

Effect of Photooxidation of A2E, a Lipofuscin in the Retina, induced by Smartphone Light Against the Photooxidation by Blue Light Blocking Lenses

Sang-il Park*

Dept. of Optometry, Catholic Kwandong University, Gangneung 25601, Korea

(Received November 5, 2018; Revised November 26, 2018; Accepted November 30, 2018)

Purpose: To investigate the effect of blocking blue light, using two types of lenses, on A2E photooxidation induced by smartphones, which are known to cause age-related macular degeneration (AMD). **Methods:** Photooxidation of A2E, a synthetic product of two molecules of all-*trans*-retinal and ethanolamine, was induced by exposure to smartphone light for 3 hours. Three different lenses, comprising both tinted and coated lenses, designed to block blue light were then used to evaluate their inhibitory effect on A2E photooxidation during equal exposure to smartphone light. A2E photooxidation was evaluated by measuring the absorbance of residual A2E after exposure to smartphone light. **Results:** Photooxidation of A2E by exposure to smartphone irradiation was 36.78±2.19%. The three different tinted lenses resulted in a reduction of 9.92%, 11.19%, and 11.30%, respectively, in A2E photooxidation. The three different coated lenses resulted in a reduction of 7.85%, 7.71%, and 7.42%, respectively, in A2E photooxidation. The photooxidation of A2E and iso-A2E by exposure to smartphone irradiation and suppression of photooxidation by blue light blocking lenses was found to increase with increase in the exposure time, respectively. **Conclusions:** In this study, blue light blocking lenses were confirmed to have an inhibitory effect on the photooxidation of A2E, with a slight advantage for tinted versus coated lenses.

Key words: Age-related macular degeneration (AMD), Lipofuscin in retina, A2E and iso-A2E, Blue light blocking tinted lens, Blue light blocking coated lens

서 론

망막색소상피세포층에 축적되는 망막내 형광색소물질(lipofuscin)은 노란 형광색을 띠는 미립자로서 세포의 핵 주변에 분포하는 형광색소물질이다.^[1] 이러한 형광색소 물질은 세포 내 리소좀에 축적되며 간, 신장, 심장근육, 망막, 신경세포 등에 나이가 들어감에 따라 축적된다. 이렇게 축적된 형광색소물질은 불포화 지방산의 산화 생성물로 세포막의 손상, 미토콘드리아의 손상을 유발할 수 있으며, 세포의 핵 주변에 존재한다.^[2] A2E(*N*-retinylidene-*N*-retinyl-ethanolamine)와 그의 광학 이성질체인 iso-A2E는 사람의 망막색소상피세포에 4:1의 비율로 축적되는 대표적인 나이 관련 형광색소물질로 두 분자의 all-*trans*-retinal과 한 분자의 ethanolamine이 축합된 형광물질이다(Fig. 1).^[3]

A2E는 망막색소상피세포 내의 리소좀에 축적되는 비타민 A의 유도체로 광수용체 세포 내에서 시각 활동 중에 발

생하는 부산물인 all-*trans*-retinal과 phosphatidylethanolamine이 합성되어 A2-PE가 생성이 된다. 이렇게 생성된 A2-PE는 광수용체 세포에서 망막색소상피세포로 이행되며 인산염 가수분해가 발생하여 망막색소상피세포내에 A2E의 형태로 축적이 된다.^[4] 축적된 A2E에 빛을 조사하면 과산화물(superoxide)과 일중항 산소(singlet oxygen)가 발생하고 A2E의 구조를 산화 A2E 형태로 바꾸게 된다. 광산화 형태의 A2E는 망막색소상피세포내에서 apoptosis를 일으켜 망막색소상피세포의 사멸을 일으킨다(Fig. 2).^[4] 이는 광수용체 세포의 2차적 사멸을 일으키며 결국 실명으로 이어지는 나이 관련 황반변성(AMD: Age-related macular degeneration)의 원인 중 하나이다.

나이 관련 황반변성(AMD) 노년기 시력 상실의 주원인 중 하나로 황반 기능이 저하되어 사물이 왜곡되어 보이고, 중심 시력이 저하되거나 상실되는 질병이다. 이 질병은 현재 서구 사회에서 60세 이상의 노인 인구에서 가장 큰 실명의

*Corresponding author: Sang-il Park, TEL: +82-33-649-7406, E-mail: sangil@cku.ac.kr

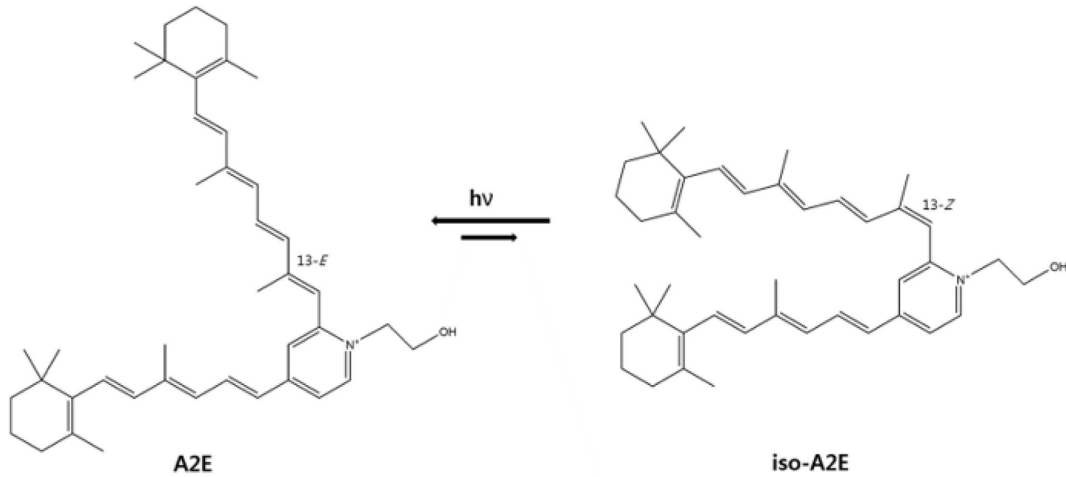


Fig. 1. Structure of the autofluorescent pigments, A2E and *iso*-A2E. The photoisomers A2E and *iso*-A2E achieve at a ratio of 4:1.

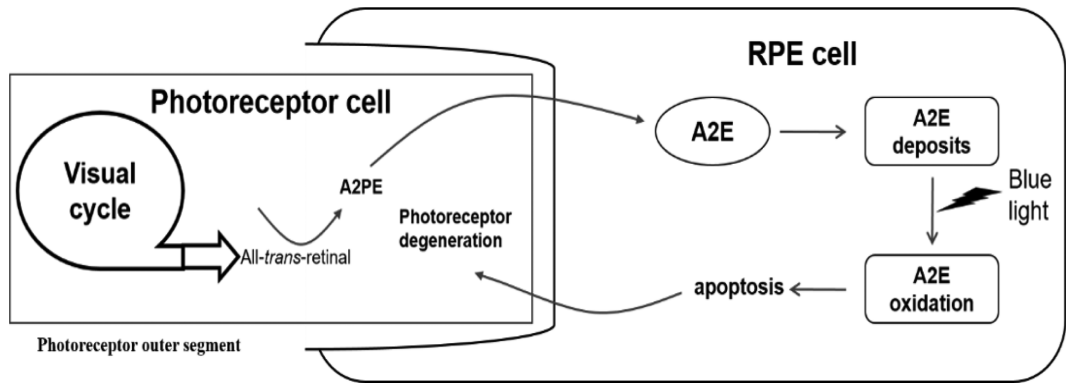


Fig. 2. Visual cycle and A2E formation.

원인이며 80세 이상에서는 다섯 명당 한 명이 앓고 있는 질병이다.^[5] 우리나라 또한, 노인 인구 증가와 생활패턴의 변화로 인해 나이관련 황반변성 환자가 증가하고 있다.

최근 보고에 따르면 한국 인구의 82.6%가 스마트폰, 스마트패드 등 스마트기기를 보유하고 있으며, 한국인의 평균 스마트기기 사용시간은 남성 3.02시간, 여성 2.87시간으로 보고되어 있다.^[6] 마트폰과 같은 청색광을 자연광보다 많이 함유한 LED 패널을 이용한 스마트기기 사용의 증가로 인해 황반변성이 질환과 실명의 큰 원인이 되고 있다.^[7] 나이관련 황반변성에 대한 정확한 원인은 아직 밝혀져 있지 않으며 대표적인 원인은 나이와 관련이 있고, 음식, 흡연, 청색광의 노출 등의 환경적 요인과 유전적 요인이 주된 원인으로 알려져 있다. 나이관련 황반변성에 대한 치료법은 아직 발견되지 않았으며 예방이 최우선으로 여겨지고 있다.

최근에는 루테인, 키클루민과 같은 천연물을 이용한 망막내 형광색소물질의 항광산화 효과와 망막색소상피세포의 보호 효과에 대한 연구가 진행되었으며 착색 렌즈를 통한 망막상피세포의 보호 효과를 확인하였다.^[7,8] 또한, 청색광

의 파장을 조절하여 청색광의 함유가 적은 패널을 개발하는 연구 또한 진행되고 있다.^[9]

본 연구에서는 청색광에 의해 산화가 일어나는 A2E와 *iso*-A2E가 스마트폰에서 발산되는 빛에 의해 광산화가 일어나는지를 알아보고 스마트폰으로 유발되는 광산화를 착색방식과 코팅방식으로 제조된 청광차단 안경렌즈(blue light blocking lenses)를 이용하여 A2E와 *iso*-A2E의 광산화가 억제되는 정도를 알아봄으로써 청광차단 안경렌즈가 스마트폰으로 유발되는 나이관련 황반변성의 예방 가능성 여부를 확인하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험재료

망막내 형광색소물질인 A2E와 그의 광학이성질체인 *iso*-A2E의 합성과 정제에 필요한 *all-trans*-retinal, ethanolamine, acetic acid 및 trifluoroacetic acid(TFA) 및 항광산화 스크리닝에 필요한 인산완충용액(pH 7.4)은 Sigma-aldrich Chemical Company(St. Louis, Mo, USA)의 제품을 사용하

Table 1. Spectral transmittance of two types of blue light blocking lenses according to the wavelength of the blue light range

Lens type	Transmittance (%)	
Lens type	Blue range (380 nm~500 nm)	
Blue light blocking tinted lens	1	64.38
	2	62.95
	3	58.27
Blue light blocking coated lens	1	68.29
	2	66.92
	3	65.33

였다. 실험에 사용된 청광차단렌즈는 현재 국내 안경원에서 유통되고 있는 렌즈 가운데 굴절력이 없는 착색방식으로 제조된 청색광차단렌즈(BBT: blue light blocking lens by tinted way) 3종과 코팅방식으로 제조된 청색광차단렌즈(BBC: blue light blocking lens by coated way) 중굴절률 평면 렌즈(middle index plano lens)를 사용하였으며 청색광의 투과율은 TM-1(Topcon, Japan)을 이용하여 측정하였다(Table 1).

2. A2E 합성과 정제

망막형광색소물질인 A2E와 *iso*-A2E의 합성은 *all-trans*-retina(100 mg, 2 equiv.) 및 ethanalamine(7 mg, 1 equiv.)을 acetic acid(9.3 μ L)를 첨가한 ethanol(10 mL)에 녹여 암실에서 3일 동안 상온에서 교반하여 합성하였다.^[3] 합성 후 진공으로 농축한 후 MPLC(middle pressure liquid chromatography, Combiflash Retrieve, U.S.A.)를 이용하여 정제하였다.^[10] 정제된 A2E는 HPLC(Waters TM 600, Milford, U.S.A.) 분석을 이용하여 A2E와 *iso*-A2E의 순도 95%이상을 확인하고 dimethyl sulfoxide (DMSO)에 20 mM로 희석하여 사용 전까지 -20°C 에 보관하였다.

3. 스마트폰 빛 조사

DMSO 20 mM 농도로 저장된 A2E를 인산완충용액에 최종농도가 200 μM 가 되도록 희석하였다. 96 well micro plate를 두 군으로 나누어 200 μM A2E를 100 μL 씩 분주하고 청색광(420~470 nm, 94 mW/cm^2)을 조사하여 광산화를 유도한 군을 대조군으로, A사의 스마트폰(화면크기: 12.95 cm, 밝기: 855 cd/m^2 , 해상도: 1440 \times 2560)을 조사하여 청색광을 조사하기 전과 비교한 흡광도의 감소량을 통해 광산화도를 측정하였다. 또한, 스마트폰으로 유도되는 광산화를 청광차단 안경렌즈를 이용한 차단 효과를 확인

하기 위해 microplate reader(Bio-Tek instrument, Korea)를 이용하여 한국인의 평균 스마트기기 사용시간인 180분 동안 스마트폰 화면에서 발생하는 빛 조사 후의 흡광도를 440 nm에서 30분 간격으로 측정하여 광산화로 인한 망막형광색소물질의 흡광도 감소를 확인하였으며, 착색방식으로 제조된 청색광차단렌즈 3종, 코팅방식으로 제조된 청색광차단렌즈 3종, 총 6종의 청광차단 안경렌즈와 중굴절률 평면렌즈를 사용하였을 때 망막형광색소물질의 흡광도의 감소가 약해지는가를 측정하였다. 모든 실험은 동일하게 3회 반복 실시하였으며 실험결과는 평균 \pm 표준편차로 나타내었다.

4. 통계처리

본 실험에서는 스마트폰의 화면을 망막 내의 형광색소 물질에 조사하였을 때 광산화되는 정도를 측정하였고, 스마트폰에서 발생하는 빛 조사 전후의 형광색소물질의 양과 다양한 청광차단 안경렌즈를 사용하였을 때의 차이를 형광색소물질의 흡광도를 통하여 확인하였으며, 각각의 실험을 3회 반복 실험하였다. 스마트폰에서 발생하는 빛을 조사 전후의 두 개의 변수와 청광차단렌즈로 차단 후 빛 조사 전후의 변수, 청색광 차단 방식에 따른 차이를 비교하기 위하여 one-way ANOVA (Prism, Graphpad software, San Diego, USA)를 실시하였다. One-way ANOVA에서 신뢰도 95%를 기준으로 할 때, 유의수준(p-value)이 0.05 이하이면 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 스마트폰으로 유발되는 A2E와 *iso*-A2E의 광산화 효과

본 실험에서는 스마트폰에서 나오는 빛이 망막 형광색소물질인 A2E와 *iso*-A2E의 광산화에 영향을 미치는지 알아보았다. A2E는 336 nm와 439 nm에서 최대 흡광도를 나타내는데 광산화된 A2E는 최대파장이 단파장 쪽으로 이동하는 청색이동(blue shift)이 일어나 336 nm 및 439 nm에서의 최대흡광도가 감소되게 된다.^[11] 청색광을 30분 간격으로 총 3시간 동안 조사하고 microplate reader를 이용하여 청색광 조사 전후의 A2E의 흡광도와 스마트폰 화면에서 발생하는 빛을 30분 간격으로 총 3시간 조사 전후를 비교한 결과 청색광을 조사하였을 때는 51.89 \pm 2.01% 광산화되었고, 스마트폰 화면에 나오는 빛을 조사하였을 때는 36.78 \pm 2.19% 광산화가 일어나는 것을 확인하였다. 즉, 청색광을 조사하였을 때 보다 스마트폰 화면에서 발생하는 빛을 조사하였을 때의 광산화도가 15.11% 더 적었지만, 스마트폰 화면에서 발생하는 빛을 통해서도 광산화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

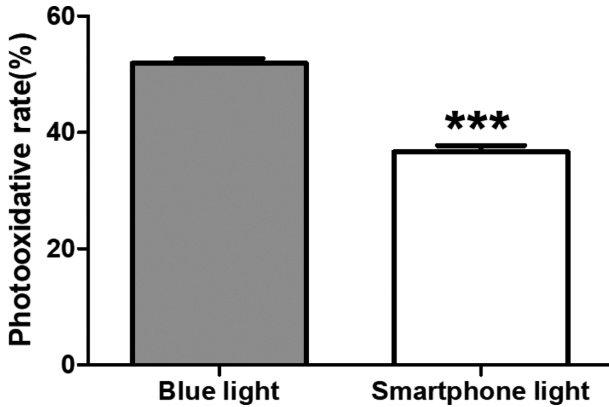


Fig. 3. A2E photooxidation induced by blue light and smartphone light irradiation. ***P<0.001, Significantly different from each group compared.

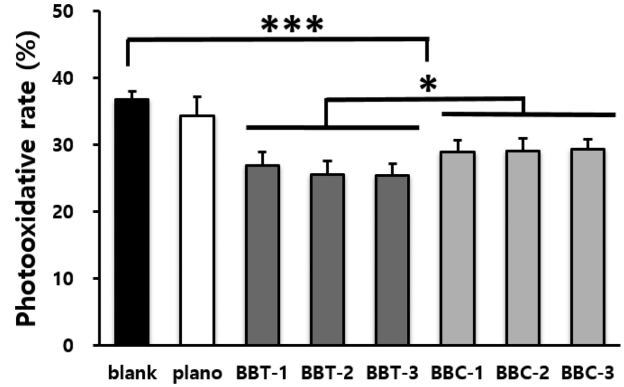


Fig. 4. Inhibitory effect of blue light blocking lenses against A2E photooxidation induced smartphone light irradiation. ***p<0.001, *p<0.05 Significantly different from each group compared (BBT: blue light blocking tinted lens, BBC: blue light blocking coated lens)

2. A2E와 iso-A2E의 항광산화에 미치는 청광차단렌즈의 효과

청광차단렌즈는 청색광을 차단하는 방법에 따라 착색방식으로 제조된 청색광차단렌즈(BBT: blue light blocking lens by tinted way)와 코팅방식으로 제조된 청색광차단렌즈(BBC: blue light blocking lens by coated way)로 나뉜다. 청광차단렌즈가 처음 개발될 당시에는 대부분의 청광차단렌즈가 착색 방식의 청광차단렌즈였지만, 현재에는 착색 방식의 청광차단렌즈의 고유의 색으로 인해 대부분이 코팅 방식의 청광차단렌즈로 출시되고 있다. 본 실험에서는 스마트폰 화면을 켜 놓은 상태에서 0.5시간 간격으로 총 6회, 즉, 3시간 동안 스마트폰 화면의 빛을 조사하고 microplate reader를 이용하여 스마트폰 화면 빛 조사 전후의 A2E와 iso-A2E의 흡광도를 비교하였다. 또한 다양한 청광차단렌즈의 항광산화 효과를 확인하기 위해 스마트폰 화면과 A2E와 iso-A2E 사이에 청광차단렌즈와 그 대조군인 중굴절률 평면렌즈를 위치시켰다. 3시간 조사 후 A2E와 iso-A2E는 중간에 렌즈가 없을 경우에는 36.78±1.19% 광산화되었으며, 중굴절률 평면렌즈(plano lens)를 스마트폰과 형광색소물질 사이에 위치시키고 조사한 결과 34.34±2.85%로 중굴절률 평면렌즈로는 형광색소물질의 광산화를 보호하는 효과는 확인할 수 없었다. 3종의 착색 방식의 청광차단렌즈(BBT 1~3)와 3종의 코팅방식의 청광차단렌즈(BBC 1~3)를 스마트폰과 형광색소물질 사이에 위치시키고 조사한 결과 3종의 착색방식의 청광차단렌즈에서는 각각 26.87±2.10%, 25.59±2.04%, 25.48±1.67%의 광산화도를 보였으며, 렌즈를 위치시키지 않았을 때 보다 각각 9.92%, 11.19%, 11.30%로 광산화도가 통계적으로 유의하게 감소가 되는 것을 확인하였다(p<0.001). 3종의 코팅방식의 청광차단렌즈에서는 스마트폰 화면 조사 결과

각각 28.93±1.74%, 29.08±1.90, 29.36±1.45%의 광산화도를 보였으며, 각각 7.85%, 7.71%, 7.42%로 광산화도가 억제되는 것을 확인할 수 있었다(p<0.001). 3종의 착색방식의 청광차단렌즈들 사이에서는 광산화 억제도의 차이는 없었으며, 3종의 코팅방식의 청광차단렌즈 또한 광산화를 억제하는 능력에는 차이가 없었다. 하지만 착색방식의 청광차단렌즈와 코팅방식의 청광차단렌즈에서는 착색방식의 청광차단렌즈가 3.14%로 코팅방식의 청광차단렌즈보다 보호 효과가 좋았으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Fig. 4).

3. 시간에 따른 청광차단렌즈의 항광산화 효과

3시간 동안 스마트폰 화면 빛을 조사하는 과정에서 시간대 별로 항광산화 효과를 확인하기 위해 0.5시간 간격으로 microplate reader를 이용해 광산화도를 측정하였다. 렌즈로 차단하지 않은 군, 평면렌즈로 차단한 실험 군, 6종의 청광차단렌즈 실험 군에서 표준 곡선이 선형을 갖는, 즉 시간에 따라 광산화도가 증가하는 것을 확인할 수가 있었다. 렌즈로 차단하지 않은 군과 평면렌즈로 차단한 군에서는 표준 곡선이 각각 y=5.95x+2.60, y=5.30x+3.89의 광산화도 증가를 보였으며, 착색방식의 청광차단렌즈 3종의 표준 곡선은 각각 y=3.67x+4.85, y=3.70x+4.01, y=3.60x+4.41로 유사한 산화도 증가를 보였다. 또한, 코팅방식의 청광차단렌즈에서는 y=4.14x+4.57, y=4.45x+3.07, y=4.54x+3.43의 광산화도 증가를 보였다. 스마트폰 화면 빛을 차단하지 않은 군에서는 청광차단렌즈로 빛을 차단한 군보다 가파른 기울기를 보였으며, 착색방식의 청광차단렌즈가 코팅방식의 청광차단렌즈보다 작은 기울기를 보이는 것으로 보아 시간이 지나면 지날수록 광산화 억제율이 큰 것으로 확인되었다. 스마트폰 화면 빛 조사 후 1시

Table 2. Changes in photooxidation induced by smartphone light irradiation

Lens type		Photooxidation rate (%)					Stand curve (y=ax+b)	r ²	
Lens type	0.5 h	1.0 h	1.5 h	2.0 h	2.5 h	3.0 h	r ²		
Blank	8.09±0.41	12.62±1.03	22.22±1.03	27.38±1.62	31.33±2.32	36.78±2.19	5.95x+2.60	0.99	
Plano lens	8.91±0.46	13.40±1.15	20.51±1.63	26.59±2.10	30.80±1.52	34.34±2.85	5.30x+3.89	0.99	
Blue light blocking tinted lens	1	7.88±1.14	12.12±1.74	17.42±1.29*	19.25±1.17***	22.70±1.80***	26.87±2.10***	3.67x+4.85	0.99
	2	7.47±0.61	11.13±1.14	15.14±1.98*	19.94±1.96***	22.46±1.62***	25.59±2.04***	3.70x+4.01	0.99
	3	7.25±0.44	11.64±0.95	16.32±1.23*	19.01±1.01***	22.34±1.85***	25.48±1.67***	3.60x+4.41	0.99
Blue light blocking coated lens	1	7.80±0.71	13.17±1.07	18.15±1.35*	21.05±1.62***	25.30±1.82***†	28.93±1.74***†	4.14x+4.57	0.99
	2	6.30±0.78	12.86±1.45	16.24±1.50*	22.77±1.84***	24.60±1.23***†	29.08±1.90***†	4.45x+3.07	0.99
	3	7.22±0.30	12.45±0.87	17.54±0.94*	22.45±1.25***	26.85±1.32***†	29.36±1.45***†	4.54x+3.43	0.99

*p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001(blank vs blue light blocking lens)

†p<0.05 (blue light blocking tinted lens vs blue light blocking coated lens)

간 동안은 실험한 모든 군에서 광산화도의 차이가 없었으며, 1.5 시간 이후부터 스마트폰 화면 빛을 차단하지 않은 군과 청광차단렌즈로 차단한 군에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이기 시작하였다(p<0.05). 차단방식이 다른 두 종류의 청광차단렌즈 군에서는 2.0시간까지는 광산화를 억제하는 효과는 차이는 없었으며, 2.5시간 후부터 착색방식의 청광차단렌즈 군이 코팅방식의 청광차단렌즈 군보다 광산화 억제율이 높았으며 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 2).

망막내 형광색소물질인 A2E와 iso-A2E의 광산화는 청색광에 의해 발생한다. 특히 청색광 중에서도 낮은 파장대에서 가장 큰 영향을 받으며, 이 파장의 빛은 망막형광색소물질과 함께 망막 전체에 영향을 미쳐 나이관련 황반변성을 일으키기도 할 뿐 아니라 수정체에도 영향을 미쳐 백내장을 유발하기도 하는 것으로 알려져 있다.^[11] 이러한 낮은 파장의 청색광(380 nm~470 nm, HEV: high energy visible blue light)은 망막에 손상을 입히거나 망막 세포의 사멸에 영향을 더 많이 미친다고 보고되어 있다.^[12] 태양광의 경우 낮은 파장의 청색광의 함유 비율이 약 12%인 것에 비해 최근에 사용되고 있는 스마트 기기의 LED화면의 저파장 청색광의 비율은 약 35%로 자연 백색광 보다 약 23%이상의 청색광을 함유하고 있다. 또한, LED화면의 청색광 비율은 과거 아날로그 화면에 비해서도 청색광의 함유 비율이 15%이상 높은 것으로 보고되어 있다.^[13] 청색광을 더 많이 함유하고 있는 LED의 대중화와 스마트 기기의 보편화로 인해 요즘 현대인들은 과거에 비해 눈의 유효광선 중 하나인 청색광의 노출 빈도가 많이 증가하게 되었다. 기존 연구에 따르면 청색광을 조사하고 자외선을 차단한 일반렌즈와 갈색 착색렌즈를 이용하여 망막형광색소물질의 광산화 억제 효과를 확인하였을 때 자외선 차단

렌즈에서는 효과가 없었으며 갈색 착색렌즈에서는 농도 의존적으로 광산화가 억제된다는 것을 보고하였다.^[14] 본 연구에서는 스마트폰으로 유발되는 빛이 망막 형광색소물질을 광산화시키는 지를 확인해 보고, 제조방식이 다른 두 종류의 청광차단렌즈를 통하여 광산화를 억제할 수 있는 지를 확인해 보았다. 스마트 폰의 빛을 받은 A2E와 iso-A2E는 청색광을 조사하였을 때보다는 적었지만 약 36%의 광산화가 발생하는 것으로 나타났다. LED의 백색 화면이 저 파장의 청색광을 많이 함유하고 있어서 발생하는 것으로 생각되어진다.

LED로 유발되는 광산화를 청광차단렌즈를 이용하여 항 광산화 효과 실험을 실시한 결과 각각 3종의 착색방식의 청광차단렌즈와 코팅방식의 청광차단렌즈에서 각각 약 10.60%, 7.72%로 광산화를 억제하는 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 착색방식의 청광차단렌즈와 코팅방식의 청광차단렌즈사이에서는 착색방식의 청광차단렌즈가 코팅방식의 청광차단렌즈보다 약 3.14% 광산화억제효과가 더 있다는 것을 확인하였는데, 이는 청색광을 차단하는 방식이 빛의 산란을 이용하는 코팅방식의 청광차단렌즈 제작법과 착색에 의한 착색방식의 청광차단렌즈의 제작법의 차이로 인한 것이라고 생각된다.

또한, A2E와 iso-A2E의 스마트폰 불빛에 의한 광산화는 초반에 급격히 발생하거나 어느 일정 시간에 발생하는 것이 아닌 일정한 기울기를 가지는 즉, 빛 조사 시간동안 꾸준히 일어나는 것으로 밝혀졌으며, 청광차단렌즈에 의한 광산화 억제도 꾸준히 조금씩 나타났다.

결론

4차 산업 시대로 가고 있는 현대에서는 과거보다 더 많

은 스마트 기기의 사용으로 인해 더 많은 청색광에 노출 될 것이고 이러한 사회적 변화를 통해 황반변성 환자는 급증할 것이다. 본 연구를 통해 스마트폰으로도 망막형광 색소물질의 광산화가 발생하는 것을 확인하였고, 이런 광 산화를 청광차단렌즈를 통해 광산화가 약 10%정도 억제 되는 것을 확인하였다. 하지만, 이러한 결과가 청광차단렌즈를 착용하면 황반변성에 큰 도움을 줄 것이라고는 아직 확신할 수는 없다. 추후 스마트폰 빛 조사시간의 변화나 세포 활성과 관련된 연구를 지속적으로 하여야 할 것이라고 생각된다.

REFERENCES

- [1] Dorland WAN. Dorland's illustrated medical dictionary, 32nd Ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2012;1062-1065.
- [2] Brumback RA, Leech RW. Color atlas of muscle histochemistry, 1st Ed. Littleton: PSG Publishing Company, 1984;432-442.
- [3] Ben-Shabat S, Parish CA, Hashimoto M, Liu J, Nakanishi K, Sparrow JR. Fluorescent pigments of the retinal pigment epithelium and age-related macular degeneration. *Bioorg Med Chem Lett*. 2001;11(12):1533-1540.
- [4] Kim SR, Nakanishi K, Itagaki Y, Sparrow JR. Photooxidation of A2-PE, a photoreceptor outer segment fluorophore, and protection by lutein and zeaxanthin. *Exp Eye Res*. 2006;82(5):828-839.
- [5] Kaneko H, Dridi S, Tarallo V, Gelfand BD, Fowler BJ, Cho WG et al. DICER1 deficit induces Alu RNA toxicity in age-related macular degeneration. *Nature*. 2011; 471(7338):325-330.
- [6] Kim HJ, Kong H, Park M, Kim SR. The effect of blue-light blocking ophthalmic lenses on legibility and fatigue during near work with a smartpad. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2017;22(1):81-88.
- [7] Ide T, Toda I, Miki E, Tsubota K. Effect of blue light-reducing eye glasses on critical flicker frequency. *Asia Pac J Ophthalmol*. 2015;4(2):80-85.
- [8] Park SI, Lee EH, Kim SR, Jang YP. Anti-apoptotic effects of Curcuma longa L. extract and its curcuminoids against blue light-induced cytotoxicity in A2E-laden human retinal pigment epithelial cells. *J Pharm Pharmacol*. 2017; 69(3):334-340.
- [9] Park SI, Jang YP. The protective effect of brown-, gray-, and blue-tinted lenses against blue led light-induced cell death in A2E-laden human retinal pigment epithelial cells. *Ophthalmic Res*. 2017;57(2):118-124.
- [10] Moon J, Yun J, Yoon YD, Park SI, Seo YJ, Park WS et al. Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. *Integr Biol*. 2017;9(5):436-443.
- [11] Park SI, Park SC, Kim SR, Jang YP. Two-step purification method for aging pigments A2E and iso-A2E using medium pressure liquid chromatography. *Bull Korean Chem Soc*. 2016;37(9):1541-1544.
- [12] Lawrenson JG, Hull CC, Downie LE. The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: a systematic review of the literature. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017; 37(6):644-654.
- [13] Hershner SD, Chervin RD. Causes and consequences of sleepiness among college students. *Nat Sci Sleep*. 2014; 6:73-84.
- [14] Park SI. The effect of brown tinted or UV-A blocking ophthalmic lens against the photooxidation of A2E, a lipofuscin in retina. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2012; 17(1):91-97.

스마트폰 조명에 의한 망막내의 Lipofuscin인 A2E의 광산화 효과와 청색광 차단 렌즈에 의한 광산화 방지효과

박 상 일*

가톨릭관동대학교 안경광학과, 강릉 25601

투고일(2018년 11월 5일), 수정일(2018년 11월 26일), 게재확정일(2018년 11월 30일)

목적: 본 연구는 나이관련 황반변성(AMD: Age-related macular degeneration)의 병인으로 알려진 A2E에서 스마트폰으로 유발되는 광산화가 두 방식으로 제조된 청광차단렌즈에 의해 억제되는가를 알아보고자 하였다. **방법:** 두 분자의 *all-trans-retinal*과 한 분자의 *ethanolamine*을 합성하여 만든 A2E에 스마트폰 화면 빛을 3시간 동안 조사하여 광산화를 유도하였다. 스마트폰으로 유도되는 A2E의 광산화도를 착색방식의 청광차단렌즈와 코팅방식의 청광차단렌즈를 이용하여 남아있는 A2E의 흡광도를 차단효과를 통하여 확인하였다. **결과:** 스마트폰 빛 조사로 인해 A2E는 $36.78 \pm 2.19\%$ 광산화가 일어나는 것을 확인하였다. 3종류의 착색방식의 청광차단렌즈에서는 각각 9.92%, 11.19%, 11.30%로 광산화도가 억제되는 것을 확인하였고, 3종의 코팅청광차단렌즈에서는 각각 7.85%, 7.71%, 7.42%로 광산화도가 억제되는 것을 확인할 수 있었다. 착색방식의 청광차단렌즈는 코팅방식의 청광차단렌즈보다 3.14%로 광산화 억제 효과가 좋았다. A2E와 *iso-A2E*의 스마트폰 화면 조사에 의한 광산화는 빛 조사시간동안 꾸준히 일어나는 것으로 나타났으며, 청광차단렌즈에 의한 광산화 억제도 꾸준히 억제가 되는 것으로 나타났다. **결론:** 본 연구결과를 통하여 청광차단렌즈는 나이관련 황반변성의 원인 물질인 A2E의 광산화를 억제하는 효과가 있고 착색방식의 청광차단렌즈 코팅방식의 청광차단렌즈에 비해 통계적으로 유의한 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

주제어: 나이관련 황반변성, 망막 내 형광색소물질, A2E와 *iso-A2E*, 착색방식의 청광차단렌즈, 코팅방식의 청광차단렌즈