

Zjawiska entoptyczne



Dr hab. MAREK ZAJĄC

Foto: archiwum Autori

Termin zjawiska entoptyczne (obrazy entoptyczne, ang. *Entoptic Phenomena*) odnosi się do efektów wzrokowych, które są generowane przez struktury oka, ale nie są związane bezpośrednio z obrazem siatkówkowym obserwowanych obiektów i scen zewnętrznych. Źródło tych zjawisk znajduje się w samym oku, a są one powodowane przez procesy fizjologiczne lub patologiczne zachodzące w nim.

Już H. Helmholtz [I] spostrzegł, że niektóre osoby mogą łatwo dostrzegać pewne efekty wizualne, które dziś nazywamy obrazami entoptycznymi, a inne nie. Wynika to ze specyficznych cech oka, które są unikatowe dla każdej osoby. Ze względu na zmienność osobniczą i brak możliwości obserwowania obrazów entoptycznych przez obserwatora zewnętrznego zjawiska te są trudne do opisanego czy zarejestrowania. Nie są to jednak ani złudzenia optyczne, ani omamy wzrokowe, ani halucynacje. Mają, co prawda, wspólną cechę z nimi, gdyż są odczuwane tylko przez samego obserwatora, wymagają jego bezpośredniej uwagi i w zasadzie nie mogą być (poza pewnymi wyjątkami) rejestrowane metodami obiektywnymi. Różnią się jednak od nich, gdyż z reguły nie są wynikiem subiektywnej percepcji, ale mają fizyczne przyczyny.

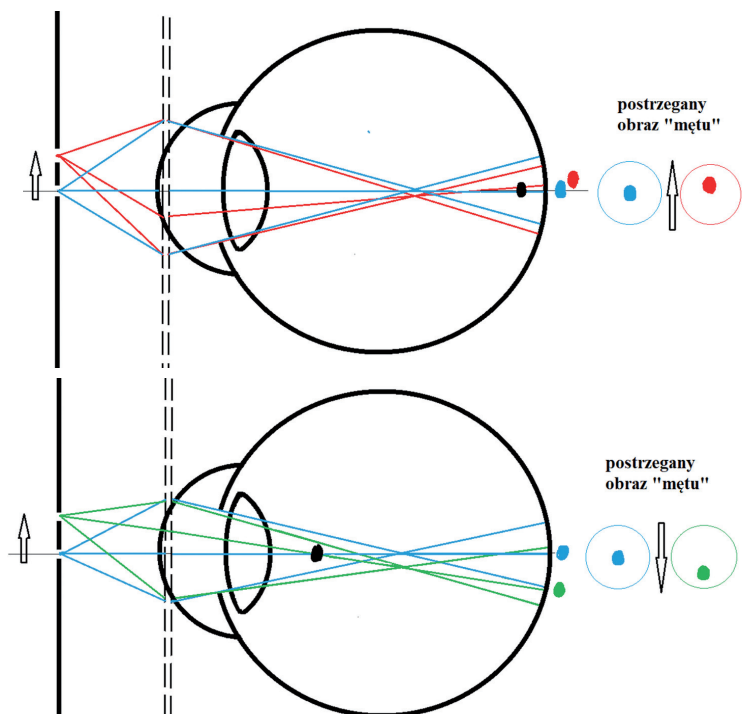
Ścisłe rzecz biorąc, zjawiska entoptyczne są w większości autowizualizacją pewnych struktur w oku przy szczególnej geometrii oświetlenia. Może to dotyczyć struktur prawidłowych dla oka lub patologicznych niedoskonałości, takich jak zmętnienia w ciele szklistym lub wady soczewki. Poszczególne elementy wnętrza gałki ocznej, z wyjątkiem cieczy wodnistej, zwłaszcza te, o strukturze komórkowej, charakteryzują się niejednorodnościami współczynnika załamania i nie zawsze są idealnie przezroczyste, co jest częstym źródłem zjawisk entoptycznych. Zjawiska entoptyczne mogą także powstawać w wyniku różnych, nieoptycznych rodzajów stymulacji (mechanicznej, promieniowaniem, działaniem czynników endogennych [II]); istnieje szereg zjawisk wynikających z tych niespecyficznych bodźców. Na przykład trakcja siatkówki czy nacisk nerwu wzrokowego mogą wywoływać różne wrażenia przypominające obrazy wizualne, powodując subiektywną świadomość tych struktur.

Na początku XIX w. J. E. Purkinje [III] opisał po raz pierwszy chwilowy, szybko zanikający cień, jaki naczynia krwionośne rzucają na warstwę fotoreceptorów, gdy oświetlony jest przedni odcinek oka co jest obecnie zaliczane do typowych zjawisk entoptycznych. Termin „entoptyczny” (od starogreckiego *ἐντός* [entós] „wewnątrz” i *ὀπτικός* [optikós] „wizualny”) został użyty po raz pierwszy przez J. B. Listinga [IV] w 1845 roku.

Przed powstaniem oftalmoskopii niektóre zjawiska entoptyczne były wykorzystywane do wykrywania patologicznych zmian w gałce ocznej. Takie zjawiska jak drzewo Purkiniego, figury Haidingera, plamka Maxwella i zjawisko Scheerera mogą być wciąż wykorzystane do subiektywnej oceny funkcji siatkówki u pacjentów z zaćmą. Ogólnie jednak testy te są często zbyt subiektywne, trudne do wiarygodnego przeprowadzenia lub nie wykazują wystarczająco dobrej korelacji z widzeniem, aby można je było stosować rutynowo. Obecnie straciły one duże znaczenie jako narzędzie diagnostyczne, niemniej jednak znajomość tych zjawisk może być przydatna, ponieważ zmiany w subiektywnym postrzeganiu obrazów entoptycznych często poprzedzają obiektywnie zauważalne zmiany patologiczne wykrywane za pomocą obiektywnych technik badawczych. Z drugiej strony zjawiska entoptyczne często powodują zaniepokojenie u dostrzegających je osób, które obawiają się, że są one oznakami schorzeń układu wzrokowego. Najczęściej mają charakter uciążliwych dystrakcji, jednak niegroźnych z punktu widzenia zdrowia, ale mogą również wskazywać na patologiczne zmiany w oku lub stanowić objawy chorób neurologicznych, lub ogólnoustrojowych, które wpływają na widzenie. Znając przyczyny zjawisk entoptycznych, dokładnie pytając pacjentów o ich historię medyczną i przeprowadzając kompleksowe badanie okulistyczne, można z dużym prawdopodobieństwem wykluczyć poważniejsze procesy patologiczne.

W zależności od miejsca powstania, zjawiska entoptyczne można podzielić na zjawiska wynikające z nieregularności struktur optycznych oka oraz zjawiska zależne od fizjologii siatkówki i drogi wzrokowej. Te dwie kategorie nie są niezależne, ponieważ niezakłócone widzenie wymaga skoordynowanego działania obu składowych układu wzrokowego. Nieregularności struktur oka wywołują zjawiska, które możemy określić jako geometryczne – gdy mamy do czynienia z elementami nieprzezroczystymi (zmętnieniami) rzucającymi cienie, refrakcyjne – gdy promienie świetlne przechodzą przez miejsca o różnej gęstości, zmieniając kierunek, bądź też jako dyfrakcyjne powstające wskutek ugięcia światła na obrzeżach takich struktur.

Wielkość cienia rzuconego przez zmętnienie i jego charakter zależy nie tylko od jego wielkości, ale także od odległości od tylnego bieguna gałki ocznej. Lokalizację niejednorodności wewnątrz gałki ocznej łatwo ocenić na podstawie względnej paralaksy entoptycznej. Przesuwanie otworka punktowego (tzw. pinhola) przed okiem powoduje ruch cienia rzutowanego na siatkówkę. Gdy niejednorodność znajduje się blisko źrenicy, ruch ten jest znacznie szybszy niż w sytuacji, gdy



Rys. 1. Wpływ lokalizacji zmętnienia w gałce ocznej na ruch jego cienia na siatkówce przy zmianie kierunku oświetlenia [1]

niejednorodność leży blisko tylnego bieguna gałki ocznej. Im bliżej źrenicy znajduje się niejednorodność, tym większe jest względne przesunięcie (rys. 1). A przecież problemy wzrokowe związane z niejednorodnościami struktur oka są najbardziej uciążliwe, gdy znajdują się one w jego tylnej części.

Najwyraźniejszy cień powstaje, wtedy gdy element nieprzezroczysty ma stosunkowo duże rozmiary, dość wyraźnie określone granice i leży blisko dna oka. Struktury o charakterze nieciągłości są postrzegane jako ciemniejsze chmury. Małe elementy powodują dyfrakcję światła i obraz powstały na siatkówce ma charakter dyfrakcji typu Fresnela, która charakteryzuje się występowaniem prążków na skrajach cienia.

Zjawiska entoptyczne związane ze strukturami gałki ocznej Przedni odcinek oka

Przedni odcinek oka obejmuje część gałki ocznej od rogówki poprzez tęczęwkę z otworem źrenicznym do soczewki. Nieco rozszerzając ten zakres, można do tej listy dołączyć jeszcze powieki i rzęsy. Światło wpadające do oka przechodzi przez wszystkie te struktury a każda niejednorodność może odwzorowywać się na siatkówce tworząc obraz niezwiązany z obserwowanym obiektem, a więc klasyfikowany jako obraz entoptyczny.

Przy patrzeniu na równomiernie oświetlone tło przez otworek steno-pieczny zauważalne są jej krawędzie. Możliwe jest zatem autoobserwowanie nieregularności krawędzi tęczęwki w szczególności ich nierówności, a także zwężenie i rozszerzenie się źrenicy, jakie następuje przy zmianie intensywności oświetlenia. Na jasny obraz źrenicy nakładają się cienie rzęs, które wydają się pojawiać i znikać podczas ruchu powiekami. Dolne rzęsy wydają się być na górze a górne na dole z powodu odwrócenia obrazu spowodowanego przez układ optyczny oka. Jeżeli rzęsy uznać za część oka to cienie, a ściślej biorąc wynik dyfrakcji na rzęsach także można uznać za obrazy entoptyczne.

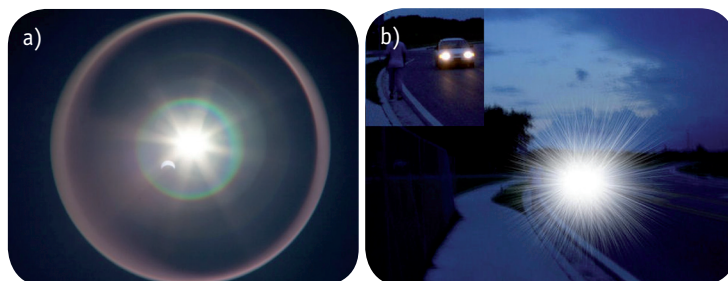
Film łzowy na powierzchni rogówki może być zauważany jako jasny, podłużny pasek z ciemnym marginesem, utworzonym przez menisk łzowy lub jako układ poziomych linii (prążków) zmieniających się przy mruganiu. Nadmierne wydzielanie śluzu i łozu z gruczołów Meiboma (np. w wyniku stanów zapalnych) może prowadzić do postrzegania cieni w postaci jasnych plam otoczonych ciemnymi pierścieniami na wzór

mozaiki, poruszających się w górę i w dół przy zamykaniu i otwieraniu powiek.

Zbyt ciasny dobór sztywnych soczewek kontaktowych lub zbyt mocne mrużenie oczu mogą prowadzić do powstawania fałd rogówki, które są postrzegane jako układy poziomych pasm lub linii rozciągających się na całej szerokości obrazu źrenicy, które zmieniają położenie przy powolnym zamykaniu lub otwieraniu powiek. Odształcenia rogówki, które powstają w wyniku delikatnego nacisku palca na rogówkę przez zamkniętą powiekę również można uwidoczniać entoptycznie. Cienie te zazwyczaj wyglądają jak wzory mozaikowe i uważa się, że powstają w wyniku uniesienia fragmentów błony Bowmana, które powstają w czasie spłaszczania rogówki.

Niejednorodności w rogówce i soczewce

Do fizjologicznych zjawisk entoptycznych należy wynik ugięcia lub rozproszenia światła na niejednorodnościach rogówki, lub soczewki ocznej. Chodzi tu zarówno o niejednorodności fizjologiczne wynikające z ich komórkowej budowy jak też niejednorodności patologiczne wynikające np. z obrzęku rogówki lub z zaćmy. Przy patrzeniu na punktowe źródło światła (np. gwiazdę, odległą lampę uliczną itp.) można zauważyć różne efekty, których rodzaj zależy przede wszystkim od wielkości wspomnianych niejednorodności. I tak obraz źródła światła może być otoczony jasną obwódką (halo) (rys. 2a). W przypadku światła białego te otoczki są kolorowe. Efekt starburst może być wynikiem interwencji chirurgicznej w obrębie rogówki, np. zabiegu LASIK (rys. 2b).



Rys. 2. Efekty dyfrakcyjne postrzegane przy patrzeniu na punktowe źródło światła a) halo przy zaćmie, b) starburst po zabiegu LASIK [2,3]

U osób z obrzękiem rogówki (jaskra ostrego kąta, urazy oka, stan po zabiegach chirurgicznych) zaburzony jest układ siatkowy włókien kolagenowych rogówki, co może powodować halo rogówkowe. Gdy źrenica jest rozszerzona, np. w słabo oświetlonym pomieszczeniu halo soczewkowe może powstać na skutek ugięcia światła na części obwodowej i przedniej soczewki, która w przeciwieństwie do części osiowej ma nierówną strukturę. Widzenie halo wokół źródeł światła może być wczesnym objawem zaćmy jądrowej dotyczącej centralnej części soczewki.

Zmętnienia w soczewce mogą być widoczne jako ciemne, ziarniste, stabilne wzory, jeśli ich cienie dotrą do siatkówki. W przypadkach, w których jądro soczewki ma znacząco inną przezierność niż kora i zawiera niejednorodności (np. rozwijająca się zaćma jądrowa), centralny jasny obraz może wydawać się rozbity na wiele obrazów (poliopia) (rys. 3). Do entoptycznej wizualizacji

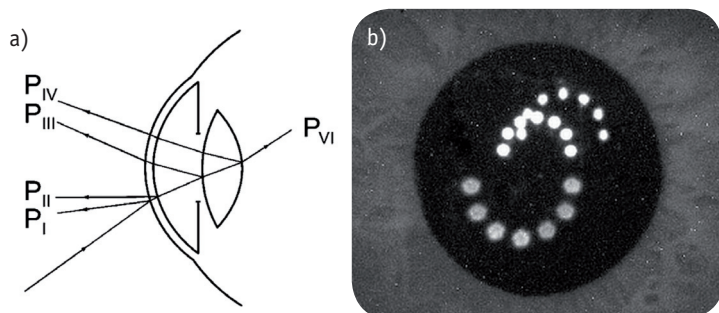


Rys. 3. Przykład obrazu widzianego przy poliopii [4]

zaćmy wystarczy oświetlić oko (prawie) równoległą wiązką światła np. pochodzącą z odległego źródła światła lub oftalmoskopu. Po rozszerzeniu źrenicy pacjenci są często w stanie zobaczyć i narysować obrys zmętnień soczewki.

Odbicia Purkinjego to odbicia źródła światła od przedniej i tylnej powierzchni rogówki oraz przedniej i tylnej powierzchni soczewki. W zasadzie nie można ich zaliczyć zjawisk entoptycznych w ścisłym sensie, ponieważ są widoczne dla obserwatora zewnętrznego, ale ponieważ nie są związane z klasycznie rozumianym odwzorowaniem obiektów zewnętrznych przez układ optyczny, więc opiszemy je także w tym artykule. Obok pięciu obrazów widzianych przez obserwatora zewnętrznego na skutek odbić powstają także obrazy typowo entoptyczne widziane „od środka”. Są one trudne do zauważenia m.in. ze względu na małą jasność oraz ich lokalizację. Przykładowo, aby zobaczyć obraz odbity wstecznie od rogówki (tzw. szósty obraz Purkinjego) należy znajdować się w ciemnym pokoju, z jednym zamkniętym okiem; patrzeć prosto przed siebie, przesuwając jednocześnie źródło światła tam i z powrotem w polu widzenia otwartego oka. Wtedy powinno się zobaczyć szósty Purkinjego jako słabszy obraz poruszający się w kierunku przeciwnym do ruchu źródła światła.

Odbicia Purkinjego są wykorzystywane m.in. w okulografii, do badania akomodacji oka oraz w kontroli położenia sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej wszczepianej do oka po operacji zaćmy (rys. 4).



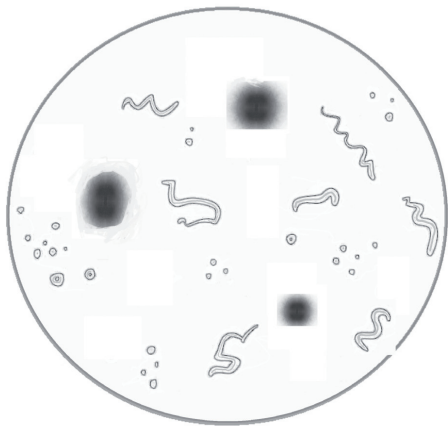
Rys. 4. Obrazy Purkinjego powstające przez odbicie od poszczególnych powierzchni elementów optycznych oka [9]

Tyłny odcinek oka

Męty w ciele szklistym

Z wiekiem ciało szkliste zaczyna się zmieniać. W złożonym strukturalnie i biochemicznie procesie zaczyna się upłynniać, a struktura włókien kolagenowych ulega rozpadowi. Rozbite włókienka następnie zbierają się i gromadzą w upłynnionym ciele szklistym tworząc zgrupowania różniące się od otoczenia absorpcją światła i współczynnikiem załamania. W ciele szklistym mogą się także znaleźć czerwone krwinki lub całe łańcuchy krwinek zlepionych ze sobą. W przebiegu krwotoku do ciała szklistego dochodzi do przemieszczania się krwinek czerwonych do wnętrza komory tylnej. Obrzęknięte komórki agregują, tworząc skupiska. Wszystkie te struktury, które określamy jako męty w ciele

szklistym (ang. *floaters*), rzucają cień na siatkówkę. Są widoczne, ponieważ się poruszają; gdyby były przytwierdzone do siatkówki lub unieruchomione w samym ciele szklistym, byłyby tak samo niewidoczne, jak inne obiekty unieruchomione w oku dzięki adaptacji komórek światłoczułych.



Rys. 5. Przykłady „mętów” w ciele szklistym

Cienie mętów rzucające na siatkówkę są widziane jako powoli dryfujące plamki o różnej wielkości, kształcie i przezroczystości, szczególnie widoczne w polu widzenia z jasnym tłem, pozbawionym szczegółów tła (takim jak niebo) lub przy punktowym źródle rozproszonego światła ulokowanym bardzo blisko oka. Pacjenci opisują je jako delikatne koronkowe łańcuszki, sznury perełek, wiązki włókienek, małe kropki, nitki, pajęczyny, plamki, bąbelki lub chmurki. Przy punktowym źródle światła białego można zauważyć kolorowe prążki otaczające te cienie. Często spotyka się ich porównanie do latających muszek stąd łacińskie określenie *muscae volitantes*, co tłumaczy się jako latające muchy (rys. 5).

Zmętnienia poruszają się wraz z ruchem oka, ale nie podążają za nim dokładnie; ich ruch przypomina pływanie w galarecie. Zazwyczaj „przepływają” przez punkt fiksacji i zmieniają kształt podczas ruchu oka. Kiedy próbujemy spojrzeć na nie bezpośrednio, wydają się odpływać. W przeciwieństwie do przejściowych zmian powierzchni rogówki mruganie ich nie usuwa. Widać je wyraźniej po zmrużeniu oczu. Męty ciała szklistego w przedniej części ciała szklistego są postrzegane jako poruszające się w kierunku przeciwnym do ruchu oka, podczas gdy męty ciała szklistego w tylnej części ciała szklistego poruszają się w tym samym kierunku, co ruch oka.

Męty ciała szklistego są powszechne, często widoczne w zdrowym oku, nasilają się wraz z postępującą krótkowzrocznością lub wiekiem i bardzo często stanowią powód do niepokoju u pacjentów. Po wystąpieniu męty ciała szklistego mogą utrzymywać się przez całe życie, ale nagłe pojawienie się licznych mętów może być pierwszym objawem odwarstwienia siatkówki. Męty ciała szklistego związane z odwarstwieniem siatkówki mogą być spowodowane obecnością cząsteczek krwi w ciele szklistym na skutek łagodnego krwotoku do ciała szklistego. Może on wystąpić w wyniku odłączenia się tylnej części ciała szklistego, ale także w wyniku urazów oka, rozdarcia lub odwarstwienia siatkówki, czerniaka naczyniówki, niedrożności żył siatkówki oraz w chorobach ogólnoustrojowych. Należy zwrócić szczególną uwagę, jeśli pacjent zauważy nagłe pojawienie się gęstych mętów i błysków światła, ponieważ mogą one być związane z tylnym odwarstwieniem ciała szklistego.

Zjawiska entoptyczne zależne od fizjologii siatkówki i drogi wzrokowej

Drzewo Purkinjego (Purkinje Tree)

Prawdopodobnie pierwszym z opisów zjawisk entoptycznych, co – jak już wspomniano – uczynił w roku 1823 Purkinje, jest obraz naczyń krwionośnych siatkówki, który można zobaczyć, gdy wiązka silnego światła skierowana jest bezpośrednio poprzez źrenicę w stronę peryferii siatkówki. W rezultacie powstają cienie naczyń krwionośnych rzutowane na niezaadaptowane do silnego oświetlenia komórki światłoczułe. Charakterystyczny kształt cieni jest przyczyną nazwy tego zjawiska: **drzewo Purkinjego** (rys. 6 [V]). W normalnych warunkach naczynia siatkówki nie są widoczne z powodu adaptacji neuronów. Jeśli jednak



Rys. 6. Drzewo Purkinjego – autoobrazowanie naczyń krwionośnych siatkówki (oryginalny rysunek Purkinjego) [11]

skierować światło do oka pod niefizjologicznym kątem (np. z boku), cienie naczyń padają na niezaadaptowaną część siatkówki. Pozwala to na krótkie zobaczenie obrazu naczyń siatkówki. Jeśli wiązka światła nie porusza się, to obraz znika w ciągu około

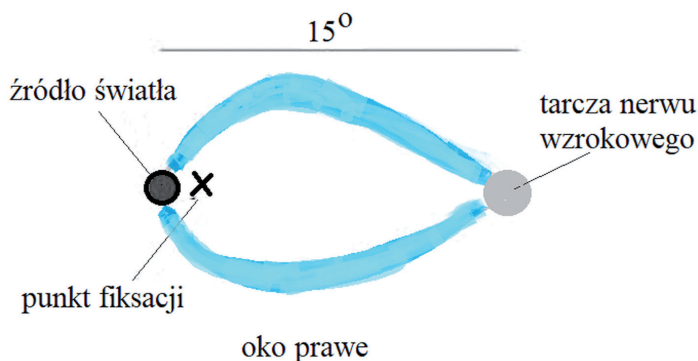
sekundy. Charakterystyczną cechą tego obrazu jest to, że przy ruchu oka jest nieruchomy względem gałki ocznej. Wynika to z bardzo małej odległości między warstwą naczyń krwionośnych a warstwą fotoreceptorów. Cienie naczyń krwionośnych widzą często pacjenci podczas badania okulistycznego przy użyciu oftalmoskopu lub lampy szczelinowej. Innym sposobem na zobaczenie cieni naczyń krwionośnych jest przyłożenie jasnego światła do powieki w kącie oka. Światło przenika przez powiekę i rzuca cień naczyń krwionośnych na siatkówkę. Drzewo Purkiniego można także zobaczyć, gdy w jasnym pomieszczeniu otworzy się oczy, które były przez dłuższy czas zamknięte. Taki obraz utrzymuje się przez krótką chwilę, zanim nie zaadaptują się komórki światłoczułe.

Pod koniec lat 90. XX wieku to zjawisko było wykorzystywane klinicznie do zgrubnego pomiaru potencjalnej ostrości wzroku, ponieważ brak dostrzegania cienia naczyń krwionośnych u pacjentów silnie koreluje ze słabą funkcją plamki żółtej i znacznie obniżoną ostrością wzroku. Było ono również pomocne w przypadkach występowania znacznych zmętnień błony środkowej, gdzie – jeśli oświetlenie zamkniętego oka powodowało cienie – korelowało z dobrą funkcją siatkówki i plamki żółtej.

Niebieskie łuki (blue arcs)

Innym zjawiskiem, zauważonym także przez Purkiniego, jest efekt niebieskich łuków. Według pierwszego opisu pochodzącego z 1825 r. uczonego ten obserwując w ciemności żarzące się węgle, zauważył niebieskie łuki, biegnące od obrazu źródła światła w kierunku ślepej plamki, ale nie do końca zrozumiał ich znaczenie. Zgodnie z jego opisem, jeśli obserwator w ciemnym pomieszczeniu, najlepiej z jednym okiem zamkniętym, spojrzy nieco w bok od źródła światła, zobaczy, oprócz niego (bodźca pierwotnego), dwa zakrzywione pasma jasnego błękitu, zaczynające się od tegoż źródła i biegnące łukiem przez pole widzenia do obszaru plamki ślepej. Czasami zamknięty obszar eliptyczny jest również wypełniony delikatną niebieską mgiełką. (rys. 7). Łuki najlepiej widać w ciemności po 2–3 minutach ekspozycji na światło. Reakcja jest przejściowa, trwa zaledwie około 0,5 sekundy.

Aby zauważyć to zjawisko, należy spojrzeć na krawędź małego źródła czerwonego światła w ciemnym pomieszczeniu jednym okiem (drugie oko zamknięte) po około 30 sekundach adaptacji do ciemności; powinny pojawić się dwa słabe, niebieskie łuki, zaczynające się od obrazu źródła światła i zmierzające w kierunku ślepej plamki.



Rys. 7. Zjawisko entoptyczne niebieskich łuków

Późniejsze badania wykazały, że kształt postrzeganych obrazów niebieskiego łuku jest silnie związany z anatomiczną topologią warstwy włókien nerwowych. Prawdopodobnie niebieski kolor łuków jest związany z aktywacją układu przeciwstawnych pól recepcyjnych toru niebiesko-żółtego podczas prezentowania bodźców siatkówce częściowo przystosowanej do ciemności. U osoby zaadaptowanej do światła, w przypadku prezentacji bodźca we wczesnym okresie adaptacji do ciemności, stymulacja centrum pola recepcyjnego czerwono-zielonego

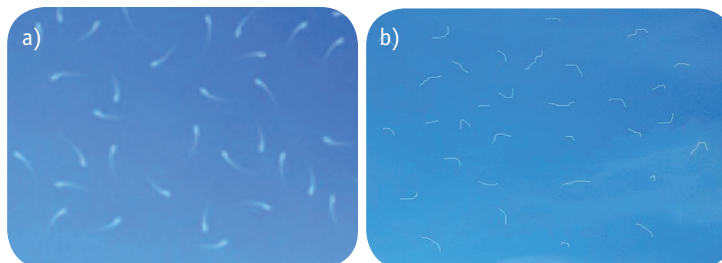
przez czopki typu L (czerwonoczułe) i typu M (zielonoczułe) jest osłabiona, podczas gdy czopki typu S (niebieskoczułe) są wciąż aktywne. W miarę jak oko adaptuje się do warunków skotopowych, aktywność czopków typu S maleje i niebieskie łuki stają się szare i ostatecznie całkowicie zanikają.

Niektórzy badacze uważają, że zjawisko entoptyczne niebieskiego łuku może być przydatne do wczesnego wykrywania jaskry. Wiadomo, że przy jaskrze najwcześniej ulega uszkodzeniu tor niebiesko-żółty (co jest podstawą coraz powszechniej stosowanej perymetrii krótkofalowej *blue-on yellow*), zatem zanik możliwości dostrzegania zjawiska entoptycznego niebieskiego łuku może być sygnałem świadczącym o wczesnych uszkodzeniach jaskrowych nerwu wzrokowego.

Niebieskie pole (Blue Field Effect)

Obserwując równomiernie oświetlone niebieskie tło (np. błękitne niebo), można zauważyć szybko poruszające się punkty świetlne wzdłuż pozornie losowych krętych linii. Ten efekt nazywa się zjawiskiem entoptycznym niebieskiego pola lub zjawiskiem Scheerera [VI]. Kropki są najłatwiej dostrzegalne na monochromatycznym niebieskim tle typowym dla nieba. Mogą być wydłużone wzdłuż ścieżki jak maleńkie robaczki czy krople. Same te „krople” są małe i białe, a ich ogonki są zazwyczaj ciemniejsze, zbliżone do szarości. Ich prędkość zmienia się synchronicznie z pulsem osoby, która je obserwuje. Na krótko przyspieszają z każdym uderzeniem serca. Pojawiają się w centralnym polu widzenia, w odległości od 10 do 15 stopni od punktu fiksacji. Lewe i prawe oko widzą różne kropki; osoba patrząca obojgiem oczu widzi oba nатоżone na siebie obrazy (rys. 7).

Widoczne kropki są wynikiem ruchu białych krwinek w naczyniach włosowatych (co wyjaśnia ich kolor) przed siatkówką. Niebieskie światło (o długości fali około 430 nm) jest absorbowane przez czerwone krwinki wypełniające naczynia włosowate. Stacjonarne cienie samych naczyń włosowatych są niewidoczne dzięki adaptacji fotoreceptorów. Białe krwinki, które występują w naturalnym składzie krwi znacznie rzadziej niż czerwone i nie absorbują światła niebieskiego, tworzą przerwy w kolumnie płynącej przez naczynia włosowate krwi, wyglądają jak jasne poruszające się punkty. Przerwy są wydłużone, ponieważ kulista biała krwinka jest zbyt szeroka dla naczynia włosowatego i musi się odkształcić, by zmieścić się w świetle naczynia. Gdy duża, zdeformowana biała krwinka przechodzi przez naczynie włosowate, przed nią otwiera się przestrzeń, a czerwone krwinki gromadzą się za nią, tworząc wrażenie białej kropli z ogonkiem). Białe krwinki przemieszczają się powoli, a nagromadzenie czerwonych krwinek za nimi ukazuje się jako ciemny ogon [VII]. Punkty nie pojawiają się w samym środku pola widzenia, ponieważ w strefie beznacyniowej dołka środkowego nie ma naczyń krwionośnych. Zjawisko to jest wykorzystywane do oceny przepływu krwi w naczyniach włosowatych siatkówki za pomocą entoptoskopii niebieskiego pola.



Rys. 8. Zjawisko niebieskiego pola [12,13]

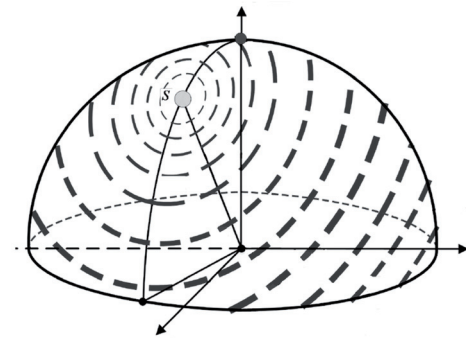
Figura Haidingera (klepsydra, śmigielko, szczotka, miotelki Haidingera, Haidinger Brush)

Chociaż oko ludzkie nie ma receptorów wrażliwych bezpośrednio na stan polaryzacji światła, wiele osób jest w stanie ją „zobaczyć”. Patrząc na źródło światła spolaryzowanego, można zauważyć białe paski

o kształcie opisywanym jako miotętka, klepsydra lub śmigietko, widoczny w centrum pola widzenia. Jeśli światło jest całkowicie niebieskie wygląda to, jak ciemny cień, natomiast przy świetle białym ma kolor żółty. Prostopadle do żółtych „miotetek” mogą być widoczne słabsze niebieskawe lub purpurowe obszary (rys. 9). Jeżeli wzrok jest ufiksowany w jednym punkcie to ten obraz zanika po około 5 sekundach, ale może się utrzymać, jeśli zmienia się kierunek polaryzacji. Dlatego figurę Haidingera najłatwiej jest zauważyć, gdy płaszczyzna polaryzacji obraca się względem osi oka obserwatora. To zjawisko entoptyczne opisane po raz pierwszy w roku 1844 nosi nazwę **figury Haidingera** [VIII] od nazwiska swojego odkrywcy.

Rys. 9. Figura Haidingera

Typowa figura Haidingera ma rozmiar kątowy około 3–5 stopni (dwa razy większy niż szerokość kciuka wyciągniętej ręki). Dość łatwo można ją zobaczyć, patrząc na biały obszar w wyświetlaczu ciekłokrystalicznym. Zjawisko to jest dostrzegalne także w warunkach naturalnych. Częściowo spolaryzowane w wyniku rozpraszania Rayleigha na cząsteczkach powietrza, wody, pyłach i aerozolah jest światło nieboskłonu. Płaszczyzna drgań wektora elektrycznego jest prostopadła do kierunku Słońca, przy czym stopień polaryzacji jest największy (około 80%) w pasie kołowym odległym o 90° od kierunku Słońca (rys. 10). Dlatego można zobaczyć figurę Haidingera patrząc na błękitne niebo w kierunku przeciwnym do położenia Słońca, szczególnie o jego wschodzie i zachodzie.



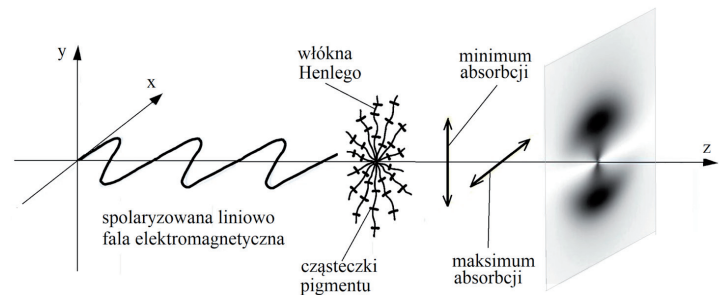
Rys. 10. Polaryzacja światła nieboskłonu

Zjawisko Haidingera tłumaczy się selektywną absorpcją pigmentów karotenoidowych w zawartych w plamce żółtej, działającej jako polaryzator o symetrii radialnej. Aksony czopków gęsto upakowanych w centrum plamki rozchodzą się promieniście od jej centrum niczym szprychy koła tworząc tzw. warstwę Henlego, która otacza dotek środkowy. Warstwa ta składa się z wyspecjalizowanych, wydłużonych aksonów, łączących promieniście czopki z wewnętrznymi warstwami siatkówki. Włókna Henlego zawierają dwa żółte barwniki: luteinę i zeaksantynę, które charakteryzują się wysoką (do 70%) absorpcją światła krótkofalowego (UV i fioletowego/niebieskiego) ze szczytem przypadającym na długość fali 460 nm. Chroni to leżącą poniżej warstwę fotoreceptorów przed uszkodzeniami fotochemicznymi wywoływanymi przez fotony o wysokiej energii.

Wydłużone cząsteczki pigmentu wzrokowego mają tendencję do orientowania się prostopadle do błony komórkowej. Absorpcja światła jest wyższa, gdy pole elektryczne jest zorientowane równoległe do cząsteczek pigmentu, więc radialnie symetryczna konfiguracja aksonów zachowuje się jak polaryzator radialny, blokując składową pola

elektrycznego, która jest lokalnie prostopadła do kierunku radialnego, tj. zorientowana azymutalnie. Wynikiem tego jest różna absorpcja światła niebieskiego o różnej polaryzacji, ilustruje to rysunek 11. W obrazie rejestrowanym przez siatkówkę pojawia się ciemna „klepsydra” zorientowana prostopadle do kierunku polaryzacji padającego światła. Przy większych długościach fal (światło zielonym i czerwonym) absorpcja jest pomijalnie mała zatem w świetle białym widoczny jest żółtawy wzór na białym tle.

Obok opisanej wyżej istnieje kilka innych teorii próbujących wyjaśnić mechanizm powstawania zjawiska Haidingera. Według jednej z nich cząsteczki pigmentu plamki żółtej (luteina, zeaksantyna i mezozeaksantyna) mają właściwości dwójtomne. Niektórzy wskazują na potencjalną rolę dwójtomności rogówki wraz z rozkładem i właściwościami falowodowymi czopków typu S.



Rys. 11. Mechanizm powstawania figury Haidingera [20]

Zdolność postrzegania figury Haidingera różni się u poszczególnych osób i można ją udoskonalić poprzez praktykę, patrząc na źródło światła spolaryzowanego liniowo, naprzemiennie zasłaniając każde oko lub delikatnie obracając głowę. Działania te modulują względną absorpcję ortogonalnych składowych pola elektrycznego światła spolaryzowanego, wspomagając postrzeganie charakterystycznego wzoru.

Zastosowania diagnostyczne zjawiska Haidingera

Niezależnie od trafności różnych teorii tłumaczących zjawisko Haidingera nie ulega wątpliwości, że kluczowe znaczenie dla jego wystąpienia ma strukturalna i funkcjonalna integralność dotka środkowego. Wizualizacja figury Haidingera to sposób obserwacji i gęstości i stanu pigmentu ksantofilowego w plamce żółtej, a tym samym identyfikacji i śledzenia dysfunkcji plamki żółtej. Pacjenci z dysfunkcją plamki nie są w stanie zobaczyć figury Haidingera jeszcze przed wystąpieniem klinicznie widocznych objawów choroby plamki żółtej lub jej obrzęku. Biorąc pod uwagę kluczową rolę gęstości optycznej pigmentu plamki żółtej w uzyskaniu pełnej ostrości wzroku, warto uznać, że zjawisko to stanowi potencjalne uzupełnienie tradycyjnego zestawu narzędzi diagnostycznych dostępnych dla okulistów i optometrystów. Chociaż badanie zjawiska Haidingera nie dostarcza jednoznacznej diagnozy, może dostarczyć wskazówek co do ukrytych patologii plamki i potencjalnie skłonić do bardziej kompleksowej oceny stanu zdrowia plamki.

Percepcję figury Haidingera można zaproponować jako marker prognostyczny u pacjentów z zaćmą. Badania sugerują, że widoczność figur Haidingera jest tylko minimalnie zaburzona przez zmętnienie soczewki. W związku z tym przedoperacyjna percepcja figur Haidingera może przewidywać lepszą jakość widzenia po operacji.

W wielu przypadkach zastosowanie wizualizacji figur Haidingera działa jako nieinwazyjne narzędzie, które może poprawić zrozumienie, leczenie i monitorowanie niektórych powszechnych schorzeń oczu w połączeniu ze standardowymi metodami diagnostycznymi i prognostycznymi.

Szczególne znaczenie ma zjawisko Haidingera w terapii wzrokowej. Zjawisko to wykorzystywane jest w ocenie i treningu widzenia centralnego, szczególnie u osób z fiksacją ekscentryczną lub niedowidzeniem. Ćwiczenia z wykorzystaniem figury Haidingera, znanej popularnie „miotętką”

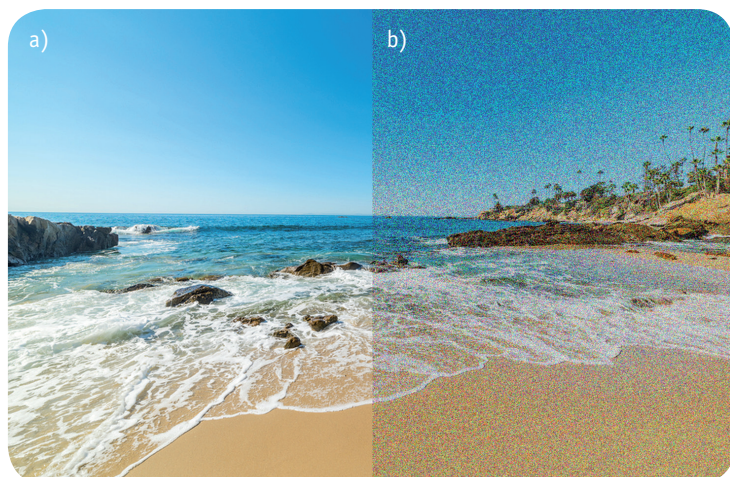
lub „śmigielkiem” Haidingera, są stosowane w terapii wzroku, szczególnie do korekcji ekscentrycznej fiksacji. Figura Haidingera tworzy się na dołączku centralnym nawet u osób z niecentralną fiksacją, jednak u takich osób oko jest ustawione tak, że obserwowany obraz powstaje poza częścią centralną siatkówki. Celem ćwiczenia jest nauczenie się przez pacjenta, jak patrząc na obiekt, zobaczyć figurę Haidingera, co oznacza, że patrzy się „dobrze”, używając dołka środkowego. Urządzenia stosowane to takich ćwiczeń to koordynator plamkowy lub synoptofor z zestawem odpowiednich filtrów: polaryzacyjnego i niebieskiego.

Pigmentacja siatkówki (plamka Maxwella)

Obserwując źródło światła białego przez szybko zmieniający się zielony i niebieski filtr, można zauważyć centralny ciemny punkt otoczony jaśniejszym okręgiem z aureolą. Centralny ciemny okrąg jest wynikiem absorpcji światła niebieskiego przez pigment ksantofilowy centralnego dołka. Zjawisko to można wykorzystać do badania ekscentrycznej fiksacji oraz do monitorowania stanów patologicznych siatkówki centralnej: plamka zaczyna pojawiać się ponownie, gdy stan się poprawia.

Śnieg wzrokowy (śnieg optyczny, ang. visual snow, VS, Visual Snow Syndrome, VSS)

Jest to bardzo rzadkie zaburzenie widzenia, które objawia się ciągłym i utrzymującym się przez długi czas (nawet przez lata) postrzeganiem drobnych, dynamicznie migoczących punktów przypominających śnieżenie źle dostrojonego telewizora analogowego lub patrzenie przez padający śnieg występujących w części, lub w całym polu widzenia. Występuje w każdych warunkach oświetlenia, nawet przy zamkniętych oczach. Punkty pozostają pojedyncze i nie zbijają się w grupy ani nie zmieniają rozmiaru. Pełnoobjawowy syndrom śniegu wzrokowego VSS wiąże się z palinopsją [IX], przesyadnym postrzeganiem zjawiska entoptycznego niebieskiego pola, nyktalopią [X] i światłowstrętem. Nadmierna liczba mętów w obu oczach jest najczęściej zgłaszanym dodatkowym objawem VSS. Do innych typowych zjawisk entoptycznych w śniegu wzrokowym należą objawy, takie jak „linie proste przesuwające się przez pole widzenia”, „woda spływająca po szybie” i „kalejdoskop kolorów widoczny przy otwartych oczach” (rys. 12). Warto zapoznać się z animacją zamieszczoną na stronie internetowej Visual Snow Initiative [XI].



Rys. 12. Obraz widziany normalnie (a) i zaburzony przez śnieg wzrokowy (b) [14]

Zespół śniegu optycznego został po raz pierwszy opisany w 1995 roku jako powikłanie migrenowe. Obecnie syndrom śniegu wzrokowego jest uważany za chorobę neurologiczną [XII]. Głównymi chorobami współistniejącymi ze śniegiem wzrokowym są migrena i szumy uszne. Obustronny, ciągły i niepulsujący szum uszny występuje u nawet 75% pacjentów ze śniegiem wzrokowym, co czyni go niemal charakterystyczną cechą tego zespołu. Prawdopodobnie śnieg wzrokowy i szum uszny są powiązаныmi objawami podobnej anomalii percepcyjnej.

Istnieje hipoteza, że śnieg optyczny jest wynikiem nadpobudliwości korowej z dysfunkcją przetwarzania wzrokowego wyższego rzędu, co prawdopodobnie pozwala pacjentom widzieć podprogowe bodźce wzrokowe. Inna hipoteza podkreśla rolę wzgórza w przetwarzaniu wzrokowym, postrzegając śnieg optyczny jako skutek dysocjacji między bodźcami sensorycznymi pochodzącymi ze wzgórza, a jego projekcjami do kory mózgowej [XIII].

Ten artykuł ten jest nieco zmodyfikowaną wersją rozdziału z podręcznika dla optometrystów na temat przetwarzania informacji wzrokowej przygotowywanego do druku przez Marka Zajęca i Annę Wróbel, której wydanie przez Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne jest planowane na rok 2026.

Branżowy dwumiesięcznik Gazeta OPTYKA objął książkę patronatem medialnym.

Piśmiennictwo

- G.L. Trick, A. Kronenberg. *Entoptic Imagery and Afterimages*. <https://entokey.com/entoptic-imagery-and-afterimages/>, dostęp: sierpień 2025
- A.R. Talley i inni. Halos at Night. *Cat. Refr. Surg. Today* 2022 <https://crstoday.com/articles/2020-jan/halos-at-night>, dostęp: sierpień 2025
- Starburst after LASIK. <https://www.lasikcomplications.com/starbursting.htm> dostęp: sierpień 2025
- Can Cataracts Cause Double Vision?. <https://fogeys.net/can-cataracts-cause-double-vision/>, dostęp: sierpień 2025
- G. Kluxen. Die polinopiomonocularis bei kernkatarakt. *Klin Monbl Augenheilkd* 1985; Oct 187(4):270-2, DOI: 10.1055/s-2008-1051032
- G.L. Trick, A. Kronenberg. *Entoptic Imagery and Afterimages*. <https://entokey.com/entoptic-imagery-and-afterimages/>, dostęp: sierpień 2025
- A.R. Talley i inni. Halos at Night. *Cat. Refr. Surg. Today* 2022 <https://crstoday.com/articles/2020-jan/halos-at-night>, dostęp: sierpień 2025
- Starburst after LASIK. <https://www.lasikcomplications.com/starbursting.htm> dostęp: sierpień 2025
- A. Józwiak, D. Siedlecki, M. Zajęc. Analysis of Purkinje images as an effective method for estimation of intraocular lens implant location in the eyeball. *Optik* 2014;125: 6021-6025
- M. Csdogan. Jan Evangelista Purkinje. *Life in the Fastlane*, <https://litfl.com/jan-evangelista-purkinje/>, dostęp: sierpień 2025
- M. Spitschan, G. Aguire, D.H. Brainard. Selective stimulation of preumbral cones reveals perception in the shadow of retinal blood vessels. *PLoS One* 2015; 10(4): 124328, DOI:10.1371/journal.pone0124328
- Blue Field Entoptic Phenomenon, <https://www.neurogroup.org/visual-snow/misdiagnosis/>, dostęp: sierpień 2025
- M.N. Abraham, M. Indian. Blue field entoptoscopy. *Journal of Ophthalmology* 1983; 31(3): 108-111
- T. Tsang. *Visual snow syndrome*, <https://www.drterrytsang.com/vision-snow-syndrome.html>, dostęp: sierpień 2025
- Исследование entopticheskikh fenomenov, Rossijskaja oftalmologija onlajn. <https://eyepress.ru/chapter/3-7-issledovanie-entopticheskikh-fenomenov>, dostęp: sierpień 2025
- B. Turgut, T. Demir, O. Çatak. Ophthalmological phenomena. *Advances in Ophthalmology & Visual System* 2018; 8(4)
- Ch.J. Schankin i inni. The relation between migraine, typical migraine aura and Visual Snow. *The Journal of Head and Face Pain* 09 May 2014, DOI: 10.1111/head.12378
- E. Martins Silva, F. Puleda. Visual snow syndrome and migraine: a review. *Eye* 2023; 37:2374-2378
- F. Murillo-Lopez, E.A. Maumenee, D.L. Guyton. Perception of purkinje vessel shadows and foveal granular pattern as a measure of potential visual acuity. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 26(2):260-265, DOI: 10.1016/S0886-3350(99)00341-7
- G.N. Manion, T.J. Stokkermans. *Haidinger Brush Phenomenon*, <https://europepmc.org/article/NBK/nbk594225#free-full-text>, dostęp: sierpień 2025
- J. Mottes, D. Ortolan, G. Ruffato. Haidinger's brushes: Psychophysical analysis of an entoptic phenomenon. *Vis. Res* 199(2022):108076
- L.R. Pasquale, S. Brusie. The blue arc entoptic phenomenon in glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2013; Sep 111:46-55
- M. Sešek, X. Lumi. Entoptic phenomena, photopsias, phosphenes. *Zdravnicki Vestnik* 2025; Vol. 94 No. 5-6
- O. Zambrowski, I. Ingster-Moati C. Vignal-Clermontd, M.P. Rober. The visual snow phenomenon. *Journal français d'ophtalmologie* 2014; 37: 722-727
- A. Bisant, A. Labib. Reflecting on entoptic phenomena. Vivid images of the retinal vasculature often appear to our patients during exam. Are they a cause for concern? *Rev. of Optom* 2017; March 15
- C.L. Fraser. Visual snow: Updates on pathology. *Curr Neurol Neurosci* 2022; Rep 22: 209-217 DOI: 10.1007/s11910-022-01182-x
- D. Luke. Rock art or orschach: Is there more to entoptics than meets the eye? *Time and Mind: The Journal of Archaeology, Consciousness and Culture* 2010; 3(1): 9-28
- H. Ümit Sayin. Neurons secrete archaic optic language: Entoptic images, phosphenes & archetypes. *SexuS Journal* 2017; 2(6): 308-348

Przypisy

- Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (ur. 1821, zm. 1894) – niemiecki lekarz i uczyony; fizyk, fizjolog oraz filozof; skonstruował pierwszy oftalmoskop.
- Czynnik endogenny – to czynnik chorobotwórczy związanych z zestawem genów oraz uwarunkowanymi biologicznymi cechami konstytucjonalnymi danej osoby [wg. Cierpiatkowska, L., Sek, H. „Psychologia kliniczna”, PWN 2016]
- Jan Evangelista Purkinje (Purkyně) (ur. 1787, zm. 1869) – czeski anatom i fizjolog, pionier w dziedzinie eksperymentalnej fizjologii i histologii. W latach 1823 – 1850 był profesorem na uniwersytecie we Wrocławiu (wówczas Breslau) gdzie pierwszy w świecie uniwersytecki instytut fizjologiczny i pierwsze oficjalne laboratorium fizjologiczne.
- Johann Benedict Listing (ur. 1808, zm. 1882) – niemiecki matematyk; obok wybitnych osiągnięć z dziedziny matematyki znany jest z prawa dotyczącego działania mięśni okoruchowych
- M. Csdogan: „Jan Evangelista Purkinje”, <https://litfl.com/jan-evangelista-purkinje/>, dostęp: sierpień 2025
- Richard Scheerer (ur. 1887, zm. 1982) – niemiecki okulista
- Takie zachowanie krwinek w naczyńkach włosowatych siatkówki można bezpośrednio zaobserwować za pomocą skaningowej oftalmoskopii laserowej
- Wilhelm Karl von Haidinger (ur. 1795, zm. 1871) – austriacki uczyony, geolog, mineralog
- Palinopsja to nieprawidłowe utrzymywanie się osłabionego obrazu obiektu w centralnym polu widzenia, kilka sekund po zakończeniu fiksacji na obiekcie (powidok).
- Nyktalopia to gorsze widzenie w słabym świetle
- <https://www.visualsnowinitiative.org/learn/>
- Kod Orpha: 420556, kod ICD10: H53.8 (inne zaburzenia wzrokowe), kod ICHD3: A1.4.6
- Dysrytmia wzgórzowo-korowa (ang. *thalamo-cortical dysrhythmia*, TCD)