티클세포가 분리되어 심하게 들떠 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1e).

투과전자현미경상에서 큐티클층은 7개의 큐티클세포들로 구성되어 있었고 이들 세포의 내큐티클에는 많은 구멍들이 형성되어 있었으며 피질(cortex)에도 멜라닌 과립과 인접한 부위의 피질세포(cortical cell) 막 주변에 크고 작은 공포들이 산재되어 있었다(Fig. 1f).

여성 예비우주인의 모발을 채취하여 주사전자현미경으로 관찰한 결과 모발 표면은 큐티클세포가 분리되어 들떠 있었으며 세포질 표면은 찢어져 있거나 뾰족한 각을 이루고 있었다(Fig. 2a, b). 또한, 분리되어 떨어져 나간 부위에는 탈락되지 않은 큐티클세포의 잔유물인 내큐티클이 부착되어 있었고(Fig. 2c), 이들 세포질에는 많은 구멍들이 부서져서 떨어져 나간 흔적들이 관찰되었다(Fig. 2d). 고배율의 주사전자현미경상에서 모발 표면에 분리되어 들떠있는 큐티클세포의 조각들도 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 2e).

여성 예비우주인의 모발을 가로 절단하여 투과전자현미

경으로 관찰한 결과 큐티클 층에는 많은 구멍들이 형성되어 있었고 큐티클세포는 내큐티클과 외큐티클(exocuticle)이 뚜렷하게 분리되어 나타났다. 외큐티클은 전자밀도가 낮게 관찰되는데 이부위에는 어떠한 구멍도 형성되어 있지 않았지만 전자밀도가 높은 내큐티클은 세포막을 따라 많은 구멍들이 형성되어 있었다(Fig. 2f).

여성 예비우주인 모발의 인장강도를 측정하기 위해서 채취한 모발 시료를 10개 선택하여 반복실험을 실시한 다음 평균값을 구하였다(Table 1). 여성 예비우주인 모발에서 인장거리는 14.26 mm로 측정되었으며 모발이 인장력에 저항하는 응력은 146 g으로 나타났다. 또한 모발의 세기를 나타내는 인장강도 측정에서 모발은 단위면적당 최저 14.60 g/cm²로 나타났다.

고 찰

모발은 반복되는 환경 노출에 의해서 형태적, 물리화학적 손상을 받게 되는데 이와 같은 손상을 풍화(weathering)라고 한다(Hong et al., 2000; Chang, 2003; Chang & Lee, 2006).

모발은 태양광선과 오염된 공기, 바람, 바닷물, 수영장의 염소계열 소독제 등에 의해서 영향을 받게 되어 모발섬유에 변화가 일어나고, 색깔과 광택을 상실하게 된다(Chang et al., 2006). 특히, 자연환경 속에서 모발의 풍화작용에 직접적인 관련이 있는 요소들은 자외선과 습기 및 산소이다. 이들은 모발을 광화학적 반응과 화학적 반응을 통해서 변화시킨다.

Chang et al. (2006) 이 자외선 조사에 의한 모발의 물리화학적 변화에 관한 연구에서 자외선 조사를 받은 모발은 큐티클세포의 내큐티클에 직경이 30 nm에서부터 700 nm 크기의 구멍을 형성하였고 자외선 조사 시간이 길어지게 되면 피질을 구성하는 피질세포(cortical cell)의 세포막과 인접한 부위에도 구멍이 형성되었다고 보고하였다. 또한, 자외선을 24시간 동안 조사하였을 때 큐티클세포의 내큐티클에 형성된 작은 구멍들은 서로 융합되어 커다란 구멍을 형성하고 최종적으로 많은 구멍이 형성된 내큐티클은 파괴되면서 큐티클 세포들이 분리되어 떨어져 나갔다고 보고하였다.

본 연구에서 남성과 여성 두 예비우주인의 모발 표면은 매우 거칠고 불규칙한 모양을 하고 있었다. 남성과 여성 예

비우주인 모두 모발 표면에는 파괴된 큐티클세포의 잔유물이 지저분하게 붙어 있었고, 큐티클층을 이루고 있는 큐티클세포의 세포질에는 많은 구멍들을 형성하고 있었다. 이와 같은 결과는 가상의 우주공간과 같은 변화된 환경 속에 모발이 장기간 노출되면서 물리화학적 변화가 일어난 것으로 사료되며 특히, 본 연구결과는 Chang et al. (2006)이 보고한 바와 같이 자외선 조사에 의한 모발의 형태적 변화와 같은 구조적인 특성을 보이는 것으로 확인되었다.

인장 강도는 모발의 건강도와 손상도뿐만 아니라 모발의 물리적인 변형과 관련된 정보를 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 인장강도는 모발의 굵기와 꼬임, 구부러진 정도 및 손상 유무에 따라서 확연한 차이가 있다 (Lee & Chang, 2008a).

모발의 인장 특성은 피질에 의해서 좌우된다. 피질은 피질세포에 약 0.5 μm 의 거대원섬유 (macrofibril)들이 모발의 종축을 따라 종주하고 있는데 이들 섬유들이 모발의 강도와 신축성 및 탄력성을 유지시켜 준다 (Lee & Chang, 2008b).

최근까지 모발에 탈색과 염색 및 펌 등으로 물리화학적 변화를 준 후에 나타나는 인장강도의 변화에 관한 연구가 진행되어 왔다 (Lee & Chang, 2008a, b; Roh et al., 2009). Lee & Chang (2008a)의 보고에 의하면 탈색된 모발은 건강모발보다 인장강도가 22.1% 감소하였고, 산화형 영구염모제로 영구 염색된 모발은 건강모발보다 인장강도가 7.6% 감소한 것으로 보고된 바 있다 (Lee & Chang, 2008b). 또한, Roh et al. (2009)는 스트레이트 펌 처리 모발은 건강모발보다 인장강도는 34.63%가 감소되었다고 보고하였다.

본 연구에서 여성 예비우주인의 모발 인장강도는 14.60 mm로서 선행연구의 건강모발과 비교하였을 때 약 10% 감소한 것으로 나타났는데 이것은 물리화학적 처리모발인 탈색된 모발 (Lee & Chang, 2008a)이나 스트레이트 펌 처리 모발 (Roh et al., 2009)보다 높았으나 염색모발 (Lee & Chang, 2008b)보다는 다소 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 오랜 기간 동안 지속된 피실험자의 생체리듬의 변화 (Da Silvia et al., 2002)와 심리적인 불안정 상태에 의해서 나타난 것으로 사료된다.

이 연구의 제한점으로 예비우주인이 선발된 후 훈련 중에 계획된 실험으로서 예비우주인의 우주비행 훈련전의 건강모발을 채취할 수 있는 기회가 주어지지 않았기 때문에 훈련 전후의 모발을 비교할 수 있는 결과를 제시할 수가 없었다.

참 고 문 헌

Berry WD, Murphy JD, Smith BA, Taylor GR, Sonnenfeld G:

- Effect of microgravity modeling on interferon and interleukin responses in the rat. *J Interferon Res* 11 : 243-249, 1991.
- Bukley A, Lawrence D, Clement G: Generating artificial gravity onboard the space shuttle. *Acta Astronautica* 60 : 472-478, 2007.
- Chang BS: Fine structure of damaged hair shaft by daily treatment of heat for a beautiful face. *Korean J Electron Microscopy* 33 : 215-222, 2003. (Korean)
- Chang BS, Na SK, Lee GY: Study on the physicochemical change of human hair shaft following radiation with ultraviolet. *Korean J Electron Microscopy* 36 : 109-118, 2006. (Korean)
- Chang BS, Lee GY: Ultrastructural changes of hair treated with bleaching agent. *Korean J Electron Microscopy* 36 : 25-33, 2006. (Korean)
- Da Silvia MS, Zimmerman PM, Meguid MM, Nandi J, Ohinata K, Xu Y, Chen C, Tada T, Inui A: Anorexia in space and possible etiologies: An overview. *Nutrition* 18 : 805-813, 2002.
- Hong WS, Chang BS, Lim DS, Park SO, Yoe SM: Morphological change of men's hair shaft by weathering. *Korean J Electron Microscopy* 30 : 11-20, 2000. (Korean)
- Kaur I, Simons ER, Castro VA, Ott CM, Pierson DL: Changes in monocyte functions of astronauts. *Brain Behavior, and Immunology*, 19 : 547-554, 2005.
- Konstantinova IV: Immune resistance of man in spaceflights. *Acta Astronaut* 23 : 123-127, 1991.
- Lee GY, Chang BS: Study on the tensile strength of bleached hair. *Korean J Microscopy* 38 : 251-257, 2008a. (Korean)
- Lee GY, Chang BS: Study on the tensile strength of oxidative permanent dyed hair. *Korean J Microscopy* 38 : 339-345, 2008b. (Korean)
- Meehan RT, Neale LS, Kraus ET, Stuart CA, Smith ML, Cintron NM, Sams CF: Alteration in human mononuclear leucocytes following space flight. *Immunology* 76 : 491-497, 1992.
- Mehta SK, Stowe RP, Feiveson AH, Tying SK, Pierson DL: Reactivation and shedding of cytomegalovirus in astronauts during spaceflight. *J Infect Dis* 182 : 1761-1764, 2000.
- Payne DA, Mehta SK, Tying SK, Stowe RP, Pierson DL: Incidence of Epstein-Barr virus in astronaut saliva during spaceflight. *Aviat. Space Environ Med* 70 : 1211-1213, 1999.
- Roh JA, Chang BS, Choi TB: Study on the morphological change of straight permanent waved hair by tensile strength test. *Korean J Microscopy* 39 : 49-56, 2009. (Korean)
- Sonnenfeld G, Mandel AD, Konstantinova IV, Taylor GR, Berry WD, Wellhausen SR, Lesnyak AT, Fuchs BB: Effects of spaceflight on levels and activity of immune cells. *Aviat Space Environ Med* 61 : 684-653, 1990.
- Stein TP, Schluter MD: Excretion of IL-6 by astronauts during spaceflight. *Am J Physiol* 266 : E448-452, 1994.
- Stowe RP, Pierson DL, Barret, AK: Elevated stress hormone levels relate to Epstein-Barr virus reactivation in astronauts. *Psychosom Med* 63 : 891-895.
- Taylor GR, Dardano JR, 1983. Human cellular immune respon-

- siveness following spaceflight. *Aviat Space Environ Med* 54 : 55-59, 2001.
- Taylor GR, Konstantinova I, Sonnenfeld G, Jennings R: Changes in the immune system during and after spaceflight. *Adv Space Biol Med* 6 : 1-32, 1997.
- Taylor GR, Neale LS, Dardano JR: Immunological analyses of U.S. Space shuttle crewmembers. *Aviat. Space Environ Med* 57 : 213-217, 1986.
- Whedon GD, Rambaut PC: Effects of long-duration space flight on calcium metabolism: Review of human studies from Skylab to the present. *Acta Astronautica* 58 : 59-81, 2006.

을 채취하여 모발의 형태적 변화를 전자현미경을 사용하여 관찰하였고 인장강도 특성을 인장강도기를 사용하여 분석하였다. 남성과 여성 두 예비우주인의 모발 표면은 매우 거칠고 불규칙한 모양을 하고 있었다. 예비우주인들의 모발 표면에는 파괴된 큐티클세포의 잔유물이 지저분하게 붙어 있었고, 비늘이 분리되어 있었다. 그리고 큐티클층을 이루고 있는 큐티클세포의 세포질에는 많은 구멍을 형성하고 있었다. 모발 표면에서 큐티클세포의 부서짐은 이들 구멍들이 형성된 부위인 내큐티클이 파괴되면서 나타났다. 그리고 여성 예비우주인 모발의 인장강도는 14.60 mm로서 건강모발과 비교하였을 때 약 10% 감소한 것으로 나타났다.

< 국문 초록 >

본 연구는 우주비행 훈련 중인 남녀 예비우주인의 모발