

Charakterystyka czułości czopków i pręcików na stymulację dwufotonową

Widzenie dwufotonowe to niedawno odkryty mechanizm rozszerzający zakres promieniowania elektromagnetycznego, które może być odbierane przez zmysł wzroku. Opiera się na absorpcji dwufotonowej polegającej na tym, że cząsteczki pigmentów wzrokowych absorbują jednocześnie dwa fotony o dwa razy mniejszej energii zamiast jednego o dwa razy większej. Dlatego wiązki laserowe, które widzimy dwufotonowo mają dla nas kolor bliski połowie swojej długości fali. Absorpcja dwufotonowa to bardzo rzadki proces w porównaniu do absorpcji jednofotonowej. Zaobserwowanie jej w makroskali wymaga zastosowania impulsowych laserów, które emitują chwilowo duże strumienie fotonów, potrzebne żeby proces zachodził wystarczająco często. Zaskakujące dla nas było odkrycie, że zachodzi on w warunkach bezpiecznych dla oka. Fakt ten wiąże się jednak z niezwykle czułością naszego wzroku, który w odpowiednich warunkach może wykryć nawet pojedyncze fotony.

Dotychczasowe badania widzenia dwufotonowego dotyczyły zastosowań okulistycznych, w szczególności mikroperymetrii, czyli badania pola widzenia używanego między innymi w diagnostyce jaskry. Proces dwufotonowy pozwala precyzyjniej pobudzić siatkówkę i bardziej dokładnie określić tzw. próg widzenia czyli najmniejszą jasność bodźca, który jest postrzegany. Jednak dwufotonowa percepcja wzrokowa może znaleźć zastosowanie również w innych dziedzinach, np. w wyświetlaczach do rozszerzonej rzeczywistości. Dlatego niezbędna jest dalsza charakterystyka zjawiska, która pozwoli na opracowanie standardów mierzenia jasności źródeł dwufotonowych i umożliwi inżynierom w przyszłości projektowanie urządzeń wykorzystujących ten efekt.

Ludzie mają kilka typów fotoreceptorów: trzy rodzaje czopków, dzięki którym widzimy różne kolory w warunkach dziennych oraz niezwykle czułe pręciki pracujące w warunkach słabego oświetlenia. Każdy typ fotoreceptorów zawiera pigmenty wzrokowe o nieco innej strukturze i widmie absorpcji. Fotoreceptory różnią się między sobą także budową morfologiczną. Niniejszy projekt ma odpowiedzieć na pytanie, czy te różnice wpływają na prawdopodobieństwo zajścia absorpcji dwufotonowej, a tym samym modyfikują skuteczność dwufotonowej stymulacji poszczególnych typów fotoreceptorów? Jaki jest dokładny kształt spektralnej czułości poszczególnych typów fotoreceptorów na ten proces? Jak również, w jaki sposób parametry opisujące dwufotonową percepcję wzrokową różnią się od jednofotonowej? Czy krytyczne częstotliwości migotania są inne, co wpłynęłoby na częstotliwość odświeżania wyświetlaczy? Jaka jest dwufotonowa wrażliwość na kontrast?

Nasze ostatnie wyniki sugerują, że pewne różnice rzeczywiście istnieją. Kolor bodźca dwufotonowego nie jest dokładnie taki sam jak jego jednofotonowego odpowiednika o połowie długości fali. Różnica w bezwzględnej, maksymalnej czułości czopków i pręcików dla widzenia dwufotonowego jest o rząd wielkości mniejsza niż dla normalnego widzenia. Odruch źreniczny jest również znacząco mniejszy dla bodźca dwufotonowego. Mapy czułości siatkówki dla widzenia dwufotonowego są bardziej płaskie niż mapy uzyskane dla widzenia jednofotonowego w tych samych warunkach. Wszystkie te obserwacje sugerują, że dwufotonowa stymulacja czopków i pręcików różni się efektywnością, a czopki wydają się bardziej podatne na ten proces.

Dwufotonowa stymulacja fotoreceptorów będzie badana przy użyciu dedykowanych systemów optycznych oraz technik pomiarowych z dziedziny psychofizyki widzenia, optoretinografii i elektrofizjologii. Metody z psychofizyki widzenia pozwolą na zmierzenie spektralnej czułości dwufotonowej poszczególnych typów fotoreceptorów. Wyniki porównamy z tymi otrzymanymi za pomocą optoretinografii, która bazuje na tomografii optycznej OCT i pozwala ocenić stopień pobudzenia fotoreceptorów światłem analizując zmiany widoczne w obrazie warstw siatkówki. Będziemy badać również potencjały wywoływane w korze wzrokowej oraz zmiany potencjałów czynnościowych neuronów siatkówki przez bodźce dwufotonowe.

Wyniki projektu poszerzą wiedzę na temat ludzkiej percepcji wzrokowej, przyniosą lepsze zrozumienie mechanizmów oddziaływania impulsowych wiązek laserowych z żywym okiem oraz zgromadzą dane niezbędne do dalszych zastosowań zjawiska widzenia dwufotonowego.