

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MEDICINOS FAKULTETAS

Baigiamasis darbas

Akinių lęšių dangos. Literatūros apžvalga

Eyeglass Lens Coatings. Literature Review

Studentas/ė (vardas, pavardė), grupė: **Auksė Ramaškevičiūtė** VI kursas, 11 gr.

Katedra/ Klinika, kurioje ruošiamas ir ginamas darbas:

Klinikinės medicinos instituto Ausų, nosies, gerklės ir akių ligų klinika

Darbo vadovas

Doc. dr. Saulius Galgauskas

(pedagoginis vardas, mokslo laipsnis, vardas, pavardė)

Klinikos vadovas

Prof. dr. Eugenijus Lesinskas

(pedagoginis vardas, mokslo laipsnis, vardas, pavardė)

2023-05-19

Studento elektroninio pašto adresas: aukse.ramaskeviciute@mf.stud.vu.lt

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Medicinos fakultetas

Klinikinės medicinos institutas

AUKSĖ RAMAŠKEVIČIŪTĖ

Akinių lęšių dangos. Literatūros apžvalga

Vientisųjų medicinos studijų baigiamasis darbas

SANTRAUKA

Darbo tikslas: Apžvelgti dangas, naudojamas ant oftalmologinių lęšių, bei jų klinikinį poveikį žmogaus regėjimui bei akies sveikatai.

Darbo uždaviniai: 1) Aprašyti akinių lęšių dangas ir jų fizikinius veikimo mechanizmus; 2) apžvelgti literatūroje randamus duomenis apie akinių lęšių dangų klinikinį poveikį akių ligų išvengimui ar gydymui bei regėjimo kokybei.

Metodika: atlikta literatūros apžvalga, naudojantis duomenų bazėmis PubMed, ScienceDirect, Academic Search Ultimate (EBSCO) bei Elsevier Clinical Key. Paieškos metai bei publikacijų kalba neriboti. Naudoti paieškos raktažodžiai anglų kalba: *eyeglass lenses, spectacles lenses, blue-light blocking coating, anti reflective coating, ophthalmic lenses, ultraviolet blocking coating, ultraviolet filtering coating*. Atrinkti ir analizuoti 48 literatūros šaltiniai, kurių santraukose arba tezėse nurodytas turinys atitiko šios literatūros apžvalgos tikslą.

Rezultatai ir išvados: Dažniausiai ant akinių lęšių yra naudojamos šios dangos: antirefleksinė, mėlyną šviesą blokuojanti, ultravioletinę šviesą blokuojanti, kietoji bei hidrofobinė dangos. Nėra mokslinių įrodymų, jog nuo mėlynos šviesos apsaugančių akinių dėvėjimas sulėtintų progresavimą ar apsaugotų nuo amžinės geltonosios dėmės degeneracijos. Mėlyną šviesą blokuojančios dangos neturi įtakos regėjimo kokybei bei akių nuovargio mažinimui, tačiau gali sumažinti kontrastinį jutimą prieblandinėmis sąlygomis. Antirefleksinė danga sumažina atspindžius bei gerina regėjimo kokybę akinimo sąlygomis. Akinius su ultravioletinę šviesą blokuojančia danga turėtų dėvėti daug laiko lauke praleidžiantys asmenys bei fotochemoterapiją terapiją su ultravioletine A šviesa gaunantys pacientai.

RAKTAŽODŽIAI

Akinių lęšiai; lęšių dangos; mėlyną šviesą blokuojanti danga; antirefleksinė danga; ultravioletinę spinduliuotę blokuojanti danga.

VILNIUS UNIVERSITY

Faculty of Medicine

Institute of Clinical Medicine

AUKSĖ RAMAŠKEVIČIŪTĖ

Eyeglass Lens Coatings. Literature Review

Final thesis of Integrated studies in Medicine

SUMMARY

Aim: To review the coatings used on ophthalmic lenses and their clinical effect on human vision and eye health.

Objectives: 1) To describe eyeglass lens coatings and their physical mechanism of action; 2) to review the data found in the literature on the clinical effect of eyeglass lens coatings on the prevention or treatment of eye diseases and the quality of vision.

Methods: A literature review was performed using databases PubMed, ScienceDirect, Academic Search Ultimate (EBSCO) and Elsevier Clinical Key. The search year and publication language were not limited. English search keywords used: eyeglass lenses, eyeglass lenses, blue light blocking coating, anti-reflective coating, ophthalmic lenses, ultraviolet blocking coating, ultraviolet filtering coating. 48 literature sources which abstracts or theses indicated the purpose of this literature review were selected and analyzed.

Results and conclusions: The following coatings are widely used on eyeglass lenses: anti-reflective, blue light blocking, ultraviolet light blocking, hard and hydrophobic coatings. There is no scientific evidence that wearing blue light blocking eyeglasses slows the progression or prevents age-related macular degeneration. Blue light-blocking coatings do not affect the quality of vision and the reduction of eyestrain but can reduce scotopic contrast sensitivity. The anti-reflective coating reduces reflections and improves the quality of vision in glare conditions. Glasses with a coating that blocks ultraviolet light should be worn by people who spend a lot of time outdoors and by patients receiving photochemotherapy with ultraviolet A light.

KEYWORDS

Eyeglass lens; Lens coatings; Blue light blocking coating; Anti-reflective coating; Ultraviolet light blocking coating.

ĮVADAS

Akiniai išlieka populiariausia refrakcijos ydų (trumparegystės, toliaregystės, astigmatizmo, presbiopijos) korekcijos medicininė priemonė. (1) Taip pat, akiniai naudojami siekiant išvengti ar gydant ambliopiją (2), koreguojant žvairumą (3) ar net trumparegystės progresavimo lėtinimui (4). Remiantis Europos epidemiologiniais duomenimis, daugiau nei pusė suaugusiųjų turi bent vieną refrakcijos ydą. (5) Lietuvos statistikos departamento duomenimis 2021 m. kas penktas vaikas Lietuvoje yra trumparegis ar toliaregis. (6) Tikėtina, jog bent pusė Lietuvos populiacijos per gyvenimą tiesiogiai ar netiesiogiai susiduria su akinių dėvėjimu bei įsigijimu.

Didžiosios Lietuvos optikos klientams siūlo platų akinių dangų pasirinkimą, tačiau optikų internetinėse svetainėse dažnai konkrečios akinių lęšių dangos nėra įvardijamos arba jų atliekama funkcija yra aprašoma abstrakčiai, įvardijant tik teigiamas lęšių savybes ir neįvardijant galimos neigiamos įtakos regėjimo kokybei (7–11). Dažniausiai dangų efektyvumas nėra pagrindžiamas objektyviais duomenis, tad klientams priimant sprendimą dėl akinių lęšių dangų pasirinkimo tenka remtis tik optometrino nuomone.

Gydytojai oftalmologai išrašydami korekcinį ar gydomųjų akinių lęšių receptą gali sulaukti pacientų, besitikinčių gauti patikimos ir objektyvios informacijos iš akių sveikatos specialistų, klausimų apie akinių lęšių dangas. Medicinos industrija yra neatsiejama medicinos dalis, prisidedanti prie progreso ligų gydyme bei prevencijoje, tačiau pacientai iš gydytojų tikisi gauti informacijos, kuri nėra paremta industrijos įtaiga, o mokslo ar gerosios praktikos įrodymais. (12) Siekiant išsiaiškinti populiariausių akinių lęšių dangų veikimo mechanizmus, efektyvumą bei įtaką regėjimo kokybei, atlikta mokslinės literatūros apžvalga.

Darbo tikslas – apžvelgti dangas, naudojamas ant oftalmologinių lęšių, bei jų klinikinį poveikį žmogaus regėjimui bei akies sveikatai.

Uždaviniai:

1. Aprašyti akinių lęšių dangas ir jų fizikinius veikimo mechanizmus.
2. Apžvelgti literatūroje randamus duomenis apie akinių lęšių dangų klinikinį poveikį akių ligų išvengimui ar gydymui bei regėjimo kokybei.

METODIKA

Literatūros šaltinių paieškos ir atrankos strategija

Teikiama literatūros apžvalga. Šiai literatūros apžvalgai mokslinės literatūros paieška atlikta naudojant medicininės mokslinių darbų bazes PubMed, ScienceDirect, Academic Search Ultimate (EBSCO) bei Elsevier Clinical Key. Paieškos metai neriboti. Naudoti paieškos raktažodžiai anglų kalba: *eyeglass lenses, spectacles lenses, blue-light blocking coating, anti reflective coating, ophthalmic lenses, ultraviolet blocking coating, ultraviolet filtering coating*.

Atrinkti ir analizuoti 48 literatūros šaltiniai anglų, vokiečių ir ispanų kalbomis, publikuoti 1990-2023 metais, kurių santraukose arba tezėse nurodytas turinys atitiko šios literatūros apžvalgos tikslą.

REZULTATAI

AKINIŲ LĘŠIŲ DANGŲ VEIKIMO MECHANIZMAI

Mėlyną šviesą blokuojančios akinių lęšių dangos

Yra 2 pagrindinės technologijos, naudojamos akinių lęšiams mėlynos šviesos blokavimui: 1) antirefleksinė danga, atspindinti mėlyną šviesą, ir 2) lęšių dažymas rusva-gelsva spalva, sugeriančia mėlyną šviesą. (13)

Mėlyną šviesą atspindinti antirefleksinė danga atspindi nuo 9,98 iki 23,15 procentų mėlynos šviesos (13–15). O geltoną-rudą dažą turinti danga sulaiko nuo 6,24 iki 43,42 procentų mėlynos šviesos (13–15). Pastebėtina, jog danga, esanti ant akinių lęšių turi būti pakankamai pralaidi dienos šviesai bei netrikdyti regėjimo, o tai riboja akinių lęšius dengti dangomis, kurios atspindėtų ar sulaikytų daugiau mėlynos šviesos. (13) Pagal Tarptautinę standartizacijos organizaciją (angl. *The International Organization for Standardization* – ISO) regimosios šviesos pralaidumas turi būti didesnis nei 80 procentų. (13) Tad, nors akinių lęšiai su antirefleksine danga praleidžia daugiau mėlynos šviesos spektro, jie praleidžia daugiau ir regimosios šviesos, taip užtikrinant akinių nešiojimo komfortą. (16)

Antirefleksinė akinių lęšių danga

Antirefleksinės dangos idėja buvo pasiūlyta dar 1880 m., o 1886 m. buvo praktiškai pastebėta, jog seno oftalmologinio lęšio tamsinimas leidžia geriau praleisti šviesą, lyginant su nauju stiklu. (17) Tačiau tik 1935 m. Carl Zeiss kompanija pagamino pirmąją interferencija pagrįstą antirefleksinę dangą. (17) Paviršiaus atspindžiai sumažinami ant abiejų lęšio paviršių uždedant ploną skaidrios, mažesnio nei lęšio lūžio rodiklio, bet kietesnės už lęšį medžiagos plėvelę, sukuriančią interferencijos efektą, kuriam esant optinės plėvelės storis turėtų būti lygus planuojamo bangos ilgio ketvirčiui. (17–19) Danga, kuri yra ketvirtadalis geltonai žalios šviesos bangos ilgio, veikia taip, kad šviesos atspindys nuo priekinio ir galinio dangos paviršių nukrypsta lygiai puse bangos ilgio, taigi, bangos viena kitą panaikina ir atspindžio nėra. (20) Antirefleksinę dangą dažniausiai sudaro keli mineralinių nuosėdų sluoksniai, kurių gamybos metodiką ir sluoksnių skaičių nustato patys gamintojai. (21) Kai kurie gamintojai antirefleksinę dangą dengia tik ant galinio lęšio paviršiaus. (21) Plonos antirefleksinės dangos plėvelės gaminamos naudojant vakuuminį garų nusodinimą. (19,22) Jei paviršiaus atspindys be dangos yra apie 4 procentus, įmanoma pasiekti net 0,01 procento atspindžio koeficientą naudojant gana paprastas (pavyzdžiui, vieno sluoksnio) antirefleksines dangas. (22)

Jei oftalmologinis lęšis yra iš karūninio stiklo medžiagos, užtenka vieno plono magnio difluorido sluoksnio antirefleksiniam efektui gauti. (17) Ant plastikinių lęšių yra naudojamos kelių sluoksnių dangos. (17) Esant daugiau nei vienam sluoksniui, pakaitomis lęšis yra dengiamas dielektrinių medžiagų plonais sluoksniais, turinčiais didelį (pavyzdžiui, titano oksidas, tantano pentoksidas, hafnio dioksidas, niobio pentoksidas arba cirkonio dioksidas) arba mažą (pavyzdžiui, silicio dioksidas ar magnio difluoridas) indeksą. (17,22–24) Tinkamai pasirinkus kiekvieno sluoksnio storį ir lūžio rodiklį (kuris priklauso nuo pasirinktos medžiagos) galima interferenciniu procesu pakeisti paviršiaus atspindžio ir pralaidumo koeficientą. (22) Sluoksnių storis parenkamas taip, kad būtų sudaryta konstruktyvi interferencija skleidžiamoje šviesoje ir destruktivi interferencija atspindėtoje šviesoje. (23) Vieno sluoksnio danga sumažina atspindį tik esant tam tikram bangos ilgiui (25), todėl norint išgauti antirefleksinį efektą didesniame regimosios šviesos spektre, yra efektyvesnės kelių sluoksnių struktūros. (18) Paprastai klasikinę plačiajuostę antirefleksinę dangą, skirtą regimajam spektriniam diapazonui, sudaro keturi žemo indekso ir aukšto indekso sluoksniai. (24) Bendras fizinis dangos storis yra apie 180–300 nm. (24)

Antirefleksiniai interferenciniai sluoksniai paprastai labai gerai tinka plokščiam ir šiek tiek išlenktam pagrindui, tačiau esant labiau išlenktiems paviršiams prarandama kraštinių sričių funkcija, kurią lengva atpažinti iš ten atsirandančių spalvų atspindžių. (26) Iš esmės vienodą antirefleksinį efektą vargu ar galima pasiekti ant lenktų paviršių, nes sluoksniai plonėja, kai

nusodinami ant nuožulnių paviršių. (26) Lęšio krašto srityje, kur garų nusodinimo kampas yra apie 60° , pasiekama tik apie 50 procentų tikslinio sluoksnio storio. (26) Tai perkelia spektrą į trumpus bangos ilgius, o atspindys regimajame spektriniame diapazone gali būti netgi didesnis nei nedengto lęšio. (26) Kadangi spektrinis atspindys nėra vienodas, atspindėtas baltos spalvos objekto vaizdas bus spalvotas. Šis reiškinys yra žinomas kaip likutinė spalva ir yra būdingas daugiasluoksnėms dangoms. (22) Dėl skirtingų antirefleksinės dangos sluoksnių storių, dangos veikimas keičiasi priklausomai nuo šviesos bangos ilgio ir kritimo kampo, todėl spalvų efektai dažnai atsiranda įstrižais kampais. (23) Kai danga yra antirefleksinė regimojo šviesos spektro viduryje, tam tikras atspindys atsiranda spektro kraštuose, t.y. raudonos ir violetinės šviesos bangos ilgiuose, lęšiui suteikdamas purpurinę išvaizdą. (20,23)

Šių dienų mokslui kol kas nepavyko sukurti antirefleksinės dangos, kuri tenkintų krypties ir amplitudės sąlygas (nulinio atspindžio) visame regimojo spektro diapazone. Geriausias rastas sprendimas yra abejas lęšio puses padengti keliais skirtingų lūžio rodiklių plonų plėvelių sluoksniais, siekiant sumažinti atspindžius platesniame bangos ilgių diapazone, jog susidaręs atspindys būtų beveik nereikšmingos vertės. (22,23)

Ultravioletinę šviesą blokuojančios akinių lęšių dangos

Nors tiek stiklas, tiek plastikas sulaiko dalį ultravioletinės (UV) spinduliuotės (27), šios medžiagos nesulaiko pakankamo spinduliuotės kiekio. Galimos kelios akinių lęšių, blokuojančių UV šviesos spektro dalį, gamybos technologijos: (22)

1) Prie plastikinio lęšio medžiagos monomero pridedama UV absorbuojanti medžiaga, kuri veikia kaip filtras, pakeldama ribinį bangos ilgį iki 400 nm ir praleisdama tik regimąją šviesą. (22)

2) Lęšis padengiamas tinkamai suprojektuota antirefleksine danga, kuri veikia kaip bangos ilgio selektyvus filtras, praleidžiantis regimąją spektro dalį, bet atspindintis UV spinduliuotę. (22)

3) Lęšiai gaminami su fotochrominės medžiagos priemaišomis, dėl kurių lęšis keičia spalvą priklausomai nuo UV šviesos kiekio ją sugerdamas. (20,22) Fotochrominės medžiagos yra tos medžiagos, kurios tamsėja esant UV spinduliuotei ir tampa skaidrios, kai nėra UV spinduliuotės. (22) Pirmasis kietosios būsenos organinis fotochrominis junginys buvo atrastas 1899 m., tačiau tik XX a. šeštajame dešimtmetyje buvo sukurtos molekulės, sukurančios fotochrominį efektą ant akinių lęšių. (17) Kai akinių lęšis yra gaminamas iš stiklo, į stiklą yra įmaišoma sidabro halogenido kristalų. Veikiant UV A šviesai, stiklo elektronai susijungia su bespalviais sidabro katijonais ir sudaro elementinį sidabrą, todėl lęšis patamsėja, o pašalinus šios reakcijos aktyvatorių (UV A spinduliuotę),

lęšis grįžta į skaidrią būseną – reakcija yra grįžtama. (17,22) Tamsios būsenos metu lęšio pralaidumas šviesai yra apie 15 procentų, skaidrios/išblukusios būsenos – apie 80 procentų, o pažangios technologijos lęšiuose net iki 89 procentų. (20,22) Pirmasis bandymas sukurti plastikinių fotochrominių lęšių buvo tik 1983 m. Skirtingai nei stikliniuose lęšiuose, plastikiniams fotochrominiams lęšiams paruošti fotochrominiai komponentai nėra įmaišomi į lęšio pagrindą, o skaidrus lęšis yra padengiamas plonu fotochrominiu sluoksniu su organiniais junginiais, kaip spiropiranai ar spiroksacinai. (22) Fotochrominiai akininių lęšiai yra patogūs dėvintiesiems, kadangi saulėje tampa tamsesni, o patalpose šviesesni, taip užtikrindami pakankamą šviesos pralaidumą. (22) Nors lęšis pakeičia spalvą ir tampa tamsesnis, fotochrominiai akiniai nepakeičia saulės akininių, kadangi jie neveikia patalpose ir transporto priemonėse, kur UV spindulius sugeria langų stiklai. (22,27)

Pažymėtina, jog saulės akiniai ir akiniai su UV danga nėra atitikmenys ir atlieka skirtingą funkciją, tačiau akiniai nuo saulės gali būti su UV danga. Akininių tamsumas nekoreliuoja su apsauga nuo UV spinduliuotės.

Amerikos nacionalinis standartų institutas (ANSI) kartu su ISO koordinuoja standartus, apimančius įvairius akininių lęšių gamybos proceso etapus. Standartai, tokie kaip ANSI Z80.3, ISO 8980-3 ir ISO 14889, apibrėžia įvairias akininių lęšių detales, kaip minimalus storis ar šviesos pralaidumas, tačiau šie standartai yra savanoriški ir jais vadovaujasi ne visi gamintojai. (22,28,29) ANSI Z80.3 standartas reikalauja, jog akiniai praleistų mažiau nei 1 proc. šviesos, kurios bangos ilgis yra mažesnis nei 310 nm (29), tad standarte nurodyti praleidžiamos šviesos lygiai nėra visiškai apsaugantys. (30) Ši apsaugos nuo UV sistema numato leistino pralaidumo lygius, bet nenumato bendros UV sugerties kategorijos. Atsižvelgdami į turimus įrodymus apie UV poveikį akims, žmonės, kurie daug laiko praleidžia lauke ir susiduria su didele saulės energijos ekspozicija, turėtų turėti galimybę nusipirkti visiškai UV spindulius sugeriančius akinius ir žinoti, kad jie visiškai apsaugo nuo UV spindulių. (30) Vis tik Leow ir kt. atliktas tyrimas parodė, jog tik 61,8 procento parduotuvėse parduodamų akininių, kurie aprašomi, kaip atitinkantys apsaugos nuo UV spinduliuotės standartus, neviršijo standartuose nustatytų limitų. (31) Citek tyrimo rezultatai taip pat atkreipia dėmesį, jog akiniai nuo UV spinduliuotės gali neveikti taip, kaip reklamuojama, ir iš tikrųjų gali kelti didelį pavojų akių sveikatai. (32) Be to, apsauga nuo UV spindulių gali skirtis ne tik tarp gamintojų, bet ir to paties gamintojo skirtingose linijose bei gali skirtis priklausomai nuo lęšių medžiagos. (21,33)

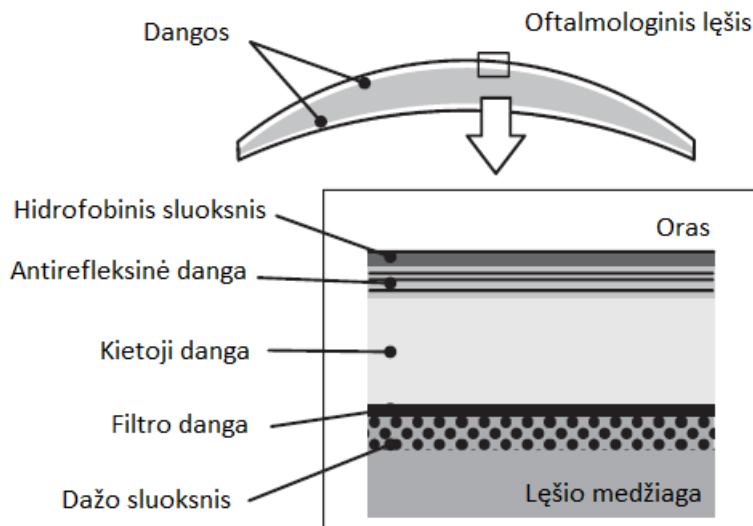
Kitos dangos ir jų išsidėstymo tvarka

Kietoji danga. Plastikiniai akinių lęšiai yra minkšti, lyginant su stikliniais, ir linkę į nuolatines deformacijas net ir esant vidutiniam spaudimui. Tai lęšio paviršiuose sukelia estetinius defektus, daugiausia įbrėžimus. Įbrėžimų susidarymą sukelia smulkūs ir kieti daiktai, besitrinantys į lęšio paviršių. Paprastai tai atsitinka dėl netinkamo akinių laikymo, kai akiniai yra padedami ant stalo aukštytyn kojomis, kad priekinis lęšio paviršius liestųsi su stalo paviršiumi. Šiuo atveju, paviršiniai stalo nelygumai arba kietos dalelės, įstrigusios stalo paviršiuje, gali sukelti dilimą, dėl kurio susidaro įbrėžimai. (22,27)

Anksčiau kietoji danga buvo gaminama iš kvarco (SiO_2) bei organinio silicio, tačiau šiuo metu yra naudojama sudėtinė danga iš dviejų medžiagų su skirtingomis mechaninėmis savybėmis: silicio nanodalelių bei panašios cheminės struktūros į polisiloksano molekules skysčio. (22)

Hidrofobinė danga. Nešvarumų kaupimasis ant lęšio gali sutrikdyti lęšio optines savybes. Hidrofobinės dangos tikslas yra sumažinti skysčių nuosėdų susidarymą ant lęšio paviršiaus ir veikti kaip barjeras, apsaugantis vidinius lęšio dangų sluoksnius. (22) Šiuolaikinės hidrofobinės dangos veikia dviem būdais. Pirma, jos žymiai sumažina paviršiaus šiurkštumą, visiškai uždengdamos visas mikroporas ir kitus paviršiaus nelygumus, esančius lęšio paviršiuje, taip sumažindamos paviršiaus trinties koeficientą. Antra, hidrofobinio sluoksnio sudėtyje yra daug fluoro, atstumiančio vandenį ir aliejus. Bendras lygesnio paviršiaus ir fluorida pagrindu veikiančių junginių atstumiantis efektas sumažina skysčio lašelių ir hidrofobinio sluoksnio sąlyčio paviršių. (22)

Dangų išsidėstymo tvarka ant lęšio paviršiaus. Schematiškas dangų išsidėstymas ant lęšio paviršiaus pavaizduotas 1 paveiksle. Pavaizduotų sluoksnių storis neatitinka mastelio. Sluoksnių išsidėstymas svarbus dėl kiekvienos dangos funkcijos, kurios aptartos prie kiekvienos dangos.



1 paveikslas. Dangų išsidėstymo tvarka ant lęšio paviršiaus. (Adaptuota iš (22))

KLINIKINIO TAIKYMO GALIMYBĖS

Mėlyną šviesą blokuojanti akinių lęšių danga

Mėlyna šviesa yra regimojo šviesos spektro dalis, kurios bangos ilgis yra nuo 400 iki 500 nm. (34) Tai yra trumpiausio bangos ilgio ir daugiausiai energijos turinti regimoji šviesa. (34) Pagrindinis mėlynos spalvos šaltinis yra saulės šviesa, tačiau vis daugiau mėlyno šviesos spektro žmogų pasiekia iš dirbtinių šaltinių - telefonų ir kompiuterių ekranų, televizorių, apšvietimo (LED) lempučių. (34,35) Akies tinklainės ganglinės ląstelės, turinčios fotopigmento melanopsino, yra jautrios mėlynai šviesai, kurios bangų ilgio pikas yra 470-480 nm. (35,36) Šviesos jutimas per melanopsiną dalyvauja reguliuojant žmogaus cirkadinį ritmą (slopinama melatonino gamyba kankorėžinėje liaukoje (37)), nuotaiką, mokymąsi (38) bei galimai turi įtakos metabolizmui (39). Mėlyną šviesą skleidžiančių prietaisų naudojimas vakare blogina miego kokybę, yra sunku užmigti, o ryte būti budriam. (40,41) Įrodyta, jog mėlyna šviesa gali pažeisti tinklainės pigmentinį epitelį (TPE) ir fotoreceptorius (kolbelės yra jautresnės pažeidimui nei lazdelės): fotocheminis TPE pažeidimas ir oksidacinis stresas skatina lipofuscino kaupimąsi TPE (ypač geltonosios dėmės srityje (42)), kuris sutrikdo TPE galimybes teikti maistines medžiagas fotoreceptoriams, o sugerdamas mėlyną šviesą lipofuscinas tampa fototoksiškas. (35) Manoma, jog mėlynos šviesos kiekis, gautas per žmogaus visą gyvenimą, gali turėti įtakos amžinės geltonosios dėmės degeneracijos vystymuisi. (42)

Didėjant dirbtinės mėlynos šviesos kiekiui bei atsirandant vis daugiau įrodymų apie galimą mėlynos šviesos sukeltą žalą žmogaus sveikatai, optikos siūlo rinktis akinių lęšius, kurie turi apsauginę dangą nuo mėlynos šviesos.

Amžinės geltonosios dėmės degeneracijos (AGDD) prevencija. Su amžiumi, akies lęšiukas gelsvėja ir, manoma, apsaugo tinklainę nuo mėlynos šviesos poveikio. Teoriškai, sudrumstėjusio lęšiuko pašalinimas kataraktos operacijos metu gali paskatinti AGDD progresavimą, tačiau klinikiniais tyrimais tokie rezultatai nėra patvirtinti. (43,44)

Piridiumo bisretinoidas (A2E) yra pagrindinė drūzų, randamų pacientų su AGDD tinklainėje, komponentas. A2E yra lipofuscino mėlynos šviesos sukulto fototoksiško poveikio TPE tarpininkas. Park ir kt. atliktas tyrimas parodė, jog rudu arba pilku dažu padengti akinių lęšiai gali sumažinti A2E turinčių TPE ląstelių gyvybingumo praradimą 50,28 procento. (45) Kitų tyrimų metu apskaičiuota, jog mėlyną šviesą blokuojančių akinių lęšių dėvėjimas gali 90 procentų sumažinti lipofuscino aerobinį fotoreaktyvumą. (46)

Nors remiantis teoriniu mėlynos šviesos sukeliamu tinklainės pažeidimo mechanizmu apsauga nuo mėlynos šviesos turėtų apsaugoti ar sulėtinti amžinę geltonosios dėmės degeneraciją, tačiau klinikinių tyrimų, patvirtinančių šią hipotezę nėra. (35,47)

Matymo kokybė. Manoma, jog mėlyną šviesą blokuojančių akinių lęšių naudojimas gali turėti įtakos spalvų suvokimui, prieteminiui (skotopiniam) matymui, kontrasto jutimui. (47) Leung ir kt. bei Ikaunieks ir kt. tyrimų rezultatai rodo, kad mėlyną šviesą filtruojančių akinių lęšių dėvėjimas neturi įtakos matymo kokybei ir nemažina akių įsitempimo. (13,16) Tuo tarpu Alzahrani ir kt. tyrimo rezultatų duomenimis tokių akinių lęšių dėvėjimas turi reikšmingą įtaką spalvų kontrastų jutimui, ypač prietemoje, bei gali sutrikdyti regėjimą nakties metu, keliant grėsmę mėlyną šviesą blokuojančius akinius dėvinčių asmenų, turinčių kataraktą ar akių ligų, saugumui. (14) Domínguez-Vicent ir kt. tyrimo su jaunais sveikais suaugusiaisiais rezultatai rodo, jog mezopinėmis be akinimo sąlygomis, mėlyną šviesą filtruojantys lęšiai mažina kontrasto suvokimą, o mezopinėmis su akinimu, dieninėmis (fotopinėmis) su ir be akinimo sąlygomis statistiškai reikšmingo kontrasto suvokimo pokyčio nestebima. (48) Alzahrani ir kt. stebėjimais, mėlyną šviesą blokuojantys akinių lęšiai blogina mėlynos spalvos suvokimą 5-36 procentais, o prieteminį matymą – 5-24 procentais. (15)

Cirkadinis ritmas ir miego kokybė. Šviesos jutimas per melanopsiną dalyvauja reguliuojant žmogaus cirkadinį ritmą per melatonino gamybos kankorėžinėje liaukoje slopinamą (37), tad mėlyna šviesa yra pagrindinis cirkadinio ritmo ir melano kiekio reguliatorius. Dienos metu reikalingas pakankamas mėlynos šviesos kiekis, jog būtų užtikrinta melano gamybos supresija ir žmogus būtų žvalus. Tuo tarpu vakare melano gamybos supresija gali trukdyti užmigti bei turėti neigiamą įtaką miego kokybei. (37,49) Tiek mėlynos šviesos trūkumas dienos metu, tiek jos perteklius vakare gali sutrikdyti normalų žmogaus cirkadinį ritmą bei miego kokybę. (13) Leung ir kt. tyrimo duomenimis, mėlyną šviesą blokuojantys akinių lęšiai sumažina melatonino gamybos supresiją 5-15 procentų, tačiau miego kokybei toks pokytis nebuvo reikšmingas. (13) Teran ir kt.

stebėjimais, antirefleksinės mėlyną šviesą blokuojančios dangos sumažina melatonino supresiją nuo 21 iki 35 procentų, o dažyti lęšiai – nuo 12 iki 15 procentų. Tačiau to paties tyrimo rezultatai rodo, jog elektroninių prietaisų ekranų naktinis režimas labiau sumažina melatonino supresiją nei mėlyną šviesą blokuojančios dangos, tačiau reikia pastebėti, kad elektroninių prietaisų naktinis režimas sumažina tik prietaiso skleidžiamą mėlyną šviesą, tuo tarpu akiniai gali blokuoti ir foninę mėlyną šviesą, pavyzdžiui, sklindančią nuo LED apšvietimo, todėl geriausias efektas galėtų būti pasiektas naudojant tiek elektroninių prietaisų naktinį režimą, tiek mėlyną šviesą blokuojančius akinius. (50) Tuo tarpu Burkhart ir kt. tyrimas parodė, kad mėlyną šviesą blokuojančių akinių dėvėjimas 3 val. iki miego statistiškai reikšmingai gerina miego kokybę. (51) Alzahrani ir kt. tyrimo duomenimis, mėlyną šviesą blokuojantys akiniai gali sumažinti akies tinklainės ganglinių ląstelių, turinčių melanopsino, jautrumą 4-27 procentais ir taip turėti įtakos cirkadinio ritmo reguliavimui. (15)

Antirefleksinė akinių lęšių danga

Net ir esant visiškai skaidriems lęšiams, tam tikras šviesos kiekis atsispindi lęšio paviršiuose dėl terpės neatitikimo, kurį sukelia staigus šviesos lūžio rodiklio pasikeitimas. (22,23) Kai šviesa praeina pro akinių lęšį, dalis jos atsispindi priekiniame ir galiniame lęšio paviršiuose. (20) Šis atspindys dažniausiai yra veidrodinis ir yra pastebimas esant didelio šviesumo objektams, pavyzdžiui, Saulės šviesai, apšvietimo lempoms, kompiuterių ar telefonų ekranams. (20,22) Šie atspindžiai literatūroje dažnai vadiname vaiduokliškais vaizdais (angl. *ghost images*). Vaiduokliškus vaizdus gali matyti tiek oftalmologinio lęšio dėvėtojas, tiek aplinkiniai žmonės. (22) Dėvintysis gali suvokti vaiduokliškus vaizdus, esančius matymo lauke, kaip realius ir tai gali trukdyti normaliam regėjimui. (22) Taip įvyksta, kai vaiduokliškas vaizdas susidaro tarp tolimojo ir artimojo taškų, vaizdo intensyvumas yra pakankamai didelis, jog jį būtų galima išskirtinai suvokti, bei, kai vaizdo šoninė padėtis nėra labai toli nuo žiūrėjimo krypties. (22) Pavyzdžiui, žiūrint į apšvietimo lempuotę per akinių lęšius, kurie nėra padengti antirefleksine danga, galite pamatyti dvi lemputes, arba žiūrėdami pro tokius lęšius galite matyti savo akies obuolių ar blakstienų atspindį ant lęšio. (27) Antirefleksinė akinių lęšių danga padeda išvengti tokių dėvinčiajam matomų vaiduokliškų vaizdų, kurie gali blaškyti žmogų ir sukelti diskomfortą dėvint akinius.

Įtaka regėjimo kokybei. Ross ir kt. atliktas tyrimas parodė, jog daugumai žmonių antirefleksine danga padengti akinių lęšiai sumažina problemas, susijusias su regėjimu akinimo sąlygomis. Tyrimo rezultatų duomenimis, esant įprastam kambario apšvietimui, regėjimo aštrumas bei kontrasto jautrumas nesiskyrė padengtų ir nepadengtų antirefleksine danga akinių lęšių grupėse. Tačiau tiriamiesiems žiūrint į silpnai apšviestą objektą, kai jų akys ir veidas apšviečiami ryškia šviesa (sukuriamos akinimo sąlygos), dėvinčiųjų antirefleksine danga padengtus lęšius kontrasto jutimas

buvo 2 kartus didesnis, nei dėvinčiųjų akinius be antirefleksinės dangos. Remiantis šio tyrimo rezultatais, Ross ir kt. teigia, jog akinių su antirefleksine danga dėvėjimas gali būti naudingas naktį vairuojantiems, kuriems dažnai tenka susidurti su akinimo prieblandoje sąlygomis. (52) Taip pat, sumažindama akinimą antirefleksinė danga sumažina dėvinčiojo jaučiamą akių nuovargį. (21) Kitų tyrimų duomenimis, daugelis pacientų, dėvinčių akinių lęšius su antirefleksine danga, teigia, jog jiems aplinka atrodo šviesesnė, jie jaučiasi matantys daugiau detalių. (23) Yra nustatyta, jog antirefleksinė danga padidina šviesos pralaidumą per lęšį apie 8 procentais (nuo 91 iki 99 procentų). (53) Bachman ir kt. tyrimo dalyvių nuomone, dėvint akinius su antirefleksine danga sumažėja akinimas ir atspindžiai tiek dieną, tiek naktį patalpose bei transporto priemonėse. Tiriamieji pastebėjo, jog reikšmingai pagerėjo bendras naktinis matymas ir net 89 procentai jų pageidavo ir toliau dėvėti akinius su antirefleksine danga. (53)

Kosmetinis efektas. Antirefleksinė danga gali turėti teigiamą įtaką žmogaus estetinei išvaizdai bei pagerina akių kontaktą, kadangi pašalina atspindžius, atsirandančius ant akinių lęšio ir užstojančius akis. (21,23,27) Be to, antirefleksinė danga sumažina matomą koncentrinio žiedo efektą didelių minusinių dioptrijų lęšiuose, todėl storas lęšis vizualiai atrodo plonesnis. (21,27)

Antirefleksinės dangos neigiamos savybės. Visų pirma, antirefleksinė danga, būdama kietesnė už patį lęšį, yra mažiau atspari aplinkos sąlygoms ir turi didesnę polinkį lūžiams ir įskilimams, kurie vėliau plinta į lęšį ir jį pažeidžia. (19) Drėgmė iš atmosferos, patekusi per įtrūkimus, gali migruoti per dangos sluoksnius ir susigerti į organinę medžiagą, iš kurios pagamintas oftalmologinis lęšis. Tai sukelia lęšio išsipūtimą bei antirefleksinės dangos sluoksnių tarpusavio jungčių susilpnėjimą, dėl kurių atsiranda šviesos perdavimo per lęšį nuostoliai išsisklaidžius krintančiai šviesai. Dėl šių paviršiaus pažeidimų dėvinčiajam vaizdas per tokius lęšius atrodo miglotas ir tai yra pagrindinė lęšio disfunkcijos priežastis. (54) Corzine ir kt. atlikto tyrimo duomenimis, antirefleksinė danga sumažino lūžiui atsirasti reikiamą energiją 63 procentais. Lūžiui reikalingos energijos sumažėjimas buvo statistiškai reikšmingas, lyginant su nepadengtu lęšiu ($p < 0,001$). (19)

Kita neigiama antirefleksinės dangos fizinė savybė yra didesnis polinkis išsitepti. (23,27) Šie lęšiai yra skaidresni, todėl dulkės ir riebios dalelės tampa geriau matomos, nes atspindi mažiau šviesos. (23) Šioms neigiamoms savybėms sumažinti, geros kokybės akinių lęšiai yra padengti papildomomis dangomis nuo nešvarumų, oleofobine, hidrofobine bei antistatine dangomis ant abiejų lęšių paviršių, jog lęšius būtų lengviau valyti. (23) Šios papildomos dangos yra tik kelių nanometrų storio, todėl neturi įtakos antirefleksinės dangos veikimui. (23) Akinių lęšių su antirefleksine danga priežiūrai rekomenduojama naudoti specialius valiklius, antistatinius bei

apsaugai nuo rasoјimo skirtus tirpalus, taip pat labai plonas šluostes, siekiant apsaugoti dangą nuo pažeidimų. (20)

Ultravioletinę šviesą blokuojanti akinių lęšių danga

Pagrindinis UV spinduliuotės šaltinis yra Saulė, tačiau gydytojai oftalmologai taip pat gali susidurti su pacientais, kuriems akių pažeidimus sukėlė lazeriai ar suvirinimo prietaisai. (28) UV spektras skirstomas į tris zonas: UVA (320 – 400 nm bangos ilgis), UVB (290 – 320 nm bangos ilgis) ir UVC (100 – 290 nm bangos ilgis). (55,56) UVC spinduliuoja aukščiausią energijos lygį ir yra pavojingiausia žmogui UV spinduliuotė. Laimei, ozono sluoksnis sugeria UVC ir Žemės paviršiaus ši spinduliuotė nepasiekia. (21) UVB gali sukelti nudegimus ir yra žalingiausia akiai UV spinduliuotė. (21) Tuo tarpu UVA spinduliuoja mažiausiai energijos, tačiau vis dar gali pakenkti akims. (21)

Pagal Draperio dėsnį tik ta energijos dalis, kurią sugeria audinys, gali jį pakeisti arba jam pakenkti. (56) Rageną ir junginę sugeria ir filtruoja UVC spinduliuotė ir dalį UVB spinduliuotės (didžiausia absorbcija yra 270 nm bangos ilgio spindulių) (56), priekinės kameros skystis – nedidelę dalį UVA spinduliuotės. (28) Lęšiuko UV spinduliuotės sugertis priklauso nuo paciento amžiaus: jaunas lęšiukas pirmiausia sugers UVA spindulius, o senesnis taip pat sulaikys ir UVB spindulius, kadangi su amžiumi lęšiukas gelsvėja. (28) Todėl vaikų ir jaunų suaugusiųjų tinklainę pasiekia daugiau UVB spinduliuotės ir jie yra jautresni UV sukeliams tinklainės pažeidimams. (28)

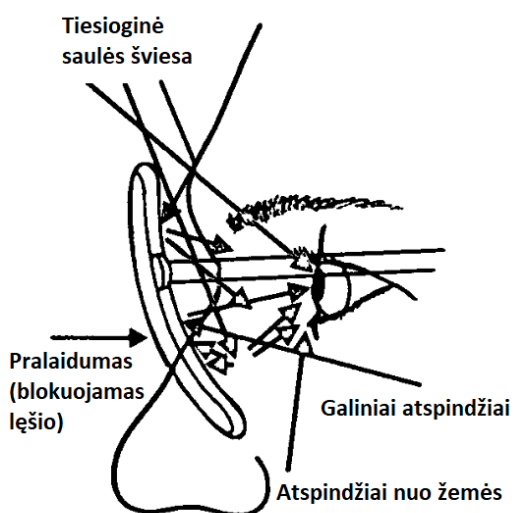
Pažeidimo mechanizmas. Maža UV spinduliuotės dozė pažeidžia akies audinius fotochemiškai (vyksta fotooksidacijos reakcija), pavyzdžiui, keičiant biomolekulių cheminę struktūrą ar sudėtį. (56,57) Tuo tarpu didelės UV spinduliuotės dozės gali sukelti šiluminį pažeidimą, panašų į nudegimą. (56) Dėl to akyje atsiranda uždegiminis atsakas, kuris gali pažeisti rageną, lęšiuką ir tinklainę. (57) Akis turi imuninę privilegiją (angl. *Immune Privilege*), tai reiškia, kad esant įprastam stresui jos imuninis atsakas yra slopinamas. Tačiau esant labai intensyviai UV spinduliuotei, šis slopinimas yra nepakankamas, todėl sudirginimo vietoje išsiskiria interleukinas-1, vyksta T-ląstelių ir makrofagų migracija, vėliau išsiskiria superoksidas, peroksidai ir kitos reaktyviosios deguonies rūšys, kurios ilgainiui pažeidžia akies audinius. (57) Ūminio ir lėtinio UV pažeidimo mechanizmai skirtinguose audiniuose gali skirtis. (56)

Nustatyta, kad UV blokavimas sumažina UV spindulių sukeltą matrikso metaloproteinazės (MMP) gamybą triušių ragenos audinyje. UV sukelta MMP gamyba ir aktyvinimas inicijuoja proteolitinį aktyvumą ir prisideda prie pataloginių ragenos paviršiaus pokyčių (pavyzdžiui, drumstėjimo). (55)

UV dangų efektyvumas. Liou ir kt. (55) atliko tyrimą su pelėmis, siekdami išsiaiškinti, ar UV akiniai gali apsaugoti nuo žalingo UV poveikio akims. Grupėje, kurioje pelės buvo

apšviečiamos UVB spinduliuote be apsauginių lęšių, ragenos paviršiaus pažeidimai buvo statistiškai reikšmingai ($p < 0,001$) didesni nuo kitose grupėse (su apsauginiais lęšiais ir neapšviestų UVB pelių). Taip pat šio tyrimo rezultatai parodė ryšį tarp regėjimo aštrumo sumažėjimo ir UV sukeltų patologiinių ragenos pokyčių pelės modelyje ir parodė, kad pelės, kurios buvo apšviestos UVB ir apsaugotos naudojant akinių lęšius su anti-UV danga, išlaikė geresnį regėjimo aštrumą nei neapsaugotos pelės. Tad duomenys rodo, kad akinių lęšiai su UV400 arba fotochromine danga gali sumažinti UV sukeltą akių pažeidimą ir užkirsti kelią UV sukeltam regėjimo aštrumo sumažėjimui. (55)

UV akinių trūkumai. Akinių lęšiai neužtikrina visiškos akies ir jos vidinių struktūrų apsaugos, nes įstrižai krintantys UV spinduliai vis tiek pasiekia akį tiesiogiai arba atsispindėdami nuo galinio lęšio paviršiaus (32,58) (2 paveikslas). Lęšiai, padengti antirefleksine danga, atspindi daugiau UV šviesos, nei nepadengti lęšiai. (32) Spinduliai, kurie atsispindi nuo užpakalinio lęšio paviršiaus, gali pataikyti arba į temporalinį ragenos kraštą (limbą), arba į centrinę rageną. (32) Manoma, kad toks šviesos atsispindėjimo nuo galinio lęšio paviršiaus mechanizmas gali paaiškinti didesnę atsirandančių



„stipinų“ kiekį nosiniame lęšiuo kvadrante, esant žievinei kataraktai. (29) Todėl dėvintysis akinius naudotojas turi rūpintis ne tik tiesiogiai krintančia saulės UV spinduliuote, bet ir netiesioginės (atspindimosios) saulės UV spinduliuotės atspindžiais nuo įprastų paviršių, kurie lengvai atspindi UV spinduliuotę, pavyzdžiui, šviežio sniego, balto paplūdimio smėlio, vandens ir betono. (32,59) Taip pat, skaidrūs akinių lęšiai su UV filtravimo danga gali nesuteikti tinkamo komforto, todėl dauguma renkasi alternatyvą – saulės akinius, kurių rusva ar pilkšva spalva sumažina akinimą saulėtą dieną. (58)

2 paveikslas. Ant akies krintanti UV spinduliuotė. (Adaptuota iš (59))

Regėjimo kokybė. Fotochrominių lęšių pralaidumas regimajai šviesai yra mažesnis nei įprastų akinių, todėl tai gali lemti regėjimo ir suvokimo pablogėjimą, kadangi dauguma pacientų juos turi kaip vienintelę akinių porą ir dėvi tiek dieną, tiek naktį prieblandos sąlygomis. Šie akiniai nerekomenduojami vairuojant naktį, kadangi gali kelti pavojų asmens sveikatai. (33) Apie kitų UV dangų įtaką regėjimo kokybei mokslinėje literatūroje duomenų nerasta.

Pacientai su katarakta. Manoma, jog akiniai su UV danga gali būti naudingi pacientams, turintiems kataraktą. Yra kelios kelios hipotezės:

- 1) Branduolinės ir žievinės kataraktos metu lęšiuje kaupiasi daug fluorescencinių pigmentų, kurie UV spinduliuotę paverčia išsklaidyta regimajai šviesai ir taip

blogina regėjimą. Todėl akiniai su UV danga gali pagerinti pacientų su katarakta regėjimo kokybę.

- 2) Manoma, kad UV spinduliuotė yra susijusi su kataraktos etiologija, todėl UV spindulius blokuojančios dangos gali sulėtinti kataraktos progresavimą. (60)

Fotochemoterapija (PUVA) ir UV dangos. PUVA terapijos metu naudojama UVA šviesos terapija gydyti tokias odos ligas kaip psoriazė. Terapijos metu UVA spinduliuotė gali pasiekti ir akis, todėl pacientai privalo dėvėti apsauginius akių skydus su UV danga, jog būtų išvengta galimų akies UV pažeidimų. Deja, daugeliui pacientų apsauginiai skydai yra kosmetiškai nepriimtini ir jie renkasi įprastus nereceptinius akinius nuo saulės. (31)

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Dažniausiai ant akinių lęšių yra naudojamos šios dangos: antirefleksinė, mėlyną šviesą blokuojanti, UV blokuojanti, kietoji bei hidrofobinė dangos.
2. Mėlyną šviesą blokuojančios akinių lęšių dangos gali atspindėti (antirefleksinės) arba sugerti (dažytos) mėlyną šviesą.
3. Antirefleksinę dangą sudaro vienas arba keli sluoksniai mineralinių medžiagų, kurių storis lygus planuojamo atspindėti bangos ilgio ketvirčiui.
4. UV dangos gali būti gaunamos lęšį padengus UV absorbuojančia medžiaga, suprojektuojant antirefleksinę dangą, kuri atspindėtų UV šviesą ar naudojant fotochrominius lęšius.
5. Nėra mokslinių įrodymų, jog nuo mėlynos šviesos apsaugančių akinių dėvėjimas sulėtintų progresavimą ar apsaugotų nuo amžinės geltonosios dėmės degeneracijos.
6. Mėlyną šviesą blokuojančios dangos neturi įtakos regėjimo kokybei bei akių nuovargio mažinimui, tačiau gali sumažinti kontrastinį jutimą prieblandinėmis sąlygomis.
7. Antirefleksinė danga sumažina atspindžius bei gerina regėjimo kokybę akinimo sąlygomis.
8. Akinių lęšiai su UV danga gali sumažinti akį pasiekiančią UV spinduliuotę ir taip apsaugoti nuo fotocheminių ir fototerminių akies struktūrų pažeidimo, tačiau tai įrodančių klinikinių tyrimų su žmonėmis nėra atlikta.
9. Fotochrominiai akiniai gali bloginti regėjimo kokybę prieblandos sąlygomis, tačiau visi akiniai su UV danga gali pagerinti pacientų su katarakta regėjimą.
10. Akinius su UV danga turėtų dėvėti daug laiko lauke praleidžiantis asmenys bei PUVA terapiją gaunantys pacientai.

11. Būtinai reprezentatyvūs klinikiniai tyrimai, įvertinantys mėlyną šviesą blokuojančių akinių lęšių klinikinį efektyvumą, naudos-žalos santykį, UV dangų klinikinį efektyvumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Schiefer U, Kraus C, Baumbach P, Ungewiß J, Michels R. Refractive errors. *Dtsch Arztebl Int*. 2016 m. spalio;113(41):693–702.
2. West S, Williams C. Amblyopia. *BMJ Clin Evid*. 2011 m. birželio 30 d.;2011:0709.
3. Ali N, Clarke M. Managing squint in a young child. *Paediatr Child Health*. 2010 m. birželio;20(6):302–3.
4. Bao J, Huang Y, Li X, Yang A, Zhou F, Wu J, ir kt. Spectacle Lenses With Aspherical Lenslets for Myopia Control vs Single-Vision Spectacle Lenses. *JAMA Ophthalmol*. 2022 m. gegužės;140(5):472–8.
5. Williams KM, Verhoeven VJM, Cumberland P, Bertelsen G, Wolfram C, Buitendijk GHS, ir kt. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E3) Consortium. *Eur J Epidemiol*. 2015 m.;30(4):305–15.
6. Rodiklių duomenų bazė - Oficialiosios statistikos portalas [Prieiga per internetą]. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/>
7. Akinių lęšiai [Prieiga per internetą]. Matau. Girdžiu. Gyvenu. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://www.optikospasaulis.lt/akiniu-lesiu-aktualijos>
8. Akiniai: Fielmann. [Prieiga per internetą]. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://www.fielmann.lt>
9. marketingas. Akinių lęšiai [Prieiga per internetą]. Optometrija. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://optometrija.lt/akiniai/akiniu-lesiai/>
10. Akinių lęšiai [Prieiga per internetą]. Vizija | Optika. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://optikavizija.lt/akiniu-lesiai/>
11. Akinių lęšiai [Prieiga per internetą]. Vision Express. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://www.visionexpress.lt/akiniai/akiniu-lesiai/>
12. Ophthalmology ethics - ClinicalKey [Prieiga per internetą]. [žiūrėta 2023 m. gegužės 16 d.]. Adresas: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/book/3-s2.0-B9780323757546000499?scrollTo=%23hl0000296>
13. Leung TW, Li RWH, Kee CS. Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances. *PLoS ONE* [Prieiga per internetą]. 2017 m. sausio;12(1). Adresas: [/pmc/articles/PMC5207664/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5207664/) [/pmc/articles/PMC5207664/?report=abstract](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5207664/?report=abstract)

14. Alzahrani HS, Roy M, Honson V, Khoo SK. Effect of blue-blocking lenses on colour contrast sensitivity. <https://doi.org/10.1111/cxo.13135>. 2021 m.;104(2):207–14.
15. Alzahrani HS, Khoo SK, Roy M. Modelling the effect of commercially available blue-blocking lenses on visual and non-visual functions. *Clin Exp Optom*. 2020 m. gegužēs;103(3):339–46.
16. Ikaunieks G, Petrovica I, Kalnica-Dorosenko K, Krumina G. The effect of blue-light-blocking lenses on retinal straylight. *Est J Earth Sci*. 2021 m.;70(4s):341–6.
17. Pillay R, Hansraj R, Rampersad N. Historical Development, Applications and Advances in Materials Used in Spectacle Lenses and Contact Lenses. *Clin Optom Auckl*. 2020 m. rugsējo;12:157–67.
18. Mazur M, Wojcieszak D, Domaradzki J, Kaczmarek D, Song S, Placido F. TiO₂/SiO₂ multilayer as an antireflective and protective coating deposited by microwave assisted magnetron sputtering. *Opto-Electron Rev*. 2013 m. birželio 1 d.;21(2):233–8.
19. Corzine JC, Greer RB, Bruess RD, Lee GK, Scaief AL. Effects of coatings on the fracture resistance of ophthalmic lenses. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 1996 m. sausio;73(1):8–15.
20. Facts about glasses - ClinicalKey [Prieiga per internetą]. [žiūrėta 2023 m. gegužēs 1 d.]. Adresas: <https://www.clinicalkey.com/#!/content/book/3-s2.0-B978032375754600013X?scrollTo=%23hl0001008>
21. Lamparelli K. Plain Talk on Lens Coatings. *Rev Optom*. 2001 m. birželio 15 d.;138(6):61.
22. Atchison DA. *Modern Ophthalmic Optics*, 4th edn (Editors: JoséAlonsoJosé A.Gómez-Pedrero & Juan A.Quiroga; Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-11071-8, pp 546). *Ophthalmic Physiol Opt*. 2020 m. gegužēs;40(3):377–8.
23. Metsing TI, Carlson AS. A comparison of pre-coated stock antireflection coating lenses in terms of transmission, durability and quality. *Afr Vis Eye Health*. 2022 m. sausio;81(1):1–7.
24. Schulz U. Coating processes for plastic optics. *Adv Opt Technol*. 2014 m. vasario 1 d.;3(1):29–39.
25. Jena S, Tokas RB, Udupa DV, Thakur S, Sahoo NK, Singh, ir kt. Design and development of multilayer wideband antireflection coating and its annealing study. *AIP Conf Proc*. 2018 m. kovo 22 d.;1942(1):1–1.
26. Schulz U, Munzert P, Rickelt F, Präfke C, Gratzke N, Knopf H, ir kt. Anorganisch-organische Hybridschichten für die Entspiegelung optischer Oberflächen. *Vak Forsch Prax*. 2015 m. birželio;27(3):20–5.
27. Gutfeld G, McVeigh G. Eyeing up your options. *Prevention*. 1992 m. vasario;44(2):72.
28. Begaj T, Schaal S. Sunlight and ultraviolet radiation—pertinent retinal implications and current management. *Surv Ophthalmol*. 2018 m. kovo;63(2):174–92.
29. Sliney DH. Sunglasses: their effectiveness. *Laser and Noncoherent Light Ocular Effects: Epidemiology, Prevention, and Treatment III* [Prieiga per internetą]. SPIE; 2003 [žiūrėta 2023 m.

- gegužēs 8 d.]. p. 164–76. Adresas: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/4953/0000/Sunglasses-their-effectiveness/10.1117/12.477907.full>
30. Barker FM. Does the ANSI Z80.3 nonprescription sunglass and fashion eyewear standard go far enough? *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 1990 m. birželio;67(6):431–4.
 31. Leow YH, Tham SN. Uv-Protective Sunglasses for Uva Irradiation Protection. *Int J Dermatol*. 1995 m.;34(11):808–10.
 32. Citek K. Anti-reflective coatings reflect ultraviolet radiation. *Optom St Louis Mo*. 2008 m. kovo;79(3):143–8.
 33. Diaz Escobar A, Goñi Boza E, Masis Soto MF. Análisis en el tiempo de la transmisibilidad de la luz visible y ultravioleta en dos materiales de lentes fotocromáticos: Time Course Analysis of Visible and Ultraviolet Light Transmissivity in Two Photochromic lens Materials. *Cienc Tecnol Para Salud Vis Ocul*. 2021 m. sausio;19(1):2–12.
 34. Coats JG, Maktabi B, Abou-Dahech MS, Baki G. Blue Light Protection, Part I—Effects of blue light on the skin. *J Cosmet Dermatol*. 2021 m. kovo;20(3):714–7.
 35. Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis*. 2016 m. sausio;22:61.
 36. Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 2002 m. vasario;295(5557):1070–3.
 37. Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock—Blue light sets the human rhythm. *J Biophotonics* [Prieiga per internetą]. 2019 m. gruodžio;12(12). Adresas: </pmc/articles/PMC7065627/> </pmc/articles/PMC7065627/?report=abstract> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7065627/>
 38. Legates TA, Altimus CM, Wang H, Lee HK, Yang S, Zhao H, ir kt. Aberrant light directly impairs mood and learning through melanopsin-expressing neurons. *Nature*. 2012 m. lapkričio;491(7425):594–8.
 39. Aytürk DG, Castrucci AM, Carr DE, Keller SR, Provencio I. Lack of Melanopsin Is Associated with Extreme Weight Loss in Mice upon Dietary Challenge. *PloS One* [Prieiga per internetą]. 2015 m. gegužės;10(5). Adresas: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26011287/> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26011287/?dopt=Abstract>
 40. Najjar RP, Wolf L, Taillard J, Schlangen LJM, Salam A, Cajochen C, ir kt. Chronic artificial blue-enriched white light is an effective countermeasure to delayed circadian phase and neurobehavioral decrements. *PloS One* [Prieiga per internetą]. 2014 m. liepos;9(7). Adresas: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25072880/> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25072880/?dopt=Abstract>
 41. Jniene A, Errguig L, Hangouche AJE, Rkain H, Abouddrar S, Ftouh ME, ir kt. Perception of Sleep Disturbances due to Bedtime Use of Blue Light-Emitting Devices and Its Impact on Habits and Sleep Quality among Young Medical Students. *BioMed Res Int* [Prieiga per internetą]. 2019 m.;2019. Adresas: </pmc/articles/PMC6944959/> </pmc/articles/PMC6944959/?report=abstract> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6944959/>
 42. Wolf G. Lipofuscin and macular degeneration. *Nutr Rev*. 2003 m. spalio;61(10):342–6.

43. Glazer-Hockstein C, Dunaief JL. Could blue light-blocking lenses decrease the risk of age-related macular degeneration? *Retina Phila Pa.* 2006 m. sausio;26(1):1–4.
44. Qian CX, Young LH. The impact of cataract surgery on AMD development and progression. *Semin Ophthalmol.* 2014 m.;29(5–6):301–11.
45. 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 m.;57(2):118–24.
46. Margrain TH, Boulton M, Marshall J, Sliney DH. Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? *Prog Retin Eye Res.* 2004 m. rugsėjo 1 d.;23(5):523–31.
47. 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 m. lapkričio;37(6):644–54.
48. Domínguez-Vicent A, Helghe E, Ramsay MW, Venkataraman AP. Photopic and Mesopic Contrast Sensitivity Function in the Presence of Glare and the Effect of Filters in Young Healthy Adults. *Front Psychol.* 2021 m. lapkričio;12:5278.
49. Zhao ZC, Zhou Y, Tan G, Li J. Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. *Int J Ophthalmol.* 2018 m.;11(12):1999–2003.
50. Teran E, Yee-Rendon CM, Ortega-Salazar J, Gracia PD, Garcia-Romo E, Woods RL. Evaluation of Two Strategies for Alleviating the Impact on the Circadian Cycle of Smartphone Screens. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* 2020 m. kovo;97(3):207–17.
51. Burkhart K, Phelps JR. Amber lenses to block blue light and improve sleep: a randomized trial. *Chronobiol Int.* 2009 m. gruodžio;26(8):1602–12.
52. Ross J, Bradley A. Visual performance and patient preference: a comparison of anti-reflection coated and uncoated spectacle lenses. *J Am Optom Assoc.* 1997 m. birželio;68(6):361–6.
53. Bachman WG, Weaver JL. Comparison between anti-reflection-coated and uncoated spectacle lenses for presbyopic highway patrol troopers. *J Am Optom Assoc.* 1999 m. vasario;70(2):103–9.
54. Caro J, Cuadrado N, González I, Casellas D, Prado J m., Vilajoana A, ir kt. Microscratch resistance of ophthalmic coatings on organic lenses. *Surf Coat Technol.* 2011 m. rugpjūčio 25 d.;205(21/22):5040–52.
55. Liou JC, Teng MC, Tsai YS, Lin EC, Chen BY. UV-blocking spectacle lens protects against UV-induced decline of visual performance. *Mol Vis.* 2015 m. rugpjūčio;21:846.
56. Bergmanson JPG, Söderberg PG. The significance of ultraviolet radiation for eye diseases. A review with comments on the efficacy of UV-blocking contact lenses. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1995 m.;15(2):83–91.
57. Roberts JE. Ultraviolet Radiation as a Risk Factor for Cataract and Macular Degeneration. *Eye Contact Lens.* 2011 m. liepos;37(4):246.

58. Yam JCS, Kwok AKH. Ultraviolet light and ocular diseases. *Int Ophthalmol*. 2014 m. balandžio 1 d.;34(2):383–400.
59. Ultraviolet Radiation and the Eye: Complete Protection Requires Blocking Both Transmission and Backside Reflection. *Ophthalmol Times*. 2012 m.;37(12):21–2.
60. Elliott DB. Management of patients with age-related cataract. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1999 m.;19(S1):S10–5.