

Kui ohtlik on sinine valgus silmadele?

Laura Mauring¹

Sinise valguse ohtlikkuse kohta on viimastel aastatel avaldatud palju teavet ja selle valguse toksilisus silma võrkkesta suhtes on teaduslikult tõestatud. Kahjustuse tekke-mehhanismidest peetakse olulisemateks võrkkesta pigmentepiteeli ja fotoretseptorite kahjustust ning oksüdatiivset stressi. Sinise valguse kumulatiivset toksilisust pole veel näidatud, kuid potentsiaalselt on see ohtlik ning võib viia maakuli ealise degenerat-siooni tekkeni. Aktuaalseks teeb teema see, et tavainimese ekspositsioon lühikesele lainepikkusele on seoses nutitelefoni ja tahvelarvutite ning säästlike sisevalgustus-vahendite kasutuselevõtuga suurenenud. Samas ei ole sellise valguse tervisemõjud ja -riskid laias laastus teada. Artiklis on käsitletud eelkõige loomkatsetest saadud infot ning kirjeldatud sinise valguse võimalikku mõju silmadele ja silmahaiguste tekkele.

Eesti Arst 2018; 97(1):21–25

Saabunud toimetusse: 27.04.2017
Avaldamiseks vastu võetud: 15.10.2017
Avaldatud internetis: 26.01.2018

¹ TÜ Kliinikumi silmakliinik

Kirjavahetajaautor:
Laura Mauring
lauramauring@gmail.com

Võtmesõnad:
sinine valgus,
silmakahjustus, LED,
tahvelarvuti, nutitelefoni

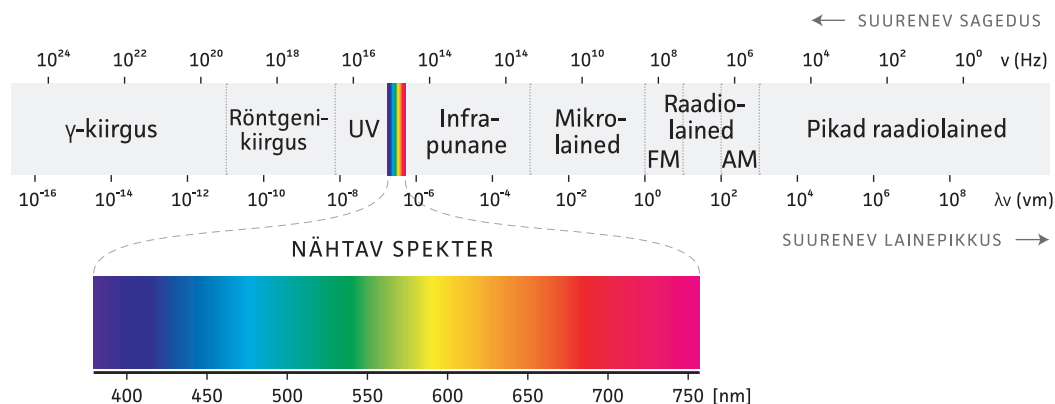
Üha enam küsitakse silmaarstidelt sinise valguse ohtlikkuse kohta. Tõsi on see, et inimeste sinise valguse tarbimise harju-mused on viimase 10 aasta jooksul suuresti muutunud. Potentsiaalselt fototoksilist sinist valgust emiteerivad nutitelefoni ja tahvelarvutid, mis on igas vanuses inimeste igapäevased tarbeesemed, lisaks kiirgavad valgust diodvalgustid (LED – *light emitting diode* ehk valgusdiod) õppeasutustes, töökohtades ja haiglateski. Nendest kahest uuemast sinise valguse allikast ongi alljärg-nevalt juttu tehtud, toetudes põhiliselt sellele, mida on õpitud loomkatsetest.

selle võrkkestani ning muutuda kepikeste ja kolvikeste vahendusel elektriliseks impulsiks, mis viiakse ajju. Täpset nähtava valguse spektri laiust on raske määratleda, kuna see sõltub inimese vanusest ja isikust. Valgustuse rahvusvahelise komisjoni (*International Commission on Illumination, CIE*) definitsiooni kohaselt on nähtav kiirgus igasugune optiline kiirgus, millel on võime esile kutsuda visuaalset stiimulit ning mis jääb kiirgusspektris umbes 380 nanomeetri (nm, violetne valgus) ja 780 nm (punane valgus) vahele (1). Nähtav valgus on vaid väike lõik elektromagnetlainete spektrist (vt joonis 1).

Valgusallikast lähtuvat valgust iseloo-mustatakse ka värvustemperatuuriga Kelvini kraadides (K). Nn soojas valguses domineerib punane lainepikkus ning seda võib ette kujutada, nagu valgustaks ümbrust

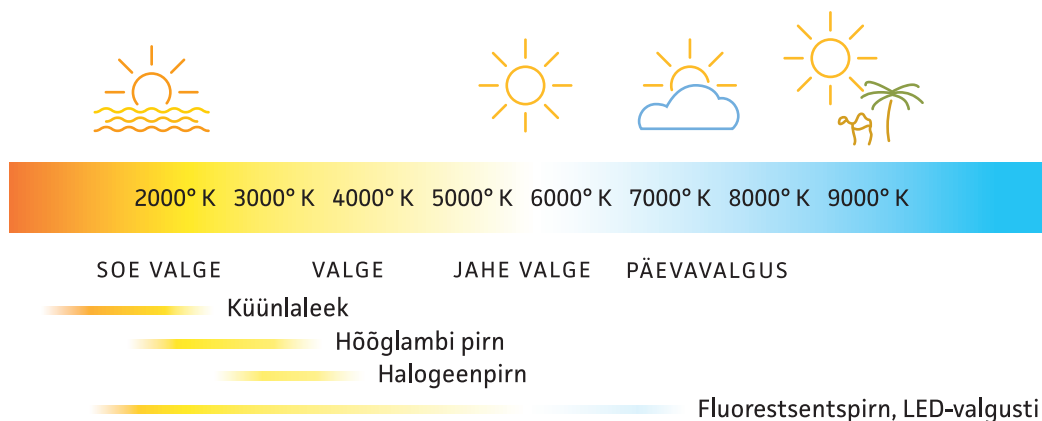
FÜÜSIKALINE SELGITUS JA VALGUSE TEMPERatuur

Inimsilmale nähtav valgus on valgusais-tingut tekitava elektromagnetilise spektri osa, mis suudab silma siseneda, jõuda



Joonis 1. Elektromagnetlainete spekter.

Allikas: Kaasik, H. Geomeetriline füüsika. Tartu Ülikool, 2011.



Joonis 2. Värvustemperatuur Kelvini ühikutes.

Allikas: siin ja edaspidi on joonised pärit Šveitsi veebilehelt <https://www.energie-environnement.ch/> ja neid on modifitseerinud Silver Sikk.

loojuv või tõusev päike; nn külmas valguses aga sinine lainepikkus ning see oleks justkui keskpäevane ere päike. Näiteks värvustemperatuur 2000 K vastab kollakale kүүnlaalegile, 2700 K tavalisele hõõglambi pirnile, 2900 K kergelt kollakale halogeenpirnile, 4000 K neutraalsele valgele ja 6000 K rohkele keskpäevasele päikesevalgusele (2).

LED- ehk valgusdiodvalgustitele annab erineva värvi luminofoore ehk anorgaanilisi fosfoore sisaldavate keemiliste elementide ergastamine, mis võimaldab LED-valgustil emitteerida tervet värvipaletti nähtavast valgusest, mida meie aju tunnetab valge valgusena. Sõltuvalt fosfooride segust võib LED-lambile anda värvitooni tõusvast päikesest troopilise keskpäevavalguseni välja. Pirnide pakenditel väljendatakse seda värvustemperatuuri kas kelvinites või järgmiste sõnadega: soe valge (2700 K), valge (3000–4000 K), jahe valge (5000 K), päevavalgus (> 6500 K) (vt joonis 2).

Põhjus, miks sinine valgus on kahjulik silma valgustundlikule osale ja punane mitte, on selles, et violetse ja sinise valguse footonite energia on märksa suurem, kui on spektri punases osas asuva valguse footonil. Footoni energia on nimelt pöördvõrdeline tema lainepikkusega ja seega on violetse valguse (näiteks lainepikkusel 380 nm) footonite energia kaks korda suurem kui punase valguse footonitel lainepikkusel 760 nm. Lühilainelised footonid on oma suure energia tõttu suutelised ergastama silma võrkkestas asuvaid nägemispigmentide molekule kõrgete energiatasemeteni, milleks punastel footonitel energiat ei jätku. Pigmentimolekulide kõrgete energiatase-

meteni ergastamise tagajärjel tekivad suure tõenäosusega kahjulikud fotokeemilised muutused ja normaalne nägemine võib saada kahjustatud.

RISK SILMADELE – TEADUSLIKUD TÕENDID

Sinise valguse ohtlikkusest on meil enim teavet saadud loomkatsetest. 2001. aastal avaldati uuring, milles kirjeldati sinise valguse mõju reesusahvide silmadele. Loomkatstes oli kaks ahvirühma, kelle silmi mõjutati sinise valgusega: üht rühma 458 nm laseriga ja teist rühma 460 nm LED-valgustiga. Võrdluses olid veel punasel lainepikkusega laseriga ja samal lainepikkusel tavavalgusega mõjutatud ahvisilmad. Ahve uuriti katse 2. ja 30. päeval, mil nende silma võrkkestadest tehti *fundus*-fotod ning fluorestsensiangiograafilise uuring. Lühilainelise ehk sinise laseriga ja LED-valgusega tekitatud kahjustuskolletel polnud olulist vahet. Sellest järeldasid autorid, et sinise spektriga valgus kujutab võrkkestale samasugust riski kui samas spektriosas valgust kiirgav laser, kusjuures punase valgusega mõjutatud silmadel kahjustust ei tekkinud (3).

Teatakse, et sinise valguse mõjul tekib silma võrkkestas fototoksiline ühend N-retinülideen-N-retinüületanoolamiin (A2E), mis põhjustab võrkkesta pigmentepiteeli (RPE) rakkude pöördumatu kahjustuse (4). RPE-rakud vastutavad muu hulgas pideva oksüdatiivse stressi märklauaks olevate fotoretseptorite – kepikeste ja kolvikeste – välimiste segmentide membraani fagotsütoosi ja seeläbi ka uuendamise eest. A2E akumu-

leerub RPE-rakkudesse ka maakuli ealise degeneratsiooniga patsientidel (5). 2013. aastal avaldati artikkel, milles uuriti sea silma võrkkesta ealisest degeneratsioonist kahjustatud pigmentepiteelirakke *in vitro*. Rakke valgustati valgusega lainepikkuste vahemikus 390 nm kuni 520 nm, aimates niiviisi järele loodusliku päikesevalguse sinirohelist piirkonda. Nõnda loodeti uurida kõige toksilisema spektriga valguse mõju RPE-rakkudele. Selgus, et kõige ohtlikum oli sinivioletne valgus vahemikus 415 nm kuni 455 nm, mis ilmnes rakkude ellujäämisvõime vähenemises ning apoptoosi ja nekroosi suurenemises (6). Autorid lootsid, et need tulemused aitavad välja töötada filtreid maakuli ealise degeneratsiooniga patsientidele. Need filtrid peavad neelama ohtliku lainepikkusega valgust näiteks intraokulaarsetes läätsedes, ilma et oluliselt kannataks värvinägemine või muud nägemisfunktsioonid.

Muutusi rottide silma võrkkestas nähti ka 2015. aastal avaldatud uuringus, kus sinise ja valge (507 nm, 473 nm, 467 nm ja 449 nm) LED-valgusega mõjutati rotte. Selle kaubanduses laialt levinud LED-valgusallika fototoksilisuse mehhanisme iseloomustas fotoretseptorite struktuurikahjustus, apoptoos ja nekroos (7). LED-valguse mõju silma võrkkesta degeneratsioonile sõltus ekspositsioonijast, alates 18 tunni pikkusest ekspositsioonijast ning saavutades oma maksimumi kõige kauem (72 tundi) valguse käes viibitud rotisilmadel. Leiti ka, et oksüdatiivses stressis osaleva proteotoksilise stressvastuse proteiini p62 (sekvestrosoom 1) hulk oli suurenenud sinisele LED-valgusele (nii 473, 467 kui ka 449 nm) eksponeeritud silmades, kuid mitte rohelsele (507 nm) valguse korral ja kontrollrühma (mitteeksponeeritud) silmade võrkkestades. Seega võib järeldada, et LED-valguse lainepikkuse lühenedes selle ohtlikkus kasvab.

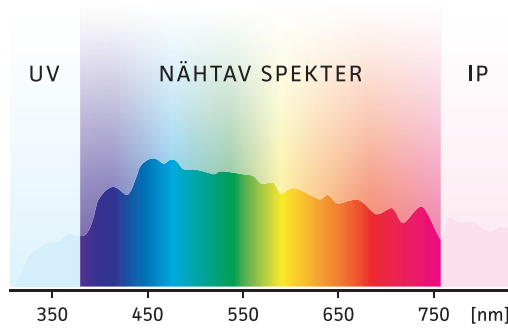
2017. aasta veebruaris avaldatud artiklis uuriti hiirte silmade elektroretinogrammi (ERG) muutusi, võrkkesta morfoloogiat ja vabade radikaalide teket võrkkestas LED-valgusti erineva lainepikkusega (460, 530 ja 620 nm) valguskiirgusega mõjutamisel võrreldes kontrollrühmaga (8). ERG muutused ilmnesid statistiliselt oluliselt juba 3-ndal valguse käes viibitud päeval ja kõige enam just sinise valgusega mõjutatud hiirte rühmas. 28. uuringupäevaks oli funktsiooni halvenemine nii suur, et

ERG amplituud kahanes nullilähedaseks. Võrkkesta välimine tuumade kiht oli kõige õhem sinist valgust (460 nm) talunud silmadel. Histopatoloogiline uuring transmissioonelektronmikroskoobiga näitas, et LED-valgusti mõju võib olla RPE-rakkudele ja fotoretseptoritele letaalne juba 9. päeval. See katse võimaldas selgelt järeldada, et valge valguse komponentidest on just sinine valgus see, mis suures osas põhjustab oksüdatiivse stressi tõttu silma võrkkesta fototoksilise kahjustuse.

Kokkuvõttes võib öelda, et fototoksilisus sõltub kiirguse intensiivsusest, ekspositsioonijast ja lainepikkusest (9). Sinine valgus lainepikkuste vahemikus 415 nm kuni 455 nm on silma võrkkestale kindlalt toksiline, eriti käib see laste kohta, kelle sarvkest ja silmalääts lasevad kogu sinise valguse silma (10). Selle mõju on väiksem vanuse suurenedes, kuna lääts muutub ajaga kollasemaks ning laseb järjest vähem sinist valgust silma. Katsed on tõestanud, et ohtliku lainepikkusega LED-valguse mõju on niisama toksiline nagu looduslikul valgusel. Seni tehtud uuringud põhinevad kõik sinise valguse intensiivsel lühiajalisel mõjul. Seega ei ole teada, milline kumulatiivne efekt on sinise valguse doosil, mis saadakse elu jooksul. Seni saab liigse sinise valguse mõju kindlalt omistada vaid maakuli ealise degeneratsiooni riski suurenemisele. Siiski on oluline mainida, et võrreldes looduslikest allikatest saadava doosiga on LED-lampidest, arvutiekraanidest ning nutitelefondist kiirguv sinise valguse annus väike, seda isegi pikaajalise mõju korral (11).

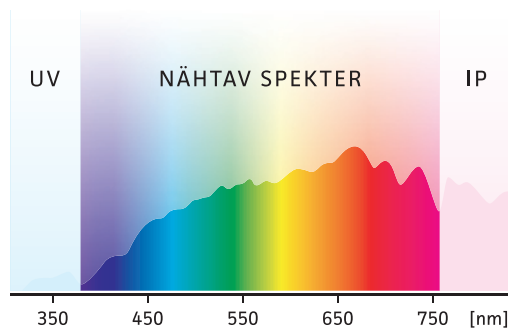
SINISE VALGUSE ALLIKAD JA SILM

Inimsilmale on seega ohtlik valguse spektri osa, mis jääb umbkaudu 415 nm ja 450 nm vahele, mis vastab spektri sinivioletsele või sügavsinisele osale. Selle valguse eest on end üsna lihtne kaitsta, kandes päikeseprille, mis oluliselt neelavad sinist valgust ning nõrgendavad vähem spektri sooje värve. Päevavalguse spekter liigub päeva edenedes sinisemast spektriosast punasemasse (vt joonis 3 ja 4). Halogeenlamp tekitab sooja valguse ja kiirgab vähe sinist valgust (vt joonis 5). Fluorestsentslamp kiirgab erinevatel lainepikkustel valgust, sinise valguse osa on sel aga vähene. Päevavalguslampidest kiirgavad LED-valgustid valgustemperatuuriga 6000 K valgust enamasti spektri sinises, eriti selle kõige toksilisemas osas (vt joonis 6).



IP – infrapunakiirgus; UV – ultraviolettkiirgus

Joonis 3. Valgusspektris domineerivad lainepikkused keskpäeval.

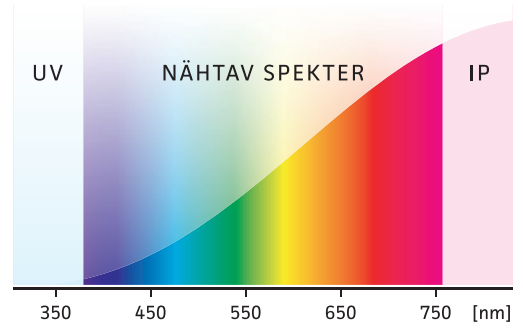


Joonis 4. Valgusspektris domineerivad lainepikkused päikesetõusul ja -loojangul.

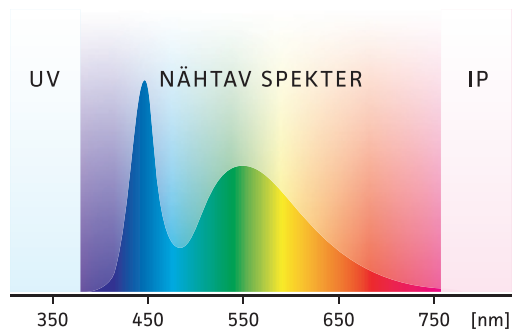
Eelistada tuleks näiteks värvustemperaatuuril 2700 K sooja valgust kiirgavaid LED-lampe, mille spektris on sinise osakaal palju väiksem (vt joonis 7). Tehnilisest küljest on LED-valgustite plussiks vähene energiakulu, mehaaniline vastupidavus ja pikk eluiga (7).

Ekraanidest kasutatakse tänapäeval enim LCD-ekraane (*liquid crystal display*, vedelkristallkuvar), LED-valgustusega LCD-ekraane, OLED- (*organic light-emitting diode*) ning AMOLED- (*active-matrix organic light-emitting diode*) ekraane (2). Kahest esimesest käesolevas artiklis juttu tehtud ei ole, sest LED-valgus ei jõua vaatajani otse valgusallikast ja risk silmale on väike.

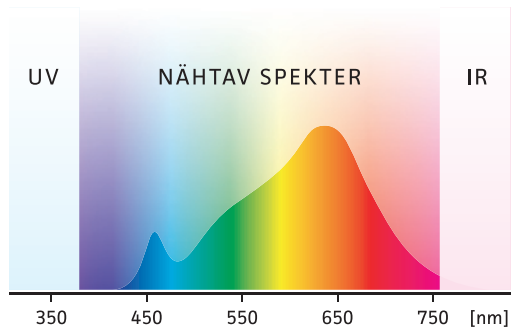
OLED- ja AMOLED-ekraanides vastab seevastu igale pikslile oma valgusdiod, mis kiirgab vastavat valgust (sinist, punast või rohelist). See võimaldab ühelt poolt valmistada väga õhukesi ekraane, teiselt poolt jõuab see valgus erinevalt vanemat tüüpi ekraanidest, kus valgusdiodi valgus läbis eelnevalt LCD-kuvari, otse silma. Selliseid ekraane kasutatakse väga laialdaselt nutitelefones ja tahvelarvutites. Kuigi ekraanist tulev valgus on võrreldes kodude valgusta-



Joonis 5. Halogeenlamp (2800–3000 K). Halogeenlambist eraldub ka palju valgust infrapunakiirgusena.



Joonis 6. LED-päevavalguslamp (6000° K).



Joonis 7. Sooja valgusega LED-lamp (2700° K).

miseks kasutatavate võimsate valgusdiodidega väga väike, tuleb arvesse võtta pikka aega ja lühikest distantsti, millega ekraanis sisalduv valgusdiod võrkkesta mõjutab. Tunde kestev 30 cm kauguselt OLED-ekraani vaatamine on potentsiaalselt ohtlik.

Ekraanidest kiirgavat sinist valgust võib pidada nägemisvõime sümptomite põhjustajaks, lisaks nõuab see vaatajalt liigselt silmade konvergentsi ja akommodatsiooni. Ka on see tõsine kuivsilmsuse põhjustaja, kuna väheneb pilgutamine (2). Sellegipoolest on leitud, et rahvatervise seisukohast ei ole valgustite, arvutiekraa-

nide ja nutitelefonide ning tahvelarvutite optiline kiirgus probleem, kuna nendest allikatest lähtuva kiirguse doos on väiksem kui loodulikest allikatest saadu (12).

VÕIMALIKU HUVIKONFLIKTI DEKLARATSIOON

Autoril puudub huvikonflikt seoses artikliga.

SUMMARY

How dangerous is blue light to the eyes?

Laura Muring¹

In recent years increasing evidence has accumulated about the danger of blue light. Retinal toxicity of blue light has been scientifically established. Its most important mechanisms are retinal pigment epithelium and photoreceptor damage and oxidative stress. The cumulative toxicity of blue light has not yet been shown. However, potentially it is dangerous and can lead to age-related macular degeneration and cataract formation. This issue is of great interest because everyday exposure to short wavelength light has grown with the development of smartphones and tablets as well as with the expanding use of economical light sources such as light-emitting diodes.

At the same time, the influence of these blue light sources on health is not known. This article focuses on the information provided by animal experiments and describes the potential influence of blue light on eye health and on the pathogenesis of eye diseases.

KIRJANDUS / REFERENCES

1. Sliney DH. What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye* 2015;30:222-9.
2. Renard G, Leid J. Le dangers de la lumière bleue - la vérité! *J Fr Ophtalmol* 2016;39:483-8.
3. Dawson W, Nakanishi-Ueda T, Armstrong D, et al. Local fundus response to blue (LED and laser) and infrared (LED and laser) sources. *Exp Eye Res* 2001;73:137-47.
4. Chalam KV. Fundamentals and principles of ophthalmology. American Academy of Ophthalmology. San Francisco: Basic and Clinical Science Course ; 2010-2011.
5. Schutt F, Davies S, Kopitz J, Holz FG, Boulton ME. Photodamage to human RPE cells by A2-E, a retinoid component of lipofuscin. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:2303-8.
6. Arnault E, Barrau C, Nanteau C, et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. *PLoS ONE* 2013;8: e71398.
7. Jaadane J, Boulenguez P, Chahory S. et al. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radic Biol Med* 2015;84:373-84.
8. Shang YM, Wang G-S, Sliney DH, Yang C-H, Lee L-L. Light-emitting-diode induced retinal damage and its wavelength dependency in vivo. *Int J Ophthalmol* 2017;10:191-202.
9. Knels L, Valtink M, Roehlecke C, et al. Blue light stress in retinal neuronal (R28) cells is dependent on wavelength range and irradiance. *Eur J Neurosci* 2011;34:548-58.
10. Shapiro A. Understanding blue light. *Retina Today* 2016 :22-3. <http://retinatoday.com/2016/04/understanding-blue-light/>.
11. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs) https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_011.pdf.
12. O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye* 2015;30:230-3.

¹ Eye Clinic, Tartu University Hospital, Tartu, Estonia

Correspondence to:
Laura Muring
lauramuring@gmail.com

Keywords:
blue light, eye damage, LED, tablet, smartphone