



Entoptični pojavi, fotopsije in fosfeni

Entoptic phenomena, photopsias, phosphenes

Miha Sevšek,^{1,2} Xhevat Lumi²

Izvleček

Entoptični pojavi v medicini pomenijo zaznavanje struktur in vidnih pojavov v lastnem očesu ob izpolnjenih določenih pogojih osvetlitve ali dražljaja. Ker teh pogojev v vsakdanjih normalnih razmerah ni, ne povzročajo zaznave optične slike. Entoptični pojavi so lahko povezani z lastnostmi optičnih medijev ali s strukturnimi in fiziološkimi lastnostmi mrežnice ter vidne poti. Entoptični pojavi, ki so povezani z lastnostmi optičnih medijev, nastanejo zaradi refraktivnih ali difraktivnih vzrokov. Skupna lastnost vseh entoptičnih pojavov je, da je njihovo dožemanje subjektivno in odvisno od preiskovančeve pozornosti ter sodelovanja. Entoptični pojavi se razlikujejo od optičnih iluzij, ki nimajo osnove v resničnem okolju. Posebna skupina vidnih pojavov so fotopsije in fosfeni. Fotopsija je subjektivno zaznavanje svetlobe brez dejanskega fotonskega ali svetlobnega dražljaja in se pojavlja v obliki strukturiranih slik oz. geometričnih vzorcev ali kot enostavne ponavljajoče se slike. Fosfeni so fotopsije, ki jih bolniki zaznavajo kot nestrukturirane statične ali premikajoče se svetlobne vzorce različnih barv, bliske svetlobe, iskre ali t.i. cik-cakaste črte. Fotopsije v večji meri nastajajo v očesu, redkeje v centralnem živčnem sistemu, ali pa so znak sistemskih okvar, zato je ob njihovem pojavu potreben natančen pregled.

Abstract

In medicine the term entoptic phenomena is used to describe perception of visual effects that are rendered by the eye's own structures or visual system under suitable lighting conditions or stimulus. Customary such conditions are rarely met and hence do not produce an image. Entoptic phenomena produced or influenced by the native optical structures of one's own eye result from either refractive or diffractive causes. What all have in common is that they are subjective and require direct attention and cooperation of the observer for their perception. They differ from optical illusions which do not have a physical substrate. Special form of visual disturbances are photopsias and phosphenes. Photopsias are visual symptoms or sensations of structured images such as geometric figures or other simple pictures often recurring in a repetitive pattern in the absence of external light stimuli. Phosphenes are a subgroup of photopsias that patients describe as either static or moving unstructured patterns of colourful lights, sparkles or zig-zag lines. Photopsias

¹ Splošna bolnišnica Novo mesto, Novo mesto, Slovenija

² Očesna klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija

Korespondenca / Correspondence: Miha Sevšek, e: sevsek.miha88@gmail.com

Ključne besede: entoptični pojavi; optični mediji očesa; bliski svetlobe; fotopsije; fosfeni

Key words: entoptic phenomena; optical media of the eye; flashes of light; photopsias; phosphenes

Prispelo / Received: 20. 10. 2020 | **Sprejeto / Accepted:** 28. 6. 2021

Citirajte kot/Cite as: Sevšek M, Lumi X. Entoptični pojavi, fotopsije in fosfeni. Zdrav Vestn. 2022;91(1–2):69–78. DOI: <https://doi.org/10.6016/ZdravWestn.3183>



Avtorske pravice (c) 2022 Zdravniški Vestnik. To delo je licencirano pod Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno 4.0 mednarodno licenco.

predominately suggest ocular causes, less commonly they may suggest neurologic or systemic causes and thus require a meticulous examination as they occur.

1 Uvod

Oftalmologi se srečujemo z zaskrbljenimi bolniki v strahu pred izgubo vida in slepoto, kadar opazijo, da zaznavajo nekaj, kar nima izvora v vidni realnosti ali pa so njihove zaznave realnih predmetov iz okolice spremenjene.

Subjektivne zaznave struktur in pojavov v lastnem očesu, kadar vidni sistem vzdraži dražljaj, ki v normalnih pogojih ne povzroča vidne zaznave, s skupnim imenom imenujemo entoptični pojavi (*gr.* *entós* + *optikós*, znotrajvidnega) (1-5). Velikokrat imajo te zaznave vzrok v normalnih strukturah očesa, torej so zaznave lahko povsem fiziološke. Pojavljajo se, če so izpolnjeni določeni pogoji osvetlitve ali tudi brez zunanjega svetlobnega dražljaja, ki bi vzdražil vidni sistem in ki v normalnih pogojih ne povzroča vidne zaznave (mehanski vzroki, sevanja, endogeni dejavniki) (1-5). Nakazujejo pa lahko tudi na patološko dogajanje v očesu in predstavljajo simptome očesnih, nevroloških ali sistemskih bolezni, ki prizadenejo tudi vid (1-4, 6-9).

Pred odkritjem oftalmoskopije so bili entoptični pojavi pomembni pri odkrivanju očesne patologije. S pomočjo teh pojavov je spremembe pri kratkovidnih osebah prvi opisal francoski matematik Claude François Milliet Dechales že leta 1672 (10). Izraz entoptično je za opis pojavov v očesu prvi leta 1845 uporabil Johann Benedikt Listings (11). Z razvojem sodobnih preiskovalnih metod pa so entoptične pojave v medicini zamenjali. Prednost poznavanja teh pojavov je v tem, da se spremembe v subjektivnem dojemljanju zunanjih podob navadno pojavijo, preden postanejo patološke spremembe z diagnostičnimi preiskovalnimi metodami objektivno dokazljive (7-9,12). S poznavanjem vzrokov za nastanek entoptičnih pojavov, s poglobljeno anamnezo in ob natančnem oftalmološkem pregledu lahko z veliko gotovostjo izključimo resnejše patološke procese, bolnike pomirimo in jih ne napotujemo po nepotrebnem v nadaljnjo zahtevno diagnostično obdelavo (1-4,6-9).

V prvem delu članka opisujemo entoptične pojave, ki nastajajo iz očesnih struktur ob izpolnjenih posebnih pogojih osvetlitve (1-5). V drugem delu članka se osredotočamo na fotopsije in fosfene, torej pojave, ki največkrat nastajajo na mrežnici brez zunanjega svetlobnega dražljaja ali redkeje v centralnem živčnem

sistemu (6,14,15). Fotopsije so največkrat simptomi patoloških dogajanj v samem očesu in v centralnem živčnem sistemu ali posledica hemodinamskih ali drugih homeostatskih sprememb v organizmu (6,14,15). Ne predstavljajo patognomoničnega znaka določene klinične entitete, temveč kažejo na možen odklon od normalnega stanja. Njihovo poznavanje pa zdravniku omogoča bolj ciljani pregled za izključitev določene patologije (2,3,12,16).

2 Entoptični pojavi

Glede na mesto nastanka se entoptični pojavi delijo v dve večji skupini (Tabela 1). V prvem delu so opisani pojavi, ki nastanejo zaradi optičnih nepravilnosti v optičnih medijih očesa. V drugem delu so opisani pojavi, ki so odvisni od fiziologije mrežnice in vidne poti. Ti dve kategoriji sta med seboj povezani, saj je za nemoteni vid potrebno usklajeno delovanje obeh.

2.1 Entoptični pojavi, povezani z lastnostmi optičnih medijev

Očesne strukture imajo zaradi različne in nehomogene sestave različne lomne količnike. Razen vode že po naravi te strukture niso popolnoma prosojne (1). Pomembno vlogo pri nastanku entoptičnih pojavov ima tako optična gostota in lomni količnik struktur. Položaj znotraj očesne strukture, ki povzroči senco, lahko ocenimo z relativno entoptično paralakso (1,2,13). S premikanjem vira svetlobe (točkovna osvetlitev) oko zazna smer gibanja sence, ki jo predmet na mrežnico meče različno, glede na njegovo oddaljenost od zenice (navzpred ali navzad) (1,2,13). Če se predmet nahaja pred zenico, gibanje sence sledi gibanju svetlobe, če je predmet za njo, pa zaznamo gibanje sence v nasprotni smeri od gibanja osvetlitve (1,2,13). Tako se npr. sence, ki jih na mrežnico mečejo motnjave v leči ali steklovinu, gibljejo v nasprotni smeri kot vir osvetlitve, medtem ko sence, ki jih mečejo npr. motnjave na roženici, sledijo gibanju svetlobe (1,2,13).

Pomembna je tudi oddaljenost strukture od zenice. Čim bolj so strukture oddaljene od zenice, tem večji premik sence bo oko zaznalo (1,2,13). Tako ljudem

Tabela 1: Razdelitev entoptičnih pojavov glede na mesto nastanka. Prirejeno po Trick GL, 2006 (2).

Optični mediji	Mrežnica in vidna pot
Refraktivni vzroki	Mrežnična cirkulacija
<u>Sprednji segment:</u> <ul style="list-style-type: none"> • trepalnice, • solzni film (roženični mozaik), • mukus in olje iz Meibomovih žlez, • gube Descementove membrane, • zenica. <u>Zadnji segment (miodeopsije):</u> <ul style="list-style-type: none"> • degenerativne spremembe steklovine, • krvavitve v steklovino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Purkinjevo drevo, • »Blue field« (modro polje).
Difrakcijski vzroki	Mrežnična pigmentacija
<ul style="list-style-type: none"> • roženični halo, • ciliarna korona, • lentikularni halo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Haidingerjeva ščetka (karotenoidna), • Maxwelllova točka (ksantofilna).
	Nevrnsko delovanje in motnje
	<ul style="list-style-type: none"> • Troxlerjev učinek, • Purkinjevi modri loki.

največje težave povzročajo spremembe (motnjave), ki se nahajajo v posteriorni steklovini in ustvarjajo senco oz. pozitivne skotome (1,2,13).

Glede na mehanizem nastanka smo pojave razdelili na tiste, ki nastanejo zaradi refraktivnih in zaradi difraktivnih vzrokov. Značilnost refraktivnih vzrokov je, da se ob prehodu svetlobe skozi medije z različno gostoto spremeni njena smer, kar zaznamo kot sence (2,13). Difraktivni vzroki povzročajo, da se svetloba na robovih nepopolnosti optičnega sistema ukrivi ter razprši (2,17,18).

2.1.1 Entoptični pojavi, ki nastanejo zaradi refraktivnih vzrokov

Refraktivni vzroki, ki omogočajo nastanek entoptičnih pojavov, se delijo na refraktivne vzroke iz sprednjega očesnega segmenta in na vzroke iz zadnjega očesnega segmenta.

2.1.1.1 Sprednji segment

Ob stenopeičnem gledanju v enakomerno osvetljeno ozadje je entoptično polje zenica, ki je omejeno z notranjim robom šarenice, in je vidno kot svetlo polje z nabrazdanim robom (rob zenice). Entoptično je tako možno opazovati nepravilnosti v zeničnem robu kot tudi njeno krčenje in širjenje (2,13). Na svetlem ozadju lahko posamezniki občasno opazijo skakajoče sence, ki jih mečejo trepalnice (2). Podobno lahko senco meče tudi solzni film v obliki vodoravnih črt (striacij); pretirano izločanje mukusa in olja iz Meibomovih žlez lahko

povzroči videz mozaika (1,2,13). Spremembe v roženici zaradi nepravilnega nošenja trdih kontaktnih leč ali močnega stiskanja vek prav tako lahko povzročijo pojav senčnih črt, monokularno diplopijo in tudi prehodno zmanjšano vidno ostrino (2). Če ima jedro leče zaradi sprememb v procesu nastanka katarakte občutno drugačen fokus kot njena okolica, lahko centralna svetla slika izgleda razdrobljena v več slik (poliplopija) (2). Motnjave v leči lahko postanejo opazne kot temni, zrnati vzorci, če njihova senca doseže mrežnico (2).

2.1.1.2 Zadnji segment

S staranjem se struktura steklovine začne spreminjati (14). V kompleksnem strukturnem in biokemičnem procesu pride do utekočinjenja steklovine ter porušena struktura kolagenskih vlaken (14). Ta se nato zbirajo in kopičijo med utekočinjeno steklovino. Rezultat je nastanek motnjav, ki mečejo senco na mrežnico (14,19). Bolniki jih opisujejo kot premikajoče se pike ali točke v vidnem polju. Občasno jih opisujejo tudi kot mušice, komarje, pajke, črte, oblake ipd. Take motnjave se sicer premikajo ob gibanju očesa, vendar grede običajno mimo mesta fiksacije pogleda in se ob mirovanju vrnejo, med gibanjem pa lahko tudi spreminjajo obliko (2,13,14). Ob poskusu fiksacije nanje izgleda, kot da bi odplavale stran, mežikanje pa jih ne odpravi (za razliko od prehodnih sprememb na površini roženice) (14,19). Najbolj opazne in moteče postanejo ob gledanju v svetel enakomeren izvor svetlobe (nebo ali bela podlaga) (14). Zaznava motnjav je znana kot *miodeopsia* (14). Zaradi svojega izgleda so jih poimenovali tudi leteče

muhe (*lat. muscae volitantes*) (2,13,14).

Možen vzrok motnjavam so tudi blage krvavitve v steklovino (14). Krvavitev v steklovino nastane pri odstopu steklovine ali kot posledica poškodb, ob raztrganinah ali odstopu mrežnice, horoidalnem melanomu, zapori mrežničnega žilja ali sistemskih boleznih, med katerimi je najpogostejša sladkorna bolezen (19,20).

Zaznavanje motnjav v vidnem polju je tako pogost pojav, velikokrat viden tudi v sicer zdravem očesu, predvsem pri kratkovidnih osebah. Bolniki so zaradi tega pogosto zelo zaskrbljeni (19,20). Posebej pozorni moramo postati, če bolnik opazi nenaden nastanek gostih motnjav in bliskanja, katerih vzrok je najpogosteje odstop steklovine (14,19,20).

2.1.2 Difrakcijski vzroki

Ob opazovanju točkastega izvora svetlobe ta prehaja skozi različne strukture očesa, ki delujejo kot difrakcijske rešetke, na katerih se svetloba razprši. Posledica tega je zmanjšan kontrast slike in nastanek mavričnih halojev (2,17,18). Velikost zaznanih halojev je odvisna od oddaljenosti strukture, na kateri se lomi svetloba od mrežnice. Čim bližje je mrežnici, tem manjši bo halo (2,17,18).

Med fiziološke pojave prištevamo ciliarno koro, ki jo lahko opazimo ob gledanju v osamljen svetel predmet v temi (npr. zvezda na temnem nebu, ulična svetilka). Okoli izvora svetlobe je opazen svetlikajoči se vzorec mnogih finih, rahlo obarvanih iglic (2,17). Nastane zaradi odboja svetlobe od številnih drobnih delcev (beljakovin), prisotnih v jedru leče, in drobnih nepravilnosti v strukturi drugih delov očesa (depoziti na endotelu roženice, celice v sprednjem prekatu in sprednji lečni ovojnici) (17). Pri razširjeni zenici ali v slabo osvetljenem prostoru se lahko pojavi lentikularni halo, ki ima izgled barvnega traku okoli izvora svetlobe. Pojavi se zaradi odboja svetlobe s struktur zonularnega in sprednjega dela očesne leče, ki imajo, za razliko od centralnega dela leče neenakomerno zgradbo (2,18).

Pri bolnikih z edemom roženice (akutni glavkomski napad, poškodbe, kirurški poseg) se podre zgradba kolagenskih vlaken (2). Pri podrti zgradbi pa se svetloba odbija v vse smeri, kar vodi v bleščanje – roženični odsev (halo). Prisotnost solz ali očkovic sluzi (mukusa) na epitelu razpršitev svetlobe dodatno okrepi. Ob gledanju v belo svetlobo je opazen bel centralni krog, ki ga obdajajo raznobarvni krogi (rdeče-rumeni, vijolični itd.) (2).

2.2 Entoptični pojavi, povezani s strukturnimi in fiziološkimi lastnostmi mrežnice ter vidno potjo

2.2.1 Mrežnična cirkulacija

Mrežnične žile v normalnih razmerah niso vidne zaradi nevronske adaptacije (2,7,21). Če pa oko presvetlimo z nefiziološkega kota (npr. s strani), padejo sence žilja na neadaptiran del mrežnice. Tako lahko kratkotrajno opazimo žilno risbo (2,7,21). Če se izvor svetlobe ne premakne, pojav kmalu izveni. Žilno risbo pogosto opazijo bolniki med pregledom z biomikroskopom (2,7,21). Med fiziološke pojave nevronske adaptacije prištevamo tudi Troxlerjev učinek, pri katerem ob fiksaciji v določeno točko oz. predmet lahko opazimo, da statične slike periferno od fiksacijske točke v ozadju zbledijo in izginejo (22).

Ob gledanju v enakomerno osvetljeno modro ozadje (modro nebo) lahko opazimo v na videz naključnem redu hitro se premikajoče drobne svetle pike. To poznamo kot učinek modrega polja oz. Scheererjev pojav in se pripisuje gibanju levkocitov v mrežničnem žilju (2,8,23). Pojav je uporaben tudi za ocenitev hitrosti pretoka skozi žilje (*angl. blue field entoptoscopy*) (2,23).

2.2.2 Polarizirajoča svetloba (*angl. Haidinger's brush*)

Človeško oko je zmožno zaznati smer polarizirane svetlobe s pomočjo entoptičnega pojava t. i. Haidingerjevih ščetk (2,7,9). Ob gledanju v izvor polarizirane svetlobe opazimo bledikasta vzorca modre in rumene barve v obliki pentlje, ki se sekata v točki fiksacije. Ob fiksaciji pojav izgine v približno 5 sekundah, lahko pa ga vzdržujemo, če se smer polarizacije spreminja. Pojav je posledica dikromatskih karotenoidnih pigmentov v rumeni pegi, ki so v povprečju usmerjeni pravokotno na Henlejeva vlakna, ki sevajo iz središča foveae (2,7,9). Pojav je uporaben za zgodnje odkrivanje bolezni, ki zajamejo rumeno pego, saj izgine, še preden se pojavijo klinično očitni znaki poškodbe ali edema rumene pege (7-9).

2.2.3 Retinalna pigmentacija (*Maxwell spot*)

Ob opazovanju izvora nevtralne svetlobe skozi hitro izmenjavajoči se zelen in moder filter je opazna centralna temna točka, obdana s svetlejším krogom s halojem

(2,7). Centralni temni krog je posledica absorpcije modre svetlobe v ksantofilnem pigmentu foveae centralis. S pojavom je možno testirati ekscentrično fiksacijo (deviacija koncentričnih krogov) in spremljati potek centralne serozne retinopatije (točka se začne ponovno pojavljati ob izboljšanju stanja) (2,7).

2.2.4 Purkinjevi modri loki (*angl.* blue arcs)

Pri gledanju v medel izvor svetlobe v zatemnjenem prostoru, kadar je vzdražen temporalni parafoveolarni del mrežnice, lahko kratkotrajno (do 1 sekunde) opazujemo dva modro-siva nežno svetleča se loka, ki se bočita nad in pod točko fiksacije (2,7). Izvor imata v viru svetlobe in se širita proti slepi pegi (2,7). Pozicija in orientacija lokov sovпада s potjo parafoveolarnih arkuatnih živčnih vlaken, ki se raztezajo do optičnega diska. Vzrok naj bi bil v sekundarni električni stimulaciji mrežnice z akcijskimi potenciali med prevajanjem v arkuatnem snopu (2,7).

3 Fotopsije in fosfeni

Fotopsije so definirane kot subjektivna zaznavanja svetlobe brez dejanskega fotonskega ali svetlobnega stimulusa (6,14,15). Fotopsije (bliski) (*gr.* phos – svetloba + opis – izgled ali vid) se pojavljajo v obliki strukturiranih slik oz. geometričnih vzorcev (trikotniki, kocke, piramide ipd.) ali kot enostavne ponavljajoče se slike (16). Fotopsije lahko spremljajo številna patološka očesna in sistemska stanja, zato je ugotavljanje njihovega izvora pogosto diagnostični izziv (15).

V veliki večini imajo enostranske fotopsije izvor v očesu (15). Tudi fotopsije, ki so bile primarno enostranske in so se nato razširile na obe strani, imajo najverjetneje izvor v očesu (15). Obojestranske fotopsije nakazujejo na motnje v centralnem živčnem sistemu ali spremljajo sistemske bolezni (6,15). V teh primerih moramo bolnika natančno povprašati tudi o znanih pridruženih boleznih, morebitnih rakavih boleznih, dotedanjih očesnih, znotrajlobanjskih ali drugih kirurških posegih, pa tudi, ali jemljejo zdravila in snovi v rekreacijske ali druge namene z znanimi potencialnimi toksičnimi stranskimi učinki (15).

Posebna skupina fotopsij so nestrukturirane fotopsije ali fosfeni. Fosfene (*gr.* phos – svetloba + phainein – pokazati) bolniki opisujejo kot nestrukturirane statične ali premikajoče se svetlobne vzorce različnih barv, bliske svetlobe, iskre ali cik-cakaste črte (6,15,16).

3.1 Fotopsije

Fotopsije so največkrat posledica stanj, ki neposredno dražijo mrežnico (vitreo-retinalni vlek, vlažna degeneracija makule in edem optičnega diska) (6,15). Predvideva se, da je njihov izvor pretežno v mrežnici in le v okrog 10 % primerov posledica dogajanj v centralnem živčnem sistemu ali predstavljajo znak sistemskih motenj (6,15).

3.1.1 Odstop steklovine

Med pogostejše vzroke fotopsij sodi posteriorni odstop steklovine (*angl.* posterior vitreous detachment) (6,14,15,19,20). Bolniki opažajo enostranske bliske v perifernem delu vidnega polja. Pogosto opažajo tudi motnjave. Značilna je večja motnjava centralno, ki se pojavi nenadoma in se premika (Weissov obroč). Pri odstopu steklovine ni centralne ali periferne izgube vida (19,20). Ob pregledu očesnega ozadja smo pozorni na prisotnost Weissovega obroča in na t. i. »tobačni prah« oz. Schafferjev znak v sprednjem delu steklovine (sproščene retinalne pigmentne celice), kar z veliko verjetnostjo nakazuje na raztrganino mrežnice (19,20). Pojav izpada na perifernem delu vidnega polja je lahko znak odstopa mrežnice (19,20). Bolniki to pogosto opisujejo kot pojav sence ali zaves, ki zastira vid in se iz periferije širi preko centra (19,20).

3.1.2 Starostna degeneracija rumene pege

Pogost vzrok fotopsij je tudi vlažna starostna degeneracija rumene pege (6). Približno 50 % bolnikov s tem tipom degeneracije rumene pege opaža belkaste bliske, pulzacije in svetlikanje (6). Pri napredovanju bolezni se z nastankom horoidalnih neovaskularnih membran povečuje tudi verjetnost pojava fotopsij (6). Za razliko od odstopa steklovine, kjer je dražen notranji del mrežnice ob vitreo-retinalnem stiku, so tu draženi zunanji deli mrežnice (6). Razlikovanje med obema na podlagi fotopsij je lahko težavno, se pa pri starostni degeneraciji rumene pege fotopsije pogosteje pojavljajo v centralnem, pri odstopu steklovine pa v perifernem delu vidnega polja (6).

3.1.3 Centralna serozna hiororetinopatija

Pri bolnikih s seroznim odstopom nevrosenzoričnega dela mrežnice v predelu rumene pege z okolno izgubo ali hiperplazijo retinalnega pigmentnega epitela

se pojavljajo enostranski belkasti bliski v centralnem delu vidnega polja, ki trajajo do nekaj sekund (6,15). Pojavljajo se dnevno do nekajkrat tedensko. Podobne fotopsije povzročajo tudi druga stanja, ki prizadenejo zunanje plasti mrežnice z vključenostjo rumene pege (Bestova bolezen, makularne distrofije) (6,15).

3.1.4 Diabetična retinopatija

Pri sladkornih bolnikih s proliferativno diabetično retinopatijo se kot posledica dolgotrajne hipoksije mrežnice pojavi neovaskularizacija in tvorba fibrovaskularnega tkiva (24). To tkivo z rastjo in s krčenjem povzroča vlek na vitreoretinalnem stiku, kar povzroči fotopsije. Ta vlek lahko povzroči tudi traksijski odstop mrežnice s potencialno krvavitvijo v steklovini (24). Bolniki s traksijskim odstopom mrežnice opažajo motnjave, bliskanje (fotopsije) in »zaveso« v vidnem polju.

Obojestranske fotopsije so opisali tudi pri sladkornih bolnikih, ki prejemajo inzulin med epizodami hipoglikemije, ki so ob normalizaciji vrednosti krvnega sladkorja izginile (6).

3.1.5 Optični nevritis

Pri optičnem nevritisu se poleg bolečin pri premikanju zrkla lahko pojavljajo tudi fotopsije (25-27). Bolniki jih opazijo, ko vstopijo v zatemnjen prostor in jih opisujejo kot svetle barvite kratkotrajne bliske. Gibanje zrkla v horizontalni smeri jih okrepi (25-27). Opazili so, da se pojav sčasoma izčrpa (25-27). Vzrok nastanka fotopsij pripisujejo mehanski deformaciji zaradi procesa demielinizacije bolj vzdraženega optičnega živca ob gibih zrkla in ga opisujejo kot vidni ekvivalent Lhermittovega znaka (25-27).

3.1.6 Retinitis pigmentosa

Bolniki s pigmentoznim retinitisom so opisovali pojav obojestranskih manjših, belkastih bliskov v centralnem delu vidnega polja (6,15). Opažali so jih tako v temnih kot v svetlih prostorih. Pri nekaterih so bili prisotni ves čas, pri drugih pa so se pojavljali večkrat dnevno (6,15). Opisano je tudi, da jih je lahko sprožilo močno mežikanje (6,15).

3.1.7 Paraneoplastična retinopatija

V sklopu z rakom povezane (paraneoplastične) retinopatije, ki je redka avtoimuna bolezen, se razvijejo protitelesa proti mrežničnim antigenom (28-30).

Najpogosteje se pojavlja ob drobno-celičnem raku pljuč (28-30). Posledica je disfunkcija fotoreceptorjev, kar pri bolnikih povzroča pojav fotopsij. Opažajo tudi bleščanje, poslabšanje vidne ostrine, poslabšanje barvnega vida, nočno slepoto in skotome (28-30).

3.1.8 Insuficienca vertebrobazilarnih arterij

Obojestransko fotopsijo v obliki polomljenih bliskov, ki trajajo nekaj sekund do nekaj minut (6,31) opažajo bolniki z insuficienco vertebrobazilarnih arterij. Stanje spremlja tudi vrtoglavica, slabost, ataksija in splošna oslabelost (31). Simptomi so lahko podobni migrenskim napadom, vendar ne trajajo tako dolgo in jim ne sledi glavobol (6,32).

3.1.9 Fotopsije, povezane z epizodami napada hudega kašlja

Opisani so primeri bolnikov, ki so med napadi hudega kašlja opažali obojestranske temporalno umeščene kratkotrajne bliske (6). Pojavljali so se obojestransko hkrati ali izmenično levo in desno v različnih časovnih presledkih. Vzrok za nastanek pripisujejo naglemu premiku steklovine med naprežanjem in s tem vleku na mrežnico (6). V nobenem primeru niso potrdili posteriornega odstopa steklovine (6).

3.1.10 Sindrom Charles Bonnet

Ob poškodbi ali okvari vidne poti se v sklopu sindroma Charles Bonnet lahko pojavijo enostranske ali obojestranske t. i. »release« halucinacije (33,34). Bolniki vidijo večbarvne oblike, gredi, celo obraze in silhete, kar traja nekaj sekund do nekaj minut (6). Ob tem se zavedajo, da pojavi niso resnični (33,34). Mehanizem še ni dokončno pojasnjen, splošno pa je sprejeta teorija senzorične deprivacije, po kateri naj bi dolgotrajno pomanjkanje stimulusa vidnega korteksa povzročilo povečano vznemirljivost nevronov, kar naj bi vodilo v naključno proženje akcijskih potencialov ob malo stimulacije ali brez nje (35). Pojav je pogostejši pri posameznikih z obojestransko znižano vidno ostrino in pri bolnikih, ki so imeli po očesnih operacijah dalj časa pokrito oko (33-36).

3.1.11 Migrenski glavobol

Binokularne fotopsije ali bliski najpogosteje predstavljajo vidne avre v sklopu migrenskih glavobolov in se pogosto imenujejo »vizualna migrena« (6,15,37-39).

Njihov izvor je v okcipitalnem možganskem režnju in ne v strukturah očesa ali mrežnice, zato prizadenejo vid obeh oces hkrati (37,38). Zanje je značilen scintilirajoči skotom (*lat.* scotoma scinitillans), ki nastopi pred migrenskim glavobolom in se redko pojavlja tudi brez glavobola (acefalgčno) (6,15,37-39). Začne se kot točka bliskajoče se svetlobe blizu centra vidnega polja, ki se nato postopoma širi navzven in največkrat prizadene vidno polje obeh oces. Vid zunaj robov skotoma je običajno ohranjen, skotom pa lahko tudi popolnoma zapolni vidno polje (6,37,38).

3.1.12 Retinalna migrena

Od »klasične« migrene je potrebno kot posebno entiteto ločiti retinalno ali »očesno« migreno (37,39). Ta ima izvor v očesu in zato prizadene vid le enostransko, torej v tistem očesu, kjer nastane (37,39). Zanje so značilne prehodne enostranske epizode pozitivnih (utri-pajoči žarki svetlobe, cik-cakasti vzorci in dojemanje svetlikajočih se barvnih prog, obročev ali diagonalnih črt) ali negativnih pojavov v vidnem polju (zamegljen vid, temne pike – skotomi ali kratkotrajna popolna slepota) (37,39). Tem v roku ene ure lahko sledi migrenski glavobol (37,39). Patofiziologija nastanka ni povsem znana. Po eni od teorij je vzrok v vazospazmu retinalnega ali ciliarnega obtoka, ki povzroči ishemijo vidnega živca, po drugi pa je vzrok v širjenju depolarizacije po retinalnih nevronih (37,39). Za postavitev diagnoze je potrebno izključiti vse ostale možne vzroke za prehodne enostranske motnje v vidnem polju (diagnoza izločanja), vedno pa je potrebno izključiti t. i. *amaurosis fugax* (37,39).

3.1.13 Ostali vzroki fotopsij

Čeprav niso vodilni simptom, fotopsije spremljajo tudi številna druga stanja. Prisotnost stalnega vijoličastega bliskanja nakazuje mrežnično ishemijo (6). Opisovali so ga ob zapori centralne mrežnične arterije, njenih vej in ob zapori centralne mrežnične vene (6,15). Podobno fotopsije spremljajo edem vidnega živca in optične nevropatije (15).

Obojestranske fotopsije se lahko pojavijo tudi pri bolnikih z ortostatsko hipotenzijo (6). Prav tako se obojestranske fotopsije pojavljajo pri prizadetosti posteriorne vidne poti, npr. pri žilnih vzrokih (arterio-venske malformacije, infarkti, tromboza venskih sinusov), infarktih v okcipitalnem režnju, kot pojav okcipitalne epilepsije in pri prionskih boleznih (15).

Daljši seznam fotopsij je v [Tabeli 2](#).

3.2 Fosfeni

Fosfeni so fotopsije, ki jih opisujemo ločeno, ker jih bolniki opisujejo kot nestrukturirane statične ali premikajoče se svetlobne vzorce različnih barv (mavrične, bele, črne) ali kot iskre, bliske in cik-cakaste črte (16). Povezani so z naključnim aktiviranjem posameznih nevronov v katerem koli delu vidne poti (od mrežnice do genikulatnega in striatnega korteksa) (5,12,16,27). Najpogostejši so deformacijski fosfeni, ki nastanejo zaradi digitalnega pritiska na zrklo (3,5,12). Lahko nastanejo tudi: zaradi vleka in pritiska na vidnem živcu (2,3), zaradi krčenja ciliarne mišice (2,40), zaradi vpliva zunajočesnih mišic na mrežnico ob nagli ali dolgotrajni akomodaciji (2,40,41) in pri konvergenci (2,3,40).

Fosfeni se pojavljajo tudi ob izpostavitvi elektromagnetnemu sevanju, npr. pri transkranični magnetni stimulaciji (2,5,12,42,43) ali ob izpostavitvi izmeničnemu toku ob transkranični električni stimulaciji (2,5,12,16,42,43). Ob izpostavljenosti rentgenskim žarkom so ljudje opažali homogeno zelenkasto obarvanje celotnega vidnega polja. Vzrok naj bi bil v neposrednem ionizirajočem vplivu na pigment palčk in čepkov (44). Ker je pojav možen le v očesu, ki lahko zaznava svetlobo, je pojav potencialno uporaben za testiranje mrežnične funkcije ob motnih optičnih medijih očesa (43,44). Podoben pojav so opažali bolniki, izpostavljeni ionizirajočemu sevanju (β -žarki), pri čemer pride do fluorescence samih očesnih medijev (2,5,12,44).

O bliskih in snopih modro-bele svetlobe so poročali tudi astronauti, izpostavljeni kozmičnim žarkom med vesoljskimi poleti (2,5,12,16,45).

3.2.1 Stranski učinki nekaterih zdravil

V literaturi je opisanih več kot 300 zdravil iz različnih skupin, ki lahko povzročajo vidne senzacije, torej fosfene, in tudi vidne halucinacije (46). Fosfeni se pojavljajo pogosto pri bolnikih, ki prejemajo zdravila iz skupine zaviralcev fosfodiesteraz, inhibitorjev kalcijevih kanalčkov ter srčnih glikozidov (12,47).

Zastrupitev z digoksinom povzroča obojestranske rumenkaste bliske svetlobe (6,15). Visoki odmerki antipsihotika kvetiapina (Kventiax, Kvelux) in antimikotika vorikonazola (Vfend) lahko povzročijo vztrajajoče se bliskanje (15). Rekreativne droge iz skupine alkil nitrinov (t. i. »poppers«) lahko povzročajo pojav bliskanja kot tudi morfološke spremembe v rumeni pegi s poslabšanjem vidne ostrine (t. i. poppers-makulopatija) (15).

Tabela 2: Razdelitev fotopsij. Prevezeto po Virdee J, 2020 (15).

Vzroki enostranskih fotopsij		
	mehanski	odstop steklovine
		raztrganina/odstop mrežnice
Rumena pega		starostna degeneracija rumene pege
		centralna serozna retinopatija
	dedni	Bestova bolezen
Mrežnica	vnetni	sindromi belih pik: APMPE, MEWDS, AZOOR, MCP, horioretinopatija birdshot in serpiginozni horioditis, vključno s sindromom akutnega idiopatskega povečanja slepe pege
		akutna makularna nevoretinopatija
	neoplastični	melanom žilnice
		metastaze žilnice
	žilni	zapore mrežnične arterije (centralne, cilioretinalne)
Optični živec		enostranski edem papile vidnega živca optična nevropatija
Enostranske fotopsije se lahko postopoma razširijo na obe očesi		
Vzroki obojestranskih fotopsij		
		edem papile vidnega živca
	paraneoplastični	retinopatija v povezavi s karcinomom
		retinopatija v povezavi z melanomom
Anteriorna vidna pot		Sindrom Charles-Bonnet
Posteriorska vidna pot		migrena z avro
		avra brez migrenskega glavobola
		okcipitalna epilepsija
		vizualni snežni sindrom
	žilni	tranzitorna ishemična ataka
		možganska kap
		tromboza cerebralnega venskega sinusa
		vertebrobazilarna insuficienca
		arterio-venska malformacija
	vnetni	sindrom reverzibilne posteriorne encefalopatije
	iatrogeni	globoka možganska stimulacija
	infektivni	prionske bolezni (Creutzfeldt-Jakobova bolezen)
	neoplastični	katerikoli tip

Legenda: APMPE – akutna posteriorna multifokalna plakoidna pigmentna epiteliopatija (*angl.* acute posterior multifocal placoid pigment epitheliopathy); AZOOR – akutna okultna retinopatija zunanjih slojev (*angl.* acute zonal occult outer retinopathy); MEWDS – sindrom izginjajočih belih pik (*angl.* multiple evanescent white dot syndrome); MCP – multifokalni horioditis in panuveitis (*angl.* multifocal choroiditis and panuveitis).

4 Zaključek

V večini primerov entoptični pojavi, opisani v prvem delu članka, ne predstavljajo resnih ali nevarnih stanj, ki prizadenejo vid. Fotopsije in fosfeni, opisani v drugem delu članka, pa so stanja, ki jih moramo zdravniki vedno upoštevati ter pri anamnezi od bolnika poskušati ugotoviti čas nastajanja, trajanje in pogostost pojava, interval ponavljanja, morebitne sprožilne dejavnike in čim natančnejši opis pojava (lokalizacija, barva, oblika, premikanje). Lokalizacija bliskajočega se pojava je pomembna. Bliski svetlobe na robu vidnega polja so v večini primerov znak vleka na periferni del mrežnice. Kadar se bliski svetlobe pojavljajo bolj centralno, nakazujejo na boleznirumene pege ali spremembe v centralnem živčnem sistemu.

Pomembna je tudi lateralizacija pojava. Večinoma so enostranske fotopsije očesnega izvora, medtem ko je pojav obojestranskih fotopsij znak motenj v centralnem

živčnem sistemu ali splošnih stanj, kot so hiperglikemija, hipoglikemija ali ortostatska hipotenzija.

Za zdravnike, predvsem pa oftalmologe, je poznavanje entoptičnih pojavov, fotopsij in fosfenov nujno, ne zgolj za širitev temeljnega medicinskega znanja, temveč tudi zaradi lažjega interpretiranja simptomov, ki jih bolniki lahko zaznavajo in s katerimi se pogosto srečujemo pri svojem delu.

Čeprav bolniki te pojave opisujejo subjektivno in različno, bo dobro podkovan klinični zdravnik vedno poslušal opis bolnika in iz opisa dogodka poskušal ugotoviti, ali gre za resen pojav, ki potrebuje razširjeno diagnostično obdelavo, ali pa gre za nenevaren oz. fiziološki pojav, ki ne predstavlja tveganja za zdravje in tudi ne potrebuje širše ali invazivne diagnostične obravnave.

Izjava o navzkrižju interesov

Avtorja nimava navzkrižja interesov.

Literatura

- Friedman B. Observations on Entoptic Phenomena. *Arch Ophthalmol.* 1942;28(2):285-312. DOI: [10.1001/archophth.1942.00880080103012](https://doi.org/10.1001/archophth.1942.00880080103012)
- Trick GL, Kronenberg A. Entoptic Imagery and Afterimages. In: Duane TD, Tasman W, Jaeger EA, Anderson DR, Glaser JS, et al. *Entoptic Imagery and Afterimages*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- Tyler CW. Some new entoptic phenomena. *Vision Res.* 1978;18(12):1633-9. DOI: [10.1016/0042-6989\(78\)90255-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(78)90255-9) PMID: 726316
- Brewerton EW. President's Address: entoptic Phenomena. *Proc R Soc Med.* 1930;24(1):45-8. DOI: [10.1177/003591573002400111](https://doi.org/10.1177/003591573002400111) PMID: 19987826
- Salari V, Scholkmann F, Vimal RL, Császár N, Aslani M, Bókkon I. Phosphenes, retinal discrete dark noise, negative afterimages and retinogeniculate projections: A new explanatory framework based on endogenous ocular luminescence. *Prog Retin Eye Res.* 2017;60:101-19. DOI: [10.1016/j.preteyeres.2017.07.001](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2017.07.001) PMID: 28729002
- Brown GC, Brown MM, Fischer DH. Photopsias: A Key to Diagnosis. *Ophthalmology.* 2015;122(10):2084-94. DOI: [10.1016/j.ophtha.2015.06.025](https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.06.025) PMID: 26249730
- Bowen SFJ. Retinal entoptic phenomena. *Arch Ophthalmology.* 1963;69(5):551-5. DOI: [10.1001/archophth.1963.00960040557003](https://doi.org/10.1001/archophth.1963.00960040557003) PMID: 14014601
- Priestley BS, Foree K. Clinical significance of some entoptic phenomena. *AMA Arch Ophthalmol.* 1955;53(3):390-7. DOI: [10.1001/archophth.1955.00930010392010](https://doi.org/10.1001/archophth.1955.00930010392010) PMID: 14349448
- Temple SE, McGregor JE, Miles C, Graham L, Miller J, Buck J, et al. Perceiving polarization with the naked eye: characterization of human polarization sensitivity. *Proc Biol Sci.* 2015;282(1811):282. DOI: [10.1098/rspb.2015.0338](https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0338) PMID: 26136441
- De Chales CF. *Cursus seu mundus mathematicus*. Lugduni: ExOfficina Anissoniana; 1674.
- Listing JB. *Beitrag zur physiologischen Optik*. Göttingen: Bei Vandenhoeck und Ruprecht; 1845.
- Bókkon I. Phosphene phenomenon: a new concept. *Biosystems.* 2008;92(2):168-74. DOI: [10.1016/j.biosystems.2008.02.002](https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2008.02.002) PMID: 18358594
- Donders FC. *On the Anomalies of Accommodation and Refraction of the Eye: With a Preliminary Essay on Physiological Dioptrics*. London: New Sydenham Society; 1864.
- Lumi X, Hawlina M, Glavač D, Facsó A, Moe MC, Kaarniranta K, et al. Ageing of the vitreous: from acute onset floaters and flashes to retinal detachment. *Ageing Res Rev.* 2015;21:71-7. DOI: [10.1016/j.arr.2015.03.006](https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.03.006) PMID: 25841656
- Virdee J, Mollan SP. Photopsia. *Pract Neurol.* 2020;20(5):415-9. DOI: [10.1136/practneurol-2019-002460](https://doi.org/10.1136/practneurol-2019-002460) PMID: 32536606
- Celesia GG. The mystery of photopsias, visual hallucinations, and distortions. *Suppl Clin Neurophysiol.* 2006;59:97-103. DOI: [10.1016/s1567-424x\(09\)70018-2](https://doi.org/10.1016/s1567-424x(09)70018-2) PMID: 16893099
- van den Berg TJ, Hagenouw MP, Coppens JE. The ciliary corona: physical model and simulation of the fine needles radiating from point light sources. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46(7):2627-32. DOI: [10.1167/iovs.04-0935](https://doi.org/10.1167/iovs.04-0935) PMID: 15980257
- Mellerio J, Palmer DA. Entoptic halos. *Vision Res.* 1970;10(7):595-9. DOI: [10.1016/0042-6989\(70\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0042-6989(70)90053-2) PMID: 5491508
- Sharma P, Sridhar J, Mehta S. Flashes and Floaters. *Prima Care.* 2015;42(3):425-35. DOI: [10.1016/j.pop.2015.05.011](https://doi.org/10.1016/j.pop.2015.05.011) PMID: 26319347
- Hollands H, Johnson D, Brox AC, Almeida D, Simel DL, Sharma S. Acute-onset floaters and flashes: is this patient at risk for retinal detachment? *JAMA.* 2009;302(20):2243-9. DOI: [10.1001/jama.2009.1714](https://doi.org/10.1001/jama.2009.1714) PMID: 19934426
- Mark HH. The entoptic view of the retinal vessels. *Acta Ophthalmol.* 2014;92(3):e237-40. DOI: [10.1111/aos.12192](https://doi.org/10.1111/aos.12192) PMID: 23890291
- Simons D, Lleras A, Martinez-Conde S, Slichter D, Caddigan E, Nevarez G. Induced visual fading of complex images. *J Vis.* 2006;6(10):1093-101. DOI: [10.1167/6.10.9](https://doi.org/10.1167/6.10.9) PMID: 17132081
- Sinclair SH, Azar-Cavanagh M, Soper KA, Tuma RF, Mayrovitz HN. Investigation of the source of the blue field entoptic phenomenon. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1989;30(4):668-73. PMID: 2703307

24. Masharani U. Diabetes Mellitus & Hypoglycemia. In: Papadakis MA, McPhee SJ, Rabow MW. *Current Medical Diagnosis & Treatment*. New York: McGraw Hill; 2018. pp. 1222-68.
25. Davis FA, Bergen D, Schauf C, McDonald I, Deutsch W. Movement phosphenes in optic neuritis: a new clinical sign. *Neurology*. 1976;26(11):1100-4. DOI: [10.1212/WNL.26.11.1100](https://doi.org/10.1212/WNL.26.11.1100) PMID: 988518
26. Swerdloff MA, Zieker AW, Krohel GB. Movement Phosphenes In Optic Neuritis. *J. J Clin Neruo-ophthlamol*. 1981;1(4):279-282.
27. Page NG, Bolger JP, Sanders MD. Auditory evoked phosphenes in optic nerve disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1982;45(1):7-12. DOI: [10.1136/jnnp.45.1.7](https://doi.org/10.1136/jnnp.45.1.7) PMID: 7062073
28. Moyer K, DeWilde A, Law C. Cystoid macular edema from cancer-associated retinopathy. *Optom Vis Sci*. 2014;91(4):S66-70. DOI: [10.1097/OPX.000000000000184](https://doi.org/10.1097/OPX.000000000000184) PMID: 24531653
29. Grange L, Dalal M, Nussenblatt RB, Sen HN. Autoimmune retinopathy. *Am J Ophthalmol*. 2014;157(2):266-272.e1. DOI: [10.1016/j.ajo.2013.09.019](https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.09.019) PMID: 24315290
30. Grewal DS, Fishman GA, Jampol LM. Autoimmune retinopathy and antiretinal antibodies: a review. *Retina*. 2014;34(5):827-45. DOI: [10.1097/IAE.000000000000119](https://doi.org/10.1097/IAE.000000000000119) PMID: 24646664
31. Lima Neto AC, Bittar R, Gattas GS, Bor-Seng-Shu E, Oliveira ML, Monsanto RD, et al. Pathophysiology and Diagnosis of Vertebrobasilar Insufficiency: A Review of the Literature. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2017;21(3):302-7. DOI: [10.1055/s-0036-1593448](https://doi.org/10.1055/s-0036-1593448) PMID: 28680502
32. Horton JC. Disorders of the Eye. In: Kasper D, Fauci A, Hauser S, Longo D, Jameson JL, Loscalzo J. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 19e. New York (NY): McGraw-Hill Education; 2014.
33. Allen RC, Harper RA. *Basic ophthalmology: essentials for medical students*. 10th ed. San Francisco: American Academy of Ophthalmology; 2016.
34. Pang L. Hallucinations Experienced by Visually Impaired: Charles Bonnet Syndrome. *Optom Vis Sci*. 2016;93(12):1466-78. DOI: [10.1097/OPX.0000000000000959](https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000959) PMID: 27529611
35. Vahdani K, Poon JS, Antoniou E, Giasin O, Makrygiannis G. Charles Bonnet Syndrome Following Eyelid Reconstruction Surgery. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2017;33(3):229-230. DOI: [10.1097/IOP.0000000000000892](https://doi.org/10.1097/IOP.0000000000000892) PMID: 28475529
36. Beaulieu RA, Tamboli DA, Armstrong BK, Hogan RN, Mancini R. Reversible Charles Bonnet Syndrome After Oculoplastic Procedures. *J Neuroophthalmo*. 2018. ;38(3)pp. 339-6. DOI: [10.1097/WNO.0000000000000477](https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000000477) PMID: 27984353
37. Marzoli SB, Criscuoli A. The role of visual system in migraine. *Neurol Sci*. 2017;38(S1):99-102. DOI: [10.1007/s10072-017-2890-0](https://doi.org/10.1007/s10072-017-2890-0) PMID: 28527076
38. Vincent MB. Vision and migraine. *Headache*. 2015;55(4):595-9. DOI: [10.1111/head.12531](https://doi.org/10.1111/head.12531) PMID: 25758366
39. Grosberg BM, Solomon S, Friedman DI, Lipton RB. Retinal migraine reappraised. *Cephalalgia*. 2006;26(11):1275-86. DOI: [10.1111/j.1468-2982.2006.01206.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-2982.2006.01206.x) PMID: 17059434
40. Comberg D. Die Ausdehnung des Akkommodationsphosphens im Gesichtsfeld. *Ophthalmologica*. 1970;161(5):499-503. DOI: [10.1159/000306193](https://doi.org/10.1159/000306193) PMID: 5495530
41. Berlin E. Ueber das Accommodationsphosphen. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1874;20(1):89-96. DOI: [10.1007/BF01692888](https://doi.org/10.1007/BF01692888)
42. Kar K, Krekelberg B. Transcranial electrical stimulation over visual cortex evokes phosphenes with a retinal origin. *J Neurophysiol*. 2012;108(8):2173-8. DOI: [10.1152/jn.00505.2012](https://doi.org/10.1152/jn.00505.2012) PMID: 22855777
43. Merabet LB, Theoret H, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation as an investigative tool in the study of visual function. *Optom Vis Sci*. 2003;80(5):356-68. DOI: [10.1097/00006324-200305000-00010](https://doi.org/10.1097/00006324-200305000-00010) PMID: 12771661
44. Lipetz LE. The X Ray and Radium Phosphenes. *Brit J Ophthalmol*. 1955. ;39(10)-98. PMID: 13260555
45. Fuglesang C, Narici L, Picozza P, Sannita WG. Phosphenes in low earth orbit: survey responses from 59 astronauts. *Aviat Space Environ Med*. 2006;77(4):449-52. PMID: 16676658
46. Fountain A. Before you blame the morphine: visual hallucinations in palliative care. *CME Cancer Med*. 2002;1(1):23-6.
47. Zrenner E, Hart W. Drug-Induced and Toxic Disorders in Neuro-Ophthalmology. In: Schiefer U, Wilhelm H, Hart W. *Clinical Neuro-Ophthalmology: A Practical Guide*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. pp. 223-32. DOI: [10.1007/978-3-540-32708-0_17](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32708-0_17)