

<Review>

Management of Eye Strain Caused by Digital Devices Use

Jae-Sun Choi^{1,a} and Jeong-Mee Kim^{2,b,*}

¹Dept. of Biomedical Laboratory Science, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea

²Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea

(Received December 19, 2022; Revised December 22, 2022; Accepted December 26, 2022)

Purpose: This review aimed to examine the effects and symptoms of using digital devices on the eyes, and ways to improve digital eye strain (DES). **Methods:** We did a comprehensive search using PubMed, Google Scholar, and RISS(Research information sharing service) for available literature related to DES. **Results:** DES symptoms may be divided into external symptoms related to dry eye and internal symptoms linked to refractive errors, accommodative or vergence problems. These symptoms require management to promote a comfortable visual life. Questionnaires are used for evaluation and treatment of DES, and indices of visual fatigue may be provided through objective evaluation of parameters such as critical flicker-fusion frequency (CFF), blink rate and completeness, accommodative function, and pupil characteristics. **Conclusions:** In order to improve DES, various approaches may be selected including frequent blinking, correction of refractive error and presbyopia, reducing average daily screen time, management of dry eye, regular screen breaks, and consideration of accommodation and vergence anomalies. In addition, clinical practitioners should be able to provide information pertaining to proper use of digital devices and ergonomic awareness related to public health.

Key words: Digital devices, Digital eye strain, Management, Symptoms

서 론

최근 몇 년 동안 모든 연령대에서 디지털 기기 사용이 크게 증가하여 직업적 업무 또는 교육 및 사회 활동을 위해 매일 디지털 기기를 사용하는 것이 일상적인 생활의 한 부분이 되었다. 광범위한 정보에 접근할 수 있는 매개체로, 또는 신속한 커뮤니케이션을 할 수 있는 도구로써 디지털 기기는 우리 삶의 모든 영역에서 변화를 주고 있다. 디지털 혁명의 반작용으로 안구 및 시각 관련 증상을 특징으로 하는 컴퓨터 시각 증후군(computer vision syndrome, CVS)은 20년 넘게 컴퓨터 사용자들 사이에서 눈 건강과 관련된 공중보건 문제로 인식되어 왔다.^[1,2] 현대사회는 노트북, 태블릿PC, 스마트폰, e-리더 등과 같은 다양한 모바일 IT기기가 보편화되면서 디지털 기기의 사용이 크게 급증하고 있다. 디지털화된 사회에서 눈의 피로를 호소하는 잠재적인 스트레스도 증대되고 있어 디지털 사용으로 인한 눈의 피로라고 할 수 있는 관련 증상의 범위도 확대되고 있다. 이러한 시각적 문제를 폭넓게 반영하여 요즘에는 컴퓨터 시각 증후군보다 디지털 안정피로/눈 피로(digital eye strain,

DES)라는 용어가 더 광범위하게 사용되고 있다.^[3-5]

DES는 디지털 기기 사용과 관련된 시각적 장애 및 눈이 불편한 상태를 말하며 눈부심, 근거리 시력 흐림, 복시, 건조감, 작열감, 자극감, 눈의 피로, 눈물흘림, 이물감, 두통 등을 포함하는 눈의 증상들이 눈에 대한 다양한 스트레스로 인하여 발생한다.^[6,7] 이러한 증상들은 일반적으로 일시적이지만 빈번하고 지속적으로 나타날 수 있으며 컴퓨터 사용자 직업군이 DES의 영향을 받았을 때 경제적 손실에도 영향을 미칠 수 있다.^[8]

Fig. 1은 한국갤럽이 2022년에 20대 이상 성인을 대상으로 연령별 스마트폰 사용률을 조사한 데이터를 바탕으로 2012년 조사된 내용과 비교한 결과이다.^[9] 한국 성인 전체의 스마트폰 보유율은 10년 전과 비교하여 30% 증가하였고, 현재는 국내 성인의 97%가 스마트폰을 사용하고 있음을 보여주고 있다. 스마트폰의 높은 보유율은 스마트폰 사용 시간의 증가로 이어져 DES 유병률이 높아질 수 있음을 예상할 수 있다. 미국검안협회에 따르면,^[10] DES와 관련된 가장 흔한 증상은 눈의 피로, 두통, 시력 흐림, 안구 건조 및 목과 어깨의 통증 등이 있으며, Yun 등^[11]의 연구

*Corresponding author: Jeong-Mee Kim, +82-43-880-3826, E-mail: kijeme@hanmail.net

Authors ORCID: ^ahttp://orcid.org/0000-0002-1733-4088, ^bhttp://orcid.org/0000-0002-9199-7357

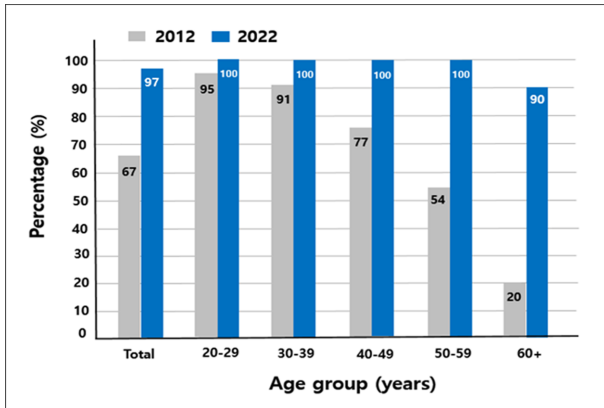


Fig. 1. Recent smartphone use among Korean adults in 2012 and 2022. Data obtained from the gallup report.^[9]

에 의하면 스마트폰 사용 시간의 증가에 따른 건강 문제로는 눈의 피로감이 가장 높은 증상으로 나타났다.

한국청소년정책연구원의 보고서에 따르면^[12] 2020년 기준 10대 청소년의 스마트폰 보유율은 98%였고, 이들 중 하루 평균 3시간 이상 스마트폰을 사용한다는 응답자는 61.5%, 4시간 이상 사용한다는 응답자는 41.0%에 달했다. 고등학생을 대상으로 스마트폰 사용이 청소년의 안구건조에 미치는 영향을 조사한 Park 등^[13]의 연구결과에도 하루 평균 4시간 이상 스마트폰을 사용한다는 응답자가 32.42%로 가장 많은 비중을 차지하였고, 스마트폰의 장시간 이용과 안구건조 증상은 상관성이 있어 청소년들의 스마트폰 이용 시간을 줄여야 한다고 강조하였다. 코로나-19 팬데믹 기간 동안 대학생들의 스마트폰 사용 시간과 안구건조 유병률을 조사한 연구에서 하루 평균 4시간 이상 스마트폰을 사용하는 응답자는 59.2%로 나타났고, 스마트폰 사용 시간의 증가는 안구건조증과 관련성이 높은 것으로 나타났다.^[14] 또한, 스마트폰 및 컴퓨터의 사용 시간과 안구건조 증상을 비교한 Choi 등^[15]의 연구에서도 디지털 기기 사용시간이 증가할수록 안구건조와 관련이 높게 나타나 컴퓨터 시각 증후군 예방을 위해 시각 영상 관련 기기의 사용 시간을 하루 3시간 이내로 제한할 것을 권장하였다.

최근의 디지털 기기 사용과 관련된 눈의 건강 문제는 성인에게만 국한되지 않는다. 7~12세의 한국 어린이를 대상으로 한 연구에서 스마트폰과 시각 디스플레이 단말기(VDT) 사용 시간이 길어지면 어린이 안구건조의 위험 요인이 되는 것을 보여주고 있다.^[16,17] 소아 인구에서 DES의 유병률은 데이터의 부족과 연구 방법의 다양성으로 비교의 어려움이 있어 연구결과에서 거의 주목을 받지 못하고 있으나, 메타 분석에 의한 어린이 DES와 연관된 유병률은 19.7%에 이르고 있다고 보고되었다.^[18] 또한, COVID-19 팬데믹 발생 직전 어린이를 대상으로 한 다른 연구에서도

DES로 추정되는 안정피로의 유병률은 약 20%로 나타났다.^[19] 반면에 COVID-19 팬데믹 동안 어린이의 DES 유병률은 50~60%로 급증하였다.^[20,21] 더 나아가 어린이의 DES는 근시 발병 및 근시 진행과도 관련이 있을 수 있다.^[22] 학령기에 이른 어린이들은 안정피로가 학습 및 학교생활의 성과에 영향을 미칠 수 있고 디지털 기기를 사용할 기회가 점점 더 많아지고 있다는 점을 고려하면 어린이의 DES 유병률과 근시 발병률은 더 증가할 것으로 추정할 수 있다.

최근 코로나바이러스 감염증(COVID-19)이 세계적으로 대유행하면서 디지털 기기의 사용이 급증하였고 궁극적으로 이것은 연령, 성별, 인종 또는 지역에 관계없이 대부분의 사람들 사이에서 DES 증상이 급증하는 결과를 낳았다.^[23,24] 따라서 본 종설 논문은 디지털 기기 사용이 눈에 미치는 영향과 증상 그리고 디지털 안정피로(DES)를 개선시킬 수 있는 방법 등을 살펴보고자 하였다.

방 법

DES 관련된 논문은 종합적으로 팍메드(PubMed)와 구글 학술(Google Scholar)를 사용하여 검색하였고, 국내 학술논문 검색은 학술연구정보서비스(RISS)를 이용하였다. 또한 부분적으로 한국안광학회지와 대한시과학회지 검색 및 구글검색을 사용하였다. 검색은 “디지털 안정피로(digital eye strain)”, “디지털 기기 관련 안정피로(asthenopia digital device-related)”, “시각적 피로(visual fatigue)”, “컴퓨터 시각 증후군(computer vision syndrome)”, “청색광 차단 안경렌즈(blue-blocking glasses)”, “눈의 피로(eye strain)”, “스마트폰 사용과 안구건조(smartphone use & dry eye)” 등의 용어를 사용하여 수행하였다. 검색이 된 논문과 함께 사용 가능한 초록, 또는 관련 기사 원고 등을 평가하여 본 종설 논문 작성에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 디지털 기기 사용이 눈에 미치는 영향

DES 증상은 안구건조증과 밀접한 관련이 있는 작열감, 자극감, 눈물흘림, 건조감 등의 외적인 증상과 굴절이상, 조절 또는 양안시 스트레스 문제와 관련이 있는 눈의 긴장, 통증, 두통의 내적인 증상으로 나눌 수 있다. 컴퓨터 사용과 관련된 조절 및 이항운동 문제는 화면 사용 그 자체의 문제보다 근거리 작업의 요구에 따른 결과로 나타나는 것 같다. 조절 및 양안시 이상과 관련된 증상에는 컴퓨터 사용 후 근거리 또는 원거리 시력 흐림, 주시거리가 변할 때 초점 맞추기의 어려움, 복시 등을 포함한다.^[25]

1.1. 조절(Accommodation)

시각적 조절은 눈이 선명한 상을 유지하기 위해 초점을 변화시키는 과정이다. 시각적 흐름은 조절의 중요한 자극이며 망막에 상이 정확하게 초점이 맞춰지도록 굴절력을 변경하기 위해 안구운동 시스템을 작동시킨다. 하지만 편리하게도 약간의 조절래그(조절 부족) 또는 조절선도(과다 조절)로 인해 발생하는 흐름은 초점심도로 인해 눈에 띄지 않는다.^[26] 근거리 작업을 편안하게 수행하기 위해서는 신속하고 원활하게 조절할 수 있어야 하고 정확한 반응을 유지할 수 있어야 한다.^[27]

시각적 디스플레이 기기를 사용할 때 조절이 미치는 영향에 대해서는 논란이 있다. 컴퓨터 디스플레이와 관련된 조절래그에 관한 연구에서 Wick과 Morse^[28]는 젊은 성인의 소규모 표본에서 인쇄된 책을 보는 것과 비교해서 컴퓨터에서 읽을 때 5명의 참가자 중 4명에서 조절래그(개방형 자동 굴절기로 측정)가 약 0.33 D 더 증가하였고, Penisten 등^[29]은 인쇄된 자료와 시각적 디스플레이 장치 조건에서 비슷한 조절래그(동적 검영법으로 측정)를 발견했다. 반면에 다른 연구에서는 시각 디스플레이 기기를 사용하는 동안 시간이 지남에 따라 조절의 변화를 찾지 못했다.^[30,31] Collier와 Rosenfield^[30]는 성인 20명을 대상으로 30분 동안 노트북을 사용하여 작업하는 동안 약 0.93 D의 안정적인 평균 조절래그를 보였다고 보고했다. 하지만, 증상이 있는 노트북 사용자와 무증상 노트북 사용자 사이에 조절의 차이는 나타나지 않았다. 저자들은 DES가 조절반응과 관련이 없지만 이항운동과 관련이 있을 수 있다고 결론지었고, 조절래그보다 조절부족이 증상을 유발할 수 있다고 제안하였다.^[32]

조절반응을 빠르게 변화시키는 능력인 조절용이성은 컴퓨터 사용과 관련이 있을 수 있다. 화면에서 다른 물체 또는 거리로 고정시키는 전환이 자주 발생하기 때문이다. 증상이 있는 컴퓨터 사용자 153명을 검사한 결과 조절용이성 부족이 가장 흔하게 나타났고 20.3%를 차지하였다. Rosenfield 등^[32]은 시각적으로 정상적인 22명의 젊은이를 대상으로 데스크탑 컴퓨터 작업 전과 25분 작업 후에 조절용이성 검사를 하였다. 단안의 조절용이성에서는 유의한 변화는 관찰되지 않았지만 양안의 조절용이성은 작업 후 다소 개선되었다. 또한 증상과 조절용이성 사이에 관계가 성립되지 않아 불충분한 조절용이성은 눈의 피로와 관련이 없다고 결론지었다. 대상자가 시각적으로 정상적인 젊은이들이면서 상대적으로 낮은 증상의 점수를 가지고 있다는 사실과 작업 시간이 조절 매개변수에 상당한 변화를 가져오기에 충분하지 않았을 수 있다는 점 때문에 이러한 결과가 DES 환자에게 광범위하게 적용될 수 있는지 여부는 의문으로 남는다.

1.2. 이항운동(Vergence)

컴퓨터 화면 사용은 폭주와 관련하여 눈에 과도한 부담을 줄 수 있다.^[31,33] 한 연구에서는 8시간 동안 컴퓨터 작업 후 이항운동 능력이 유의하게 감소했다고 보고했다.^[34] Wee 등^[35]은 3D 영화를 본 후 폭주근점이 줄어들고 DES 증상이 증가한다고 보고했다. 이외는 대조적으로, Yeow와 Taylor^[36]는 사무실 근로자들 사이에서 최대 4시간 동안 컴퓨터를 사용한 후에 폭주근점의 변화가 없음을 발견했다. 더 나아가, 2년 이상 지속된 연구에서 컴퓨터 사용자와 비사용자 사이의 폭주근점 감소율은 비슷하게 나타났지만 나이가 증가하면서 폭주근점이 감소하는 것을 관찰했다.^[37] 사위와 일부융합제거사위의 두 그룹에서도 차이는 없었다. 또 다른 연구에서는 컴퓨터 관련 작업(85, 47, 31, 25 cm의 각각의 거리에서)을 30분 동안 수행한 후 주시시차에 변화가 없음을 발견했다.^[38] 마찬가지로 1,316명을 대상으로 한 다른 연구에서도 컴퓨터 사용과 관련된 증상이 나타났지만 양안시 기능과는 관련성이 나타나지 않았다.^[39] 이항운동 반응은 디지털 장치를 이용하여 읽을 때 불편함의 증상과 관련이 있는 것으로 보인다.

1.3. 동공 변화

다수의 연구에서 근거리 작업 후 동공 특성의 변화를 관찰했다. 한 연구에 따르면 특정 조건하에서 동공 확장이 실패했거나 집중된 근거리 작업 후 동공 확장이 지연되었다.^[40] 또한 Tsuchiya 등^[41]은 이러한 동공 후유증은 조절의 긴장 수준의 변화 없이 발생할 수 있음을 발견했다. 그러나 동공 후유증이 디지털 눈 피로와 관련이 있는지는 확실하지 않다. Saito 등^[42]은 4시간의 컴퓨터 작업 후 동공대광반사가 지연되고 근점반사의 조절력이 감소하는 것을 발견했다. 또한, 저자들은 작업 후 시각적 피로를 관찰했으나 시각적 피로와 동공반사의 잠재적 연관성을 조사하지 않았다. 유사한 연구에서는 컴퓨터 사용자가 경험하는 시각적 피로가 해마(동공의 리듬 수축)와 관련이 있을 수 있다고 제안했다.^[43]

1.4. 눈 깜박임 특성

눈 깜박임은 정상적인 안구 표면을 유지하는 데 도움이 되며 대부분의 깜박임은 눈물의 분비, 분산, 증발 및 배출을 유도한다.^[44] 정상적인 눈 깜박임 횟수는 보통 1분에 15번 정도로 알려져 있다. 그러나 많은 연구에서 컴퓨터를 사용하는 동안 깜박임 횟수가 감소되는 것으로 관찰되었으며,^[45-47] 디지털 화면 기기 또는 스마트폰 사용 중에도 깜박임 횟수가 상당히 감소하는 것을 발견하였다.^[48-50] 이러한 깜박임 횟수의 감소는 DES에서 자주 발생하는 안구 건조 증상과 관련이 있을 수 있다. Park 등^[50]은 스마트폰

사용시간에 따른 깜박임 횟수를 조사한 결과 40분경과 후에 깜박임 횟수가 가장 낮게 나타나 스마트폰을 40분 이상 지속적으로 사용하는 것은 자제하고 휴식이 필요하다고 제안하였다.

Sheedy 등^[51]은 깜박임 횟수 감소가 증상을 유발하는 조건에서 비자발적으로 눈을 가늘게 뜬 결과일 수 있으며 눈을 가늘게 뜨는 것(squinting)은 잠재적으로 굴절이상인 시력을 향상시키고 상측 시야에 눈부심 원인이 있을 때 망막조도를 감소시켜 안정피로에 기여할 수 있다고 가정했다.^[52] 눈둘레근전도검사(EMG)에서 자발적으로 눈을 가늘게 뜨는 반응은 깜박임 횟수에 상당한 영향을 미치고 있었는데 눈을 가늘게 뜨는 정도가 심해질수록 깜박임 횟수는 더 많이 감소하였다.^[51] 위눈꺼풀이 전체 각막표면을 덮지 않는 불완전한 깜박임은 깜박임 횟수보다 안구건조와 더 관련이 있다.^[53] 불완전한 깜박임은 각막 하측의 눈물막 두께 감소로 인해 눈물 증발이 증가하고 눈물막 파괴를 초래할 수 있다.^[54] Argilés 등^[55]은 종이 인쇄물뿐만 아니라 태블릿 및 컴퓨터 디스플레이에서 읽기 작업을 하는 동안 깜박임 횟수가 감소하는 것을 관찰했다. 그러나 종이 책을 읽을 때의 불완전한 깜박임 비율(0-5%)은 태블릿에서 읽는 것(14.5%), 확장된 컴퓨터 디스플레이(13.5%) 또는 전자식으로 읽는 것(9%)과 비교해서 현저하게 낮게 나타났다. 불완전한 깜박임에 대한 디지털 기기의 구체적인 영향은 불분명하지만 눈 깜박임 훈련이 가능한 이점과 함께 이 문제를 해결하기 위한 추가 연구가 필요하다.

1.5. 눈부심(Glare) 및 화면 빛(Screen light)

눈부심은 컴퓨터 사용자가 일반적으로 경험할 수 있으며 이러한 현상은 읽는 속도를 감소시키는 것으로 밝혀졌다.^[56] 눈부심의 원인은 시각적 디스플레이 기기로 부터 나오는 빛 또는 부적절한 책상 조명과 같은 주변 환경에서 나오는 빛도 포함된다.^[57-59] 조명의 상태가 1000 lx 이상인 환경은 사용자의 업무성과를 저하시키는 것으로 알려져 있다.^[60] 따라서 눈부심은 디지털 안정피로 증상의 원인이 될 수 있으며,^[61,62] 주변 조명이 원인이 되는 눈부심은 조절(accommodation)에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다.^[63]

1.6. 안검의 생리학적 특징

컴퓨터를 사용하는 동안 집중력을 높이고 시력을 개선시키면서 눈부심을 조정하기 위해 눈을 가늘게 뜨는 것이 일반적이다.^[52] 눈을 가늘게 뜨고 있는 동안 눈둘레근의 긴장이 증가하고 눈둘레근의 과잉 작용이 눈의 통증과 눈의 피로를 유발할 수 있다는 연구결과가 있다. Thorud 등^[61]은 2시간의 노트북 작업을 하는 동안 건강한 대상자들을 시각적 스트레스 요인에 노출시켰다. 눈의 증상들, 눈둘레근

으로의 혈류, 근육 부하는 모두 노트북 작업 중에 크게 증가했다. 연구자들은 눈 관련 통증과 눈둘레근으로의 혈류 사이에 양의 상관관계가 있음을 발견하였고, 또한 눈의 피로와 근육 부하 사이에서도 양의 상관관계가 있음을 발견했다.

디지털 기기 사용으로 인한 눈의 피로에는 여러 가지의 근본적인 요인들이 연결되어 있다. Hall 등^[6]은 디지털 안정피로와 관련된 증상의 원인을 시력 관련, 디지털화면 관련, 안구표면 관련으로 구분하여 분류하였다(Fig. 2).

2. 디지털 안정피로의 평가 방법

DES 환자를 식별하고 증상의 심각한 정도를 평가하기 위해 다양한 설문지가 사용되고 있다. Hayes 등^[64]이 만든 10개 항목의 설문지는 컴퓨터를 사용 할 때 경험할 수 있는 증상으로 눈의 불편함 정도를 나타내어 전체 증상의 점수를 계산할 수 있다. 6개 항목(보는 것이 어려움, 눈 주위의 이상한 느낌, 눈이 피곤함, 둔한 느낌, 두통, 화면을 보면 어지러움을 느낌)의 시각적 피로 척도(Visual Fatigue Scale)는 컴퓨터 사용자들에게 리커트(Likert) 척도를 이용하여 응답하도록 하였다. Rasch 방법을 바탕으로 한 Computer Vision Symptom Scale(CVSS17)은 컴퓨터 사용자의 시각 및 안구 증상을 측정하기 위해 개발되었으나, 현재 인종 및 기타 요인에 따른 정상적인 CVSS 값은 알려져 있지 않다.^[65] Seguí 등^[66]은 직장에서 DES를 자가 진단하기 위해 CVS-Q(Computer Vision Syndrome Questionnaire) 설문지를 개발했다. 컴퓨터 사용자가 경험하는 16가지 증상의 빈도와 강도를 표시하여 단일 증상 심각도 점수(CVS 점수)를 추론할 수 있다. 6점 이상의 점수를 진단기준으로 제시하였다. 또한, CVS-Q는 콘택트렌즈 착용자의 CVS를 분석하기 위해 사용되었다.^[67]

타당성과 신뢰성이 검증된 설문지는 컴퓨터 사용 근로자의 안구 및 시 건강과 관련된 일상적인 환자 치료와 임상실험을 결합시킬 수 있는 유용한 도구이다.^[68] 시각적 피로의 객관적인 측정에 대한 추가 검증을 제공하기 위해 자각적 증상을 평가할 수 있는 설문지가 널리 사용되고 있다.

DES는 수많은 개인에게 영향을 미치고 있지만 정확한 생리적 근거는 불분명하다. DES 증상의 조절(accommodation) 특성을 고려할 때 조절 매개변수들의 측정은 DES 평가를 위한 객관적 평가 방법으로 연구자들에게 상당한 관심을 받았지만, 최근 DES 연구에서는 임계 깜박임 융합주파수(critical flicker-fusion frequency, CFF)와 눈 깜박임 특성의 평가가 정기적으로 사용되고 있다. CFF는 피로와 정신적 작업량을 나타내는 인정된 지표이다.^[69] 장시간의 컴퓨터 작업 후 CFF의 부정적인 변화는 단파장 차단 안경의 효

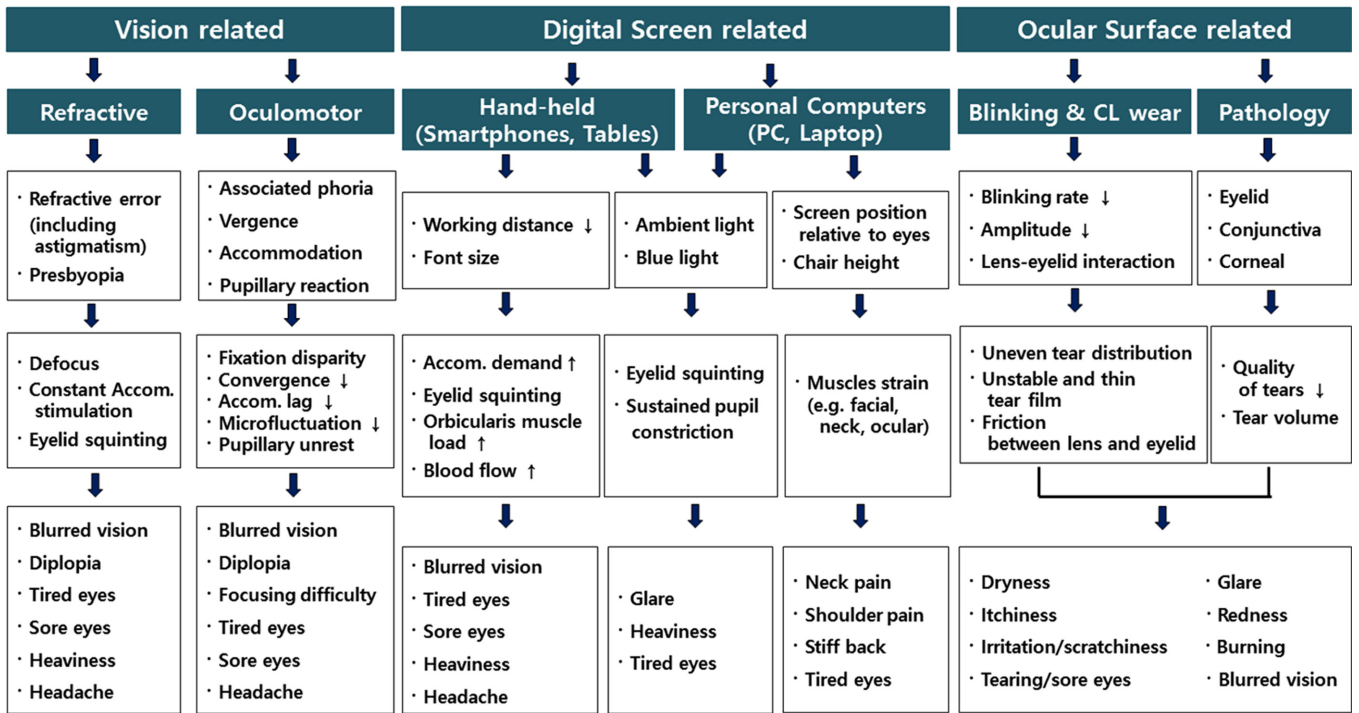


Fig. 2. Symptomatology of vision, digital screen and ocular surface-related digital eye strain.^[6] (CL; contact lens, Accom; accommodation)

과에 대한 최근 연구에서 자각적으로 느껴지는 일정한 증상들(눈 통증 또는 눈 주위의 통증, 눈이 무겁고 가려움)과 일치하는 것으로 관찰되었다.^[70] 이 측정법을 사용한 모든 연구가 CFF 약화와 증상 증가 사이의 상관관계를 확립한 것은 아니다.^[71,72] CFF는 작업 시간의 영향을 받을 수 있으며 Chi 등^[73]은 작업 기간이 연장되었을 때 업무부담 차이에 대한 이 매개변수의 민감도가 크게 증가했다고 보고했다.

DES의 평가는 설문지를 이용하는 주관적인 방법과 임계 깜박임 융합주파수(CFF), 눈 깜박임 횟수와 완전성, 조절 기능 및 동공의 특성과 같은 매개변수의 측정으로 시각적 피로도 지표를 통한 객관적인 방법을 이용한다. 주관적 평가와 객관적 평가 사이의 상관관계가 항상 명확하지는 않지만 자각적 증상을 위한 설문지는 시각적 기능과 관련된 객관적 측정과 함께 자주 사용되고 있다.

3. 디지털 안정피로의 관리

디지털 기기사용으로 인한 눈의 피로는 모든 연령대의 사람들에게 영향을 미칠 수 있다. 디지털 기기를 하루 동안 장시간 사용하게 되면 눈이 건조해지면서 시야가 흐려지고 눈이 아프면서 피곤해 진다. 이러한 눈의 피로는 일반적인 근작업을 지속적으로 할 때 나타나는 증상과도 크게 다르지 않다. 현대사회에서 스마트폰과 컴퓨터 사용을 줄이는 것은 현실적으로 가능하지 않을 것이다. 그렇다면

디지털 관련 눈의 피로를 개선하기 위해 무엇을 할 수 있는지 살펴보는 것이 필요하다.

디지털 안정피로의 진단 및 관리를 개선하기 위해서는 DES의 근본적인 생리학적 연관성과 증상을 잘 이해하는 것이 중요하다.^[3] 디지털 사용으로 인한 눈 피로는 다양한 원인이 있을 수 있으므로 환자 개인의 맞춤형 관리가 필요하다.^[74] 임상실무자는 적절한 관리를 선택하기 위해 특징적인 눈의 증상과 별도로 시각적 증상을 평가하는 것이 필요하고,^[75] 현재의 시각적 요구에 맞게 눈 검사의 표준을 업데이트하여 진단을 개선하고 디지털 기기 사용자들을 위한 특별한 눈 검사를 개발하는 것이 필요해 보인다.^[3] 또한, 임상실무자는 공중보건과 관련된 디지털 기기의 적절한 사용법과 인체공학적인 인식을 개선하기 위한 정보를 제공할 수 있어야 한다.^[76]

3.1. 굴절이상 및 노안 교정

디지털 화면은 더 나은 가시성을 위해 눈 초점 및 안구 움직임의 더 필요로 하여 조절과 폭주 메커니즘 사이의 복잡한 균형에 대한 추가 요구를 발생시킨다. 이러한 결과는 교정되지 않았거나 저교정된 굴절이상을 가진 사람들을 더욱 취약하게 만든다.^[77] 따라서 난시를 포함하는 굴절이상의 교정과 노안 교정은 DES를 개선시키기 위한 중요한 개입으로 받아들여지고 있다.^[78-81] 이중맹검법에 의한 연구결과에 따르면, 0.50~1.00 D의 미교정 난시는 자각

적인 판단으로 시력에 불편함을 주는 정도로 영향을 미치는 반면,^[78,79] 1.00~2.00 D의 교정되지 않은 난시량은 최대 370%까지 작업 오류를 증가시키고 컴퓨터 작업자의 생산성을 크게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.^[8]

노안이 있는 경우, 난시가 저교정 또는 교정되지 않은 기성품의 돋보기안경 또는 콘택트렌즈를 착용하고 있는 사람들 사이에서 특히 문제가 될 수 있다.^[68] 다양한 근작업 거리를 필요로 하는 서로 다른 종류의 디지털 기기 사용은 작업 거리에 따라 가입도가 필요한 개인에게는 문제가 될 수 있다. 스마트폰은 화면 크기가 축소되어 작은 글꼴이 일반적이고, 웹 기반 스마트폰 작업을 수행하는 성인의 평균 작업 거리는 32.2 cm로 설정되어 있지만 장시간 사용 시 작업거리는 줄어들 수 있다.^[82,83] 컴퓨터 모니터는 50.0-63.5 cm의 최소 작업거리가 권장되고,^[84] e-리더의 경우 독서거리가 약 50 cm이거나 나이가 들면서 약간 더 줄어드는 것이 일반적이다.^[85,86] 결과적으로 단초점 근용처방은 요구되는 근작업 범위에 걸쳐 적절한 시력을 제공하지 못할 수도 있다. 즉, 중간거리 및 근거리 처방이 결합된 교정이 필요하다. 2004년 연구에서는 12개월 동안 일부 누진렌즈 디자인이 단초점 안경보다 전반적으로 더 큰 만족도를 제공하고 선명한 시력 영역에 대한 개선된 평가를 얻었다.^[87] 단초점 렌즈가 근거리, 중간거리, 원거리 사이에서 빠르게 초점을 전환할 수 있어 눈의 피로를 줄여주는 효과가 있고, 특히 컴퓨터 작업거리(얼굴에서 약 50~66 cm 떨어진 거리)에 적절한 중간 및 근거리 시력을 최적화하도록 설계된 컴퓨터용 안경을 사용하면 컴퓨터 화면 거리에서 눈의 초점을 맞출 수 있어 눈의 피로를 줄일 수 있다.^[88] 눈의 피로를 줄이는 컴퓨터용 안경은 청색광 차단 안경과는 다르다. DES는 가입도 처방으로 완화될 수 있다.^[87-89] 그러나 컴퓨터 시각 증후군을 겪고 있는 사람들이 정시안일 수 있기 때문에 낮은 플러스 렌즈의 자동 처방에 대해서는 주의를 해야 한다.^[11]

3.2. 안구건조 관리

안구건조증은 DES의 중요한 병인으로 간주되고 있으며 주로 눈 깜박임 특성의 변화, 사무실 환경의 영향, 디지털 기기 사용에 따른 시선각의 변화 등이 관련 있다. 사무실 환경은 일반적으로 낮은 습도, 에어컨과 난방기 사용, 각막 건조를 촉진할 수 있는 공기 중의 먼지/토너 입자를 특징으로 한다.^[79] 데스크탑의 컴퓨터 화면은 수평 시선으로 보는 경우가 많아 일반적으로 하향 시선으로 수행되는 기존의 읽기 업무(또는 노트북/태블릿 사용)보다 안검의 폭이 더 넓어져 더 큰 안구 표면적이 눈물 증발에 노출되게 된다.^[90,91]

안구건조의 증상을 완화하기 위해 윤활제 또는 인공눈

물의 사용을 권장하고 있다.^[92-94] 이러한 점안액의 사용으로 증상이 완전히 해결되지는 않지만 컴퓨터를 계속 사용하는 동안 피로감, 건조함 및 초점 맞추기의 어려움과 같은 증상들은 감소시키는 것으로 나타났다.^[92,94] 디지털 기기(스크린) 사용과 불완전한 눈 깜박임 사이의 연관성을 고려할 때 불완전한 깜박임의 수를 줄이기 위한 깜박임 훈련은 안구건조와 관련된 DES 증상 관리에 도움이 될 수 있다. 또한 화면 위에 있는 반사 방지 필름은 깜박임 횟수를 높이고 DES의 증상을 줄일 수 있다.^[95] 시각적 디스플레이 기기의 반사를 줄이면 화면에 표시되는 이미지와 대비도가 향상될 수 있다. 개선된 이미지는 보기위한 노력이 더 적게 요구되므로 깜박임 횟수도 증가되어 눈의 피로 증상을 완화시켜주는 효과가 있다.

안구건조 증상을 완화시킬 수 있는 다른 치료 방법으로 오메가-3 지방산 또는 블루베리 추출물을 이용한 보충제 복용을 검토할 수 있다. Bhargava 등^[96,97]은 안구건조 증상이 있고 하루 3시간 이상 컴퓨터를 사용하는 그룹을 대상으로 한 연구에서 45일 동안 오메가-3 지방산 치료를 받은 후 환자들이 안구건조 증상과 눈물 분해 시간이 크게 개선되었음을 관찰했다. 또한, 블루베리 추출물(species: *Vaccinium uliginosum*)을 이용한 Park 등^[98]의 연구에서 4주간 치료한 결과 자각적인 눈 피로 증상이 전반적으로 크게 감소한 것으로 나타났다.

한편, 콘택트렌즈를 착용하면서 디지털 기기를 사용하는 그룹이 안구건조 및 DES의 높은 위험군에 속한다는 사실도 인지해야 한다. 임상실무자는 적절한 렌즈 재질 선택, 렌즈 관리와 재습윤 시스템, 환경적 요인 관리를 통하여 콘택트렌즈 착용 관련 안구건조를 관리할 수 있다.^[99,100]

3.3. 조절과 이항운동 문제 관리

조절용이성 부족과 높은 조절래그 같은 조절 이상은 컴퓨터 사용을 포함하는 근거리 작업 동안 시각적 불편함을 발생시킬 수 있다. 임상에서 조절용이성은 플러스 및 마이너스 구면 플리퍼 렌즈로 평가할 수 있다, 40 cm에서 ± 2.00 D 플리퍼를 사용하여, 성인인 경우 11 cpm이 유증상과 무증상을 구분할 수 있는 경계값으로 제시하고 있다.^[101] 조절래그는 일반적으로 원용 굴절이상을 교정하고 근거리 물체를 주시하고 있는 상태에서 동적 검영법으로 평가한다.^[102] 임상실무자는 디지털 기기 사용자의 적절한 작업 거리에서 선명한 시력을 보장하기 위해 스크린 사용 거리에서 시기능 검사를 하는 것이 필요하다.^[91]

이항운동 기능장애는 폭주부족, 비보정사위 및 이항운동용이성 부족 등 다양한 안구 운동장애를 포함한다. 양안시 문제가 있는 개인은 눈을 오래 사용하면 더 심각한 시각적 증상을 경험하게 된다.^[103,104] 지금까지 이항운동의

특성은 컴퓨터 작업과 관련하여 연구되어왔으나 일관성 있는 결과를 보여주지 못하였다. Watten 등^[34]은 근무하는 날의 일 종료 시 이항운동의 범위(B.I 및 B.O 프리즘 굴절력을 증가시켜 흐림이 발생할 때까지 평가)가 현저하게 감소하는 것으로 보고했지만, 다른 연구에서는 컴퓨터 작업과 관련된 개인과 컴퓨터를 사용하지 않는 개인 사이에 이항운동 기능에 차이가 없었다.^[36,37,103] Rosenfield 등^[32]은 25분의 컴퓨터 작업 후 이항운동 용이성(B.O와 B.I 프리즘을 교대로 제시하여 이항운동 반응을 빠르게 변화시키는 능력)에 변화가 없었다고 보고했다. 이후 연구에서는 컴퓨터 작업 중 일부융합제거사위의 변화가 없음을 보여 주었지만, 특히 증상이 가장 적은 개인은 1.55Δ B.I의 낮은 일부융합제거사위를 가졌다. 즉, 약간 감소된 이항운동 반응을 보였다는 것이다.^[30] 개인의 약 20%는 정위 상태에 비해 유도된 작은 일부융합제거외사위를 선호하는 것으로 나타났다으며, 이는 컴퓨터 시각 증후군이 일부 개인의 일부융합제거외사위 자극에 의해 개선될 수 있음을 시사한다.^[91]

미국검안협회는 디지털 기기 사용으로 인한 눈을 보호하고 DES를 완화하기 위해 20-20-20 규칙(20분마다 20피트/약 6 m 멀리 있는 물체를 보기 위해 20초 휴식)을 장려하고 있다.^[10] 짧은 짧은 휴식은 조절과 이항운동 반응을 이완시켜 생산성을 손상시키지 않으면서 안정피로 증상을 완화할 수 있다.^[105,106]

또한, 식물성인 차조기 추출물(*Perilla frutescens* var. *acuta*) 섭취를 통한 눈의 피로도 개선 효과를 알아보기 위한 Kim 등^[107]의 연구에서 30명을 대상으로 치료군과 위약 대조군을 무작위로 할당하여 1주 연속 복용한 후 마지막 날 스마트폰 사용 전과 2시간 사용 후에 조절근점을 비교 평가하였다. 치료군에서 조절근점이 감소한 것으로 나타나 차조기 추출물이 DES 증상을 개선할 수 있다고 제안했다.

3.4. 청색광 차단 렌즈 이용

컴퓨터, 태블릿, 스마트폰을 포함하는 최신 디지털 기기는 높은 에너지의 가시광선인 청색광(400~490 nm)을 방출한다.^[108] 디지털 화면에서 방출되는 청색광에 대해 많은 우려를 나타내고 있지만 최근 연구에 따르면 이러한 장치에서 나오는 낮은 레벨의 청색광은 장시간 시청하더라도 생물학적 위험을 나타내지 않는다고 보고되고 있다.^[109] 그러나, 디지털 장치로부터 발생하는 청색광은 눈에서 산란되기 때문에 시각적 초점을 유지하기 위한 노력 증대로 시각적 피로 증상에 관여할 수 있다. 이러한 눈의 피로를 완화시키기 위하여 상업적으로 판매되는 청색광 차단 안경렌즈를 사용할 수 있다. 청색광 필터 렌즈는 이론적으로 시력저하 없이 광독성을 10.6%~23.6%까지 줄여주기 때문에 청색광 유해로부터 눈을 보호하기 위한 보조적인 수단

으로 제시되어 왔다.^[110]

최근 연구에 따르면 청색광을 충분히 차단한 렌즈가 컴퓨터를 사용하는 2시간 동안 눈의 피로를 크게 감소시켰다고 보고했다.^[70] 이 연구는 36명(21-39세)을 대상으로 청색광 차단율이 높은 렌즈, 청색광 차단율이 낮은 렌즈, 청색광이 차단되지 않은 안경렌즈를 무작위로 착용시켜 비교하였다. 청색광 차단율이 높은 안경을 착용한 그룹이 다른 그룹보다 눈의 피로(CFF로 측정)가 훨씬 적었고 안구 통증, 눈의 무거움 및 피곤함이 훨씬 적게 나타났다. 한편, 이러한 결과와는 대조적으로, 최근의 또 다른 무작위 대조 실험에서는 대상자(n=80, 18-55세)를 비슷한 비율로 청색광 필터 렌즈를 착용한 그룹은 투명렌즈를 착용한 대상자와 비교하였을 때 눈의 피로가 개선, 악화 또는 변화가 없는 것으로 분류되어 나타났다.^[111] 이 연구에서 적은 수의 대상자가 청색광 차단렌즈를 착용한 상태에서 모바일 기기와 컴퓨터를 사용할 때 투명렌즈 착용과 비교해서 눈의 피로가 더 악화되었다는 결과는 이 그룹의 청색광 차단 안경렌즈는 앞선 연구에서 청색광 차단율이 낮은 안경렌즈로 분류되었을 것으로 추측해 본다. 그럼에도 불구하고, 청색광 차단 렌즈의 역할은 여전히 논란의 여지가 있으며 시각적 편안함을 제공하는데 효과가 있다는 증거를 제공하기 위해서는 추가적인 연구가 더 필요하다.^[111]

3.5. 기타

디지털 안정피로를 완화시키기 위해 미국안과학회에서 다음과 같은 권장사항을 제시하고 있다.^[112] 첫째, 디지털 기기 화면의 밝기와 대비도를 조정한다. 화면이 주변보다 더 밝게 빛나면 눈이 보기 위해 더 열심히 노력해야 하기 때문에 주변 환경의 밝기 수준에 맞게 기기 화면의 밝기를 조정한다. 또한 화면의 대비도를 높여 눈의 피로를 줄일 수 있다. 60~70% 정도의 대비 설정이 대부분의 사람들에게 편안한 것으로 고려된다. 둘째, 디지털 기기에서 발산되는 눈부심을 줄인다. 오늘날 디지털 기기의 화면은 종종 눈부심이 심하기 때문에 무광택 스크린 필터를 사용하면 눈부심을 최소화하는데 도움이 된다. 디지털 기기 구매할 때 이러한 필터를 제공받을 수 있는지 확인할 수 있다. 셋째, 컴퓨터를 사용할 때 모니터 위치를 조정한다. 모니터에서 약 60 cm 정도(오른쪽 팔 길이) 떨어져 앉아 있어야 하고, 시선이 앞이나 위가 아닌 약간 아래를 향하도록(15-20°) 화면을 배치한다.

결 론

COVID-19 팬데믹이 시작된 이래로 DES가 급증한 것을 고려하면 DES에 영향을 받고 있는 개인의 눈 관련 삶의

질을 개선하는데 집중하는 것은 필요한 과정이라고 생각한다. 본 종설 논문은 디지털 기기 사용이 눈에 미치는 영향과 증상 그리고 디지털 안정피로를 개선시킬 수 있는 방법 등을 살펴보았다. DES 증상은 안구건조증과 관련된 외적인 증상과 비정시, 조절 또는 양안시 스트레스와 관련된 내적인 증상으로 나눌 수 있고, 이러한 증상들은 편안한 시생활을 증진시키기 위해 관리가 필요하다. DES의 관리에서 첫 번째 주요 전략은 예방적 접근에 초점을 맞추는 것이 될 수 있다. DES의 예방에는 환자 교육과 인체공학적 작업 환경 및 업무를 보장하고, 시각 장애를 치료하기 위한 시기능 검사 및 안과 치료 등이 포함되어야 한다. 특히, 컴퓨터 작업 직업군, 콘택트렌즈 착용자 등과 같은 DES의 위험도가 높은 사람들에게 대해서는 특별한 고려가 필요하다. 디지털 기기 사용에 있어 DES의 영향과 인체공학적 관행과 관련된 인식을 확산시키는 것도 중요하다.

DES를 개선시키기 위한 관리 전략에는 정상적인 눈 깜박임 유지, 일일 평균 화면 사용시간 감소, 안구건조 관리, 콘택트렌즈의 착용감 개선, 화면 작업 시 규칙적인 휴식, 굴절이상 및 노안 교정, 조절 및 이항 운동의 문제 관리, 청색광 차단 렌즈 사용 등을 포함시킬 수 있다.

REFERENCES

- [1] Dain SJ, McCarthy AK, Chan-Ling T. Symptoms in VDU operators. *Optom Vis Sci.* 1988;65(3):162-167. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-198803000-00004>
- [2] Costanza MA. Visual and ocular symptoms related to the use of video display terminals. *J Behav Optom.* 1994;5(2): 31-36.
- [3] Rosenfield M. Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain). *Optometry in Practice.* 2016;17(1):1-10.
- [4] Jaiswal S, Asper L, Long J, et al. Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom.* 2019; 102(5):463-477. DOI: <https://doi.org/10.1111/cxo.12851>
- [5] Auffret E, Gomart G, Bourcier T, et al. Digital eye strain-symptoms, prevalence, pathophysiology, and management. *J Fr Ophthalmol.* 2021;44(10):1605-1610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2020.10.002>
- [6] Contact Lens Spectrum. More screen time = more digital eye strain: increased electronic device use has multiplied the potential stresses on the ocular system, 2015. [https://www.clspectrum.com/issues/2015/june-2015/more-screen-time-more-digital-eye-strain\(10 July 2022\)](https://www.clspectrum.com/issues/2015/june-2015/more-screen-time-more-digital-eye-strain(10%20July%202022)).
- [7] Usgaonkar U, Parkar SRS, Shetty A. Impact of the use of digital devices on eyes during the lockdown period of COVID-19 pandemic. *Indian J Ophthalmol.* 2021;69(7): 1901-1906. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_3500_20
- [8] Daum KM, Clore KA, Simms SS, et al. Productivity associated with visual status of computer users. *Optometry.* 2004;75(1):33-47. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1529-1839\(04\)70009-3](https://doi.org/10.1016/s1529-1839(04)70009-3)
- [9] Ministry of Science and ICT. 2012-2022 Smartphone Usage Rate & Brand, Smart Watch, Wireless Earphone Survey, 2022. [https://www.gallup.co.kr/gallupdb/report-Content.asp?seqNo=1309\(25 July 2022\)](https://www.gallup.co.kr/gallupdb/report-Content.asp?seqNo=1309(25%20July%202022)).
- [10] American Optometric Association. Computer Vision Syndrome, 2017. [https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/computer-vision-syndrome?sso=y\(30 July 2022\)](https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/computer-vision-syndrome?sso=y(30%20July%202022)).
- [11] Yun J, Mun J, Kim M, et al. Smart phone addiction and health problem in university student. *Journal of Korean Association for Crisis and Emergency Management.* 2011;3(2):94-104.
- [12] National Youth Policy Institute. 2021 NYPI Annual Report, 2021. [https://www.nypi.re.kr/brdrr/boardrView.do?menu_nix=15klnsa2&brd_id=BDIDX_PJk7xvf7L096m1g7Phd3YC&cont_idx=763\(25 July 2022\)](https://www.nypi.re.kr/brdrr/boardrView.do?menu_nix=15klnsa2&brd_id=BDIDX_PJk7xvf7L096m1g7Phd3YC&cont_idx=763(25%20July%202022)).
- [13] Park SY, Kim MJ, Kim SJ, et al. Influence of smart phone on dry eye syndrome in adolescents. *Korean J Fam Pract.* 2015;5(3):336-340.
- [14] Kim JM. Association between smartphone use time and the prevalence of dry eye in young adults during the covid-19 pandemic. *Korean J Vis Sci.* 2021;23(3):345-354. DOI: <https://doi.org/10.17337/JMBI.2021.23.3.345>
- [15] Choi JH, Kim KS, Kim HJ, et al. Factors influencing on dry eye symptoms of university students using smartphone. *Int J Pure and Appl Math.* 2018;118(24):1-13. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.01583.8>
- [16] Moon JH, Lee MY, Moon NJ. Association between video display terminal use and dry eye disease in school children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2014;51(2):87-92. DOI: <https://doi.org/10.3928/01913913-20140128-01>
- [17] Moon JH, Kim KW, Moon NJ. Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study. *BMC Ophthalmol.* 2016; 16(1):188. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12886-016-0364-4>
- [18] Vilela MAP, Pellanda LC, Fassa AG, et al. Prevalence of asthenopia in children: a systematic review with meta-analysis. *J Pediatr.* 2015;91(4):320-325. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.10.008>
- [19] Ichhpujani P, Singh RB, Foulsham W, et al. Visual implications of digital device usage in school children: a cross-sectional study. *BMC Ophthalmol.* 2019;19(1):76. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12886-019-1082-5>
- [20] Mohan A, Sen P, Shah C, et al. Prevalence and risk factor assessment of digital eye strain among children using online e-learning during the COVID-19 pandemic: digital eye strain among kids (DESK study-1). *Indian J Ophthalmol.* 2021;69(1):140-144. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_2535_20
- [21] Demirayak B, Yilmaz Tugan B, Toprak M, et al. Digital eye strain and its associated factors in children during the COVID-19 pandemic. *Indian J Ophthalmol.* 2022;70(3): 988-992. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_1920_21
- [22] Mohan A, Sen P, Peeush P, et al. Impact of online classes

- and home confinement on myopia progression in children during COVID-19 pandemic: digital eye strain among kids (DESK) study 4. *Indian J Ophthalmol.* 2022;70(1): 241-245. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_1721_21
- [23] Fan Q, Wang H, Kong W, et al. Online learning-related visual function impairment during and after the COVID-19 pandemic. *Front Public Health.* 2021;9:645971. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.645971>
- [24] Liu J, Li B, Sun Y, et al. Adolescent vision health during the outbreak of COVID-19: association between digital screen use and myopia progression. *Front Pediatr.* 2021; 9:662984. DOI: <https://doi.org/10.3389/fped.2021.662984>
- [25] Shukla Y. Accommodative anomalies in children. *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(8):1520-1525. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_1973_18
- [26] Coles-Brennan C, Sulley A, Young G. Management of digital eye strain. *Clin exp Optom.* 2019;102(1):18-29. DOI: <https://doi.org/10.1111/cxo.12798>
- [27] Wick B, Hall P. Relation among accommodative facility, lag, and amplitude in elementary school children. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987;64(8):593-598.
- [28] Wick B, Morse S. Accommodative accuracy to video display monitors. *Optom Vis Sci.* 2002;79(12):218. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-200212001-00413>
- [29] Penisten DK, Goss DA, Philpott G, et al. Comparisons of dynamic retinoscopy measurements with a print card, a video display terminal, and a PRIO system tester as test targets. *Optometry.* 2004;75(4):231-240. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1529-1839\(04\)70050-0](https://doi.org/10.1016/s1529-1839(04)70050-0)
- [30] Collier JD, Rosenfield M. Accommodation and convergence during sustained computer work. *Optometry.* 2011; 82(7):434-440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optm.2010.10.013>
- [31] Jaschinski W. Fixation disparity at different viewing distances and the preferred viewing distance in a laboratory near-vision task. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1998;18(1):30-39. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.1998.97000392.x>
- [32] Rosenfield M, Gurevich R, Wickware E, et al. Computer vision syndrome: accommodative and vergence facility. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50(13):5332.
- [33] Scot Best P, Littleton M, Gramopadhye AK, et al. Relations between individual differences in oculomotor resting states and visual inspection performance. *Ergonomics.* 1996;39(1):35-40. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139608964431>
- [34] Watten RG, Lie I, Birketvedt O. The influence of long-term visual near-work on accommodation and vergence: a field study. *J Hum Ergol (Tokyo).* 1994;23(1):27-39. DOI: <https://doi.org/10.11183/jhe1972.23.27>
- [35] Wee SW, Moon NJ, Lee WK, et al. Ophthalmological factors influencing visual asthenopia as a result of viewing 3D displays. *Br J Ophthalmol.* 2012;96(11):1391-1394. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2012-301690>
- [36] Yeow PT, Taylor SP. Effects of short-term VDT usage on visual functions. *Optom Vis Sci.* 1989;66(7):459-466. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-198907000-00009>
- [37] Yeow PT, Taylor SP. Effects of long-term visual display terminal usage on visual functions. *Optom Vis Sci.* 1991; 68(12):930-941. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199112000-00004>
- [38] Jaschinski-Kruza W. Fixation disparity at different viewing distances of a visual display unit. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1993;13(1):27-34. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1993.tb00422.x>
- [39] Cole BL, Maddocks JD, Sharpe K. Effect of VDUs on the eyes: report of a 6-year epidemiological study. *Optom Vis Sci.* 1996;73(8):512-528. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199608000-00001>
- [40] Gilmartin B, Hogan R. The relationship between tonic accommodation and ciliary muscle innervation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1985;26(7):1024-1028.
- [41] Tsuchiya K, Ukai K, Ishikawa S. A quasistatic study of pupil and accommodation after-effects following near vision. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1989;9(4):385-391. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1989.tb00939.x>
- [42] Saito S, Sotoyama M, SAITO S, et al. Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation: pupillary reflexes and accommodative responses. *Ind Health.* 1994; 32(2):57-66. DOI: <https://doi.org/10.2486/indhealth.32.57>
- [43] Ukai K, Tsuchiya K, Ishikawa S. Induced pupillary hippus following near vision: increased occurrence in visual display unit workers. *Ergonomics.* 1997;40(11):1201-1211. DOI: <https://doi.org/10.1080/001401397187441>
- [44] Himebaugh NL, Begley CG, Bradley A, et al. Blinking and tear break-up during four visual tasks. *Optom Vis Sci.* 2009;86(2):106-114. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0b013e318194e962>
- [45] Patel S, Henderson R, Bradley L, et al. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom Vis Sci.* 1991;68(11):888-892. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199111000-00010>
- [46] Freudenthaler N, Neuf H, Kadner G, et al. Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2003;241(11):914-920. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00417-003-0786-6>
- [47] Tsubota K, Nakamori K. Dry eyes and video display terminals. *N Engl J Med.* 1993;328(8):584. DOI: <https://doi.org/10.1056/nejm199302253280817>
- [48] Cho YA, Won JS, An GJ. The effect on the dryness of eye during VDT work. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1996;37(12): 1991-1995.
- [49] Suh YW, Kim KH, Kang SY. The objective methods to evaluate ocular fatigue associated with computer work. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(10):1327-1332. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2010.51.10.1327>
- [50] Park JS, Choi MJ, Ma JE, et al. Influence of cellular phone videos and games on dry eye syndrome in university students. *J Korean Acad Community Health Nurs.* 2014;25(1): 12-23. DOI: <https://doi.org/10.12799/jkachn.2014.25.1.12>
- [51] Sheedy JE, Gowrisankaran S, Hayes JR. Blink rate decreases with eyelid squint. *Optom Vis Sci.* 2005;82(10): 905-911. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.opx.0000181234>

- 63194.a7
- [52] Sheedy JE, Truong SD, Hayes JR. What are the visual benefits of eyelid squinting?. *Optom Vis Sci.* 2003;80(11):740-744. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-200311000-00009>
- [53] Hirota M, Uozato H, Kawamorita T, et al. Effect of incomplete blinking on tear film stability. *Optom Vis Sci.* 2013;90(7):650-657. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0b013e31829962ec>
- [54] McMonnies CW. Incomplete blinking: exposure keratopathy, lid wiper epitheliopathy, dry eye, refractive surgery, and dry contact lenses. *Contact Lens Anterior Eye.* 2007;30(1):37-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2006.12.002>
- [55] Argilés M, Cardona G, Pérez-Cabré E, et al. Blink rate and incomplete blinks in six different controlled hard-copy and electronic reading conditions. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015;56(11):6679-6685. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.15-16967>
- [56] Garcia KD, Wierwille WW. Effect of glare on performance of a VDT reading- comprehension task. *Hum Factors.* 1985;27(2):163-173. DOI: <https://doi.org/10.1177/001872088502700204>
- [57] Bernan SM, Greenhouse DS, Baily IL, et al. Human electroretinogram responses to video displays, fluorescent lighting, and other high frequency sources. *Optom Vis Sci.* 1991;68(8):645-662. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199108000-00012>
- [58] Goodwin PE. Evaluation of methodology for evaluating lighting for offices with VDTs. *J Illum Eng Soc.* 1987;16(1):39-51. DOI: <https://doi.org/10.1080/00994480.1987.10748664>
- [59] Hultgren GV, Knave B. Discomfort glare and disturbances from light reflections in an office landscape with CRT display terminals. *Appl Ergon.* 1974;5(1):2-8. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(74\)90251-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(74)90251-8)
- [60] Liu P, Zafar F, Badano A. The effect of ambient illumination on handheld display image quality. *J Digit Imaging.* 2014;27(1):12-18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10278-013-9636-1>
- [61] Thorud HMS, Helland M, Aarås A, et al. Eye-related pain induced by visually demanding computer work. *Optom Vis Sci.* 2012;89(4):452-464. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0b013e31824c1801>
- [62] Mork R, Bruenech JR, Thorud HMS. Effect of direct glare on orbicularis oculi and trapezius during computer reading. *Optom Vis Sci.* 2016;93(7):738-749. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0000000000000855>
- [63] Wolska A, Switula M. Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. *Int J Occup Saf Ergon.* 1999;5(4):553-580. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.1999.11076438>
- [64] Hayes JR, Sheedy JE, Stelmack JA, et al. Computer use, symptoms, and quality of life. *Optom Vis Sci.* 2007;84(8):738-755. DOI: <https://doi.org/10.1097/oxp.0b013e31812f7546>
- [65] Gonzalez-Perez M, Susi R, Antona B, et al. The computer-vision symptom scale (CVSS17): development and initial validation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;55(7):4504-4511. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13818>
- [66] Seguí MM, Cabrero-García J, Crespo A, et al. A reliable and valid questionnaire was developed to measure computer vision syndrome at the workplace. *J Clin Epidemiol.* 2015;68(6):662-673. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2015.01.015>
- [67] Tauste A, Ronda E, Molina MJ, et al. Effect of contact lens use on computer vision syndrome. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2016;36(2):112-119. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12275>
- [68] Sheppard AL, Wolffsohn JS. Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration. *BMJ open Ophthalmol.* 2018;3(1):e000146. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000146>
- [69] Luczak A, Sobolewski A. Longitudinal changes in critical flicker fusion frequency: an indicator of human workload. *Ergonomics.* 2005;48(15):1770-1792. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140130500241753>
- [70] Lin JB, Gerratt BW, Bassi CJ, et al. Short-wavelength light-blocking eyeglasses attenuate symptoms of eye fatigue. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017;58(1):442-447. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.16-20663>
- [71] Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, et al. Radiology reading-caused fatigue and measurement of eye strain with critical flicker fusion frequency. *Jpn J Radiol.* 2011;29(7):483-487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11604-011-0585-7>
- [72] Ide T, Toda I, Miki E, et al. Effect of blue light-reducing eye glasses on critical flicker frequency. *Asia Pac J Ophthalmol.* 2015;4(2):80-85. DOI: <https://doi.org/10.1097/apo.0000000000000069>
- [73] Chi CF, Lin FT. A comparison of seven visual fatigue assessment techniques in three data-acquisition VDT tasks. *Hum Factors.* 1998;40(4):577-590. DOI: <https://doi.org/10.1518/001872098779649247>
- [74] Bali J, Neeraj N, Bali RT. Computer vision syndrome: a review. *J Clin Ophthalmol Res.* 2014;2(1):61-68. DOI: <https://doi.org/10.4103/2320-3897.122661>
- [75] Aakre BM, Doughty MJ. Are there differences between 'visual symptoms' and specific ocular symptoms associated with video display terminal (VDT) use? *Cont Lens Anterior Eye.* 2007;30(3):174-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2007.01.001>
- [76] Portello JK, Rosenfield M, Bababekova Y, et al. Computer-related visual symptoms in office workers. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32(5):375-382. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2012.00925.x>
- [77] Ne'meth J, Tapasztó B, Aclimandos WA, et al. Update and guidance on management of myopia: European Society of Ophthalmology in cooperation with International Myopia Institute. *Eur J Ophthalmol.* 2021;31(3):853-883. DOI: <https://doi.org/10.1177/1120672121998960>
- [78] Wiggins NP, Daum KM. Visual discomfort and astigmatic refractive errors in VDT use. *J Am Optom Assoc.* 1991;62(9):680-684.
- [79] Wiggins NP, Daum KM, Snyder CA. Effects of residual astigmatism in contact lens wear on visual discomfort in

- VDT use. *J Am Optom Assoc.* 1992;63(3):177-181.
- [80] Rosenfield M, Hue JE, Huang RR, et al. The effects of induced oblique astigmatism on symptoms and reading performance while viewing a computer screen. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2012;32(2):142-148. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00887.x>
- [81] Kotegawa Y, Hara N, Ono K, et al. Influence of accommodative response and visual symptoms on visual display terminal adult operators with asthenopia through adequately corrected refractive errors. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi.* 2008;112(4):376-381.
- [82] Bababekova Y, Rosenfield M, Hue JE, et al. Font size and viewing distance of handheld smart phones. *Optom Vis Sci.* 2011;88(7):795-797. DOI: <https://doi.org/10.1097/0px.0b013e3182198792>
- [83] Long J, Cheung R, Duong S, et al. Viewing distance and eyestrain symptoms with prolonged viewing of smart-phones. *Clin Exp Optom.* 2017;100(2):133-137. DOI: <https://doi.org/10.1111/cxo.12453>
- [84] Ankum DR. Viewing distance at computer workstations. *Workplace Ergonomics.* 1996;2(5):10-12.
- [85] Shieh KK, Lee DS. Preferred viewing distance and screen angle of electronic paper displays. *Appl Ergon.* 2007;38(5):601-608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.06.008>
- [86] Wu HC. Electronic paper display preferred viewing distance and character size for different age groups. *Ergonomics.* 2011;54(9):806-814. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.600775>
- [87] Horgen G, Aaras A, Thoresen M. Will visual discomfort among visual display unit (VDU) users change in development when moving from single vision lenses to specially designed VDU progressive lenses? *Optom Vis Sci.* 2004;81(5):341-349. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.opx.0000134908.44145.49>
- [88] Butzon SP, Sheedy JE, Nilsen E. The efficacy of computer glasses in reduction of computer worker symptoms. *Optometry.* 2002;73(4):221-230.
- [89] Jaschinski W, König M, Mekontso TM, et al. Computer vision syndrome in presbyopia and beginning presbyopia: effects of spectacle lens type. *Clin Exp Optom.* 2015;98(3):228-233. DOI: <https://doi.org/10.1111/cxo.12248>
- [90] Blehm C, Vishnu S, Khattak A, et al. Computer vision syndrome: a review. *Surv Ophthalmol.* 2005;50(3):253-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2005.02.008>
- [91] Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2011;31(5):502-515. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00834.x>
- [92] Reddy SC, Low CK, Lim YP, et al. Computer vision syndrome: a study of knowledge and practices in university students. *Nepal J Ophthalmol.* 2013;5(2):161-168. DOI: <https://doi.org/10.3126/nepjoph.v5i2.8707>
- [93] Tribley J, McClain S, Karbasi A, et al. Tips for computer vision syndrome relief and prevention. *Work.* 2011;39(1):85-87. DOI: <https://doi.org/10.3233/wor-2011-1183>
- [94] Guillon M, Maissa C, Pouliquen P, et al. Effect of povidone 2% preservative-free eyedrops on contact lens wearers with computer visual syndrome: pilot study. *Eye Contact Lens.* 2004;30(1):34-39. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.icl.0000101489.13687.9a>
- [95] Miyake-Kashima M, Dogru M, Nojima T, et al. The effect of antireflection film use on blink rate and asthenopic symptoms during visual display terminal work. *Cornea.* 2005;24(5):567-570. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ico.0000151564.24989.38>
- [96] Bhargava R, Kumar P, Phogat H, et al. Oral omega-3 fatty acids treatment in computer vision syndrome related dry eye. *Cont Lens Anterior Eye.* 2015;38(3):206-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2015.01.007>
- [97] Bhargava R, Kumar P, Arora Y. Short-term omega 3 fatty acids treatment for dry eye in young and middle-aged visual display terminal users. *Eye Contact Lens.* 2016;42(4):231-236. DOI: <https://doi.org/10.1097/icl.0000000000000179>
- [98] Park CY, Gu N, Lim CY, et al. The effect of Vaccinium uliginosum extract on tablet computer-induced asthenopia: randomized placebo-controlled study. *BMC Complement Altern Med.* 2016;16(1):296. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1283-x>
- [99] Chalmers RL, Begley CG. Dryness symptoms among an unselected clinical population with and without contact lens wear. *Cont Lens Anterior Eye.* 2006;29(1):25-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2005.12.004>
- [100] Contact Lens Spectrum. Continuing Education: Keeping up with Ocular Fatigue in the Digital Era, 2016. [https://www.clspectrum.com/supplements/2016/june-2016/continuing-education-keeping-up-with-ocular-fatig/continuing-education-keeping-up-with-ocular-fatig\(25 June 2022\)](https://www.clspectrum.com/supplements/2016/june-2016/continuing-education-keeping-up-with-ocular-fatig/continuing-education-keeping-up-with-ocular-fatig(25%20June%202022)).
- [101] Levine S, Ciuffreda KJ, Selenow A, et al. Clinical assessment of accommodative facility in symptomatic and asymptomatic individuals. *J Am Optom Assoc.* 1985;56(4):286-290.
- [102] Locke LC, Somers W. A comparison study of dynamic retinoscopy techniques. *Optom Vis Sci.* 1989;66(8):540-544. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-198908000-00009>
- [103] Sheedy JE, Saladin JJ. Association of symptoms with measures of oculomotor deficiencies. *Optom Vis Sci.* 1978;55(10):670-676. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-197810000-00002>
- [104] Cohen Y, Segal O, Barkana Y, et al. Correlation between asthenopic symptoms and different measurements of convergence and reading comprehension and saccadic fixation eye movements. *Optometry.* 2010;81(1):28-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optm.2008.10.019>
- [105] Galinsky T, Swanson N, Sauter S, et al. Supplementary breaks and stretching exercises for data entry operators: a follow-up field study. *Am J Ind Med.* 2007;50(7):519-527. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.20472>
- [106] Balci R, Aghazadeh F. The effect of work-rest schedules and type of task on the discomfort and performance of VDT users. *Ergonomics.* 2003;46(5):455-465. DOI: <https://doi.org/10.1080/0014013021000047557>

- [107] Kim J, Choi H, Kim MR, et al. Amelioration of visual display terminal-induced ocular fatigue by aqueous extracts of perilla frutescens var. acuta. *J Food Nutr Res.* 2017;5(8):553-561. DOI: <https://doi.org/10.12691/jfmr-5-8-4>
- [108] Eyesafe. The Blue Light Spike, 2022. <https://eyesafe.com/bluelight/>(20 October 2022).
- [109] O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye.* 2016;30(2):230-233. DOI: <https://doi.org/10.1038/eye.2015.261>
- [110] Leung TW, Li RW, Kee C. Blue-light filtering spectacle lenses: optical and clinical performances. *PLoS ONE.* 2017;12(1):e0169114. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169114>
- [111] 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/opo.12406>
- [112] American Academy of Ophthalmology. Computer, Digital Devices and Eye Strain, 2020. <https://www.aaopt.org/eye-health/tips-prevention/computer-usage/>(15 October 2022).

디지털 기기 사용으로 인한 안정피로의 관리

최재선¹, 김정미^{2,*}

¹극동대학교 임상병리학과, 교수, 음성 27601

²극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2022년 12월 19일), 수정일(2022년 12월 22일), 게재확정일(2022년 12월 26일)

목적: 본 종설 논문은 디지털 기기 사용이 눈에 미치는 영향과 증상 그리고 디지털 안정피로(DES)를 개선시킬 수 있는 방법 등을 살펴보고자 하였다. **방법:** DES 관련된 논문은 종합적으로 팜메드(PubMed)와 구글 학술(Google Scholar)을 사용하여 검색하였고, 국내학술논문 검색은 학술연구정보서비스(RISS)를 이용하였다. **결과:** DES 증상은 안구건조증과 관련된 외적인 증상과 굴절이상, 조절 또는 이항운동 문제와 관련된 내적인 증상으로 나눌 수 있다. 이러한 증상은 편안한 시생활을 증진시키기 위해 관리가 필요하다. DES의 평가 및 치료는 설문지를 이용할 수 있으며, 임계 깜박임 융합주파수(CFF), 눈 깜박임 횟수와 완전성, 조절 기능 및 동공의 특성과 같은 매개변수의 객관적인 평가를 통하여 시각적 피로도의 지표를 제공할 수 있다. **결론:** DES를 개선시키기 위해서는 잦은 깜박임, 굴절이상 교정 및 노안 교정, 일일 평균 화면 사용시간 감소, 안구건조 관리, 화면 작업 동안 규칙적인 휴식, 이항운동 및 조절 문제 등을 고려하여 DES에 대한 다양한 접근 방식을 선택할 수 있다. 또한 임상실무자는 공중보건과 관련된 디지털 기기의 적절한 사용법과 인체공학적 인식을 개선하기 위한 정보를 제공할 수 있어야 한다.

주제어: 디지털 기기, 디지털 안정피로, 관리, 증상