

پاسخ غیر وابسته نوروهای قشر اینفروتمپورال به زاویه دید اشیاء

حسین استکی

دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده پزشکی، بخش فیزیولوژی، مرکز تحقیقات علوم اعصاب

چکیده

ادراک اشیاء توسط سیستم بینایی بستگی به زاویه دید ندارد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که سلول‌های اینفروتمپورال به شکل اختصاصی به خصوصیات (features) نسبتاً پیچیده‌ای از تصویر اشیاء در شبکه پاسخ می‌دهند. تصویر منعکس شده یک شیء می‌تواند با فعالیت تعدادی از سلول‌های اینفروتمپورال که به ویژگی‌های متفاوت موجود در تصویر پاسخ می‌دهند، نماگری (Represent) شود. تغییر در زاویه دید موجب تغییر در نسبت ابعاد (Aspect ratio) تصویر شیء می‌گردد. مطالعه حاضر نشان داد که سلول‌های اینفروتمپورال تغییرات وسیعی را در نسبت ابعاد تصویر اشیاء تحمل می‌کنند. بنابراین پاسخ این نوروها به شکل اشیاء، در فضای دو بعدی تصویری (Pictorial) تبیین نمی‌گردند بلکه پاسخ اختصاصی آنها باید در فضای چندبعدی وابسته به خصوصیات شیء تعیین گردد. بر اساس یافته‌های این مطالعه یک مجموعه محدود از سلول‌های اینفروتمپورال می‌تواند تصاویر منعکس شده از یک شیء از زوایای مختلف را نماگری کند.

واژه‌های کلیدی: بینایی، نسبت ابعاد، اینفروتمپورال، درک اشیاء، زاویه دید.

مقدمه

اشیاء قابل شناسایی خواهند بود. برای ادراک یک شیء علاوه بر ادراک اجزای آن ادراک ارتباط فضایی بین اجزاء شیء نیز ضروری است و لذا مغز علاوه بر نماگری الفبای اشکال و مقایسه آن با اجزاء هر شیء نیاز به نماگری موقعیت قرار گرفتن اجزاء نسبت به یکدیگر را نیز دارد. به دلیل حجمی بودن الفبای اشکال، ادراک شیء بدون وابستگی به زاویه دید، صورت می‌پذیرد [۱، ۲ و ۱۲].

گروه دیگر تئوری‌ها پیشنهاد می‌کنند که مغز انسان تصاویر دو بعدی از اشیاء که روی شبکه منعکس

ادراک اشیاء توسط سیستم بینایی به زاویه دید بیننده بستگی ندارد. برای توضیح ادراک شیء بدون وابستگی به زاویه دید دو گروه تئوری سایکو فیزیکی پیشنهاد شده‌اند. یک گروه از تئوری‌ها پیشنهاد می‌کنند که اجزاء شیء و ارتباط فضایی بین آنها در مغز نماگری می‌شوند. بر اساس این نظریه شناسایی و ادراک هر شیء توسط سیستم بینایی با مکانیزمی مشابه شناسایی و ادراک کلمات و بر اساس مقایسه شکل اجزاء شیء با مجموعه‌ای نسبتاً محدود از «الفبای اشکال» صورت می‌پذیرد. بر اساس این تئوری تنها با نماگری حدوداً ۳۶ عدد شکل حجمی اولیه، تمامی

از پیچ‌های استیل و رزین تثبیت می‌گردید. کرانیوتومی در ناحیه تمپورال یک طرف صورت می‌گرفت و سپس ناحیه کرانیوتومی با رزین دندانپزشکی پسر می‌شد. در پایان با استفاده از دستگاه استروتاکسیک موقعیت قدامی - خلفی 5 mm و 20 mm که تقریباً نشان‌دهنده شروع و خاتمه قشر اینفروتمپورال (TE) می‌باشند، روی رزین علامت‌گذاری می‌شد. قبل از اولین جلسه آزمایش ثبت تک سلولی اپتومتری برای انتخاب عدسی مناسب صورت می‌گرفت. انحنای قرینه اندازه‌گیری شد و عدسی با انحنای مناسب روی قرینه گذاشته می‌شد. انتخاب عدسی به نحوی صورت می‌گرفت که تصویر شیء موجود در 57 سانتیمتری چشم، بر روی شبکیه قرار گیرد. سپس عکس شبکیه برای تعیین محل فوؤاً گرفته می‌شد. از هر حیوان یک یا دو بار در هفته برای ثبت تک سلولی استفاده می‌شد. به دلیل زمان طولانی ثبت از هر حیوان امکان بازیابی محل قرار گرفتن الکترودها و موقعیت دقیق هر سلول ثبت شده ممکن نمی‌باشد. در این مطالعه موقعیت قدامی - خلفی هر سلول با توجه به علائم درج شده روی رزین تعیین می‌گردید. وجود پاسخ اختصاصی به محرک بینایی و اندازه وسیع میدان گیرنده (بیش از ده درجه بینایی) به عنوان شواهدی بر ثبت از ناحیه TE محسوب گردید [6].

ثبت تک سلولی از نوروهای قسمت‌های جانبی قشر قدامی اینفروتمپورال (ناحیه Ted) در سه macaque Fuscata با وزن 4/5 تا 6/5 کیلوگرم صورت پذیرفت. هر جلسه آزمایش با تزریق اولیه آتروپین (0.5 mg/im) و کتامین (10 mg/im) شروع می‌شد. در طول آزمایش حیوان توسط پانکرونیوم بروماید (میزان اولیه 0.08 mg/kg im و میزان تکمیلی از 0.024 mg/kg/hr im) بی حرکت و توسط مخلوطی از

می‌گردد را ذخیره نموده و با ادغام (Interpolation) تصاویر دو بعدی متعددی که از زوایای دید مختلف از هر شیء پدید می‌آید، تصویر سه بعدی از اشیاء در قشر اینفروتمپورال ایجاد می‌نماید [3، 9، 10، 11، 13، 14].

در تأیید هر دو گروه تئوری شواهد سایکوفیزیکی فراوانی موجود می‌باشد [11 و 20] ولی مکانیزم‌های نورونی ادراک بینایی اشیاء بدون وابستگی به زاویه دید شناخته شده نیستند!

مطالعاتی که با استفاده از تکنیک ثبت تک سلولی انجام گرفته است، نشان داده‌اند که سلول‌های اینفروتمپورال به طور اختصاصی به اجزاء خاصی از تصویر اشیاء پاسخ می‌دهند [5، 6، 7، 8، 18 و 19]. تغییر در زاویه دید موجب تغییر در نسبت ابعاد (Aspect ratio) تصویر اجزاء شیء و اندازه و امتداد (Orientation) آن می‌شود. برای دستیابی به تغییرات شکل بدون تأثیرپذیری از این گونه تغییرات نماگری خصوصیات شیء در مغز باید بدون وابستگی به تغییرات شکل محرک باشد. در واقع قبلاً نشان داده شده است که پاسخ بسیاری از سلول‌های اینفروتمپورال عمدتاً غیر وابسته به اندازه محرک می‌باشد [6] ولی تأثیر تغییرات در نسبت ابعاد اشیاء بر پاسخ نوروهای قشر اینفروتمپورال تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است.

مواد و روش‌ها

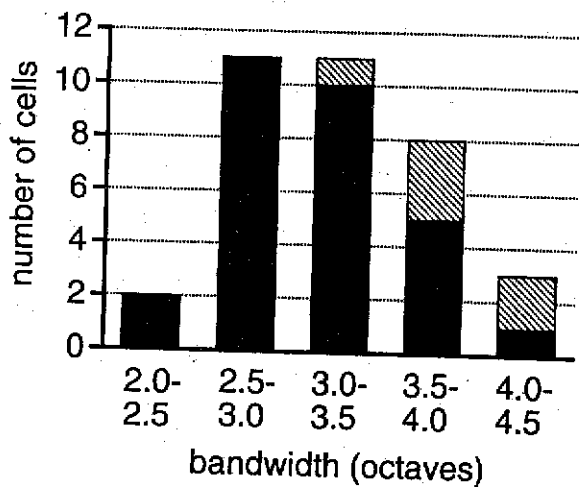
آماده سازی و ثبت الکتروفیزیولوژیک: هر macaque برای انجام آزمایش‌های مکرر به روش ذیل آماده می‌شد. حیوان در شرایط جراحی استریل زیر بیهوشی با پنتوباریتال سدیم قرار می‌گرفت. سپس یک قطعه برنز برای ثابت نگهداشتن سر در هنگام آزمایش‌های الکتروفیزیولوژیک روی جمجمه نصب می‌شد و با استفاده

Archive of SID

بود. یک اکتاو معادل دو برابر تغییر در نسبت می باشد. میزان پاسخ بر اساس متوسط فرکانس پاسخ در زمان تحریک منهای متوسط پاسخ خود به خودی (Spontaneous) محاسبه می گردید. آزمون Kolmogorov-Smirnov برای تعیین تفاوت آماری بین پاسخ به محرک و فعالیت خود به خودی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

نتایج گزارش شده در این مقاله پاسخ نوروهای قسمت های مختلف قشر اینفروتیمپوزال (ناحیه Ted) به محرک بینایی می باشد. سلول هایی که به شکل اختصاصی به تصویر صورت پاسخ می دادند، برای مطالعات بیشتر مورد استفاده قرار نگرفتند. ۳۷ سلول که محرک مطلوب آنها تشخیص داده شد، مورد مطالعه قرار گرفتند.



شکل ۱- نمودار پراکنندگی پهنای نسبت ابعاد. نواحی توپر نمایانگر نوروهای با محرک مطلوب دارای چند جزء و نواحی هاشور خورده نمایانگر نوروهای با محرک مطلوب دارای یک جزء می باشد.

گاز O_2 , N_2O (70:30) بیهوش می گردیدند. سپس کرانیوتومی کوچکی در منطقه تمپورال صورت می گرفتند و الکتروود تنگستن (با مقاومت ۳-۱۰ مگا اهم) برای ثبت سلولی وارد قشر مغز می شد. پس از اتمام هر جلسه آزمایش ناحیه کرانیوتومی با رزین پر می شد.

تحریک بینایی: با استفاده موضعی ۰/۰۵ tropicamid و ۰/۰۵ Phenylephrine مردمک گشاد شده و لنز شل می شد و سپس قرنیه توسط کنتاکت لنز پوشیده می شد. مانیتور در ۵۷ سانتیمتری چشم ها قرار می گرفت و موقعیت فووا با استفاده از عکس فوندوس تعیین می گردید. تحریک بینایی در ناحیه فووا در چشم مقابل در حالی که چشم دیگر بسته بود صورت می گرفت.

برای تعیین بهترین محرک برای هر سلول تعداد زیادی اشیاء نمایش داده می شدند. سپس تصویر مؤثرترین اشیاء در ایجاد پاسخ توسط یک دوربین CCD به کامپیوتر منتقل می گردید. برای تعیین ساده ترین محرکی که بیشترین پاسخ را بر می انگیزاند، تصویر دیجیتالی مؤثرترین شیء توسط یک کامپیوتر در طی مراحل متعدد ساده می شد. ساده ترین محرکی که منجر به حداکثر فعالیت سلول می شد، به عنوان محرک مطلوب محسوب شده و برای مطالعات بعدی مورد استفاده قرار می گرفت.

برای سلول هایی که محرک مطلوبشان شکل اجزاء شیء یا مجموعه ای از رنگ و شکل بود، تأثیر تغییر نسبت ابعاد شکل محرک بر پاسخ نوروها مورد مطالعه قرار گرفت. نسبت ابعاد هر شکل با تقسیم عرض آن به طولش محاسبه گردید. برای ایجاد شکل هایی با نسبت ابعاد مختلف طول و یا عرض محرک با حفظ مساحت کلی آن افزایش می یافت. بنابراین افزایش طول همواره با کاهش عرض و افزایش عرض با کاهش طول محرک همراه بود. دامنه تغییرات نسبت ابعاد حداقل ۶ اکتاو (Octave)

برای تغییرات نسبت ابعاد برابر $\frac{3}{3}$ اکتاو بود (شکل 3D). پهنای باند نوروں‌های با محرک ساده تفاوت آعاری قابل ملاحظه با پهنای باند نوروں‌های با محرک پیچیده داشت (شکل 1، $P < 0.001$) ولی در گروه نوروں‌های با محرک پیچیده همبستگی Correlation بین تعداد اجزاء محرک (به عنوان شاخص پیچیدگی محرک) و پهنای باند هر نوروں وجود نداشت (Pearson's correlation coefficient $r=0.134$, $P=0.49$).

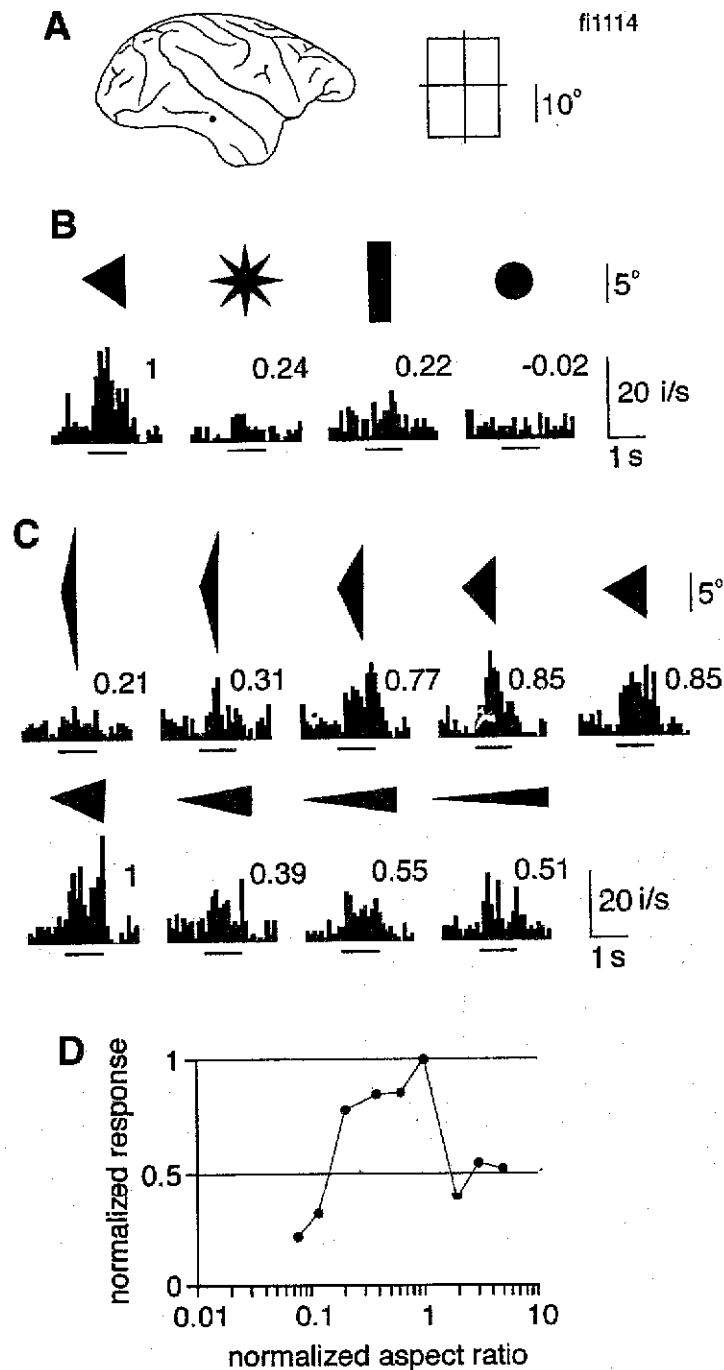
پاسخ یک نوروں که به طور نسبتاً اختصاصی به نسبت ابعاد محرک پاسخ می‌داد، در (شکل 4) نمایش داده شده است. محرک مطلوب برای این نوروں دیسک توپر با زائده‌ای در سمت راست آن بود (شکل 4A). پاسخ نوروں در صورت تغییر شکل دیسک و یا زائده کاهش می‌یافت (شکل 4A). در زمان آزمون میزان پاسخ به نسبت ابعاد محرک، این نوروں تنها به دو محرک پاسخ داد (شکل 4C). پهنای باند نسبت ابعاد این نوروں $\frac{2}{4}$ اکتاو بود (شکل 4D).

برای تبیین مکانیسم‌های نوروںی ادراک بینایی بدون وابستگی به زاویه دید و تغییرات ایجاد شده در تصویر اشیاء ارتباط بین میزان پهنای باند نسبت ابعاد و موقعیت قدامی - خلفی نوروں‌های ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت. نوروں‌های با پهنای باند وسیع در سرتاسر محور قدامی - خلفی قشر اینفروتمپورال یافت می‌شدند (شکل 5). ارتباط قابل ملاحظه آماری (آزمون همبستگی) بین پهنای باند و موقعیت قدامی - خلفی نوروں‌های ثبت شده وجود نداشت ($r=-0.23$, $P=0.17$). با توجه به احتمال وجود پراکندگی بیشتر نوروں‌های با محرک ساده در نواحی خلفی و تأثیر آن بر آزمون آماری مورد اشاره، این آزمون برای سلول‌های با محرک پیچیده نیز انجام پذیرفت و مجدداً نشان داد که ارتباطی بین پهنای باند و

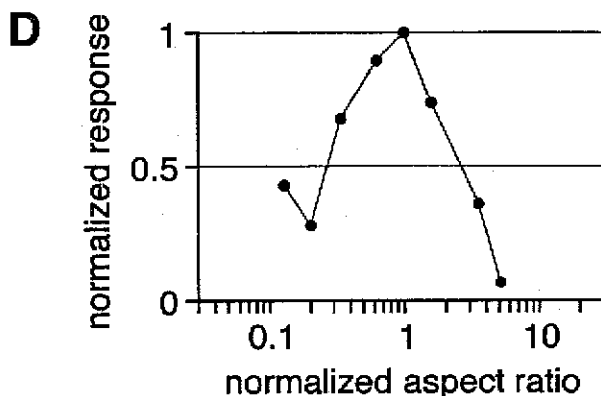
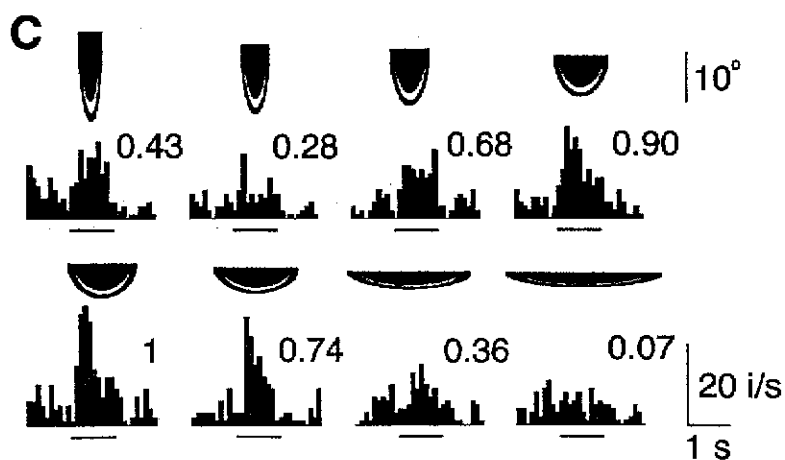
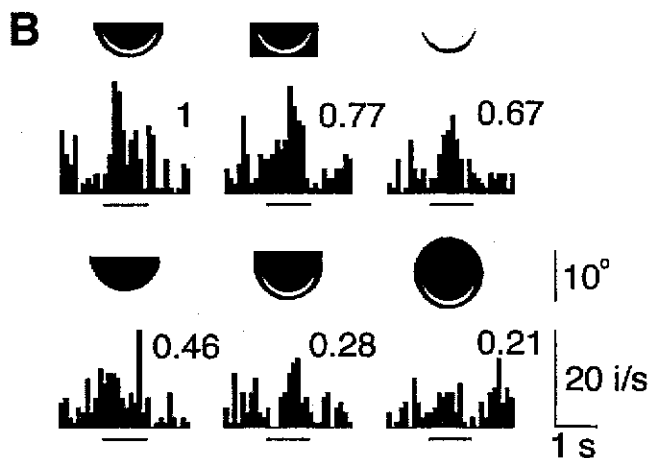
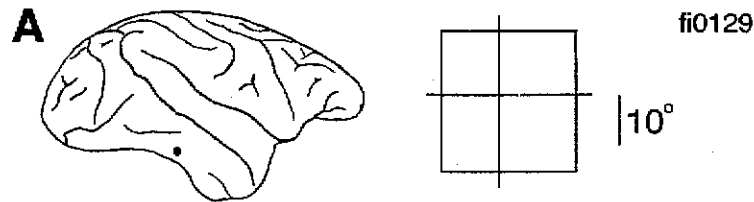
تأثیر تغییر نسبت ابعاد: اغلب نوروں‌های قشر Ted به دامنه وسیعی از تغییرات نسبت ابعاد پاسخ دادند. این موضوع با استفاده از پهنای باند (Tuning bandwidth) نمودار محرک - پاسخ به شکل کمی تبیین گردید. پهنای باند تفاوت بین حداکثر و حداقل نسبت ابعاد در حد پنجاه درصد حداکثر پاسخ بوده و با واحد اکتاو (Octave) محاسبه می‌گردد. پراکندگی پهنای باند نسبت ابعاد در (شکل 1) نمایش داده شده است. اغلب نوروں‌ها [33-35] پهنای باند بالاتر از $\frac{2}{5}$ اکتاو داشتند. پهنای باند میانه (Median) در نمونه حاضر برابر $\frac{3}{4}$ اکتاو بود که به معنی پاسخ اختصاصی نوروں تا حد 170 درجه تغییر در زاویه دید می‌باشد.

تمام نوروں‌هایی که محرک نسبتاً ساده (اشکال ساده یک قسمتی) برای فعال نمودن آنها کفایت می‌کرد، پهنای باند وسیعی داشتند (قسمت هاشور خورده شکل 1). پاسخ یک نوروں نمونه در (شکل 2) نمایش داده شده است. این نوروں به طور اختصاصی به یک مثلث توپر پاسخ می‌داد (شکل 2B). در حالی که این سلول پاسخ نسبتاً مشابهی به طیف وسیعی از تصاویر مثلثی شکل با نسبت ابعاد مختلف نشان داد (شکل 2C). پهنای باند این نوروں $\frac{3}{4}$ اکتاو بود (شکل 2D).

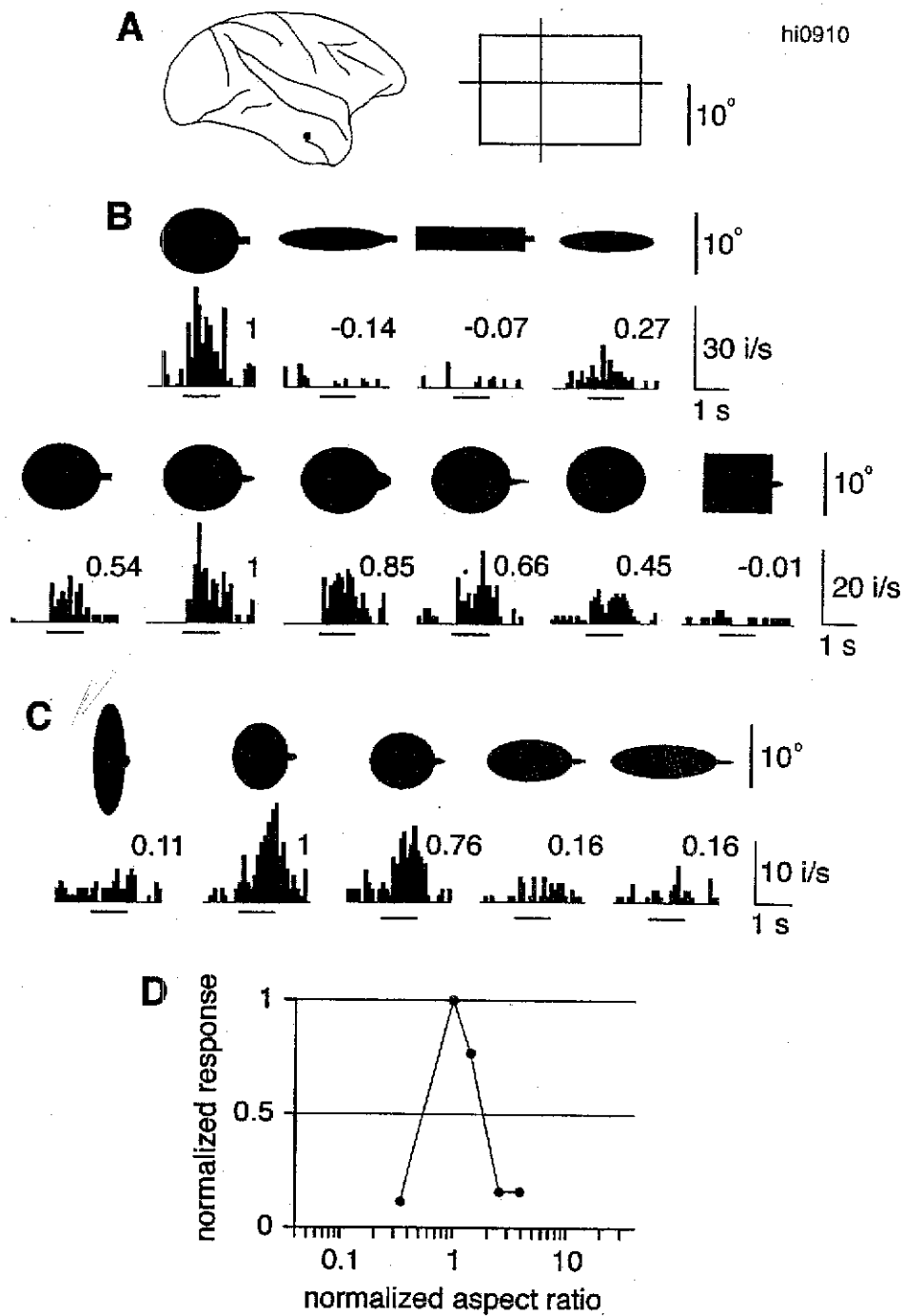
اغلب نوروں‌هایی که محرک نسبتاً پیچیده‌تری (اشکال دارای اجزاء متعدد) برای فعال نمودن آنها لازم بود نیز پهنای باند وسیعی در تغییرات نسبت ابعاد داشتند (قسمت توپر شکل 1). پاسخ نمونه نوروں در (شکل 3) نشان داده شده است. این نوروں بهترین پاسخ را به شکل نیم‌دایره با هلالی در داخل آن می‌داد. نمایش جداگانه هر یک از اجزاء یا تغییر شکل نیم‌دایره به مربع یا دایره کامل (شکل 3B). با تغییر شکل هلال موجب کاهش قابل ملاحظه پاسخ نوروں می‌گردید. پهنای باند این نوروں



شکل ۲- نمونه پاسخ نورون با محرک مطلوب دارای یک جزء. A محل ثبت و میدان گیرنده حسی نورون. B پاسخ نورون به محرک‌های مختلف. در این شکل و اشکال مشابه بعدی پاسخ نورون به ده بار نمایش محرک ارائه شده‌اند. مدت نمایش هر محرک (یک ثانیه) با خط زیر نمودار PSTH نشان داده شده است. اعداد داخل نمودار Peristimulus time histogram (PSTH) میزان پاسخ نرمالیزه شده نسبت به پاسخ محرک مطلوب می‌باشد. اعداد منفی نشان‌دهنده کاهش پاسخ به زیر حد فعالیت خود به خودی نورون می‌باشند. I/s = impulse/second
 C پاسخ به محرک‌های با نسبت ابعاد مختلف. این نورون پاسخ مشابهی به محرک‌های با نسبت ابعاد مختلف ایجاد نمود. مساحت محرک‌ها ثابت می‌باشد. D نمودار پاسخ نرمالیزه شدن به پاسخ نورون به محرک مطلوب. در این نمودار و شکل‌های بعدی نسبت ابعاد هر محرک با مقایسه نسبت ابعاد محرک نرمالیزه شده است. پهنای باند معادل ۳/۴ اکتاو بود.



شکل ۳- نمونه نورو با محرک مطلوب پیچیده و پهنای باند وسیع پاسخ به نسبت ابعاد. A محل ثبت و میدان گیرنده حسی نورو. B نمونه پاسخ نورو به چند محرک. رنگ قسمت اصلی محرک سبز و رنگ نیمه هلال زرد بود. تغییر رنگ محرک منجر به کاهش پاسخ نورو می گردید. C پاسخ نسبتاً مشابه نورو به تغییرات نسبت ابعاد محرک. D نمودار پاسخ نرمالیزه شده به پاسخ نورو به محرک مطلوب. پهنای باند معادل ۳/۳ اکتاو بود.



شکل ۴- نمونه نورون با پهنای باند باریک پاسخ به نسبت ابعاد. **A** محل ثبت و میدان گیرنده حسی نورون. **B** نمونه پاسخ نورون به چند محرک تغییر شکل قسمت اصلی محرک منجر به کاهش پاسخ نورون می‌شد (ردیف بالا) ولی نورون به تغییر شکل زبانه شکل نیز حساس بود (ردیف پایین). **C** نورون تنها به دو حالت نسبت ابعاد شکل محرک پاسخ داد. **D** نمودار پاسخ نرمالیزه شده به پاسخ نورون به محرک مطلوب. پهنای باند معادل ۱/۸ اکتاو بود.

Archive of SID

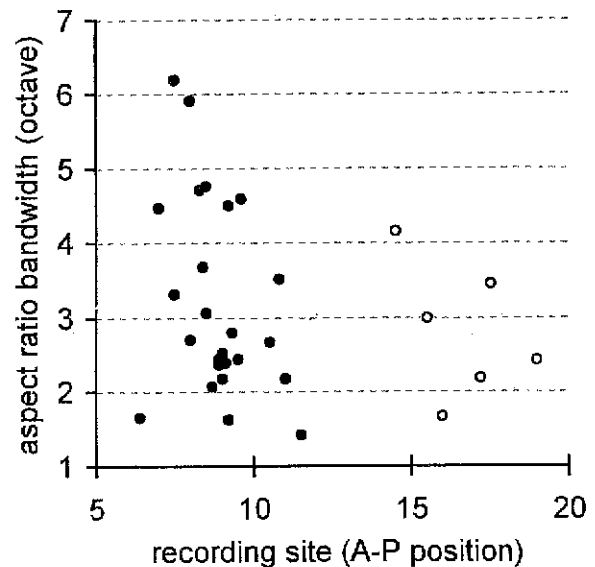
بررسی قرار داده‌اند، نشان دهنده پاسخ نسبتاً اختصاصی این نورون‌ها به زاویه دید می‌باشند [۳، ۹، ۱۰، ۱۳].

برای مثال Logothetis و همکاران (۱۹۹۵) گزارش نموده‌اند که نورون‌های اینفروتمپورال حداکثر به دامنه زاویه دید حدود ۶۸ درجه پاسخ می‌دهند. این پاسخ نسبتاً اختصاصی به زاویه دید با یافته‌های مطالعه حاضر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. این مغایرت یافته‌ها می‌تواند به دلیل این واقعیت باشد که در چرخش اشیاء در عمق اجزاء جدیدی از شیئی تمایزگر و یا پنهان می‌شوند. اگر قسمتی از اجزاء شیئی که موجب تحریک نورون می‌گردد توسط اجزاء دیگر پوشیده و پنهان شود، پاسخ نورونی کاهش می‌یابد. اگر جزء جدیدی در اثر تغییر زاویه دید نمایان‌گر شود، این محرک جدید می‌تواند موجب مهار و تغییر فعالیت نورون گردد [۱۶].

مکانیسم ایجاد پاسخ‌های نورونی غیر وابسته به زاویه دید می‌تواند بر اساس هم‌گرایی ورودی‌های آوران نورون‌های مدارهای پایین‌تر با پاسخ‌های اختصاصی به زوایای دید مختلف روی نورون‌های اینفروتمپورال و عملیات محاسباتی OR-Like روی این داده‌های ورودی باشد. به دلیل اینکه ارتباطات Feed Forward تدریجی در قشر اینفروتمپورال وجود دارد [۴]، در صورت وجود هم‌گرایی و محاسبات OR-Like در سیناپس‌های آوران قشر اینفروتمپورال انتظار می‌رود که نورون‌های واقع در نواحی قدامی‌تر این قشر دارای پهنای باند وسیع‌تری نسبت به نورون‌های واقع در نواحی خلفی‌تر باشند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که چنین تفاوتی وجود ندارد و لذا هم‌گرایی ورودی‌های مورد بحث احتمالاً در سیناپس‌هایی به جز مسیر آوران صورت می‌پذیرد.

یافته‌های مطالعه حاضر دلایل تجربی مهمی در تأیید نماگری اشیاء بر اساس نماگری اجزاء آن می‌باشد.

موقعیت قدامی - خلفی قرار گرفتن نورون‌های ثبت شده وجود ندارد ($r=0.27, P=0.59$).



شکل ۵- پهنای باند نسبت به ابعاد هر نورون و محل قرارگرفتن نورون در محور خلفی - قدامی قشر اینفروتمپورال نمایش داده شده است. دیسک توپر نشان‌دهنده نورون‌های ناحیه Tep و دیسک خالی نشان‌دهنده نورون‌های ناحیه Tep می‌باشد.

بحث

مطالعه حاضر نشان داد که سلول‌های قشر اینفروتمپورال به طور اختصاصی به شکل محرک پاسخ می‌دهند. این پاسخ اختصاصی تأثیر پذیری قابل ملاحظه‌ای از تغییرات نسبت ابعاد محرک نمی‌پذیرد. وقتی شیئی از زوایای دید مختلف مشاهده می‌شود، نسبت ابعاد تصویر اجزاء آن تغییر نمی‌نماید. مشاهدات حاضر نشان داد که نورون‌های قشر اینفروتمپورال به تصویر مشاهده شده از زوایای مختلف، تا میزان ۱۷۰ درجه تغییر زاویه دید، پاسخ نسبتاً مشابهی می‌دهند.

تمامی مطالعاتی که نحوه پاسخ نورون‌های قشر اینفروتمپورال به چرخش اشیاء سه بعدی در عمق را مورد

Archive of SID

مختلف یک شیئی را نماگری می‌نمایند، ارتباط بین آنها را برقرار نموده و به این ترتیب از ایجاد حس وهمی جلوگیری می‌شود [۱۷]. اخیراً Sali و Ullman (۱۹۹۹) پیشنهاد نموده‌اند که با نماگری ویژگی‌های خاص هر شیئی و همچنین با نماگری ویژگی‌هایی که همپوشانی نسبی دارند، احتمال حس وهمی اشیاء به شدت کاهش می‌یابد، بدون اینکه نیازی به فعالیت نوسانی نورون‌های نماگر یک شیئی وجود داشته باشد [۱۵]. برای شناخت نحوه نماگری ارتباطی فضایی اجزاء اشیاء در قشر اینفروتیمپورال مطالعات بیشتری مورد نیاز است.

یکی از مشکلات فرضیه نماگری اجزاء شیئی مسئله «مشاهده وهمی» (Halucination) است. مشاهده یک صحنه حاوی اشیاء مختلف منجر به فعال شدن نورون‌های مختلفی می‌شود. ترکیب نادرست اجزاء صحنه مورد مشاهده توسط سیستم عصبی می‌تواند منجر به ایجاد حس وهمی اشیاء شود. برای حل این مشکل نیاز به وجود مکانیسمی است که توسط آن موقعیت فضایی قرار گرفتن اجزاء شیء توسط سیستم عصبی نماگری شود. Singer و Gray پیشنهاد کرده‌اند که فعالیت همزمان (Synchronized) نورون‌هایی که اجزای و ویژگی‌های

منابع

- [1] Biederman, I. Recognition-by-components: A theory of human image understanding, *Psychol Rev.*, 94 (1987) 115-147.
- [2] Biederman, I., and Gerhardstein, P.C. Recognizing depth-rotated objects: Evidence and conditions for three-dimensional viewpoint invariance. *J. Exp. Psychol.*, 19 (1993) 1162-1182.
- [3] Booth, M.C.A. and Rolls, E.T. View-invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex, *Cereb Cortex*, 8 (1998) 510-523.
- [4] Desimone, R., Fleming J.F.R., and Gross C.G. Prestriate afferents to inferior temporal cortex; An HRP study, *Brain Res.*, 184 (1980) 41-55.
- [5] Fujita, I., Tanaka, K., Ito, M., and Cheng, K. Columns for visual features of objects in monkey inferotemporal cortex, *Nature*, 360 (1992) 343-346.
- [6] Ito, M., Tamura, H., and Tanaka, K. Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex, *J. Neurophysiol.*, 73 (1995) 218-226.
- [7] Ito, M., Fujita, I., Tamura, H. and Tanaka, K. Processing of contrast polarity of visual images in inferotemporal cortex of the macaque monkey, *Cereb Cortex*, 5 (1994) 499-508.
- [8] Kobatake, E. and Tanaka, K. Neuronal selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex, *J. Neurophysiol.*, 71 (1994) 856-867.
- [9] Logothetis, N.K., and Pauls, J. Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representation in the primate, *Cereb Cortex*, 3 (1995) 270-288.
- [10] Logothetis, N.K., Pauls, J., and Poggio, T. Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys, *Curr Biol.*, 5 (1995) 552-563.
- [11] Logothetis, N.K., and Sheinberg, DL. Visual object recognition, *Annu. Rev. Neurosci.*, 19 (1996) 577-621.
- [12] Marr, D., and Nishihara, H.K. Representation and recognition of three dimensional shapes, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 200 (1978) 269-294.
- [13] Perrett, D.I., Oram, M.W., Harries, M.H., Bevan, R., Hietanen, J.K., Benson, P.J., and

Archive of SID

- Thomas, S. Viewer-centered and object-centered coding of heads in the macaque temporal cortex, *Exp, Brain Res.*, 86 (1991) 159-173.
- [14] Foggio, T., and Edelman, S. A network that learns to recognize three-dimensional objects, *Nature*, 343 (1990) 263-266.
- [15] Sali, E. and Ullman, S. Detecting object classes by the detection of overlapping 2-D fragments. In: *Fundamental Structural Properties in Image and Pattern Analysis*, edited by D. Chetverikov and T. Sziranyi, Budapest, (1999) 123-132.
- [16] Sato, T. Interactions between two different visual stimuli in the receptive fields of inferior temporal neurons in macaques during matching behaviors, *Exp, Brain Res.*, 105 (1995) 209-219.
- [17] Singer, W. and Gray C.M. Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis, *Annu. Rev. Neurosci*, 18 (1995) 555-586.
- [18] Tanaka, K. Saito, H.A. Fukuda, Y. and Moriya, M. Coding visual images of objects in the inferotemporal cortex of the macaque monkey, *J. Neurophysiol*, 66 (1991) 170-189.
- [19] Tanaka, K. Inferotemporal cortex and object vision, *Annu. Rev. Neurosci*, 19 (1996) 109-139.
- [20] Wallis, G. and Bulthoff, H. Learning to recognize objects, *Tren in Cogn Sci.*, 3 (1999) 3, 22-31.