Mechanism of Illumination and Color Contrast Sensitivity

Heravian Shandiz J[1], Ostadimoghaddam H[1], Akbarzadeh R[2], Danesh Z[2], Behroozfar Z[2], Mahjoob M[3], Yazdani N[4*]

Abstract

Purpose: To compare the mechanism of illumination contrast sensitivity with color contrast sensitivity.

Methods: All articles published in the intended field from the 1956 to 2016 using the search engines including PubMed, Science Direct and Google Scholar was searched. About 100 articles were obtained that by removing duplicate articles and irrelevant ones, finally ۴۰ related articles, were examined, carefully.

Results: The results of relevant studies showed that the contrast sensitivity function curve is band-pass for illumination contrast and low-pass for color contrast sensitivity of visual system. It has also been stated that mechanism of color contrast sensitivity is similar for red and green and different from blue one.

Conclusion: Color contrast sensitivity and illumination contrast sensitivity function are different of the shape of the curve as well as the mechanisms, which would be explained by the multi-channel visual system.

Keywords: Mechanism, Color contrast sensitivity, Illumination contrast sensitivity

Received: 2016.02.04; Accepted: 2016.07.15

مروری بر مکانیسم حساسیت کانتراست رنگی و غیر رنگی

جواد هرویان شاندیز[۱]- هادی استادی مقدم[۲-۱]- ریحانه اکبرزاده[۳]- زینب دانش[۳]- زهرا بهروزفر[۳]- منیره محجوب[۴]- نگاره یزدانی[۵]

هدف: بررسی و مقایسه مکانیسم حساسیت کانتراست رنگی و غیر رنگی در سیستم بینایی می‌باشد.

روش بررسی: کلیه مقالات چاپ شده در این زمینه از ۱۹۵۶ تا سال ۲۰۱۶ با استفاده از موتورهای جستجو PubMed، Science Direct, Ovid و Google Scholar مورد بررسی دقیق قرارگرفت. تعداد 100 مقاله بدست آمد که با حذف مقالات تکراری (duplicates) و مقالاتی که در راستای موضوع تحقیق قرار نداشتند، در نهایت ۴۰ مقاله مرتبط، مورد بررسی دقیق قرار گرفت.

یافته‌ها: اکثر محققین بیان کردند که شکل منحنی عملکرد حساسیت کانتراست، برای حساسیت کانتراست غیر رنگی به صورت band-pass و برای حساسیت کانتراست رنگی به صورت low-pass است همچنین اکثر مطالعات نشان داده‌اند، مکانیسم حساسیت کانتراست رنگی سبز و قرمز با هم مشابه و با مکانیسم رنگ آبی متفاوت است.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که حساسیت کانتراست رنگی و غیر رنگی از نظر شکل منحنی عملکرد حساسیت کانتراست و همچنین مکانیسم متفاوت هستند،که این امر با مدل چند کانالی سیستم بینایی قابل توضیح است.

کلمات‌کلیدی: مکانیسم، حساسیت کانتراست رنگی، حساسیت کانتراست روشنایی، حساسیت کانتراست غیررنگی

نویسنده مسئول: نگاره یزدانی، almedzade@gmail.com

آدرس: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه علوم پزشکی مشهد، دانشکده علوم پیراپزشکی، گروه بینائی سنجی

۱- استاد گروه اپتومتری، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۲- مرکز تحقیقات عیوب انکساری چشم، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۳- کارشناس اپتومتری، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشجوی دکترای اپتومتری، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

Archive of SID

www.SID.ir

۵- کارشناس ارشد اپتومتری، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

مقدمه

کانتراست ویژگی فیزیکی محرک بینایی است که به تفاوت در میزان روشنایی و رنگ اشیا در میدان بینایی اشاره دارد. وجود این تفاوت امکان تشخیص اشیا را فراهم می‌کند. میزان کانتراست لازم جهت تشخیص اشیا را آستانه کانتراست می‌نامند. عکس آستانه کانتراست، حساسیت کانتراست نام دارد که در مقایسه با تیزبینی اطلاعات بیشتری در رابطه با عملکرد بینایی فرد فراهم می‌کند. جهت بررسی عملکرد سیستم بینایی در پاسخ به محرک با فرکانس فضایی و کانتراست متفاوت از منحنی عملکرد حساسیت کانتراست و یا Contrast Sensitivity Function (CSF) استفاده می‌شود. حساسیت کانتراست به دو دسته: رنگی و غیر رنگی (روشنایی) تقسیم می‌شود که در این مطالعه به بررسی مکانیسم دو حساسیت کانتراست رنگی و غیر رنگی می پردازیم و مدلهای مختلف مکانیسم حساسیت کانتراست غیر رنگی از جمله: مدل چند کانالی و مدل دید فضایی و بدون رنگ و مدلهای مختلف حساسیت کانتراست رنگی مانند: مدل gain-control، مدل Hering و مدل Rovamo را مورد بررسی و مقایسه و دسته‌بندی قرار می دهیم.

روش بررسی

مطالعه مروری حاضر با جستجوی جامع و با استفاده از کلید واژه‌های "حساسیت کانتراست" و "دید رنگ" در موتور-های جستجوی PubMed، Google Scholar، Ovid و Science Direct انجام شد. کلیه مقالات چاپ شده انگلیسی و فارسی در مجلات معتبر در زمینه مورد پژوهش از ۱۹۵۶ تا سال ۲۰۱۶ بررسی و مطالعه شدند. در هر پایگاه اطلاعاتی کلیه مقالات مرتبط و ارجاع داده شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. تعداد 100 مقاله بدست آمد که با حذف مقالات تکراری (duplicates) و مقالاتی که در راستای موضوع تحقیق قرار نداشتند، در نهایت ۴۰ مقاله مرتبط، مورد بررسی دقیق قرار گرفت. از این ۴۰ مقاله تعداد ۱۲ مقاله Science direct، تعداد ۲۰ مقاله PubMed، و تعداد ۸ مقاله Google Scholar می‌باشد. بررسی مکانیسم حساسیت کانتراست سیستم بینایی و همچنین بررسی کانتراست رنگی سیستم بینایی به عنوان معیارهای ورود مقالات به مطالعه بودند.

یافته‌ها

ساختارهای مسئول

رتین از ۵ لایه سلولی که شامل: فتورسپتورها، سلولهای افقی، سلولهای دو قطبی، سلولهای آماکرین و سلولهای گانگلیونی می‌باشد، تشکیل شده است. دو نوع کلی فتو رسپتور داریم: ۱-Rod (استوانه‌ای) ۲-Cone (مخروطی) که مسئول تبدیل نور به سیگنالهای عصبی هستند. سلول-های استوانه‌ای مسئول بینایی در شرایط نوری کم (اسکوتوپیک) هستند در حالی که سلولهای مخروطی مسئول دید در شرایط نور معمولی و یا روز (فوتوپیک) می‌باشند، علاوه بر این سلولهای مخروطی مسئول دید رنگ سیستم بینایی هم می‌باشند. میدان گیرندگی فتورسپتورها ساده و دایره‌ای است و فقط حضور نور این سلولها را هایپرپولاریزه می‌کند و باعث آزاد شدن نوروترانسمیتر از فتورسپتورها می‌شود. میدان گیرندگی سلولهای گانگلیون که مرحله اول از پروسه پیچیده بینایی فضایی را تشکیل می‌دهند، دایره‌ای بوده و از دو قسمت مرکز و محیط تشکیل شده است. سلولهای گانگلیون بر اساس میدان گیرندگی به دو دسته مرکز-روشن و مرکز-خاموش تقسیم می‌شوند. میدان گیرندگی سلولهای گانگلیونی مرکز-روشن به صورت منطقه مرکزی تحریکی، دیسک شکل می‌باشد، که با منطقه مهاری، محیطی حلقه‌ای شکل احاطه شده است. میدان گیرندگی در سلولهای مرکز- خاموش، عکس این حالت می‌باشد. هر چه محرک بیشتر در درون یا خارج یک منطقه‌ی مشخص قرار داشته باشد، پاسخ بزرگتر خواهد بود. حداکثر پاسخ سلولهای مرکز-روشن، زمانی بدست می‌آید که نقطه‌ی نورانی دقیقا به اندازه‌ی نقطه‌ی دایره‌ای باشد و پاسخ حداکثر سلولهای مرکز-خاموش زمانی خواهد بود که نور، حلقه‌ای با ابعاد دقیق (قطر داخلی و بیرونی) تشکیل دهد. مناطق مرکزی و محیطی به شکل مخالف هم تعامل می‌کنند: تاثیر محرک نقطه‌ای در مرکز را می‌توان با تاباندن محرک نقطه‌ای دیگر بر منطقه‌ی محیطی کم کرد. یک سلول مرکز-روشن، در پاسخ به نقطه‌ای سیاه در پس زمینه‌ای سفید، با بالاترین سرعت، پاسخ را مخابره می‌کند، چون در این حالت فقط ناحیه‌ی اطراف میدان گیرنده را

Archive of SID

www.SID.ir

روشن می‌کنیم.

در طبیعت، اجسام تیره به همان فراوانی اجسام روشن هستند و شاید توضیح این مطلب باشد که چرا اطلاعات حاصل از شبکیه در قالب هر دو سلول مرکز-روشن و مرکز-خاموش وجود دارند. اگر به آهستگی یک نقطه را بزرگتر کنیم، پاسخ افزایش ابد تا اینکه مرکز میدان گیرنده پر شود، سپس هر چه محیط را بیشتر در برگیرد، پاسخ کمتر می شود. میادین گیرنده دو سلول گانگلیون مجاور هم، معمولا هم پوشانی دارند. کوچکترین نقطه‌ی نوری که می توانیم روی شبکیه بتابانیم، احتمالا صدها سلول گانگلیون را تحت تاثیر قرار می‌دهد که برخی مرکز-روشن و برخی مرکز-خاموش هستند. نقطه‌ی نورانی بر روی مرکز، تعدادی از میادین گیرنده و ناحیه محیطی تعدادی دیگر خواهد افتاد. به دلیل واگرائی که در طی آن یک سلول در هر مرحله با سلولهای بسیار زیاد دیگری پیوند سیناپسی تشکیل می‌دهد، یک گیرنده می‌تواند روی صدها و یا هزارها سلول گانگلیونی تاثیر بگذارد. این ارتباط در مرکز میدان گیرنده‌ی برخی سلولها و منطقه‌ی محیطی برخی دیگر وجود خواهد داشت و اگر سلولها مرکز-روشن باشند، آنها را از طریق مرکزشان و اگر سلولها مرکز-خاموش باشند، از طریق محیط اطرافشان تحریک خواهد کرد، و به شکلی مشابه، سلولهای دیگر را از طریق تحریک مرکز یا محیط سلول، از نشان دادن واکنش منع می‌کند. بنابراین نقطه‌ی نورانی کوچکی که روی شبکیه می‌تابد می‌تواند آغازگر جنب و جوش بسیاری در سلولهای متعدد باشد. اندازه میدان گیرندگی در سلولهای گانگلیون از سلولی به سلول دیگر فرق می‌کند. مراکز میادین گیرندگی اندازه‌های متفاوتی دارند. میادین گیرندگی در فووا چشم کوچکتر بوده و هر چه به محیط می رویم، بتدریج بزرگتر می‌شوند و از سوی دیگر تیز بینی بتدریج کاهش می‌یابد. وسعت میدان گیرندگی سلولها گانگلیون از نظر سایز متفاوت بوده، که این عامل باعث انتخاب فرکانسهای فضایی خاص می‌شود. راه‌های بینایی مسئول تشخیص شکل، حرکت و جنبه‌های فضایی و زمانی یک تارگت، از رتین به Lateral (LGN) geniculate Nucleus و کورتکس بینایی اولیه کشیده شده و دارای سه لایه سلولی هستند : ۱. سلول های مگنو[1] ۲.سلول های پرو[2] و ۳. سلول های کونیو[3]. سلولهای مگنو ۱۰٪ کل سلولهای LGN را تشکیل داده و به کانتراست غیر رنگی حساس می‌باشند و در فرکانسهای فضایی بالا حداکثر پاسخ را دارند، به کانتراست رنگی پاسخ نمی‌دهند و بروی لایه 4Cα از کورتکس بینایی اولیه پروجکت می‌شوند. سلولهای پرو ۸۰٪ از کل سلولهای LGN را تشکیل می‌دهند، به سطوح پایین از روشنایی پاسخ نمی‌دهند، ولی به کانتراست سبز- قرمز و درجات بالای روشنایی به خوبی پاسخ می‌دهند، و بر روی لایه 4Cβ از کورتکس بینایی اولیه پروجکت می شوند. سلولهای کونیو یک گروه هتروژنوس از سلولهای گانگلیون و LGN را تشکیل می‌دهد که به کانتراست رنگی زرد – آبی پاسخ داده و بر روی لایه 4A از کورتکس بینایی اولیه پروجکت می‌شوند (۲، ۱).

مکانیسم کانتراست غیر رنگی (روشنایی)

بر اساس آزمایشات سایکو فیزیکال در سیستم بینایی کانالهای فرکانسی خاصی وجود دارد که هر کانال به محدوده خاصی از فرکانسهای فضایی حساس و طبیعتا به فرکانسهای فضایی خارج از این رنج غیر حساس هستند. حضور این کانالها از نظر کلینیکی بسیار مهم است چرا که بیماریهای مختلف می‌توانند باعث بروز اختلال در یک و یا تعدادی از این کانالها بشوند. بنابراین بیماریهای مختلف الگوی کاهش حساسیت کانتراست متفاوتی خواهند داشت. مطالعات نورولوژیک نشان می‌دهد که اغلب در مسیر بینایی، نورونها به طور انتخابی به باندهایی با فرکانس فضایی مشخص پاسخ می‌دهند، لذا هر نورون به یک فرکانس فضایی خاص، پاسخ بیشتری را نشان می‌دهد. مدرک سایکوفیزیک دیگر در حمایت از مدل چند کانالی، از مطالعه‌ای حاصل می شود که به مقایسه قابلیت تشخیص تارگت در برابر اجزا آن پرداخته است. عملکرد حساسیت کانتراست فضایی برای بارهای روشن (غیر رنگی) شکلی شبیه زنگوله دارد، که حساسیت در فرکانس فضایی متوسط، حداکثر می‌باشد و هرچه به سمت فرکانسهای پایین و بالاتر میرویم، کاهش می‌یابد (۳). کاهش در میزان حساسیت فرکانسهای فضایی پایین به علت بروز مهار جانبی است، که با کاهش روشنایی میزان حساسیت کانتراست هم کاهش می‌یابد، در حالی که کاهش در میزان حساسیت

[1] Magno
[2] Parvo
[3] Konio

Archive of SID
www.SID.ir

کانتراست فرکانسهای فضایی بالا بدلیل اپتیک چشم می‌باشد، به این صورت که با افزایش فرکانس فضایی، پخش نقطه‌ای، میزان کانتراست را کاهش می‌دهد.

Brady و همکارانش شکل منحنی CSF را با توجه به مدل کانالهای فرکانسهای فضایی با حساسیت برابر توضیح داده و بیان نمودند که کاهش در عملکرد تشخیصی فرکانسهای بالا مربوط به امواج مزاحم خارجی می‌باشد که بر پاسخ کانالهای مربوطه اثر می‌گذارد. براساس مدل تشخیصی دید فضایی و غیر رنگی که توسط Rovamo و همکارانش ارائه شد، یک سیگنال بینایی در مرحله اول از اپتیک چشم عبور کرده، سپس مقداری جذب کوانتومی رخ می‌دهد در مرحله بعد از رتین و راه بینایی عصبی عبور و پس از اضافه شدن امواج اضافی عصبی جهت شناسایی به مغز ارسال می‌گردد. این مدل به خوبی نشان می‌دهد که چگونه حساسیت کانتراست برای بارهای روشنایی (غیر رنگی) به فرکانس فضایی، فضای بارها، پیچیدگی محرک، زمان ارائه محرک، امواج اضافی خارجی، امواج کوانتومی و میزان روشنایی بستگی دارد. هر چه میزان جدایی بین محیط محرک و منبع تولیدی آن بیشتر باشد، کانتراست روشنایی کمتر می‌شود. (۶-۴) براساس مدل Rovamo سیستم بینایی انسان در واقع یک پردازش گر فضایی ساده تصاویر می باشد. (۴) در مدل تشخیص دید فضایی و بدون رنگ از چشم انسان، فیلتر high-pass و یا بالا گذر در رتین و راههای بینایی در نتیجه مهار جانبی در مرکز و محیط میدان گیرندگی سلولها رخ می‌دهد،که باعث کاهش پاسخ به فرکانسهای فضایی پایین در محرک غیر رنگی می‌شود (۳).

عملکرد بینایی چشم انسان در سطوح پایین روشنایی از قانون Devries-Rose و در سطوح بالا روشنایی از قانون Weber پیروی می‌کند. این دو قانون بیان می‌کند که در سطوح روشنایی پایین رتین، حساسیت کانتراست بارها به اندازه ریشه دوم روشنایی رتین افزایش می‌یابد، ولی در سطوح بالاتر روشنایی، حساسیت مستقل از سطح روشنایی می‌باشد. در سطوح متوسط از روشنایی رتین، عملکرد بینایی بین دو قانون Devries-Rose و Weber قرار می‌گیرد. (۳) مکانیسم band-pass بیان می‌کند که کد کردن تصویر رتینی براساس فرکانس فضایی می باشد. حساسیت کانتراست برای محرکهای بدون رنگ به صورت band-pass بوده و دارای حداکثر پاسخ در ۴-۳ cycle/deg می‌باشد. جدایی بین حساسیت در فرکانسهای زمانی و فضایی پایین، در نتیجه آنتاگونیستی بین سیگنالهای مرکز و محیط می‌باشد. از آن جایی که محیط میدان گیرندگی دیامتر بزرگتری نسبت به مرکز میدان گیرندگی دارند، لذا سیگنالهایی که از محیط می‌آیند در مقایسه با سیگنالهای مرکز، بیشتر ضعیف می‌شوند. در فرکانسهای زمانی بالا اثر محیط ناچیز است و حساسیت کانتراست بوسیله ویژگی زمانی مرکز مشخص می‌شود.

قانون Weber بیان می‌کند که حساسیت کانتراست برای بارهای غیر رنگی مستقل از سطح روشنایی می‌باشد. (۷) براساس قانون Rose-Devries در سطوح پایین روشنایی رتین، حساسیت کانتراست به ریشه دوم روشنایی متوسط بستگی دارد (۸). قانون Rose-Devries زمانی مطرح می‌شود که حساسیت کانتراست بوسیله امواج اضافی تحت تاثیر قرار بگیرد. قانون Weber زمانی صادق است که عملکرد فتورسپتورها و شبکه عصبی منجر به بروز پاسخ ثابت کانتراست شود (۷). حساسیت کانتراست ابتدا براساس قانون Rose-Devries افزایش یافته، و در ادامه افزایش حساسیت براساس قانون Weber و مستقل از سطح روشنایی می‌باشد. آن سطح از روشنایی رتین که در آن تغییر از قانون Rose به Weber رخ می‌دهد، مستقل از فرکانس فضایی است (۷). برای بارهای بزرگ، مرکز و محیط رتین حساسیت کانتراست یکسان دارند و هر چه منطقه بزرگتری از رتین تحریک شود، حساسیت بیشتر می‌شود. به عنوان یک قانون، حساسیت با افزایش تعداد سیکلها تا حدود ۶ افزایش می‌یابد و برای سیکلهای ۲-۰ در بارها، برابر زاویه بینایی ۳۰۰ درجه است (۹). ظاهر درک شده از تارگت بدون رنگ در مرکز تحت تاثیر رابطه بین فرکانس فضایی مرکز تارگت و محیط آن است (۱۰). تشخیص محرک غیر رنگی زمانی که میزان روشنایی محرک برابر روشنایی زمینه است سخت می‌باشد (۱۲، ۱۱).

براساس گزاراشات whittle آستانه تشخیص برای دو محرک با فرکانس فضایی متفاوت به نسبت بین روشنایی تست و محیط اطرافش بستگی دارد. در مواردیکه که روشنایی به شدت کاهش می‌یابد آستانه تشخیص به روشنایی محرک بستگی دارد. Whittle بیان می‌کند که علت این امر به دو مکانیسم مربوط می‌شود: ۱. مکانیسم مربوط به حساسیت کانتراست که مسئول تشخیص محرک در شرایط روشنایی یکسان می‌باشد. ۲. مکانیسم مربوط به

Archive of SID

www.SID.ir

عادت پذیری به تاریکی که به روشنایی شبکیه حساس است و در شرایط که میزان روشنایی محرک خیلی کمتر از روشنایی محیط است بکار می‌رود (۱۲). کانتراست روشنایی در دو راه بینایی پرو و مگنو سلولار پردازش می‌شود. سلولهای مگنو در کانتراست روشنایی ۱-۲٪ جواب می‌دهند و در کانتراست ۱۰-۱۵٪ کامل می‌شود. پاسخ سلولهای پرو با افزایش کانتراست افزایش می‌یابد و در بالاترین حد کانتراست کامل می‌شود (۱۳).

مکانیسم کانتراست رنگی

مکانیسم gain-control کانتراست رنگی بیان می‌کند که در شرایط با کانتراست بالا رنگ منطقه مرکزی به شدت و فرکانس فضایی رنگهای محیط آن بستگی دارد. این مکانیسم منشا عصبی دارد. در حالی که برخی از محققین منشا کورتیکال را برای مکانیسم gain-control کانتراست رنگی بیان می‌کنند که براساس دریافت سیگنالها از هر دو چشم می‌باشد (۶). براساس نتایج مطالعه D'Zmura و Singer مدل چند کانالی مکانیسم gain-control کانتراست به موقعیت، فرکانس فضایی و طول موج شی بستگی دارد. (۱۴، ۱۰) براساس مکانیسم gain-control کانتراست، پاسخ عصبی به کانتراست حاشیه تارگت تحت تاثیر کانتراست محیط تارگت قرار می‌گیرد. براساس مطالعه Green، مکانیسم حساسیت کانتراست دو رنگ قرمز و سبز مشابه است (۱۵). مکانیسم حساسیت کانتراست دو رنگ قرمز و سبز حتی با حذف اطلاعات رنگی مشابه می‌باشد. در حالی که Kelly بیان می‌کند که مکانیسم حساسیت کانتراست دو رنگ قرمز و سبز هم از نظر شکل حساسیت و هم از نظر عملکرد فرکانسهای فضایی با هم اختلاف دارند (۱۶). بررسیهای Kelly نشان می‌دهد که مکانیسم رنگ سبز باید قادر به شناسایی بارهایی با کانتراست ۰/۱٪ باشد و بیان می‌کند که این حساسیت بالا بوسیله مکانیسم رنگ قرمز در بینایی نرمال مهار می‌شود (۱۶).

بر طبق گزارشات Stiles حساسیت میدان به صورت عکس پرتو تک رنگ میدان می‌باشد، که منجر به افزایش میزان آستانه مکانیسم تا ۱۰ برابر آستانه مطلقش می‌شود (۱۷). بر این اساس مکانیسم حساسیت کانتراست رنگهای قرمز و سبز مشابه می‌باشد. در حالی که مکانیسم رنگ آبی کمتر از دو رنگ دیگر است. به استثنا فرکانسهای فضایی پایین، مکانیسم حساسیت رنگ آبی مشابه رنگ سبز می‌باشد. مکانیسم رنگ قرمز سه برابر رنگ سبز به نور طول موج ۶۳۳ نانومتر حساس بوده، و در این طول موج، به تنهایی آستانه کانتراست را تشکیل می‌دهد (۱۸). اگرچه که یک کاهش مشخص در فرکانسهای فضایی پایین دیده می‌شود، شکل حساسیت برای یک مکانیسم مشخص مشابه CSF نرمال می‌باشد. این حقیقت که میزان حساسیت به فرکانسهای فضایی بالا، پایین است، مربوط به تفاوتهای فردی از نظر تعداد رسپتورهای رنگ آبی و اینکه میزان روشنایی محرک آبی سه برابر رنگ سبز می‌باشد، است (۱۸). براساس نتایج Kelly میزان حساسیت در فرکانس-های فضایی مختلف، متفاوت است و اینکه میزان حساسیت مکانیسم رنگ سبز به تنهایی بالاتر از میزان حساسیتی است که در تحریک همزمان دو رنگ سبز و قرمز رخ می‌دهد (۱۶). تفاوت حساسیت کانتراست دو رنگ سبز و قرمز گیج کننده و پیچیده است. میزان حساسیت کانتراست وبر (Weber) برای مکانیسم رنگ قرمز ۵ برابر رنگ سبز می‌باشد (۱۸)، در حالی که Stile بیان می‌کند که میزان حساسیت کانتراست در این دو رنگ یکسان می باشد (۱۷). یک تناقض منطقی در فرضیه Kelly این است که حساسیت بالا مکانیسم رنگ سبز بوسیله رنگ قرمز مهار می‌شود، علت آن حساسیت کانتراست پایین رنگ سبز می‌باشد که قادر به شناسایی بارها نیست. اندازه‌گیری حساسیت کانتراست فلیکر دو رنگ سبز و قرمز در شرایطی مشابه آزمایش Kelly نشان می‌دهد که، مکانیسم رنگ سبز حساسیت بالاتری در مقایسه با رنگ قرمز دارد. همچنین نتایج این تست بیانگر این است که در صورت استفاده از میدان خیلی روشن، مکانیسم دو رنگ سبز و قرمز غیر خطی می‌شود (۱۸).

در رابطه با بارهای تک رنگ و یا بی‌رنگ حساسیت کانتراست برابر با عکس آستانه کانتراست Michelson می‌باشد (۳). در رابطه با بارهای رنگی، حساسیت کانتراست به صورت عکس کانتراست Michelson در آستانه یک بار رنگی در زمینه‌اش تعریف می‌شود (۳). عملکرد حساسیت کانتراست فضایی و یا Spatial Contrast (SCSF) Sensitivity Function برای بارهای رنگی به شکل low-pass یا پایین گذر می‌باشد، به طوری که حساسیت در فرکانسهای فضایی پایین، ثابت و در فرکانسهای فضایی متوسط و بالا کاهش می‌یابد. عدم کاهش در فرکانسهای

Archive of SID

www.SID.ir

فضایی پایین، بدلیل نبود مهار جانبی برای محرک رنگی در سیستم بینایی می‌باشد. یک توضیح محتمل در رابطه با تفاوت دامنه مهار جانبی بین بارهای رنگی و غیر رنگی، تقابل فضایی- رنگی میدانهای گیرندگی سلولهای گانگلیونی پرو رتین و نرونهای dorsal LGN (dLGN) می‌باشد (۳). De valois بیان می‌کند که یک میدان گیرندگی با تقابل فضایی-رنگی یک سیگنال تحریکی را از یک سلول مخروطی و سیگنال مهاری را از یک و یا دو سلول مخروطی دیگر دریافت می‌کنند (۱۹). به عنوان مثال، برای یک سلول M-L سیگنالهای تحریکی سلول M (Medium) در مرکز میدان گیرندگی و سیگنالهای مهاری از سلول L (Large) بر تمام میدان گیرندگی متمرکز می‌شود. اگر میدان گیرندگی را بوسیله نقطه سفید و یا تک رنگ ترسیم کنیم، ساختمان آنتاگونیستی مرکز- محیط به خوبی مشخص می‌شود، زیرا هر دو نوع سلولهای مخروطی به افزایش روشنایی پاسخ می‌دهند. حال چنانچه میدان گیرندگی بوسیله نور تک رنگ سبز، که روشنایی مشابه رنگ زرد زمینه دارد، تحریک شود، در این صورت یک پاسخ تحریکی از کل میدان گیرندگی دریافت می‌شود، زیرا تحریک باعث افزایش پاسخ سلولهای مخروطی M و کاهش پاسخ سلولهای مخروطی L می شود (۳). بر این اساس، سلول M-L یک Spatial Modulation (SMTF) Transfer Function به شکل band-pass و یا میانه گذر را برای بارهای بی رنگ و یا تک رنگ ایجاد کرده و یک SMTF به شکل low-pass و یا پایین گذر را برای بارهای قرمز – سبز با روشنایی مشابه فراهم می‌کند (۳). بدلیل تقابل فضایی- رنگی در سلولهای گانگلیونی پروو رتین، بارهای رنگی با میزان روشنایی یکسان تحت تاثیر مهار جانبی پره کورتیکال قرار نمی‌گیرند (۳). سیستم بینایی حساسیت کمتری به کانتراست رنگی در فرکانسهای فضایی بالا دارد، که با عملکرد low-pass کانالهای رنگی قابل توجیه است (۲۰). عادت پذیری فرکانس فضایی مانند عادت‌پذیری رنگی منجر به کاهش حساسیت براساس فرکانس عادتی می‌شود.

براساس مدل Hering سیستم بینایی فرد از دو کانال متضاد رنگی و یک کانال روشنایی تشکیل شده است. بر این اساس یک تداخل کاهنده بین سلولهای مخروطی M و L و بین سلولهای مخروطی S و ترکیب M-L دیده می‌شود (۲۱). دامنه فیکسیشن رنگی برای رنگ آبی- زرد بزرگتر از رنگ قرمز- سبز است. پاسخ به محرکهایی با روشنایی یکسان در افراد مختلف تحت تاثیر دانسیته اپتیکی پیگمانهای ماکولا قرار می‌گیرد (۲۱). مکانیسم رنگ قرمز – سبز که اطلاعات را از سلولهای مخروطی M وL می‌گیرد، حساسیت بالایی به کانتراست فضایی و زمانی دارند، در حالی که سیگنالهای مخروط S این گونه نیستند. سلولهای مگنو آکروماتیک (بی رنگ) به خوبی به اشکال سبز و قرمز با روشنایی یکسان پاسخ می‌دهند، در حالی که همین پاسخ برای یک محرک‌تری تانوپیک با روشنایی مشابه کاهش می‌یابد (۲۱). حساسیت کانتراست برای بارهای سینوسی با روشنایی یکسان و رنگهای مختلف در واقع عملکرد low-pass فرکانسهای فضایی و زمانی می‌باشد (۲۱). مکانیسم رنگ قرمز- سبز حساسیت زمانی و فضایی، بالاتری را نسبت به مکانیسم زرد- آبی نشان می‌دهد، که علت آن حساسیت بالابه سیگنالهای زودگذر و بدون رنگ می‌باشد (۲۱). Williams و همکارانش بیان می‌کنند که بدلیل تشابه زیاد حساسیت برای رنگ قرمز و سبز و مخروط s می‌توان گفت که مکانیسم عصبی مشابهی دارند (۲۲). دید رنگ نیازمند بالانس بین قرمز- سبز و زرد - آبی است. محورهای دید رنگ بدلیل تفاوت در دانسیته پیگمانهای ماکولا، در بین افراد مختلف، متفاوت است (۲۱). سلولهای مگنو به رنگ سبز – قرمز حساسیت دارند، از این رو بدلیل ارتباط بین راههای سلولهای مگنو و دید سبز – قرمز، راههای بینایی سبز – قرمز به تغییرات روشنایی حساس بوده و هرگونه افزایش در کانتراست روشنایی منجر به افزایش میزان پاسخ می‌شود(۲۱). چنانچه یک مربع خاکستری را در زمینه قرمز بگذاریم دیگر به رنگ خاکستری دیده نمی‌شود بلکه به رنگ سبز درک می‌شود، همچنین اگر رنگ زمینه را به آبی تغییر دهیم، مربع خاکستری به رنگ زرد دیده می‌شود. این دو نمونه هایی از پدیده کانتراست رنگی بودند: که با قرار دادن رنگ خنثی در یک زمینه با رنگ خاص باعث می‌شود تا رنگ خنثی به رنگ مکمل، رنگ زمینه درک شود (۲۳).

براساس مدل Von Kries کانتراست رنگی در نتیجه دریافت همزمان اطلاعات از سه فتورسپتور رنگی می‌باشد (۲۳). Hering برای اولین بار از این مدل استفاده کرد، وی در آزمایش خود به یک چشم یک مربع خاکستری در زمینه قرمز، در نیمه بالایی و به چشم دیگر مربع خاکستری در زمینه آبی، در نیمه پایینی نشان داد. زمانی که دو تصویر

Archive of SID

www.SID.ir

به طور همزمان فیکس شوند، رنگ زمینه به رنگ بنفش دیده شده و مربع بالایی به رنگ سبز و مربع پایینی به رنگ زرد درک می‌شود. رنگ هر مربع به پردازش تک چشمی تصویر بستگی دارد (۲۴). قانون Kirschmann بیان می‌کند که میزان رنگ درک شده به لگاریتم اشباع رنگ بستگی دارد (۲۵). تعریف کلاسیک از کانتراست رنگی بیان می‌کند که رنگ درک شده مکمل رنگ زمینه می‌باشد (۲۳). عملکرد حسایت کانتراست فضایی در پاسخ به بارهای رنگی به شکل low-pass است. آستانه تشخیص در فرکانسهای فضایی پایین ثابت است و در فرکانسهای فضایی بالا و متوسط کاهش می‌یابد (۷). براساس مدل تشخیصی Rovamo از بینایی فضایی، نبود مهار جانبی برای بارهای رنگی با میزان روشنایی یکسان، بدین معنی است که MTF رتین و راههای عصبی برای بارهای رنگی ثابت است و هیچگونه کاهشی در فرکانسهای فضایی پایین در مقایسه با فرکانسهای فضایی بالا رخ نمی‌دهد (۲۷، ۲۶). اندازه‌گیری حساسیت کانتراست دید رنگ در فرکانسهای فضایی مختلف براین اساس صورت می‌گیرد که حداکثر و حداقل بهترین نسبت شدت را برای دو رنگ از بارهای رنگی، مشخص می‌کند. چنانچه تعداد سیکلهای فضایی بیشتر از ۴ تا باشد، حساسیت کانتراست مستقل از تعداد سیکلها و سایز میدان است. حساسیت به دو محرک سبز – قرمز و آبی – زرد ویژگی low-pass دارند، و هیچگونه کاهشی در حساسیت کانتراست برای فرکانسهای فضایی کمتر از ۰/۱ cycle/deg رخ نمی‌دهد. CSF رنگی برای هر دو رنگ سبز-قرمز و آبی-زرد مشابه بوده و کاهشی در فرکانس فضایی بالا نشان می‌دهد. تنها اختلاف در فرکانس فضایی پایین رخ می‌دهد به طوری که حساسیت کانتراست به آبی – زرد حدود ۰/۲-۰/۱۵ پایین‌تر است (۲۸).

عوامل مختلفی بر کانتراست رنگی اثر می‌گذارند، از آن جمله می توان به روشنایی نسبی، درجه فضایی، شکل فضایی و محتوا آن اشاره کرد. کانتراست رنگی زمانی رخ می‌دهد که رنگ محرک، رنگ متضادش را در سطح کناری ایجاد می‌کند. کانتراست رنگی پدیده‌ای غیر ارادی است، و نمی‌تواند به طور آگاهانه غیر فعال شود، و رنگ ظاهری سطح را تشکیل می‌دهد. آن چه واضح است که کانتراست سلولهای مخروطی بین محرک و زمینه بر ظاهر رنگ موثر هستند. از لحاظ کیفی، سه مکانیسم حسی جهت تعیین رنگ ظاهر وجود دارد : ۱. عادت‌پذیری رنگی به میانگین، که در سطوح مختلف فرکانس فضایی و زمانی رخ می‌دهد، نقطه خنثی را تغییر داده و یک دقیقه زمان جهت تکامل پس از تغییر میانگین رنگی نیاز دارد، ۲. عادت‌پذیری به واریانس که میزان حساسیت را به کانتراست سلولهای مخروطی درجه‌بندی کرده، و یک دقیقه زمان جهت تکمیل نیاز دارند، و ۳.کانتراست فضایی بین مناطق مختلف تصویر که به طور خود به خود رخ می‌دهد. با توجه به این نکته که کانتراست رنگی با حذف فاکتور روشنایی، میزان جدایی بین سطوح را افزایش می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت اتصال سطوح جهت ایجاد کانتراست رنگی ضروری است. مطالعات نروفیزیولوژیکی نشان می‌دهد که مکانیسم کانتراست در سطح V_1 رخ دهد. محرک با یک رنگ واحد زمانی که در زمینه‌هایی با رنگهای متفاوت قرار می‌گیرد، به رنگهای مختلف درک می‌شود از این رو می‌توان گفت که رنگ یک شی به رنگ محیط اطرافش وابسته است (۲۹). چنانچه تارگت در زمینه‌ای ارائه شود که از نظر رنگ مشابه رنگ تارگت است، آنگاه رنگ تارگت در مقایسه با رنگ زمینه از نظر روشنایی و اشباع دچار کاهش شده و کمی تغییر در رنگ درک شده، خواهد داشت. حال اگرتارگت در زمینه ای ارائه شود که رنگ زمینه مکمل رنگ تارگت باشد، آنگاه میزان روشنایی و درجه اشباع رنگ تارگت افزایش یافته و تغییر کوچکی در رنگ درک شده از تارگت داریم. در حالت آخر اگر تارگت در زمینه‌ای ارائه شود که رنگش نه مشابه و نه مکمل رنگ تارگت باشد آنگاه رنگ تارگت به کلی تغییر کرده و تنها تغییر کوچکی در روشنایی و اشباع رنگ تارگت داریم. آستانه تشخیص رنگی برای دو محرک با طیف رنگی متفاوت با افزایش تفاوت روشنایی و رنگی افزایش می یابد.

Cole بیان می‌کند که کانتراست رنگی بین محرک و زمینه آن امکان تشخیص تفاوت روشنایی بین محرک و زمینه را آسانتر می‌کند (۳۰). کانتراست بالا در اطراف یک تصویر باعث کاهش در کانتراست درک شده از تصویر مرکزی می‌شود به ویژه اگر جهت دو تصویر یکسان بوده و یا محور رنگی مشابه داشته باشند (۱۰). Shevell و Wei اثر تارگتهای مربعی سبز و قرمز در فاصله دور را بر رنگ درک شده در نتیجه رنگ قرمز اطراف یک شی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تارگتهای مربعی سبز و قرمز در فاصله دور باعث درک رنگ سبز در مرکز تصویر می‌شود. حال چنانچه به جای تارگتهای مربعی سبز و قرمز

Archive of SID

www.SID.ir

از یک تارگت یکسان با خاصیت رنگی مشابه استفاده شود تنها باعث کاهش روشنایی درک از مرکز تارگت می‌شود و تاثیری بر رنگ آن ندارد. میزان رنگ درک شده از تارگت مرکزی با افزایش کانتراست تارگتهای سبز و قرمز که در فاصله دورتر از تارگت مرکزی قرار دارند، کاهش می‌یابد (۵). چنانچه کانتراست رنگی در نتیجه ۱) تداخل جانبی بین نرونهای حساس به رنگ، ۲)عادت‌پذیری فتورسپتورها به طول موج زمینه و یا ۳) نسبت کانتراست بین مرزهای تصویر باشد، آنگاه ظاهر دو تارگت همیشه مشابه خواهد بود. محرکی که میزان تفاوت دو سطح را در روشناییهای متفاوت، مشخص می‌کند، میزان کانتراست رنگی را افزایش می‌دهد، از سوی دیگر، محرکی که تشابه بین سطوح مختلف را در روشناییهای یکسان مشخص می‌کند، میزان کانتراست رنگی را کاهش می‌دهد. حساسیت کانتراست رنگ قرمز- سبز درافراد با نقص دید رنگ پایین‌تر از افراد با دید رنگ نرمال می‌باشد (۳۱). در اندازه‌گیری Green از کانتراست رنگی، که از محرکهای رنگی در زمینه‌ای با رنگ متفاوت، و در سطوح مختلف از روشنایی استفاده کرد، نتیجه به صورت منحنی CSF به شکل band-pass بود، که مشابه CSF غیر رنگی می‌باشد (۱۵). Granger و همکارانش CSF رنگی را برای رنگ قرمز- سبز در زمینه زرد اندازه‌گیری کردند، نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که منحنی CSF به شکل low-pass است (۳۲). که با نتایج Horst و همکارانش موافق بود (۳۳). حداکثر حساسیت کانتراست در بارهای قرمز – سبز در فرکانس فضایی cpd ۰/۴ و حداقل حساسیت کانتراست در فرکانس فضایی cpd ۶-۴ است. در بارهای زرد- آبی حداکثر حساسیت کانتراست در فرکانس فضایی cpd ۰/۸ و حداقل آن در فرکانس فضایی cpd[1] ۲ می‌باشد (۳۴).

مقایسه دو مکانیسم رنگی و غیر رنگی

نسبت بین تعداد سلولهای Mو L بر کانتراست رنگی موثر است در حالی که بر کانتراست روشنایی اثری ندارد. تفاوت در حساسیت کانتراست رنگی بین افراد مختلف بدلیل تفاوت در نسبت بین تعداد سلولهای M و L می باشد. که با فرضیه معروف که بیان می‌کند در مکانیسم L/M حساسیت کانتراست رنگی نسبت بین سلولهای M و L یک به یک است صرف نظر از تعداد واقعی سلولها قابل توجیه است (۳۵). نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تفاوت در شکل CSF فضایی بین بارهای رنگی و غیر رنگی بدلیل فاکتورهای عصبی و پره عصبی می‌باشد. (۳). Sekiguchi که در مطالعه خود از حلقه‌های تداخلی تک رنگ با روشنایی یکسان، جهت کاهش تاری ناشی از اپتیک چشم استفاده کرده بود، بیان می‌کند تاثیر فاکتورهای عصبی، توضیح تفاوت شکل CSF فضایی بین بارهای رنگی و غیر رنگی، است (۳۶). سلولهای گانگلیونی رتین و نرونهای dLGN با تقابل فضایی- رنگی حاوی اطلاعات رنگی و غیر رنگی می باشند که اطلاعات خروجی آنها می‌تواند به دو راه روشنایی (غیر رنگی) با MTF زنگوله‌ای (band-pass) و یا راه رنگی با MTF فضایی low-pass تقسیم شود (۳).

Rohaly و همکارانش این فرضیه را با طراحی مدل تفاوت بین شکل CSF فضایی برای رنگهای سبز- قرمز و زرد، مطرح کردند، که با استفاده از میدان گیرندگی با تقابل فضایی- رنگی، Gaussian PSF و بدون در نظر گرفتن اثر امواج مزاحم بوده است (۳۷). Kelly با آنالیز اطلاعات حاصل از حساسیت کانتراست رنگی و غیر رنگی و با در نظر گرفتن تقابل فضایی- رنگی به این نتیجه رسید که MTF مکانیسمهای تحریکی و مهاری به شکل band-pass بوده و با MTF مرکز- محیط میدان گیرندگی سلولهای گانگلیون و dLGN قابل مقایسه نیست (۳۸). از آن جایی که MTF رنگی و غیر رنگی از لحاظ شکل متفاوت هستند، لذا اثر امواج اضافی کوانتوم جهت توضیح تفاوت شکل دو منحنی CSF فضایی رنگی و غیر رنگی در نظر گرفته می‌شود (۳). آنالیز داده‌های Mullan نشان می‌دهد که تفاوت شکل بین CSF رنگی و غیر رنگی می‌تواند بدلیل مهار جانبی ایجاد شده بوسیله این دو محرک باشد (۲۸). با حذف اثر مهار جانبی بر کانتراست بارها از طریق تقسیم cs/sf[2]، شکل دو CSF رنگی و غیررنگی تقریبا مشابه می‌شود. تفاوت شکل باقیمانده بدلیل کاهش در میزان قابلیت دیده شدن بارهای رنگی می‌باشد، که خود در نتیجه امواج اضافی کوانتوم ناشی از مهار جانبی است (۳). با حذف اثر امواج اضافی کوانتوم میزان حساسیت کانتراست در تمام فرکانسهای فضایی برای بارهای غیر رنگی تقریبا دو برابر بارهای رنگی می‌شود (۳). علت این امر این است که،

[1] Cycle per degree

[2] Contrast sensitivity/spatial frequency

www.SID.ir

کانتراست رنگی، بارها با روشنایی یکسان تقریبا برابر نصف کانتراست روشنایی (غیر رنگی) اجزا رنگی آنها می‌باشد (۳). چنانچه کانتراست بارهای رنگی با روشنایی یکسان به عنوان کانتراست رنگی در زمینه متضاد در نظر گرفته شود، در این حالت میزان حساسیت کانتراست برای بارهای رنگی و غیر رنگی مشابه شده و CSF دو بار با هم همپوشانی دارد. براساس مدل گسترده از بینایی فضایی، تفاوت در شکل CSF فضایی رنگی و غیررنگی بدلیل تفاوت در میزان مهار جانبی می‌باشد. بر این اساس تفاوت شکل بین CSF فضایی بارهای رنگی و غیر رنگی، بر طبق اطلاعات Mullen بدلیل مهار جانبی و اثر آن بر امواج اضافی کوانتوم می باشد که وی در آزمایشات خود موفق به کاهش اثر ابیراهی‌های رنگی بر حساسیت کانتراست شد (۳). مدل تشخیصی از بینایی فضایی چشم افراد یک مدل تک کانال است، اگرچه نتایج و شواهد مطالعات سایکوفیزیک و نروفیزیولوژیک از کورتکس بینایی بیان می‌کند کهCSF فضایی برای بارهای رنگی و غیر رنگی، مکانیسم band-pass فضایی را تشکیل می‌دهد. این امر بیانگر این نکته است که حساسیت کانتراست محرکهای رنگی با میزان روشنایی یکسان در سطح کورتیکال تحت تاثیر مهار جانبی ناشی از تناقض مرکز- محیط سلولهای double-opponent می‌باشند. حساسیت کانتراست برای بارهای رنگی و غیر رنگی متفاوت است (۳). حساسیت کانتراست رنگی که بوسیله سلولهای مخروطی M وL ایجاد می‌شود، متفاوت از حساسیت کانتراست روشنایی (غیر رنگی) است که به وسیله همان سلولها ایجاد می‌شود (۲۱).

مقایسه CSF فضایی برای بارهای غیر رنگی و رنگی نشان می‌دهد که حساسیت کانتراست برای فرکانسهای فضایی بالا در بارهای غیر رنگی و برای فرکانسهای فضایی پایین در بارهای رنگی، بالاترین مقدار است. کاهش در حساسیت کانتراست در فرکانسهای فضایی پایین برای بارهای غیر رنگی بدلیل مهار جانبی در پره کورتیکال می‌باشد (۷). در حالی که عدم کاهش حساسیت کانتراست در فرکانسهای فضایی پایین برای بارهای رنگی بدلیل نبود مهار جانبی در سیستم بینایی برای محرکهای رنگی می‌باشد (۲۴). در فرکانسهای فضایی پایین، حداکثر حساسیت زمانی است که تفاوت رنگ در محرک وجود داشته باشد، در حالی که در فرکانسهای بالاتر حداکثر حساسیت زمانی است که محرک تنها روشنایی دارد. (۳۹، ۲۸) مقایسه بین CS رنگی و غیر رنگی نشان می‌دهد که آنها تنها در شکل اختلاف دارند و هیچگونه اطلاعاتی در رابطه با چگونگی مقایسه بین حساسیت نسبی دو نوع محرک در دسترس نیست (۲۸). حساسیت کانتراست به بارهای تک رنگ با روشنایی ثابت، با تغییر در طول موج تغییر نمی‌کند، لذا حساسیت کانتراست در بارهای رنگی وابسته به رنگهایی است که محرک شامل می‌شود (۲۸). بارهای سبز – قرمز حتی در میزان روشنایی یکسان دو سلول مخروطی M و L را تحریک می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که مقایسه بین CSF رنگی و غیر رنگی به کانتراست مخروطهای آن بستگی دارد (۲۸). کانتراست روشنایی جهت تشخیص اجزا مختلف یک سطح با روشنایی متفاوت استفاده می‌شود، در حالی که کانتراست رنگی جهت تشخیص اجزا مختلف یک سطح با رنگهای مختلف استفاده می شود (۴۰). میزان کانتراست روشنایی در افراد با دید رنگ نرمال و ابنرمال یکسان می‌باشد، ولی میزان کانتراست رنگی برای افراد با نقص دید رنگ تری‌کرومات کمتر از افراد نرمال می‌باشد (۴۰). مقایسه عملکرد حساسیت کانتراست فضایی برای بارهای رنگی و غیر رنگی نشان می‌دهد که حساسیت کانتراست Michelson برای بارهای رنگی در فرکانسهای فضایی پایین و در رابطه با بارهای غیر رنگی در فرکانسهای فضایی بالا، بالاترین مقدار است (۳).

بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالعات مختلف حساسیت کانتراست به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱.روشنایی (غیر رنگی) و ۲.رنگی. نتایج آزمایشات مختلف در مقایسه این دو نشان می‌دهد که، شکل حساسیت کانتراست و یا CSF برای بارهای غیر رنگی به صورت band-pass و برای بارهای رنگی به شکل low-pass می‌باشد. مکانیسم حساسیت کانتراست برای دو رنگ سبز و قرمز تقریبا مشابه بوده ولی با مکانیسم رنگ آبی متفاوت است، اگر چه که در این رابطه اختلاف نظر وجود دارد. در بررسی مکانیسم حساسیت کانتراست، نتایج نشان می‌دهد که سلولهای مگنو LGN مسئول حساسیت کانتراست غیر رنگی، سلولهای پرو مسئول حساسیت کانتراست رنگی قرمز – سبز و سلولهای کونیو مسئول حساسیت کانتراست رنگ آبی- زرد می‌باشد که تمامی اطلاعات برروی کورتکس اولیه بینایی پروجکت می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

اگر چه دو تست تیز بینی و میدان بینایی به عنوان فاکتورهای اصلی تعیین‌کننده وضعیت بینایی فرد شناخته شده‌اند اما با توجه به مکانیسم درگیر در حساسیت کانتراست این تست در بررسی و تعیین وضعیت بینایی فرد بهتر عمل می‌کند، ولی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

منابع

1. Shapley R, Perry V. Cat and monkey retinal ganglion cells and their visual functional roles. TINS 1986; 9: 229-235.
2. Silveira LC, Saito CA, Lee BB, Kremers J, da Silva Filho M, Kilavik BE, et al. Morphology and physiology of primate M- and P-cells. Progress in brain research 2004; 144: 21-46.
3. Rovamo JM, Kankaanpaa MI, Kukkonen H. Modelling spatial contrast sensitivity functions for chromatic and luminance-modulated gratings. Vision research 1999 Jul;39(14):2387-98.
4. Rovamo J, Ukkonen O, Thompson C, Näsänen R. Spatial integration of compound gratings with various numbers of orientation components. Invest Ophthalmol Sci 1994; 35(5): 2611-9.
5. Shevell SK, Wei J. Chromatic induction: border contrast or adaptation to surrounding light? Vision research 1998; 38(11): 1561-6.
6. Shevell SK, Wei J. A central mechanism of chromatic contrast. Vision research 2000; 40(23): 3173-80.
7. Rovamo JM, Kankaanpaa MI, Hallikainen J. Spatial neural modulation transfer function of human foveal visual system for equiluminous chromatic gratings. Vision research 2001;41(13): 1659-67.
8. De Valois R, De Valois K. Neural Coding of color. Handbook of perception. 5 .New York: Academic Press. 117-66.
9. Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. The British journal of ophthalmology 1978; 62(4): 198-209..
10. Barnes CS, Wei J, Shevell SK. Chromatic induction with remote chromatic contrast varied in magnitude, spatial frequency, and chromaticity. Vision research 1999; 39(21): 3561-74.
11. Legge GE, Kersten D. Light and dark bars; contrast discrimination.Vision research 1983; 23(5): 473-83.
12. Whittle P. Increments and decrements: luminance discrimination. Vision research 1986; 26(10): 1677-91.
13. Shapley R, Kaplan E, Soodak R. Spatial summation and contrast sensitivity of X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of the macaque. Nature 1981; 292(5823): 543-5.
14. Singer B, D'Zmura M. Contrast gain control: a bilinear model for chromatic selectivity. Journal of the Optical Society of America A, Optics, image science, and vision 1995; 12(4): 667-85..
15. Green DG. The contrast sensitivity of the colour mechanisms of the human eye. The Journal of physiology 1968; 196(2): 415-29.
16. Kelly DH. Lateral inhibition in human colour mechanisms. The Journal of physiology 1973; 228(1): 55-72.
17. Stiles W. Color vision: The approach through increment-thershold sensitivity. Proc Natl Acad Sci 1959; 45(1): 100-14.
18. Cavonius CR, Estevez O. Contrast sensitivity of individual colour mechanisms of human vision. The Journal of physiology 1975; 248(3): 649-62.
19. De Valois R, De Valois K. Spatial vision. Annual Review of Psychology 1980; 31: 309-41.
20. Johnson, G.M, Fairchild, M.D. On contrast sensitivity in an image difference model, Proceedings of the 2002 Society for Imaging

Archive of SID

www.SID.ir

Science & Technology, Rochester, NY, USA, 2002;18–2.

21. McKeefry DJ, Murray IJ, Kulikowski JJ. Red--green and blue--yellow mechanisms are matched in sensitivity for temporal and spatial modulation. Vision research 2001; 41(2): 245-55.

22. Williams DR, Collier R. Consequences of spatial sampling by a human photoreceptor mosaic. Science 1983; 221(4608): 385-7.

23. Shepherd AJ. Remodelling colour contrast: implications for visual processing and colour representation. Vision research 1999; 39(7): 329-45.

24. Hering E. Outlines of a theory of the light sense: Cambridge, Harvard Univ. Press; 1984.

25. Kirschmann A. Ueber die quantitativen Verhältnisse des simultanen Helligkeits- und Farben-Contrastes'. Philosophische Studien. Phil Stud 1981; 6: 417-91.

26. Rovamo J, Luntinen O, Nasanen R. Modelling the dependence of contrast sensitivity on grating area and spatial frequency. Vision research 1993; 33 (18) : 2773-88.

27. Rovamo J, Mustonen J, Näsänen R. Modelling contrast sensitivity as a function of retinal illuminance and grating area. Vision research 1994; 34(10): 1301-14.

28. Mullen KT. The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. The Journal of physiology 1985; 359: 381-400.

29. Lotto RB, Purves D. An empirical explanation of color contrast. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2000; 97(23): 12834-9.

30. Cole GR, Stromeyer CF, 3rd, Kronauer RE. Visual interactions with luminance and chromatic stimuli. Journal of the Optical Society of America A, Optics and image science 1990; 7(1): 128-40.

31. Wenzel K, Ladunga K, Samu k. Measurement of color defective and normal color vision subjects' color and luminance contrast threshold functions on crt. Periodica polytechnica ser mech eng 2001; 45(1): 103-8.

32. Granger EM, Heurtley JC. Letters to the editor: Visual chromaticity-modulation transfer function. Journal of the Optical Society of America 1973; 63(9): 1173-4.

33. van der Horst GJ, Bouman MA. Spatiotemporal chromaticity discrimination. Journal of the Optical Society of America 1969; 59(11): 1482-8.

34. Barboni MT, Gomes BD, Souza GS, Rodrigues AR, et al. Chromatic spatial contrast sensitivity estimated by visual evoked cortical potential and psychophysics. Brazilian journal of medical and biological research 2013; 46(2): 154-63.

35. Gunther KL, Dobkins KR. Individual differences in chromatic (red/green) contrast sensitivity are constrained by the relative number of L- versus M-cones in the eye. Vision research 2002; 42(11): 1367-78..

36. Sekiguchi N, Williams DR, Brainard DH. Efficiency in detection of isoluminant and isochromatic interference fringes. Journal of the Optical Society of America A, Optics, image science, and vision 1993; 10(10): 2118-33.

37. Rohaly AM, Buchsbaum G. Inference of global spatiochromatic mechanisms from contrast sensitivity functions. Journal of the Optical Society of America A, Optics and image science 1988; 5(4):572-6.

38. Kelly DH. Opponent-color receptive-field profiles determined from large-area psychophysical measurements. Journal of the Optical Society of America A, Optics and image science 1989; 6(11): 1784-93.

39. Van Nes F, Bouman M. Spatial Modulation Transfer in the Human Eye. Journal of the Optical Society of America 1967; 57(3): 401-6.

40. Devos M, Spileers W, Arden G. Colour contrast thresholds in congenital colour defectives. Vision research 1996; 36(7): 1055-65.

Archive of SID

www.SID.ir