# חוש הראייה – מהעין למוח

## מטרות:

* הדגמת עקרונות החישה בעזרת מערכת חוש הראייה.
* באמצעות תיאור של מבנה העין נעמיק את ההבנה לגבי אופן הפעולה של איבר חישה והתאמתו לחישה בתנאים מגוונים.
* ביסוס ההבנה של מעבר האות העצבי דרך תיאור מסלול העברת המידע מהעין למוח.
* דרך תופעת הכתם העיור יגלה התלמיד סקרנות למבנה החלק הסנסורי של העין ויכיר את מורכבותו.

### משך הזמן: 2 שעות

**הכנה מקדימה:** לצורך הדגמת הכתם העיוור מצ"ב בסוף המערך דף להדפסה, מומלץ עבור כל זוג תלמידים.

**מושגים:** אישון, עדשה, קוצר ראיה, רוחק ראיה, רשתית, הכתם העיוור, תצלובת הראייה, תלמוס, קורטקס.

אפשר להתחיל את השיעור במצגת תמונות יפות – למשל של נשיונל ג'אוגרפיק.

## מבוא

עד כה בפרק זה עסקנו בעקרונות החישה. כעת נתמקד במערכת חוש אחת – מערכת הראייה, ונתאר את מעבר המידע החישתי מהאיבר הקולט, העין, ועד למוח.

נתחיל בהכרת מבנה העין ונעבור לתיאור המסלול שעובר המידע הראייתי במוח: דרך תצלובת הראייה והתלמוס ועד לקורטקס הראייתי הראשוני. תיאור מסלול העברת המידע יבסס ויעמיק את ההבנה של מעבר האות העצבי שהוצגה לראשונה בפרק "עצבים חשופים".

**העין**

איבר קטן אך חשוב ביותר, שהוא הכלי המתווך את החוש הכי מפותח שלנו, כלי מרכזי שעליו אנו מבססים במידה רבה את תמונת העולם שלנו.

עיניים יכולות להיות שונות במראה החיצוני שלהן, אך לכולן אותו מבנה בסיסי:



קשתית

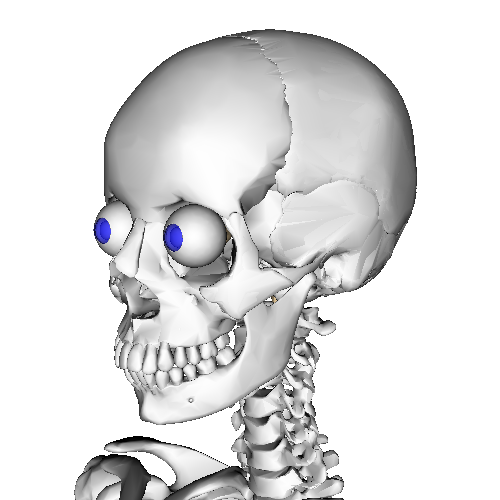
אישון

עפעף עליון

קרנית

עפעף תחתון

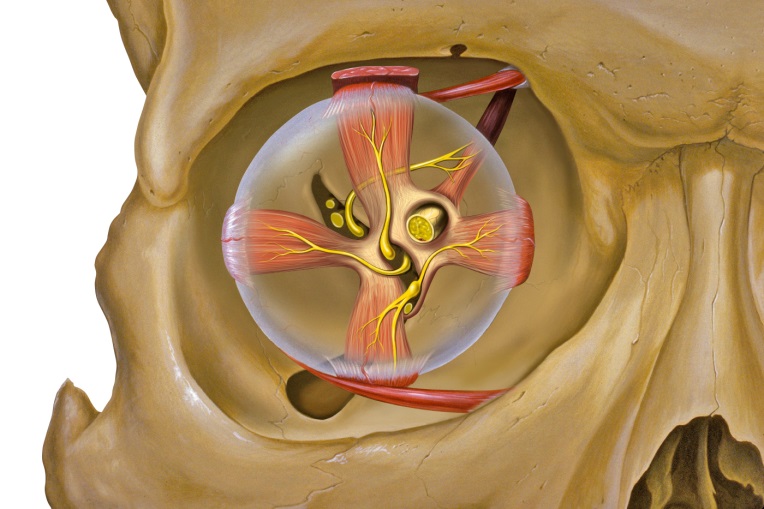
חשוב לציין שהעין היא מבנה כדורי לחלוטין, שתמונה הקודמת מציגה רק חלק קטן ממנו. כך נראה גלגל העין בתוך ארובת העין:



By Images was generated by Anatomography, Life Science Databases(LSDB). [[CC BY-SA 2.1[](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.1/jp/deed.en), via Wikimedia Commons

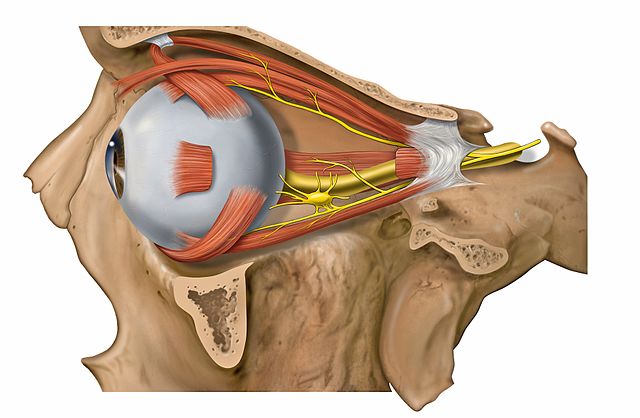
כאמור, העין היא איבר חשוב ולכן יש סביבה רכיבים שונים שמגנים עליה ומשפרים את תפקודה:

1. ארובת העין – עצמות המגינות על גלגל העין מפני פגיעות.
2. שרירי העין – מאפשרים את התנועה המהירה והמדויקת של העיניים, המאפשרת להביט לכיוונים שונים ולשנות את כיוון המבט במהירות וביעילות.



"[Eye orbit anterior](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye_orbit_anterior.jpg#/media/File:Eye_orbit_anterior.jpg)" by Patrick J. Lynch, medical illustrator - Patrick J. Lynch, medical illustrator. Licensed under CC BY 2.5 via Wikimedia Commons

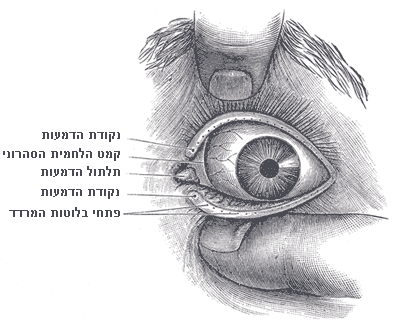
בתמונה לעיל רואים את ארובת העין (המבנה הגרמי (עצם) שבתוכו נתונה העין) וכן את השרירים (הסיבים האדומים), שמאפשרים המון דרגות חופש לתנועת העין. האדם מסתכל לפנים, רואים את עין ימין.



By Patrick J. Lynch, medical illustrator (Patrick J. Lynch, medical illustrator) [[CC BY 2.5]](http://creativecommons.org/licenses/by/2.5), via Wikimedia Commons

בתמונה לעיל רואים את אותם מבנים כמו בתמונה הקודמת, אבל הפעם בפרופיל – האדם מסתכל שמאלה, רואים את עין שמאל.

1. עפעפיים ובלוטת הדמעות – שומרים מפני יובש ונזקים.



בתמונה לעיל רואים את העפעפיים (עפעף עליון ועפעף תחתון).

העפעפיים וכן הריסים המחוברים אליהם מסייעים בהגנה על העין מפני רוח, כניסת אבק וכולי. בלוטת הדמעות (לא נראית בתמונה) נמצאת מתחת לעפעף העליון ומפרישה דמעות כל הזמן. הדמעות נמרחות על פני העין בזמן המצמוץ ומספקות סיכוך והזנה לעין. הדמעות מתנקזות דרך נקודות הדמעות ודרך צינוריות מגיעות לשק הדמעות ובהמשך לחלל האף. כאשר בוכים מיוצרת כמות גדולה של דמעות, אשר לא כולה מספיקה להתפנות, ואז דמעות נוזלות החוצה מהעין. במקביל, הכמות שכן מתפנה, נוזלת דרך האף.

[הרחבה מעניינת בנושא בכי ודמעות](http://davidson.weizmann.ac.il/online/askexpert/med_and_physiol/%D7%9C%D7%9E%D7%94-%D7%91%D7%A0%D7%99-%D7%90%D7%93%D7%9D-%D7%91%D7%95%D7%9B%D7%99%D7%9D-%D7%9B%D7%A9%D7%94%D7%9D-%D7%A2%D7%A6%D7%95%D7%91%D7%99%D7%9D-%D7%99%D7%A2%D7%9C)

**ניזכר בקצרה בתפקיד העין:**

בעין יש קולטנים שרגישים לאור. כאשר פוגעת בהם קרן אור הם מתרגמים את המידע לאות עצבי. האות העצבי עובר עיבוד במוח וכך מתקבלת חוויית הראיה.

אנימציה: (http://go.ynet.co.il/InteractiveClass/Projects.aspx?Project=3006&Cat=1063).

באמצעות תיאור של מבנה העין נעמיק את ההבנה לגבי איבר חישה והתאמתו לחישה בתנאים מגוונים.

המבנה של העין מאפשר קליטת אור בצורה משוכללת ויעילה, שמתאימה לתנאי תאורה שונים ולראייה למרחקים שונים.

נתמקד ב-3 פונקציות שהעין האנושית מסוגלת לבצע בזכות המבנה שלה:

1. ויסות האור החודר לעין – האישון
2. חדות הראייה – העדשה
3. קליטת האור – הרשתית

## ויסות האור החודר לעין

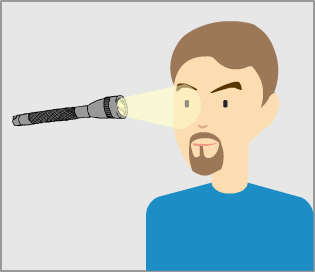
### מדוע אנחנו מסונוורים כשאנחנו יוצאים מן הקולנוע?

לפני שהתלמידים ישיבו על השאלה נכיר את רפלקס האישון.

 נתחלק לזוגות, כל אחד יביט אל עיני בן זוגו, נחשיך את הכיתה ולאחר 10 שניות נדליק את האור. אפשר לחזור על ההתנסות.

התלמידים נדרשים לתאר במילים או בסרטוט את השינויים שהם ראו בעיני בן הזוג בעקבות שינויי האור.

לחלופין, אפשר לערוך את ההתנסות באמצעות פנסים: כל מה שצריך לעשות הוא להאיר על עין אחת בפנס עם אלומה ממוקדת. אפשר להסביר לתלמידים, אם צריך, שהבדיקה אינה מסוכנת ואינה מזיקה, פרט לחוסר נוחות כל בעקבות הסנוור **(כמובן לא לבצע עם פנסים חזקים במיוחד, ובשום אופן לא עם לייזר!!!)**.



**אז למה מסתנוורים כשעוברים במהירות מסביבה חשוכה לסביבה מוארת?**

במרכז החלק הצבעוני בעין (**הקשתית, IRIS)** ישנו אזור שחור שנקרא **אישון (PUPIL)**. האישון הוא למעשה **חור** שדרכו נכנס האור אל תוך גלגל העין. התרחבות האישון היא למעשה גדילה של החור בעין, כך שנכנס דרכו יותר אור.

כאשר תנאי התאורה משתנים, העין מתאימה את עצמה לכך בעזרת הרחבה או צמצום של האישון. המנגנון שמאפשר לאישון להתכווץ ולהתרחב נועד לאפשר לעין להתמודד עם תנאי תאורה שונים, ולאפשר לנו לראות ביום וגם בלילה – בחושך האישון גדל ומאפשר כניסה מירבית של מעט האור הקיים, ואילו במצב מואר האישון מצטמצם לגודל שמאפשר כניסת אור שמספיקה לצורך ראייה. (שימו לב: לא כל החיות בעלות העיניים רואות גם ביום וגם בלילה!).

לצמצום האישון בתגובה לאור חזק, קוראים [רפלקס האור של האישון](http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A8%D7%A4%D7%9C%D7%A7%D7%A1_%D7%94%D7%90%D7%99%D7%A9%D7%95%D7%9F).

באיזה מהנושאים הקודמים הזכרנו את תופעת כיווץ והרחבת האישונים?

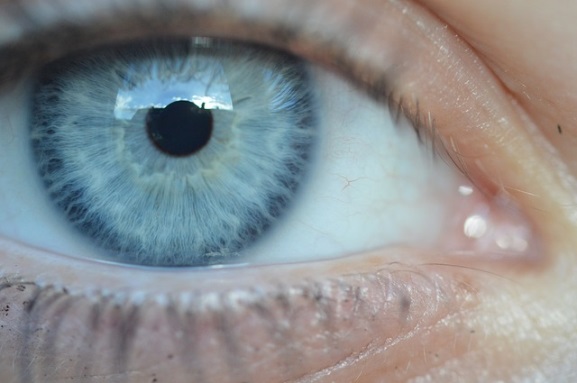
תשובה: הזכרנו זאת בשיעור הכרת מערכת העצבים, כשדיברנו על מערכת העצבים האוטונומית (החלק במערכת העצבים ההיקפית שפעיל במצבי fight or flight ובמצבי רגיעה). כפי שראינו, במצבי חירום מערכת העצבים האוטונומית מגיבה במהירות באיברים שונים, ומייצרת התנהגות שמתאימה ללחימה או לבריחה, בין היתר הרחבת אישונים (כדי לראות כמה שיותר). מכאן אנו למדים שמצב האישון יהיה **בהתאם למצבים של לחץ או מנוחה, בשילוב עם מצב התאורה** (ובשילוב עוד גורמים רבים שלא ניכנס אליהם).



**שאלת הבנה:** הביטו בשתי התמונות הבאות.

1. באיזו מביניהן האישון מתאים לתנאי תאורה חשוכים? (תשובה: בתמונה הימנית)
2. האם האישון בתמונה הימנית יכול להימצא בתנאי תאורה גבוהים? (תשובה: כן, בין היתר במצב לחץ).

"Dilated pupil.gk" by grendel|khan and Lady Byron - Own work. Also available from my flickr.. [Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dilated_pupil.gk.jpg#/media/File:Dilated_pupil.gk.jpg)



בדיקת אישון העין מוכרת מסדרות טלוויזיה ומסרטים, בדרך כלל בהקשר של מצב חירום שבו המטופל מחוסר הכרה... התייחסות קצרה לנושא תוכלו למצוא בתיבת ההעשרה שבהמשך המערך.

אופן ביצוע הבדיקה, והסיבה לביצועה על ידי נוירולוגים:

<http://brainconnection.brainhq.com/testing-the-brain-what-neurological-exams-can-tell-us-about-ourselves/>

העשרה

* צבע העיניים:

<http://www.goleango.com/show_calculator_heb.php?cat_id=10&art_id=116>

<http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A6%D7%91%D7%A2_%D7%A2%D7%99%D7%A0%D7%99%D7%99%D7%9D>

* אישונים רחבים – סמל יופי בעולם העתיק:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Atropa_belladonna#Cosmetics>

הצמח "אטרופה בלה-דונה" מכיל חומר הפועל כחסם של הנוירוטרנסמיטור אצטיל כולין. אם מטפטפים מן החומר הזה על העין הוא מונע את פעולת הנוירוטרנסמיטר אצטילכולין, שגורם לכיווץ האישון (מיוזיס). כתוצאה מכך מתקבל האפקט ההפוך של הרחבת האישון (מידריאזיס).

בעולם העתיק נשים נהגו להרחיב את אישוניהן כיוון שהדבר היה נחשב כסמל יופי (מי שהיה בבדיקת עיניים יודע שרופא העיניים לעתים מזליף חומר דומה וכתוצאה מכך אחר הבדיקה קשה לנו למקד מבט ואנו רואים מטושטש... אולי מדובר בעקרון ההכבדה!?).

משמעות השם "בלה-דונה" באיטלקית הוא אישה יפה.

* מדוע הרופא בודק אישונים: יש סיבות רבות מאוד לבדוק את התגובה של האישון לאור, תמיד חשוב להבין את סיפור המסגרת כדי להגיע לאבחנה.

לפניכם כמה דוגמאות: 1) במצבים מסוימים נראה אישונים קטנים מאוד, המכונים גם אישוני סיכה. מצב זה אופייני באנשים שצרכו חומרים דמויי אופיום ועשויים להימצא מחוסרי הכרה.

2) אישונים שאינם מגיבים לאור – הדבר יכול לנבוע ממוות מוחי (מצב שבו הלב עשוי להמשיך לפעול לפרק זמן, אך המוח חדל מלתפקד). סיבה נוספת יכולה להיות עיוורון, אז לא יגיע אות סנסורי שיגרום לתגובה המוטורית.

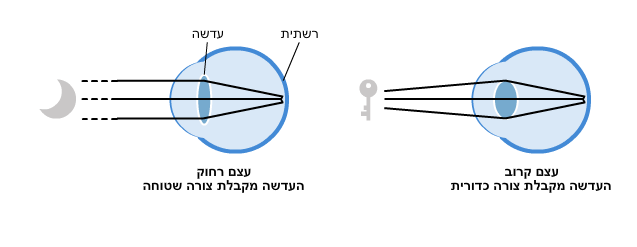
3) אישונים בצורה לא שווה בין שתי העיניים ושאינם מגיבים לאור (באדם בהכרה) יכולים להופיע בסיבוך עצבי של מחלת העגבת. אישונים אלה קרויים גם "אישוני ארגיל רוברטסון".

# חדות הראייה

ראיית 6/6 – מה זה אומר?

מי לא שמע את המושג "רואים 6/6"? אנו יודעים שהכוונה היא שהראייה טובה, אך לא כולם יודעים שהכוונה היא שהצלחנו לראות מ-6 מטרים מה שמצופה מאדם עם ראייה טובה. דוגמה לציון לא תקין הוא למשל 6/24, שמשמעו שהאדם הצליח לראות מ-6 מטרים רק את מה שאדם עם ראיית 6/6 היה רואה ממרחק 24 מטר.

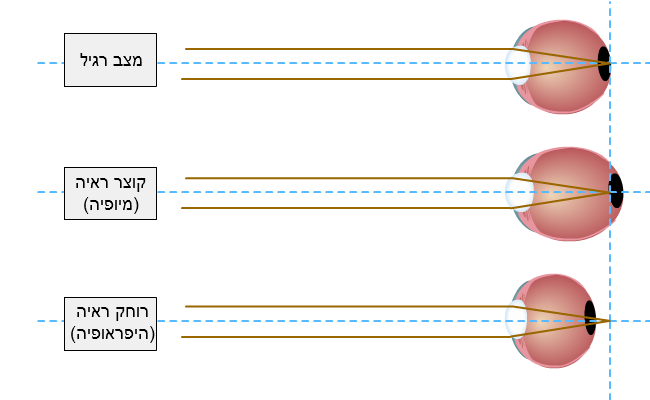
כדי להבין את ההסבר הפיזיולוגי לתופעה כזו, נתאר את המסלול של האור מרגע כניסתו לעין דרך חור האישון:



האיור מציגה חתך צידי של עין שמסתכלת שמאלה.

האור המוחזר מעצמים שונים נכנס לעין דרך חור האישון, ומתמקד בחלק הפנימי האחורי של גלגל העין. שימו לב כיצד העדשה מתאימה את עצמה באופן שונה למיקוד עצמים רחוקים (ירח) לעומת עצמים קרובים (עלה).

כדי שהתמונה תהיה חדה, המיקום של מיקוד קרני האור צריך להתקבל על הרשתית, החלק המסומן בשחור בדופן הפנימי האחורי של גלגל העין. בעיות של קוצר ראייה או רוחק ראיה מתרחשות כאשר המיקוד של קרני האור לא נופל במקום המתאים.



קוצר ראייה מתבטא בכך שעצמים קרובים נראים בבירור, בעוד שעצמים רחוקים נראים מטושטשים. יש לכך מגוון סיבות, אך בכולן האור שנכנס אל העין נשבר והדמות שנוצרת אינה ברישתית אלא מעט לפניה (כפי שמופיע באיור המצורף. מצב הפוך בו הדמות היא אחרי הרשתית נקרא **רוחק ראייה** (**היפראופיה**).

 **פשוט וגאוני - עקרון הפעולה של משקפיים:** מִרכּוּז או פיזור של קרני האור!

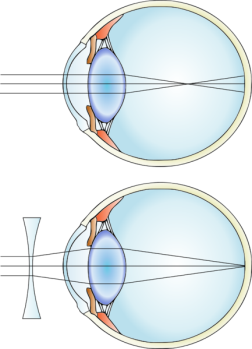
סרטון שמראה כיצד עדשה ממקדת קרני אור:

<https://www.youtube.com/watch?v=GbxWK6bwt_A>

**שאלת הבנה, למי שיודע קצת אופטיקה:** ידוע כי עדשה קעורה מפזרת את אלומת האור, ועדשה קמורה מרכזת את אלומת האור. לפי מידע זה, איזו עדשת משקפיים תתקן קוצר ראייה ואיזו עדשה תתקן רוחק ראייה? קמורה/קעורה

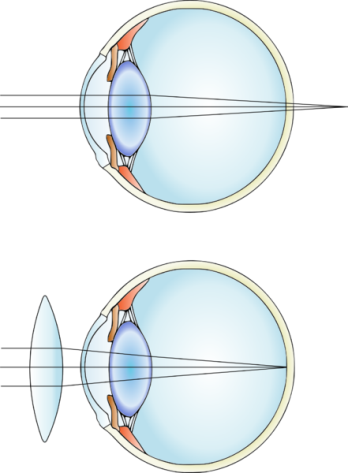
תשובה: קוצר ראייה – עדשה מפזרת קעורה, ואילו ברוחק ראייה עדשה ממקדת קמורה (כפי שמודגם בתרשים המצורף).

קוצר ראייה:



By Gumenyuk I.S. (Original artwork made especially for Wikipedia) [CC BY-SA 3.0], via Wikimedia Commons

רוחק ראייה:



By Gumenyuk I.S. (Own work) [CC BY-SA 4.0], via Wikimedia Commons

# קליטת האור

האור שניכנס דרך האישון חוצה את החומר השקוף הממלא את גלגל העין ופוגע בשכבת תאים הפרוסה על גבי הדופן הפנימי של גלגל העין, הנקראת **רִשתית (RETINA)**.

הרשתית מכילה כמות עצומה של **קולטני אור** שקולטים את האור וממירים את המידע ל"שפה שהמוח מבין" – אותות חשמליים, או בשפת מדעי המוח: פוטנציאלי פעולה.

האותו החשמליים עוברים ב**עצב הראייה** – צרור אקסונים של נוירונים – ונכנסים למוח.

**תופעת הכתם העיוור**: התחלנו את השיעור בכך שטענו שהעין היא איבר מתוחכם ומופלא, אך ההדגמה הבאה תגלה לנו שאילו היה אפשר לתכנן את מבנה הרִשתית מחדש אולי היינו עושים בו כמה שינויים...

**מציאת הכתם:** ראשית נחלק את התלמידים לזוגות כל זוג מקבל דף A4 לבן שבצִדו ***השמאלי*** מצויר X או כוכב ובצִדו ***הימני*** נקודה (ראו איור לדוגמה למטה). על אחד מבני הזוג (הנבדק) לכסות את עין שמאל ולהתמקד ב-X בעינו הימנית. על הבודק להחזיק את הדף במרחק של חצי מטר מן הנבדק ולקרב אותו אט-אט. הנבדק מתמקד ב-X בלי להזיז את עינו הפקוחה, אך מבחין בנקודה בפריפריה של שדה הראייה. כשהדף במרחק מסוים מן הנבדק הנקודה נעלמת וכשממשיכים לקרב את הדף אל פניו היא מופיעה בשנית.

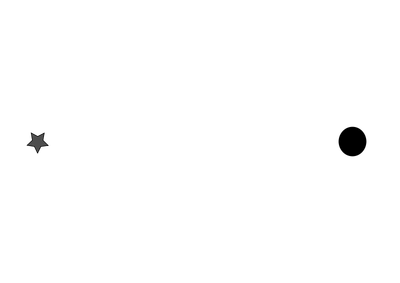
**הנחיות לתלמידים**: התחלקו לזוגות, כשכל זוג מקבל דף עם שני סימונים. על אחד מבני הזוג להחזיק את הדף, ועל השני להביט בו. הוראות לתלמידים המחזיקים: עליכם להחזיק את הדף כך שקל ל"מביטים" לראות את הסימונים שעליו, הכוכבית צריכה להיות מול המביטים, והנקודה לימינם. התחילו מלהחזיק את הדף כחצי מטר מן ה"מביט/ה", וקרבו את הדף לאט-לאט.

**הנחיות לתלמידים המביטים**: כסו בעזרת ידכם את עין שמאל, ובעין ימין התמקדו בכוכב שעל הדף, ושימו לב שאתם רואים את הנקודה בראייה ההיקפית שלכם. הנקודה אינה צריכה להיות בהכרח ברורה, אבל אתם צריכים לראות אותה. הישארו ממוקדים בכוכב כשחבריכם ה"מחזיקים" מקרבים את הדף אליכם. במרחק מסוים תיעלם הנקודה.

* + ברגע שהנקודה נעלמת – ציינו זאת, והעריכו את המרחק שלכם מן הדף.
  + מה קורה עם הנקודה כשחבריכם ממשיכים לקרב את הדף?

החליפו תפקידים וחזרו על התהליך.

* + האם לשניכם נעלמה הנקודה?
  + האם זה קרה באותו המרחק?



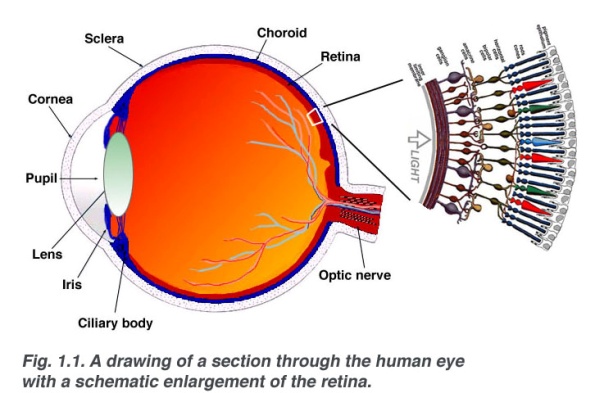
בסוף מסמך זה מצורף דף מתאים עם הסימונים המדוברים.

מבחן זה מאפשר לנו להבין שיש אזור מסוים בשדה הראייה בכל אחת מן העיניים שלנו שאינו מתפקד. בעצם אם חושבים על זה בכל רגע נתון היינו צריכים לראות בשדה הראייה שלנו שני כתמים שחורים (אחד בכל עין).

כדי להבין את התופעה המוזרה שנקראת בשם הכתם העיוור, יש להעמיק מעט במבנה הרִשתית.

כאמור, הרִשתית היא שכבת תאים דקה המצויה בחלק האחורי של גלגל העין. תפקידה הוא קליטת והמרת האור לאותות עצביים.

לרשתית יש מבנה בעל 3 שכבות:



מקור תמונה: <http://webvision.med.utah.edu/imageswv/Sagschem.jpeg>

בצד ימין של התמונה רואים חתך ברשתית, שבו מופיעות 3 השכבות.

ניקח בחשבון שכדי לייצא את המידע לכיוון המוח צריך מערך של חוטים שיוצא מהרשתית, בהם זורם המידע העצבי אודות הופעה של אור. הסיבים שיוצאים מהרשתית ויוצרים בהמשך את **עצב הראייה** – נמצאים דווקא בשיכבה **הפנימית** של הרשתית, הפונה אל מרכז הכדור. כדי לצאת מהעין חייב עצב הראייה לחצות את שכבות הרשתית. בנקודה זו אין כלל קולטני אור ולכן זו **נקודה בה אנו לא רואים** או בשמה השני – **הכתם העיוור**!

מקרה הכתם העיוור מלמד אותנו שהעין היא מכשיר. כמו כל מכשיר יש לה מבנה שמשרת את התיפקוד שלה, ושמקנה לה שורה של יתרונות וגם כמה חסרונות.

שאלת השאלות: מדוע אנחנו לא חווים את הכתם העיוור בחיי היומיום?

תשובה: משום שהמוח משלים את התמונה בעזרת מידע על אור בסביבת הכתם העיוור. המוח מניח שהאזור העיוור מכיל דברים שדומים לסביבה שלו.

הדבר מלמד אותנו שעל אף שהעין חשובה באיסוף המידע החושי, מי שבאמת מייצר את החוויה החושית הוא העיבוד המוחי. במציאות **יש** לנו כתם עיוור אך בחוויה **אין** לנו אותו, וזה נקבע ע"י המוח.



סרטון לסיכום ההתייחסות לעין - כיצד התפתח מבנה כה מורכב ומשוכלל?

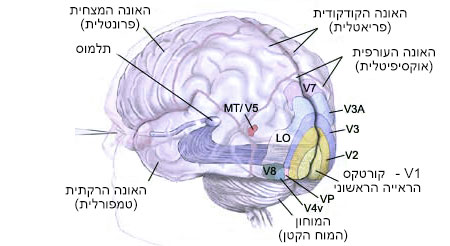
<http://ed.ted.com/lessons/the-evolution-of-the-human-eye-joshua-harvey>

## מסלול הראיה

הרשתית ממירה את המידע הראייתי למידע עצבי – אותות חשמליים שנעים לאורך הנוירונים של עצב הראייה. **עצב הראייה** הוא אוסף של אקסונים ששייכים לנוירונים מהרשתית. זוהי אלומת סיבים שדרכם עובר המידע העצבי מהעין למוח.

 מבחינה נוירואנטומית, עצב הראייה נחשב ל חלק מהמוח.

נתאר כעת את מסלול זרימת האות העצבי במוח. מבט כללי על המסלול לפני שאנחנו נכנסים לפרטים:



Copyleft: <http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cr/a_02_cr_vis/a_02_cr_vis.html>

בתמונה: מסלול הראייה – מבט על המוח מאחור ומעט מן הצד. בחלק השמאלי אפשר לראות את האף ואת גלגלי העיניים. מן העיניים יוצא עצב הראייה, ומגיע אל התלמוס (אל גרעין ה-LGN שבתלמוס, המופיע בתרשים). משם המידע עובר בסיבים (כחולים) את האונה העורפית, ומגיע אל קורטקס הראייה הראשוני (מסומן בתרשים כ-V1). עיקר העיבוד הראייתי מתקיים בקורטקס.

כדי להבין לעומק את העברת המידע נתחיל בתיאור המושג **שדה ראייה**.

**שדה ראייה** = אזור בעולם שנמצא בתחום הקליטה של העין, כלומר שהעין קולטת אור שמגיע ממנו.

הרשתית, שקולטת את האור מהסביבה וממירה אותו לאות עצבי, מאורגנת כך שכל נקודה בה קולטת אור מנקודה בשדה הויזואלי הכללי. אזורים סמוכים על הרשתית קולטים אור מאזורים סמוכים בעולם.

דוגמאות:

1. כאשר אנו מסתכלים על האיור הבא:

אזור מסוים ברשתית קולט את החלק הכחול ואזור סמוך לו קולט את החלק הצהוב.

1. כאשר אנו מסתכלים על התמונה הבאה:



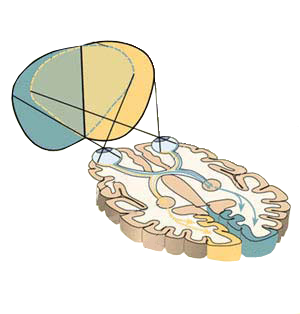
אזורים שונים ברשתית קולטים חלקים בודדים קטנים מהתמונה:



 במציאות, שדות הראייה חופפים, כך שאין מרווחים בין שדה לשדה. כמו כן, השדות קטנים בהרבה ממה שמוצג בתמונה.

לסיכום – ניתן לומר שחלקים קטנים ברשתית קולטים מידע מחלקים שונים בעולם, ולכל חלק כזה אנו קוראים שדה ראייה.

כל אחת מהעיניים רואה כמעט את אותו שדה הראייה כללי:

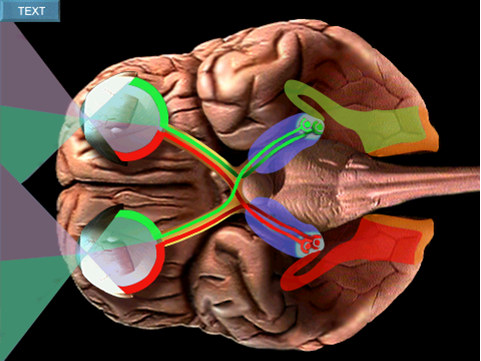


Copyleft: <http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cr/a_02_cr_vis/a_02_cr_vis.html>

בתמונה רואים חתך של המוח ואת העיניים בקדמת הראש. לפני העיניים רואים את שדה הראייה. לשדה הראייה חלק ימני (צהוב) וחלק שמאלי (ירוק). שתי העיניים קולטות גם את השדה הימני וגם את השדה השמאלי, ניתן לראות אזור החפיפה בין העיניים. אולם, בשוליים ישנם אזורים ששייכים רק לשדה הראייה של אחת העיניים.

אם כך, כל עין קולטת מידע גם משדה הראייה הימני וגם משדה הראייה השמאלי. המידע מכל נקודה בשדה הראייה נקלט על ידי קבוצה קטנה של נוירונים ועובר באקסונים אל המוח.

בתמונה לעיל ניתן להבחין באזור שבו מצטלבים הסיבים, זוהי **תצלובת הראייה (או בלועזית – הכיאזמה האופטית)**. באזור זה ישנה הצטלבות של האקסונים שמובילים מידע משדה הראייה שלה אל הצד השני; כלומר עבור עין ימין כל האקסונים שנושאים מידע שהגיע משדה הראייה הימני עוברים לצד השני בתצלובת הראייה, ולהיפך.



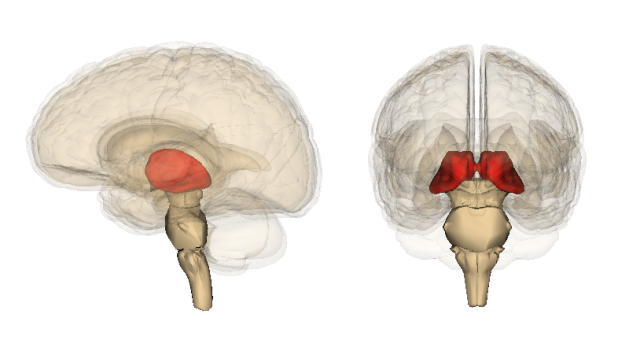
Source: <http://www.floiminter.net/?page_id=176>

איור דומה לקודם, אולם הפעם במקום חתך של המוח אנו רואים מבט על החלק התחתון שלו. העיניים ממוקמות מתחת לקדמת המוח. לכל עין שדה ראייה ימני (הפעם ירוק) ושמאלי (סגול). שימו לב: החלק הימני של שדה הראייה נופל על החלק **השמאלי** של הרשתית, ולהפך. מכל עין יוצאים אקסונים המכילים מידע על החלק הימני של שדה הראייה (ירוק) ואקסונים אחרים המכילים מידע על החלק השמאלי של שדה הראייה (אדומים).

בסופו של דבר כל האקסונים שמביאים מידע משדה הראייה הימני מגיעים לצד שמאל של המוח, וכל האקסונים שמביאים מידע מצד שמאל מגיעים לצד ימין של המוח.

כשעסקנו במוטוריקה (פרק "לזוז בלי לחשוב"), הדגשנו שההמיספרה הימנית שולטת על צד שמאל של הגוף ולהיפך. כעת אנו מדברים על חישה (סנסוריקה), והדבר באופן עקרוני ברוב המקרים דומה. בכל אופן, שימו לב שבמערכת הראייה קורה דבר קצת אחר: לא עין ימין מעבירה מידע להמיספרה שמאל, אלא **החלק הימני של שדה הראיה מעביר מידע להמיספרה שמאל**. הכוונה היא שמכל אחת מהעיניים החלק הימני של שדה הראיה מגיע לעיבוד בצד השמאלי של המוח, ולהיפך. כל הנושא הזה יילמד בהרחבה בהמשך, ואין צורך להיכנס להסבר זה כעת.

התחנה הבאה במסלול היא ה**תלמוס**.



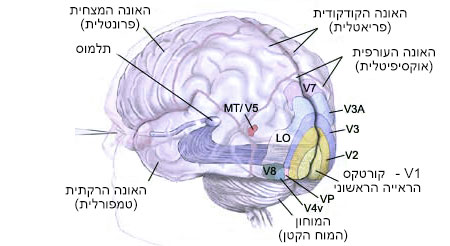
"Thalamus image" Images are generated by Life Science Databases(LSDB). - from Anatomography, website maintained by Life Science Databases(LSDB).[You can get this image through URL](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thalamus_image.png#/media/File:Thalamus_image.png)..

מתפרסם לפי רישיון CC BY-SA 2.1 jp דרך ויקישיתוף.

**בתמונה הימנית:** מוח מסתכל ישירות אלינו. **בתמונה השמאלית:** מוח מסתכל שמאלה (אפשר לזהות לפי המיקום של הצרבלום מאחור). התלמוס צבוע באדום (הוא לא באמת אדום במציאות).

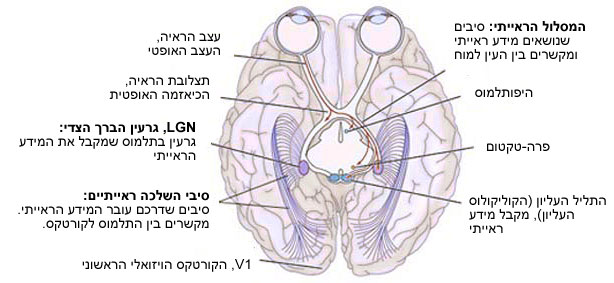
התלמוס הוא **תחנת ממסר** חשובה במוח. הוא מקבל מידע מהחושים, ומוסר מידע לקורטקס. בנוסף, הוא מתווך תהליכים שקורים בחלקים שונים של הקורטקס. באופן כללי אנחנו קוראים לו "תחנת ממסר" כי הוא מקבל קלטים מהמון מקומות, לכן יש לו יכולת להתחשב בהרבה תהליכים שקורים בו-זמנית, והוא שולח קלטים להמון מקומות, כך שהוא משפיע באופן נרחב מאוד על פעילות המוח.

בשלב זה אפשר לחזור לתמונה מתחילת השיעור ולהזכיר מאיפה המידע הגיע ולאן הוא הולך:



Copyleft: <http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cr/a_02_cr_vis/a_02_cr_vis.html>

**תמונה נוספת:**



עצב הראייה

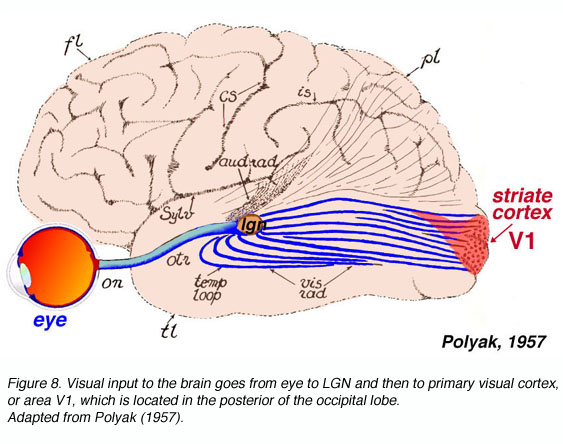
תלמוס

התחנה הבאה: אקסונים שבהם עובר המידע הראייתי מהתלמוס לקורטקס

תצלובת

Copyleft: <http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cr/a_02_cr_vis/a_02_cr_vis.html>

מהתלמוס, המידע הראייתי נמסר אל קורטקס העיבוד הראייתי הראשוני**, שנקרא גם V1** (primary visual cortex). השם V1 הוא קיצור של visual1, כלומר התחנה הויזואלית הראשונה בקורטקס:



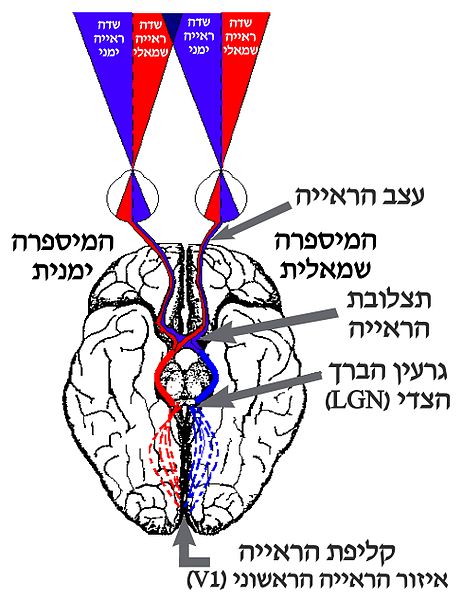
Source: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-ix-psychophysics-of-vision/the-primary-visual-cortex/>

Copyright © 2015 Webvision: Attribution, Noncommercial, No Derivative Works Creative Commons license.

בתמונה לעיל רואים מוח שמביט שמאלה. המסלולים שמצויירים עוברים בעומק המוח. מהעין מוביל העצב האופטי מידע אל התלמוס (מופיע בתמונה כ-LGN, שזה החלק הספציפי בתלמוס שקולט את המידע הזה, אבל זה לא חשוב לענייננו). מהתלמוס המידע רץ אחורה ל-V1.

נחמד להצביע על העובדה שלמרות שהעיניים נמצאות בקדמת המוח, העיבוד הראייתי הראשוני מתרחש דווקא בחלק האחורי של המוח.

תמונה נוספת שמתארת את מעבר המידע. הפעם רואים את המוח במבט תחתון, במנח של אדם המישיר מבטו לפנים ואנו מסתכלים עליו מלמטה.



"Constudeyepath1" Original uploader was Yoavabadi at he.wikipedia - Transferred from he.wikipedia

מתפרסם לפי רישיון CC BY-SA 3.0 דרך [ויקישיתוף](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constudeyepath1.JPG#/media/File:Constudeyepath1.JPG)

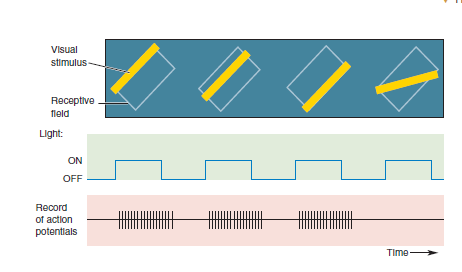
## הקורטס הראייתי הראשוני, V1

המידע הראייתי עובר מהעין דרך תצלובת הראייה והתלמוס ומגיע אל הקורטקס. בקורטקס המידע עובר בין תחנות עיבוד שונות, שכל אחת מהן מומחית בעיבוד אלמנטים מסוימים של הראייה: אזור המזהה צבעים, אזור המזהה פרצופים, אזור המזהה תנועה וכולי. אנו נתחיל כעת בתיאור של V1, שמזהה אלמנטים פשוטים מאוד של שדה הראייה – **קווים**.

## 

## עיבוד ראשוני של המידע החזותי מתבצע על ידי תאים ב-V1

בניגוד לתאי הרשתית, ש[שדה הקלט](http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A9%D7%93%D7%94_%D7%A7%D7%9C%D7%98) שלהם **עגול** והם מגיבים לנקודות, לתאים באזור הראייה הראשוני יש שדה קלט **מוארך**, ולכן הם מגיבים בצורה הטובה ביותר לגירויים חזותיים ארוכים, כמו **קווים**. פירוש הדבר שכל תא "רואה" אזור במרחב שיש לו צורה של קו. תאים שונים רגישים לקויים במקומות ובמנחים שונים, כך שכל סוגי הקווים וכל המיקומים האפשריים שלהם יכולים לקבל ייצוג במוח.



קו במנח מסוים

שדה הקלט המאורך של נוירון מסוים ב-V1

**הפעלה והשתקה של פעולת הנוירון בתגובה לקווים המוצגים למעלה**

**דפוס הירי של פוטנציאלי פעולה בתגובה לקווים המוצגים למעלה**

בתמונה רואים קווים במנחים שונים, ואת תגובתו של נוירון מסוים ב-V1 להופעתם. כל עוד מופיע קו אור בתוך שדה הראייה של הנוירון, הוא יורה פוטנציאלי פעולה. אם מופיע קו אור בשדה הראייה, אך הוא אינו במנח המתאים, הנוירון לא יורה. ב-V1 יש נוירונים רבים וכל אחד מהם רגיש למנח מסוים.

ניסוי מוכר מאוד בהקשר הזה (סרטון 1, ראו בהמשך) הוא ניסוי שעשו המדענים דיוויד היובל וטורסטן וויזל (Hubel D.H. & Wiesel T.).

היובל וויזל החדירו לתוך קורטקס V1 של חתול אלקטרודה דקיקה (מיקרו-אלקטרודה), שיכולה להקליט את הפעילות החשמלית של תא המצוי בקרבתה. פעילותו של תא פשוט בV1- הוקלטה בעת שהחתול צפה בקו אור שהוקרן על מסך לפניו. בתוך כמה עשרות מילישניות המידע הראייתי (תמונת הקו) הגיע אל הקורטקס הראייתי הראשוני, ונוירון בקרבת האלקטרודה ירה פוטנציאלי פעולה. לצורך זיהוי קל של ירי פוטנציאל פעולה, התגובה העצבית של הנוירון הומרה לגלי קול, כך שרצף פוטנציאלי הפעולה נשמע כ"מטח יריות". בשלב הראשון של הניסוי אותר וסומן שדה הקלט המעורר של הנוירון שהוקלט, ובכל פעם כשהוקרן גירוי של קו אור באוריינטציה ספציפית, הנוירון הגיב בפרץ פוטנציאלי פעולה.



סרטון 1: <http://www.youtube.com/watch?v=8VdFf3egwfg> (עד 3:08)

**הדרכה למורה – מה רואים בסרטון בכל רגע:**

* **0:00** מציגים קו אור לחתול שיש לו אלקטרודה מושתלת ב-V1 שמודדת פוטנציאל חשמלי ומזהה פוטנציאלי פעולה. הקולות ששומעים מבטאים ירי של פוטנציאלי פעולה. הערה: הירי עצמו לא עושה את הקולות, אלא מכשיר שמחובר לאלקטרודה ומשמיע קול בכל פעם שנרשם פוטנציאל פעולה.
* **0:22** החוקר מסמן את הקו כדי שנזכור איפה הוא היה כשהנוירון הגיב (שדה הקלט של הנוירון). עכשיו החוקר יזיז את הקו ונבדוק אם הנוירון ימשיך להגיב.
* **0:34** הקו יצא מחוץ לשדה הקלט של הנוירון, והוא הפסיק לירות פוטנציאלי פעולה.
* **0:44** יציאה מגבולות שדה הקלט של הנוירון מהצד השני.
* 0:56 החוקר מסמן במשולשים את האזורים שבהם הנוירון לא יורה, מחוץ לשדה הקלט שלו.
* 1:31 ניסיון להציג לנוירון קווים במנחים שונים – הנוירון לא יורה.
* 2:18 ניסיון להציג אור בשטח גדול – הנוירון לא מזהה קו ולכן לא יורה.
* 2:37 הנוירון יורה כאשר בשדה הקלט שלו יש אור ומסביבו חושך – זהו קו!

ישנם ב-V1 נוירונים שרגישים לדברים נוספים פרט למנח הקו, למשל לתנועת הקו בכיוון מסוים. נוירון כזה יירה כאשר יופיע בשדה הראייה שלו קו במנח מסוים שגם נע לכיוון מסוים. דוגמה נוספת היא נוירונים שרגישים לקצוות הקו, והם יירו כאשר קצה של קו במנח מסוים יופיע בשדה הראייה שלהם.



סרטון 2: <https://youtu.be/8VdFf3egwfg?t=3m33s> (3:33-4:48)

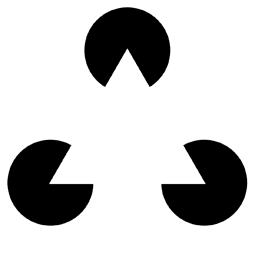
**המשך הדרכה למורה – מה רואים בסרטון בכל רגע:**

* **3:33** מציגים לחתול קו אור וממשיכים להקליט מנוירון ב-V1 (הפעם נוירון אחר). נוירון זה רגיש לקו שנמצא בתנועה.
* **3:44** הנוירון לא רגיש לקווים בכל המנחים
* **4:04** החוקר מסמן את תחילת שדה הקלט של הנוירון.
* **4:09** החוקרמסמן את הקצה השני של שדה הקלט. תנועה בתוך שדה הקלט מעוררת פוטנציאלי פעולה בנוירון. מחוץ לשדה הקלט לא.
* אפשר להפסיק ב-4:48

 בניסויים הללו החתול רואה את הקו עם העיניים, כרגיל. כל מיני נוירונים במוח החתול מגיבים, אבל החוקרים הקליטו רק בנוירון אחד בכל פעם, ולכן אנחנו מזהים רק את הירי שלו ולומדים רק עליו. כשהחוקרים הזיזו את הקו למנח אחר, היו נוירונים אחרים שירו כי הם רגישים דווקא למנח הזה – אך כאמור לא ניתן לירי שלהם ביטוי בניסוי שבסרטון.

המידע על התאים ב-V1 מלמד אותנו על האופן שבו המוח מתמודד עם הכמויות הגדולות של המידע שהוא מקבל מחוש הראייה; ראשית הוא מתחיל לזהות דפוסים של קווים במנַחִים שונים – זה הבסיס להרכבה מאוחרת יותר של צורות ודפוסים של כל הדברים שאנחנו רואים.

הביטו בתרשים, אילו צורות רואים?



ראיתם משולש?

כיצד זה ייתכן? הרי אין שם באמת משולש, רק צורות "פַּאקְמֶן" על רקע לבן! זה עתה למדנו שהנוירונים ב-V1 רגישים לאוריינטציה של קווים, ואולם אם נסתכל היטב, נראה כי המשולש אינו תחום בקו כלל! למעשה, אין משולש הפוך בתרשים, המוח שלנו "המציא" אותו. הוא השלים אותו על סמך הצורות האחרות. כלומר: ראינו צורה, על אף שאין קו המקיף אותה. אם כך, כיצד עמודות האוריינטציה, המכילות נוירונים הרגישים לאוריינטציה של קווי מתאר, ייצגו את הצורה הזאת? אם אין צורה, כיצד נוצר ייצוג שלה בקורטקס?

התשובה היא כי מדובר בתהליכי עיבוד מידע ראייתי גבוהים יותר, ולא בעיבוד הקווים ברמת אזור V1. בהמשך הפרק נלמד על עיבודים גבוהים של מערכת הראייה ועל עוד תופעות מעניינות בהן המוח בודה פרטים כדי לתת לנו תמונת מציאות מועילה.



לקריאה נוספת: <http://mada.org.il/brain/triangle.html>.