



מאת:  
יפעת לוי  
ורפאל מלאך

התבוננות בעצמים שונים מפעילה אזורי מוח שונים; אזורים מסויימים מופעלים כאשר מתבוננים בפרצופים, בעוד אזורים אחרים מופעלים כאשר מסתכלים בבניינים. מה עומד בבסיסה של הפרדה זו?

# מקטן ועד גדול במוח האדם

**ב**זמן שאתם קוראים מילים אלו מתרחשת סדרה של תהליכים מורכבים, שתחילתם בעין וסיומם אי שם בנבכי המוח, תהליכים המאפשרים למידע החזותי (ויזואלי) הנמצא על הדף להגיע אל התפישה שלכם. בשלב הראשון מגיעים חלקיקי אור, פוטונים, אל הרשתית, הנמצאת בחלק האחורי של העין, שם הם עוברים התמרה (טרנסדוקציה) לאות חשמלי-עצבי בתאי-חוש-לאור (פוטוֹרֶפְטוֹרִים). בשלב הבא עובר האות לאזורים שונים במוח – בתחילה לגרעין\* של תאי-עצב (נוֹירוֹנִים) המכונה Lateral LGN (Nucleus Geniculate), גרעין הברך הֶצְדִי, או: גוף הכפיפה הֶצְדִי השוכן באותו חלק של מוח הביניים המכונה תְּלָמוֹס, ובהמשך לאזורים שונים בקליפת המוח – הקורטקס.

## על מסלולים ומפות שבמוח

תכונותיהם של תאי החוש והעצב שברשתית נחקרו כבר בשנות החמישים. סטפן קופלר והוראט ברלאו (Barlow) (Kuffler), מצאו, כי כל תא עצב מגיב רק לאור המגיע מאזור מסוים בשדה הראיה. אזור זה נקרא "שדה הקלט" (receptive field) של תא העצב. לנוירונים סמוכים יש שדות קלט סמוכים, כלומר הם "מסתכלים" על נקודות סמוכות בעולם, כך שיחד הם יוצרים מעין תמונה, או מפה, של שדה הראיה. לתאי-עצב הנמצאים במקומות שונים ברשתית יש שדות קלט שונים בגודלם. במרכז הראיה של הרשתית (המכונה גומה או שקערורית; פּוֹבָאָה, fovea. השקערורית נמצאת במרכז

"הכתם הצהוב" של הרשתית) נמצאים נוירונים רבים בעלי שדות קלט קטנים מאוד, המקנים ראייה חדה, בהפרדה (רזולוציה) גבוהה מאוד. בהקף הרשתית, הרחוק מהמרכז, מספר תאי העצב קטן יותר ושדות הקלט שלהם גדולים יותר; פירוש הדבר הוא חדות ראייה נמוכה יותר. אתם יכולים להיווכח בכך בקלות בזמן קריאה: התמקדו במלה מסוימת ונסו לקרוא מילים הנמצאות מימינה ומשמאלה (מבלי להזיז את העיניים!). קריאת המילים הנמצאות

בהקף קשה הרבה יותר מקריאת המלה שבמרכז. שברשתית מעבירים את המידע בצורה מסודרת לתחנה הבאה

**קליפת המוח החזותית**  
מערכת הראיה – המידע מגיע מהרשתית אל גרעין הברך ומשם לקליפת המוח החזותית

התמונה המצוירת בקליפת המוח החזותית מייצגת במונח "תמונה" של פעילות עצבית, ולא תמונה אופטית. (המע')



\* נוסף לגרעין האטום ולגרעין התא תורמים אנשי המוח "גרעין" משלהם למינוח המדעי: גרעין הוא צֶבֶר של גופי תאי-עצב במוח.



## גרעין הברך השמאלי מקבל את כל המידע על החלק הימני של שדה הראיה, בעוד שגרעין הברך הימני מטפל בחלק השמאלי של שדה הראיה

לתחנה הבאה במסלול הראיה, גרעין הברך הצדי ה-LGN (וראו: אלומית ישי – "בין מציאות לדמיון", גליליאו 14). לכל אחת משתי מחציות המוח גרעין LGN משלה, והמידע מועבר בצורה כזו שה-LGN השמאלי מקבל את כל המידע על החלק הימני של שדה הראיה, בעוד שגרעין הברך הימני מטפל בחלק השמאלי של שדה הראיה. לכל תא עצב ב-LGN שדה קלט גדול יותר מאשר לנוירונים ברשתית – הוא מקבל קלט ממספר נוירונים סמוכים ברשתית. נוירונים הקרובים זה לזה מקבלים מידע על אזורים סמוכים בשדה הראיה, כך שב-LGN נמצאת מפה כזו של שדה הראיה: ב-LGN הימני מפה של שדה הראיה השמאלי, וב-LGN השמאלי מפה של שדה הראיה הימני. מפה זו נקראת "מפה רטינוטופית"<sup>1</sup>. מאחר שקיימים תאי עצב רבים יותר המגיבים למרכז הראיה של הרשתית (השקערורית, פּוֹבָאָה) מאשר לשאר שטח הרשתית, הרי שהשטח המוקדש לה (המייצג אותה) בגרעין הברך גדול בהרבה מחלקה היחסי בשדה הראיה. דרך פעולתם של תאי ה-LGN פשוטה יחסית: תאים אלה מגיבים לנקודות אור על רקע שחור או לנקודות שחורות על רקע בהיר; כך התברר כבר בתחילת שנות ה-60 של המאה העשרים לדיוויד הֵיבֶל וטורסטן וִיזל (Hubel, Wiesel). מגרעין הברך עובר הקלט אל קליפת המוח – הקורטקס. האזור הראשון אליו מגיע המידע מגרעין הברך הוא אזור

תאי VI מגיבים לגירויים מסוג שונה – לא עוד נקודות אור מעוררות בהם תגובה, אלא פסי אור על רקע שחור או פסים שחורים על רקע בהיר. נוירונים שונים מגיבים לפסים בעלי כיוונים שונים בשדה הראיה. אזור VI הוא אך הראשון בסדרה של אזורים ראיה, המשתרעים על כמחצית משטחה של קליפת המוח; לאחר VI יש סדרת אזורים המתפשטת לעבר חלקו הקדמי יותר של הקורטקס. במעברים בין האזורים השונים נשמר הסדר הטופוגרפי, כך שכל אחד מהם מכיל מפה של שדה הראיה. אולם, עם המעבר לאזורים קדמיים יותר, שדות הקלט של הנוירונים נעשים גדולים יותר, כך שהמפה נעשית מדויקת פחות ופחות; בסופו של דבר שדה הקלט כה גדול עד שהוא מכסה את רוב שדה הראיה, והמפה נעלמת לחלוטין. האזורים בהם ניתן למצוא מפה של שדה הראיה נקראים "אזורים רטינוטופיים". המפות באזורים השונים מאורגנות כך שהחלקים של מפות שונות המייצגים את מרכז שדה הראיה נמצאים בסמיכות זה לזה וכך גם החלקים המייצגים את הקרקע של שדה הראיה. תכונותיהם של הנוירונים באזורים שמעבר ל-VI מפורות רק באופן חלקי, ועדיין רב הנסתר. נראה כי בכל אזור עובר המידע עיבוד מסוג שונה וספציפי יותר. כך, יש אזורים המגיבים לצורות מורכבות יותר מאשר קווים בכיוונים שונים, ויש אזורים המטפלים בהבטים אחרים של הגירוי החזותי, כמו למשל צבע (וראו: "רואים צבעים", גליליאו 42, במיוחד עמ' 40) ותנועה. האזורים שבהם כבר לא קיימת מפה רטינוטופית נחשבים לאזורים "גבוהים יותר"; תאי העצב שבאזורים אלה מקבלים קלט ממרבית שדה הראיה, כך שאין הם עוסקים במיקומו המדויק במרחב של מקור המידע המגיע אליהם, אלא בתכונות אחרות, מורכבות יותר. בהמשך נעסוק באחדים מאזורים אלה.

### מחקר בחולים ובחיות

עד לשנים האחרונות התבסס חקר המוח על שני מקורות עיקריים: פגיעות מוחיות ומחקרים בחיות. פגיעות מוחיות ממוקדות, כתוצאה מתאונה או ממחלה, שגרמו לחסר תפקודי כלשהו, מאפשרות לחוקרים לקשר בין מבני המוח שנפגעו לבין התפקוד שנפגם. דוגמה לפגיעה כזו היא פְרוֹסוֹפַגְנוֹסִיָה<sup>2</sup> (prosopagnosia) – איבוד היכולת לזהות פרצופים של אנשים מופְרִים, כולל בני משפחה וחברים, תוך שנשמרת יכולת טובה יחסית לזהות הפצים שונים. פרוסופגנוסיה נגרמת ברוב המקרים כתוצאה מפגיעה דו-צדדית באזורי קורטקס עורפיים וצדעיים (רקתיים). תופעה זו יכולה לרמז על קיום אזור מסוים במוח האחראי על זיהוי פרצופים.



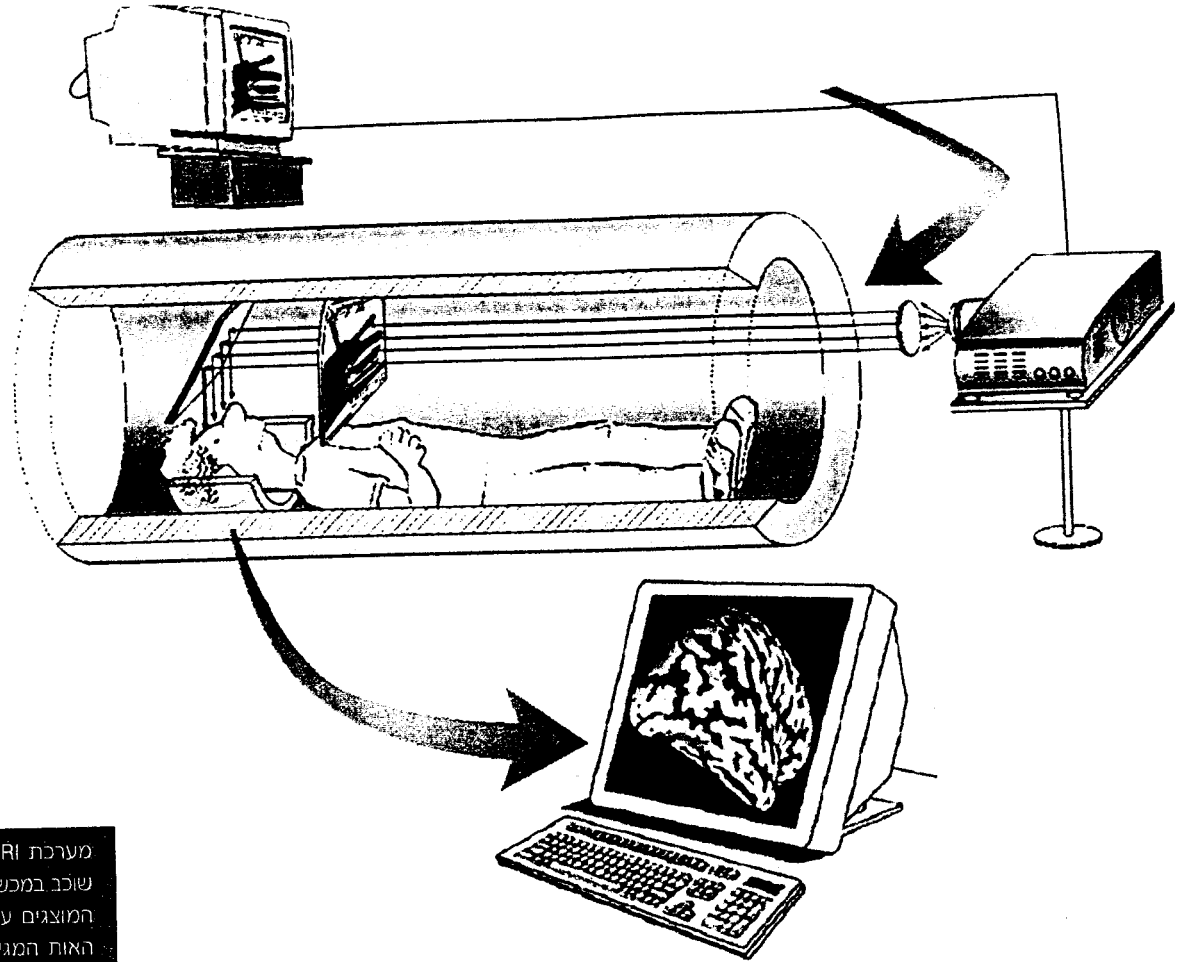
הראיה הראשוני, VI, הנמצא בחלק העורפי. הֵיבֶל רויזל מצאו כי במעבר זה נשמרת מפת העולם: המידע עובר באופן שנוירונים סמוכים ב-LGN מעבירים מידע לנוירונים סמוכים באזור הראיה הראשוני של קליפת המוח. ואולם



אזורי הראיה מאורגנים לפי המרחק ממרכז שדה הראיה. מרכז השדה – העיגול הצהוב, מיוצג באזורים הצבועים צהוב. ההקף בירוק, ואזור הביניים בסגול. המוח המוצג הוא מוח "מנופח" (ראו תיבה) המוצג במבט מלמטה

1. רְטִינָה = רשתית; מפה רטינוטופית היא מעין העתק של התמונה מהרשתית.

2. prosopon = פנים, agnosia = אידיעה



מערכת fMRI – הנבדק שוכב במכשיר וצופה בגירויים המוצגים על מסך, ונרשם האות הנגיע ממוחו

מקור מידע נוסף הוא מחקרים בחיות, החל בעכברים וכלה בקופים. במחקרים אלה מחדירים אלקטרודות למוח החיה ומודדים את האות החשמלי שמייצרים נוירונים שונים בתגובה לגירוי. רוב המידע שתיארנו עד כה מקורו במחקרים כאלה. אולם, גם שיטה זו סובלת ממגבלות. ראשית, כל אחד מהאזורים במוח מכיל מיליונים רבים של נוירונים, ואילו הרישום החשמלי מספק מידע רק מנוירונים מעטים – עשרות או מאות לכל היותר. החוקר נאלץ להניח כי תאי העצב אותם בחן במסגרת הניסוי הם נוירונים המייצגים את האזור כולו. שנית, למרות הקרבה האבולוציונית, מוח האדם אינו זהה למוח הקוף; אף שיש קרוב לוודאי דמיון רב בעקרונות הפעולה ובמערכות מוחיות שונות, קיים גם שוני רב. לפיכך אם מטרתנו להבין את מוחנו, אין תחליף לבחינת מוחות אנוש.

### MRI תפקודי מגלה צפונות

כלי מתאים לכך פותח בתחילת שנות ה-90, והוא נקרא דימות תפקודי בתהודה מגנטית, fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging). השיטה עושה שימוש במכשיר ה-MRI המספק אות אלקטרומגנטי המגיע מאטומי המימן שבגוף. תמונות ה-MRI "הרגילות" (המבניות-אנטומיות), לא

מחקר פגיעות מוחיות כאלו ניתן להפיק מידע רב, אולם המחקר המבוסס עליהן מוגבל במספר אופנים. ראשית, המוח הוא איבר הנהנה מגמישות רבה – בעקבות פגיעה באזור הממלא תפקיד מסוים, נוטים אזורים סמוכים להתארגן מחדש ולקחת על עצמם תפקידים חדשים, כך שהמוח הפגוע אינו מייצג בהכרח את דרך פעולתו של המוח הבריא. שנית, אופיין, מיקומו וגודלן של הפגיעות אינם נמצאים בשליטתו של החוקר. כך, למשל, פגיעות רבות אינן ממוקדות באזור אחד, אלא מערבות אזורים שונים, שרק חלקם קשור לפגיעה התפקודית, כך שקשה להסיק מהן איזה אזור קשור לתפקוד שנפגם. אפשרות נוספת היא, שהאזור שנפגע אינו אחראי ישירות לתפקוד החסר, אלא מספק קלט לאזורים אחרים, שהם האחראים על אותו תפקוד. כך, למשל, במקרה של פרוסופגנוסיה, אפשר להסיק כי האזור שנפגע הכרחי לזיהוי פרצופים, אך לא ניתן להסיק כי הוא מספיק לכך – יתכן כי אזור זה מוסר מידע לאזור אחר שעוסק במשימה, או שהוא מהווה חלק מרשת של אזורים שרק פעולה משותפת שלהם מאפשרת זיהוי פרצופים. ולבסוף, מחקר מדעי דורש חזרה על תוצאות נבדקים שונים; אולם, כשמדובר בחולים, נדיר למצוא שני חולים שהפגיעות שלהם זהות בדיוק.



## תמונות המורכבות מחלקים מעורבבים של תמונת העצם המקורי ומכילות אותם רכיבים פיזיקליים מקומיים, אינן מפעילות את אזורי העצמים שבמוח

התפקודיות) מבוססות על כך שאחוז המימן ברקמות שונות הוא שונה, ולכן האות המגיע מהן שונה. תוצאות בדיקת ה-MRI נותנות תמונות still המאפשרות להבחין במבנים השונים של המוח, וכן להבחין בחריגות כמו גידולים או פציעות. ה-fMRI, לעומת זאת, מבוסס על כך שהאות המגיע מאזור מסוים משתנה כתוצאה משינוי בפעילות העצבית באותו אזור. המנגנון מבוסס על כך שנוירוניים פעילים צורכים יותר חמצן; העלייה בצריכת החמצן גורמת הגברה בהספקת הדם, מה שגורם לשינוי בריכוז דאוקסי-המוגלובין (המוגלובין נטול חמצן), שהוא חומר פאראמגנטי. שינוי זה מביא לשינוי באות האלקטרומגנטי הנמדד. באופן זה מאפשר ה-fMRI לבחון את מוחו של הנבדק בזמנים שונים, נוכח גירויים שונים, ולאחר אזורים שהאות שהגיע מהם השתנה במהלך הניסוי. בעוד MRI "רגיל" מספק תמונות still, הרי שבאנלוגיה לכך ה-fMRI מספק "סרט" – סדרה של תמונות המראה את השינוי בפעילות המוח לאורך זמן, או במילים אחרות – מתאר את המוח בפעולה.

הנבדק שוהה במכשיר ה-MRI ומוצגים לו על מסך גרויים שונים. האות המגיע ממוחו נרשם במרווחים קצרים (בדרך כלל 2-3 שניות). מאזורים הקשורים לעיבוד הגירוי מתקבלות אות חזק יותר בעת הצגת הגירוי מאשר בזמן בו לא מוצג כל גירוי. כך אפשר לקשר בין תפקודים שונים לבין אזורים שונים במוח.

### המוח מקטלג

מכשיר ה-fMRI פתח תחום שלם של מחקר. רבות מן התכונות של אזורי הראיה שנחקרו בחיות נתגלו גם בבני אדם. בין השאר התברר, מה שהיה ידוע מן המחקר בקופים, כי יש אזורי ראייה המגיבים לעצמים יותר מאשר לגירויים חזותיים אחרים. אלה הם אחידים מן האזורים ה"גבוהים" שהזכרנו כבר. כאשר מציגים לנבדקים תמונות של עצמים שונים, כגון פרצופים, בתים, חיות, כלי בית, ואף פסלים אבסטרקטיים, האזורים הללו מגיבים בעוצמה והאות הנמדד מהם גבוה. כך, למשל, מגיבים אזורים אלה לבית המוצג בתמונה. לעומת זאת, כאשר מציגים גרויים אחרים, כמו סקסטורות שונות, האות הנמדד נמוך בהרבה. אם

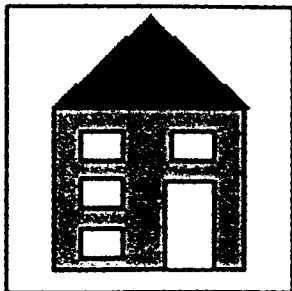
ניקח את הבית המעורר פעילות גבוהה, נחתוך אותו לחתיכות, נערבב אותן כך שנקבל ציור בלתי מזוהה (ראו איור א1) ונציג אותו לנבדק, יפסיקו אזורי העצמים להגיב, למרות שהחלקים המקומיים המרכיבים את האובייקט נשמרו – הקווים, הפינות וכו'. לעומת זאת, אם נציג בית שאינו מוגדר בדרך הרגילה, על-ידי הבדלי בהירות בין העצם לרקע אלא על-ידי הבדלים בטקסטורה, נקבל אות גבוה (ראו איור א2). בבית זה, החלונות, למשל, כלל אינם מוגדרים על-ידי קווים!

עדויות אלו מרמזות על כך שיש קשר בין הפעילות באזורי העצמים לבין היותו של הגירוי עצם ולא לתכונות הפיזיקליות המקומיות של העצם, כמו הקווים מהם הוא מורכב. כך, תמונות המורכבות מחלקים מעורבבים של תמונת העצם המקורי ומכילות אותם רכיבים פיזיקליים מקומיים, אינן מפעילות את אזורי העצמים במוח, ואילו תמונות בהן מוגדר העצם על ידי טקסטורה שונות מאוד מבחינה פיזיקלית מתמונות בהן הוא מוגדר על-ידי שינוי בהירות, אכן מפעילות את אזורי העצמים. ממחקרים שונים התברר כי הפעילות באזור קשורה קשר ישיר לתפישת העצם. כך, למשל, מצאו כלנית גריל-ספקטור ועמיתיה כי כאשר העצם מוצג לזמן קצר שאינו מאפשר לנבדק לתפוש אותו, האות המתקבל הוא נמוך, ואילו לאחר תקופה של למידה, כאשר הנבדק מסוגל לזהות את העצמים המוצגים בתוך זמן קצר, האות הנמדד חזק בהרבה.

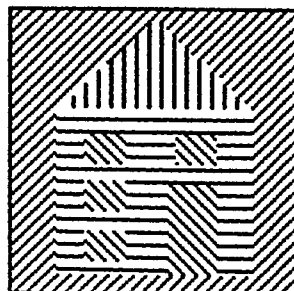
### בין פרצופים לבתים

התברר כי כאשר מציגים לנבדקים תמונות של פרצופים ובתים ומשווים את רמת הפעילות, מתגלית הפרדה לשני תת-אזורים: אזור אחד מגיב יותר לפרצופים מאשר לבתים, ואילו האזור השני מגיב יותר לבתים מאשר לפרצופים. בנבדקים שונים ובמחקרים שונים מתגלית אותה הפרדה; הפרצופים מפעילים אזור צד, שנמצא בצדו של המוח, בעוד שהבתים מפעילים אזור קרוב יותר למרכז (ראו איור ב). הפרדה זו עוררה את סקרנות החוקרים. מה יכול להיות הגורם לה? אפשרות אחת היא הפרדה סמנטית – עצמים השייכים לקטגוריות שונות מפעילים אזורים שונים. אמנם,

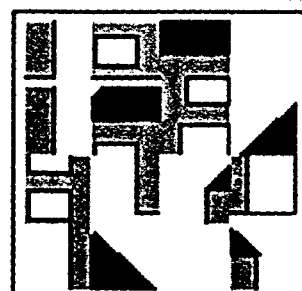
איור א3



איור א2



איור א1



אזורי האובייקטים מגיבים לעצמים המוגדרים באופנים שונים (שמאל, מרכז) אך לא לתמונות מעורבלות של אותם עצמים (ימין)

איור ב



פרצופים ובתים – האזורים  
האדומים מגיבים יותר  
לפרצופים מאשר לבתים, ואילו  
הכחולים מגיבים יותר לבתים  
מאשר לפרצופים

אבל ההסברים האלה אינם מספקים הֶסֶבֶר למיקומם  
האנטומי של האזורים השונים. מדוע נמצא האזור הקשור  
לפרצופים תמיד באותו מקום? זוכרים את הארגון של  
אזורי הראיה הרטינוטופיים? נוכחנו שבאזורים אלה קיימות  
מפות של שדה הראיה המאורגנות לפי המרחק ממרכז שדה  
הראיה: אזורים המייצגים את מרכז השדה נמצאים סמוך  
זה לזה וכך גם אזורים המייצגים את החלק הקפאי של  
שדה הראיה. ההשערה שלנו היתה כי יש קשר בין אזורי  
העצמים לבין ארגון זה.

### פרצופים וכנשר הפרדה

במחקר שערכנו יחד עם אורי חסון ממכון ויצמן, גליה  
אביזן מהאוניברסיטה העברית וד"ר תלמה הנדלר מהמרכז  
הרפואי ע"ש סוראסקי בתל אביב, ניסינו לבדוק השערה

לא סביר כי לכל אחת מקטגוריות העצמים יהיה אזור  
משלה, שכן מדובר במספר עצום של קטגוריות. אולם, יש  
הסבורים כי הפרצופים מהווים קטגוריה מיוחדת בשל  
המשמעות הרבה שיש להם עבורנו, ובשל היכולת הטובה  
שלנו לזהות פרצופים שונים באופן פרטני. יתכן כי אזור  
הפרצופים הוא אזור מיוחד המגיב רק לפרצופים, שבשל  
המורכבות שלהם דורשים יותר משאבים מוחיים מעצמים  
אחרים, ואילו אזור הבתים מגיב לאובייקטים מסוגים  
שונים. על פי גישה זו, אזור הפרצופים הוא אזור של  
מומחיות; מאחר שכולנו, בני האדם, מומחים בזיהוי  
פרצופים, אזור זה מופעל אצל כולנו על-ידי פרצופים,  
ובנוסף הוא יכול להיות מופעל על-ידי עצמים אחרים  
שאנחנו מומחים בזיהוים.

איזבל גוטייה (Gauthier) ועמיתה מצאו כי אכן אצל  
צפרים, אנשים המומחים בזיהוי ציפורים, האזור המוקדש  
כרגיל לפרצופים מופעל אצלם על-ידי ציפורים, ואצל  
מומחים למכוניות הוא – אכן – מופעל על-ידי מכוניות!  
הם גם מצאו כי ניתן לאמן נבדקים ולהפוך אותם ל"מומחים"  
לעצמים חדשים, שאותם לא הכירו קודם לכן, וכי מומחיות  
זו הביאה לכך ש"אזור הפרצופים" הגיב גם לעצמים חדשים  
אלה.

טענה אחרת היא כי גם בניינים הם עצמים בעלי חשיבות  
מיוחדת עבורנו, מכיון שיש להם תפקיד חשוב בניווט:  
כאשר אנחנו מנסים למצוא את דרכנו במקום מסוים,  
בניינים וציוני דרך אחרים מסייעים לנו. יתכן, אם כן, שיש  
אזור פרצופים ואזור בניינים, ואין אזורים מיוחדים  
לקטגוריות אחרות.

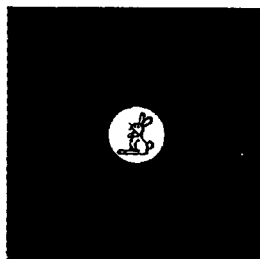
הסבר אפשרי נוסף נוגע לצורתם של העצמים השונים.  
יתכן כי אזורי העצמים הם אזורים המגיבים לצורות  
מסוימות בלי קשר למשמעותן הקמנטית, שכן פרצופים  
שונים דומים זה לזה בצורתם הכללית, וכך גם בתים שונים  
(אם כי פחות מפרצופים). כל הפרצופים הם בעלי צורה  
עגולה ובעלי תבנית מרחבית קבועה: עיגול ובו עיניים, פה  
ואף, הנמצאים ביחסים מרחביים קבועים זה לזה – העיניים  
נמצאות מעל האף, האף מעל הפה. בניגוד לכך, בתים הם  
בדרך כלל מרובעים חזויתיים יותר.



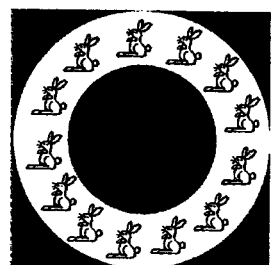
פרצופים



בתים



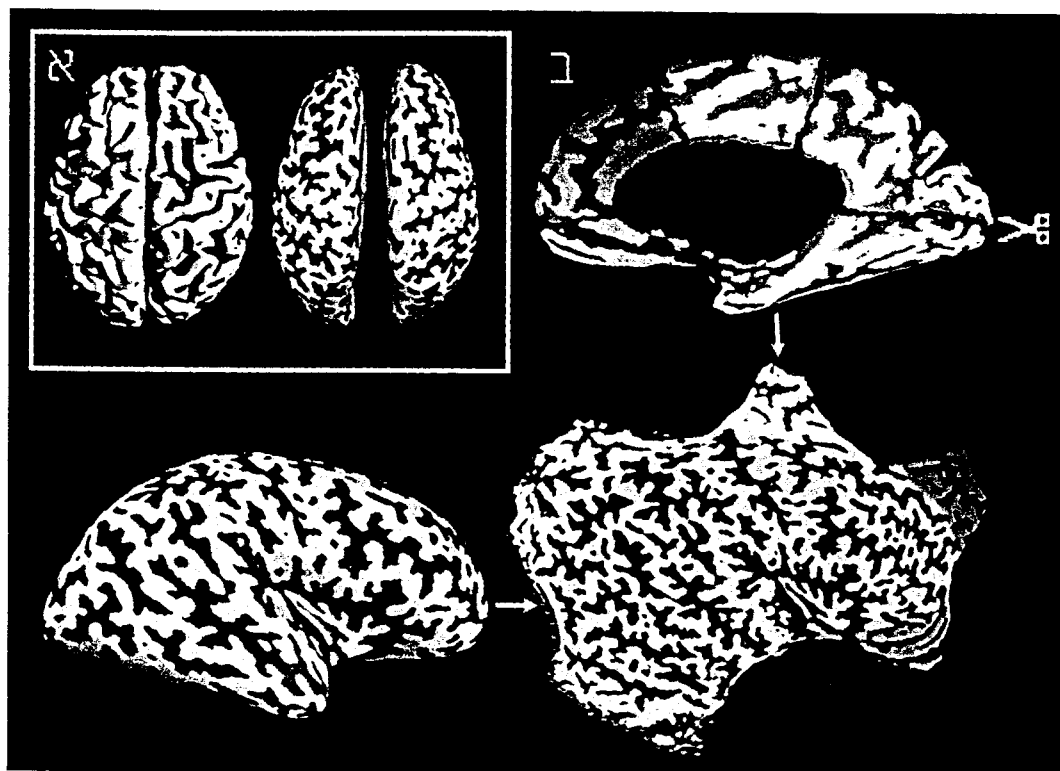
מרכז



פרופריה

## שיטוח מוח

מאחר שקליפת המוח היא מבנה תלת־ממדי, העשוי ממעניות (תלמים, עמקים) שקועות ומרכסים בולטים, קשה מאוד להסתכל על האזורים השונים המרכיבים אותה, ובלתי אפשרי לראות את כולם בעת ובעונה אחת. כדי בכל זאת לאפשר את הדבר פותחה שיטה ממוחשבת – שיטת "שיטוח" המוח. לשם כך סורקים את מוחו של הנבדק ב־MRI בהפרדה גבוהה. סריקה זו מספקת תמונות מדויקות של פרוסות המוח. תמונות אלו משמשות לבניית דגם ממוחשב, תלת־ממדי, של המוח, שאותו משטחים במחשב. בשלב ראשון "מנפחים" כל מחצית של המוח הגדול (המיספרה) כמו בלון, כך שהקפלים המרכיבים את קליפת־המוח מתיישרים והמעניות נשלפות החוצה. בשלב הבא חותכים את ההמיספרה ה"מנופחת" במספר מקומות ופורשים אותה. הליך זה דומה מאוד לדרך בה הופכים גלובוס תלת־ממדי לתמונת אטלס דו־ממדית, המאפשרת לראות את כל כדור הארץ בתמונה אחת. פעולה זו מעוותת מעט את המראה האמיתי של המוח, אולם היא שומרת על האזורים השונים, ומאפשרת למקם היטב פעילויות מוחיות שהתקבלו בניסויים, ולהשוות בין אזורים שהיו פעילים בניסויים שונים. הצבעים שבתמונה מסייעים להבין את תהליך השיטוח: החלקים הצבעוניים מגיעים מִצֶּדָה הפנימי של ההמיספרה ה"מנופחת" – האזור האדום במוח ה"מנופח" הופך לאזור האדום במוח ה"משוטח", הירוק הופך לירוק וכו'. החלק האפור במרכז המוח המשוטח מגיע מִצֶּדָה החיצוני של ההמיספרה. הקו המקווקו מסמן את החתך העיקרי המבוצע לצורך השיטוח.



ניפוח ושיטוח המוח. המוחות המוצגים שוטחו על־ידי מיכל הראל ממכון ויצמן בעזרת תוכנת BrainVoyager.

בהקף שדה הראיה. התברר לנו כי אזורי העצמים, למרות שאין הם רטינוטופיים, מחולקים לאזורים המגיבים יותר למרכז ולאזורים המגיבים יותר להקף שדה הראיה. פירוש

זו. הצגנו לנבדקים תמונות של פרצופים ובתים וכן תמונות של עצמים שונים. אלה הוצגו בשתי דרכים: פעם בתוך עיגול קטן במרכז שדה הראיה ופעם בטבעת שמוקמה



**כאשר העצם מוצג  
זמן כה קצר שאינו  
מאפשר לנבדק  
לתפוש את העצם,  
האות המתקבל הוא  
נמוך, ואילו לאחר  
תקופה של למידה,  
כאשר הנבדק מסוגל  
לזהות את העצמים  
המוצגים זמן קצר,  
האות הנמדד חזק  
בהרבה**

יתכן כי מדובר בהתפתחות שהתרחשה במהלך האבולוציה (במיוחד כאשר מדובר בפרצופים, שהיו מאז ומתמיד בעלי משמעות רבה לאדם). אפשרות אחרת היא כי הקשר נוצר בעת התפתחות התינוק, כתוצאה מהנטייה להציב את הפרצופים במרכז שדה הראיה.

ומה בקשר לעצמים אחרים? בנוסף לפרצופים, קטגוריה נוספת הדורשת חדות ראייה (כושר הפרדה גבוה, רזולוציה גבוהה) היא הקטגוריה של אותיות ומילים כתובות. ואכן, במחקר נוסף, שנערך על-ידי אורי חסון, נמצא כי אותיות ומילים מפעילות אזורי מוח שבהם מיוצג מרכז שדה הראיה, וכי אזורים אלה אינם חופפים לאזורים המופעלים על-ידי פרצופים. מאכן שיש כנראה עקרונות נוספים על פיהם מאורגנים אזורי העצמים.

מתברר, אם כן, שאחד העקרונות על פיהם מאורגנים אזורי המוח המטפלים בזיהוי חזותי של עצמים הוא עקרון חדות הראיה. עצמים שזיהויים דורש חדות ראייה גבוהה מפעילים אזורי מוח המקבלים קלט ממרכז שדה הראיה, שבו ההפרדה גבוהה; עצמים אחרים מפעילים אזורי מוח המקבלים קלט בכושר הפרדה נמוכה יותר.

**לקריאה נוספת:**

יהודה (אודי) שביט ואורי חסון: יסודות ביולוגיים של ההתנהגות, בהוצאת האוניברסיטה הפתוחה (CD-ROM).

Hubel D. Eye, brain and vision. Scientific American Library, New York, 1988

Zeki S. A vision of the brain. Blackwell Scientific, Oxford, 1993

Grill-Spector K, Kushnir T, Hendler T & Malach R. The dynamics of object-selective activation correlate with recognition performance in humans. Nature Neuroscience 3 837-843 (2000)

Levy I, Hasson U, Avidan G, Hendler T & Malach R. Center-periphery organization of human object areas. Nature Neuroscience 4 533-539 (2001)

יפעת לוי היא תלמידת מחקר במסלול לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית; עבודת המחקר שלה נעשת במעבדה של ד"ר מלאך במכון ויצמן.

ד"ר רפאל מלאך הוא מדען בכיר במחלקה לנוירוביולוגיה במכון ויצמן.

הדבר הוא כי באזורי העצמים מתקיימות שתי חלוקות: חלוקה לאזור שמגיב לפרצופים ואזור שמגיב לבתים, וחלוקה לאזור שמגיב למרכז ואזור שמגיב להקף. ומעניין: אם "מלבישים" את שתי ה"מפות" הללו זו על גבי זו מתקבלת חפיפה בין "אזור הפרצופים" לאזור המייצג את מרכז שדה הראיה, וחפיפה בין "אזור הבתים" לאזור המייצג את ההקף.

לכזור, באזורי המרכז יש לנוירונים שדות קלט קטנים, בעוד שבאזורי ההקף יש פחות נוירונים ולהם שדות קלט גדולים יותר. החלוקה מתקבלת, אם כן, על הדעת: כאשר אנו מסתכלים על פרצוף אנו זקוקים לחדות ראייה גבוהה שתאפשר לנו להבחין בפרטים העדינים של הפרצוף; פרטים אלה מאפשרים לנו להבחין בין פרצופים שונים וכן להבחין בין הבעות שונות של אותו פרצוף. ועוד: ידוע כי באופן טבעי אנו נוטים למקם פרצופים שנמצאים בסביבתנו במרכז שדה הראיה. לעומת זאת בדרך כלל איננו מתעניינים



כל-כך בפרטים העדינים של הבתים; נוסף לכך, מכיוון שהבתים גדולים באופן טבעי הם נוטים לתפוס את החלק ההקפי של שדה הראיה שלנו. כך שיש היגיון רב בכך שאזור הפרצופים ממוקם באזור מוחי המקבל קלט ממרכז שדה הראיה ואילו אזור הבתים ממוקם באזור מוחי המקבל קלט מן ההקף. דרך היווצרות הקשר הזה עדיין אינה ברורה.