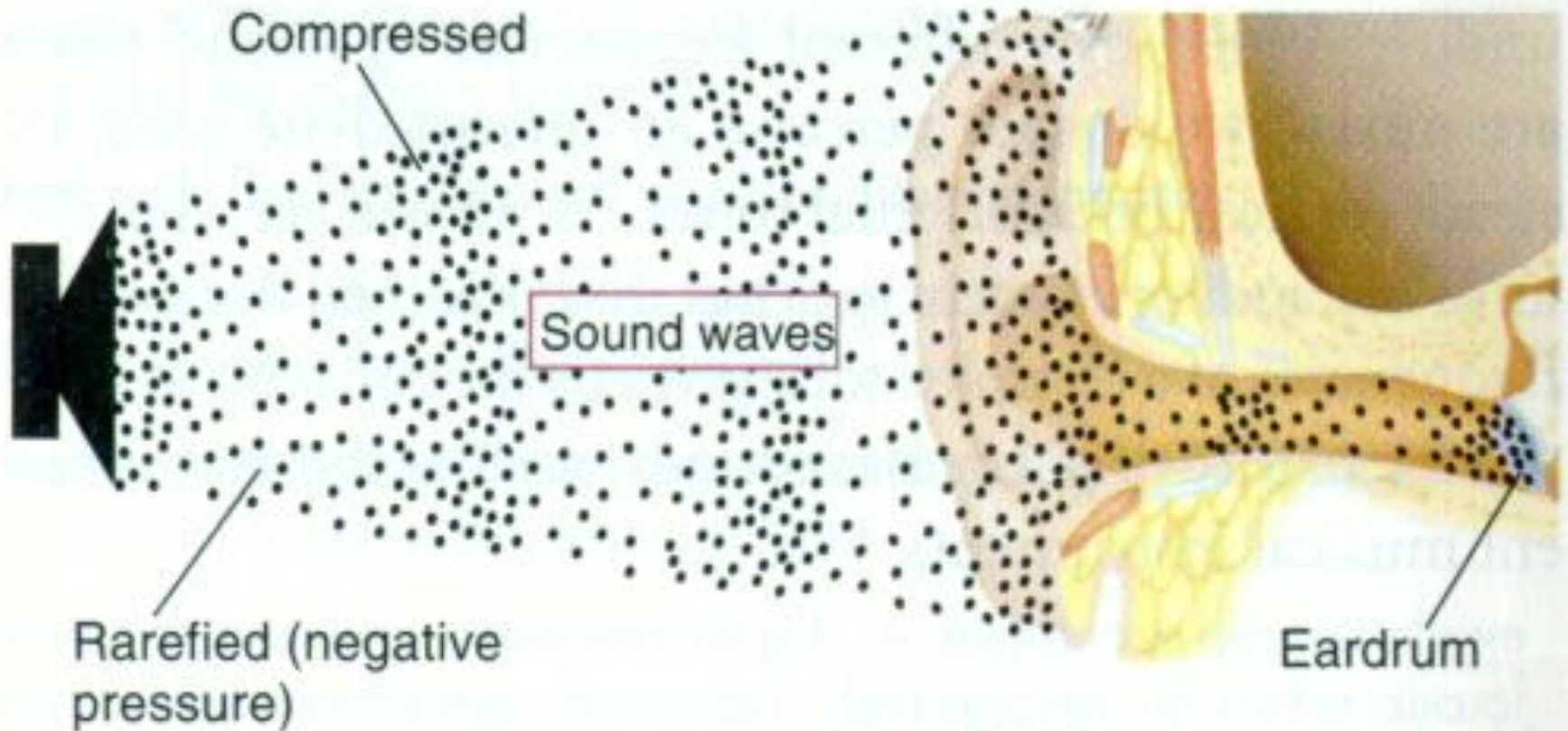


מערכת השמע

The auditory system



את הגירוי למערכת השמע מהווים קולות שנוצרים על ידי גופים רוטטים. הרטט (וויברציה) של הגוף מניע את מולקולות האוויר בסביבת הגוף ויוצר את גל הקול שמתקדם במהירות של כ-1100 קמ"ש.

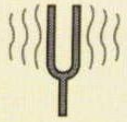


(A) Amplitude and frequency of sound waves

Vibrating body
(tuning fork)



Compression and expansion
of air molecules produced by
the tuning fork's vibration

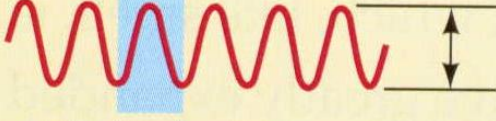
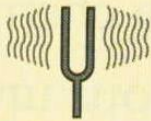


Amplitude: Sine wave
representation of the
pressure waves above

צליל נמוך יחסית

Wavelength,
one cycle

Greater
frequency of
movement



Amplitude
same as
original; frequency
doubled

צליל גבוה יחסית

Wavelength,
one cycle

Greater
amplitude
of movement



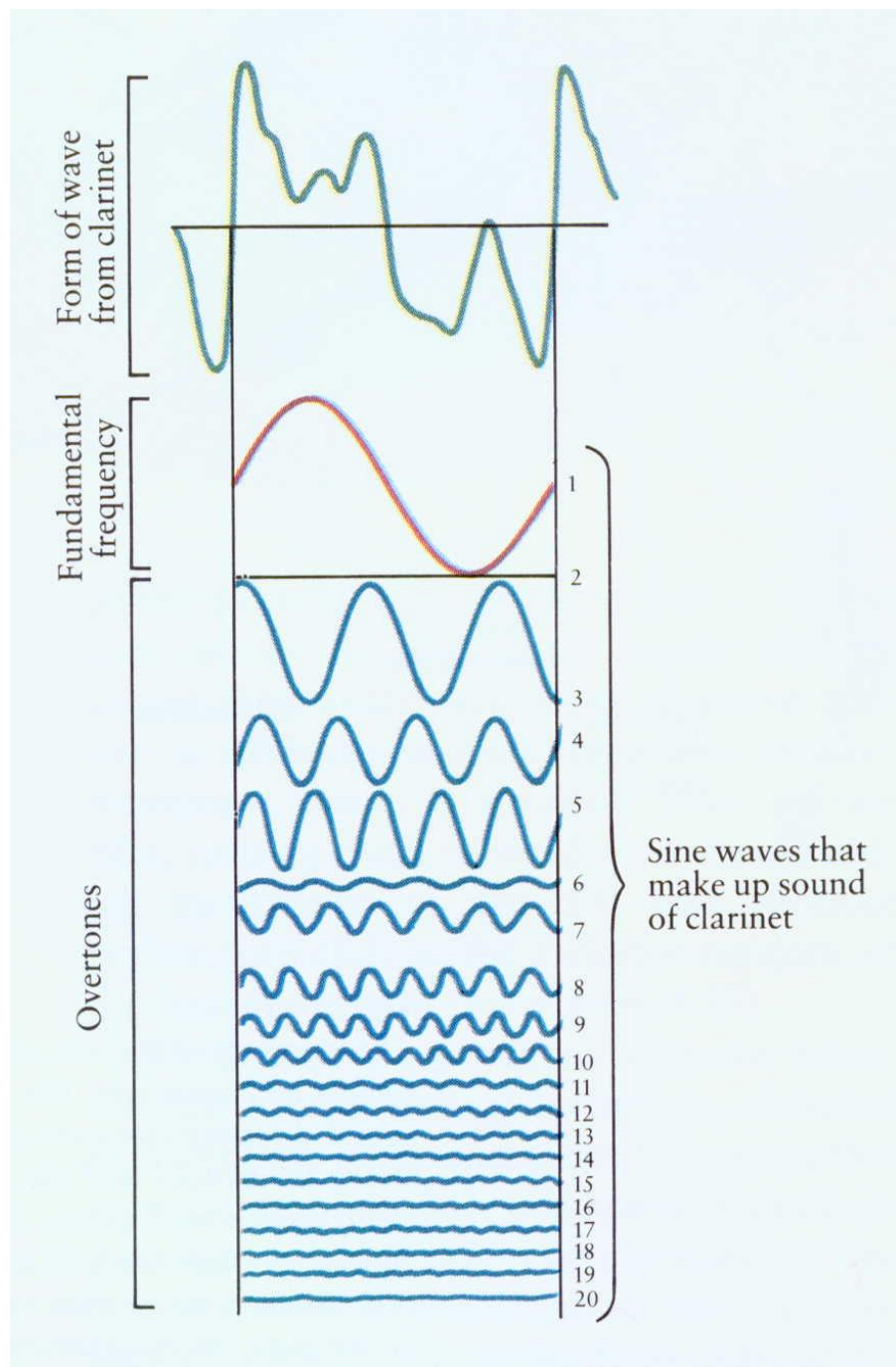
Amplitude
doubled;
frequency
same as above

עצמה גבוהה יחסית

כמו לכל גל, גם לגל הקול יש תדירות מסוימת (כלומר מספר תנודות אוויר בשנייה). התדירות קובעת את גובהו של הצליל (Pitch): כשהתדירות היא נמוכה (כלומר הגל הוא ארוך יחסית), הצליל הוא נמוך (באדם, בין 30 ל-20,000 תנודות בשניה-הרץ). כאשר התדירות היא גבוהה (כלומר הגל הוא קצר) הצליל הוא גבוה. גל קול בגובה מסוים יכול להיות בעל עוצמה שונה, בהתאם לאמפליטודה של הגל (גודל מהשיא של הגל ל"עמק" שבין שני גלים).

גוון הצליל (Timbre)

הצליל יכול להיות בעל גוון (Timbre) שונה. הסיבה היא שרוב הצלילים אינם צלילים פשוטים, שמורכבים מתדירות אחת, אלא הם מורכבים ממספר תדירויות. למשל צליל של כינור וצליל של קלרינט באותו גובה ובאותה עוצמה נשמעים כשונים זה מזה. הסיבה היא שלמרות שהתדירות הבסיסית של הצליל המופק היא זהה, ישנן תדירויות משנה שמתווספות לתדירות הבסיסית (תדירויות אלה נגרמות מהמבנה השונה של הכלים ומרכיביהם) והן אלו שמרכיבות ביחד את הגוון (איפיון זה של הצליל נקרא Timbre).



*Physical
Dimension*

*Perceptual
Dimension*

Amplitude
(intensity)

Loudness

loud

soft

Frequency

Pitch

low

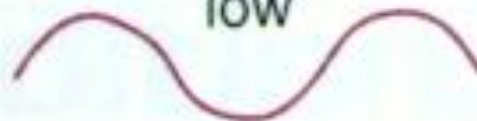
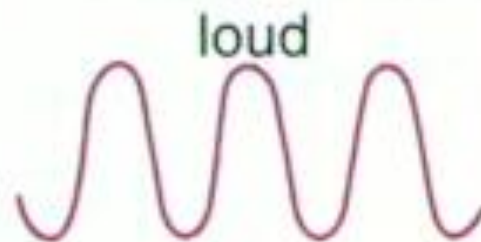
high

Complexity

Timbre

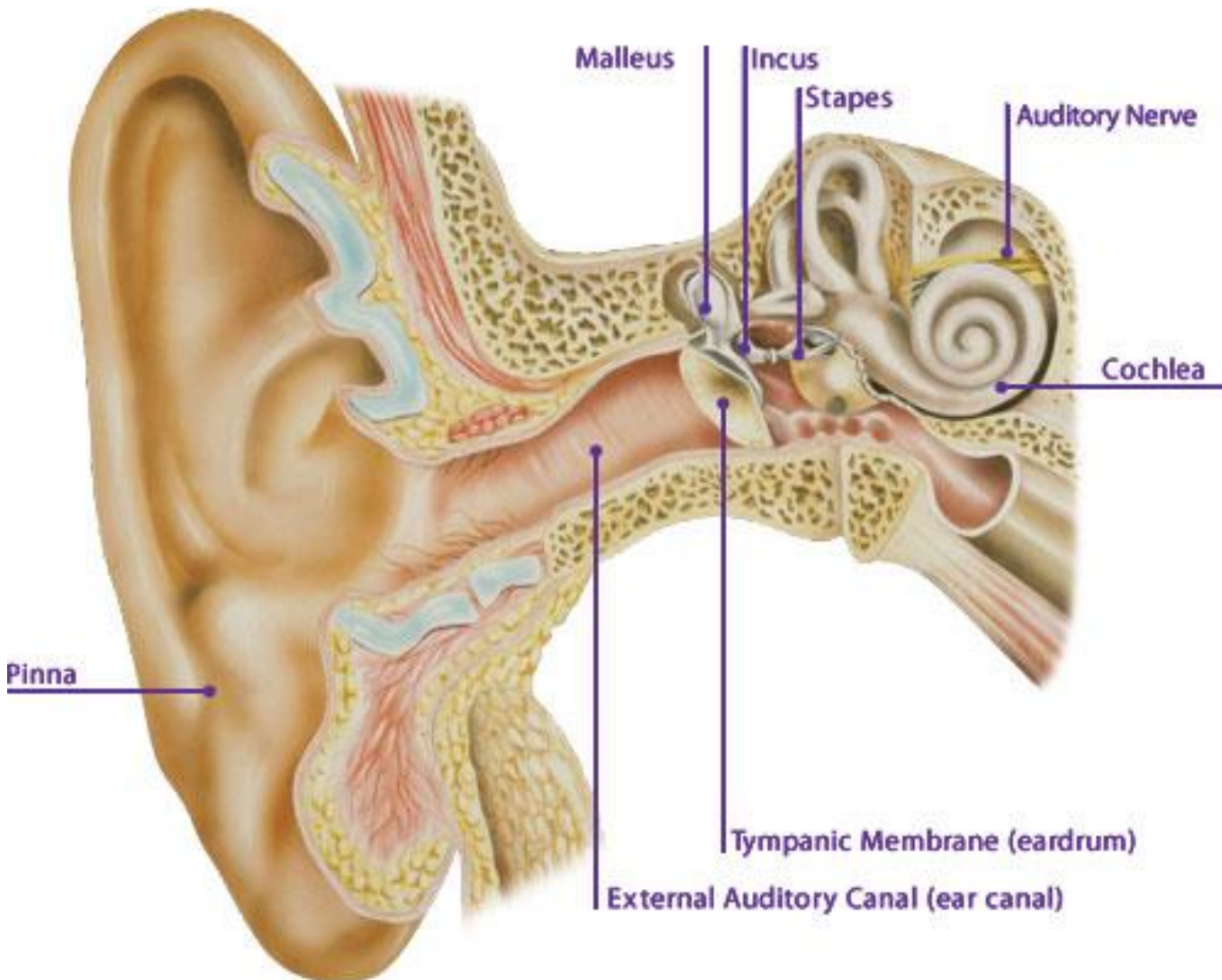
simple

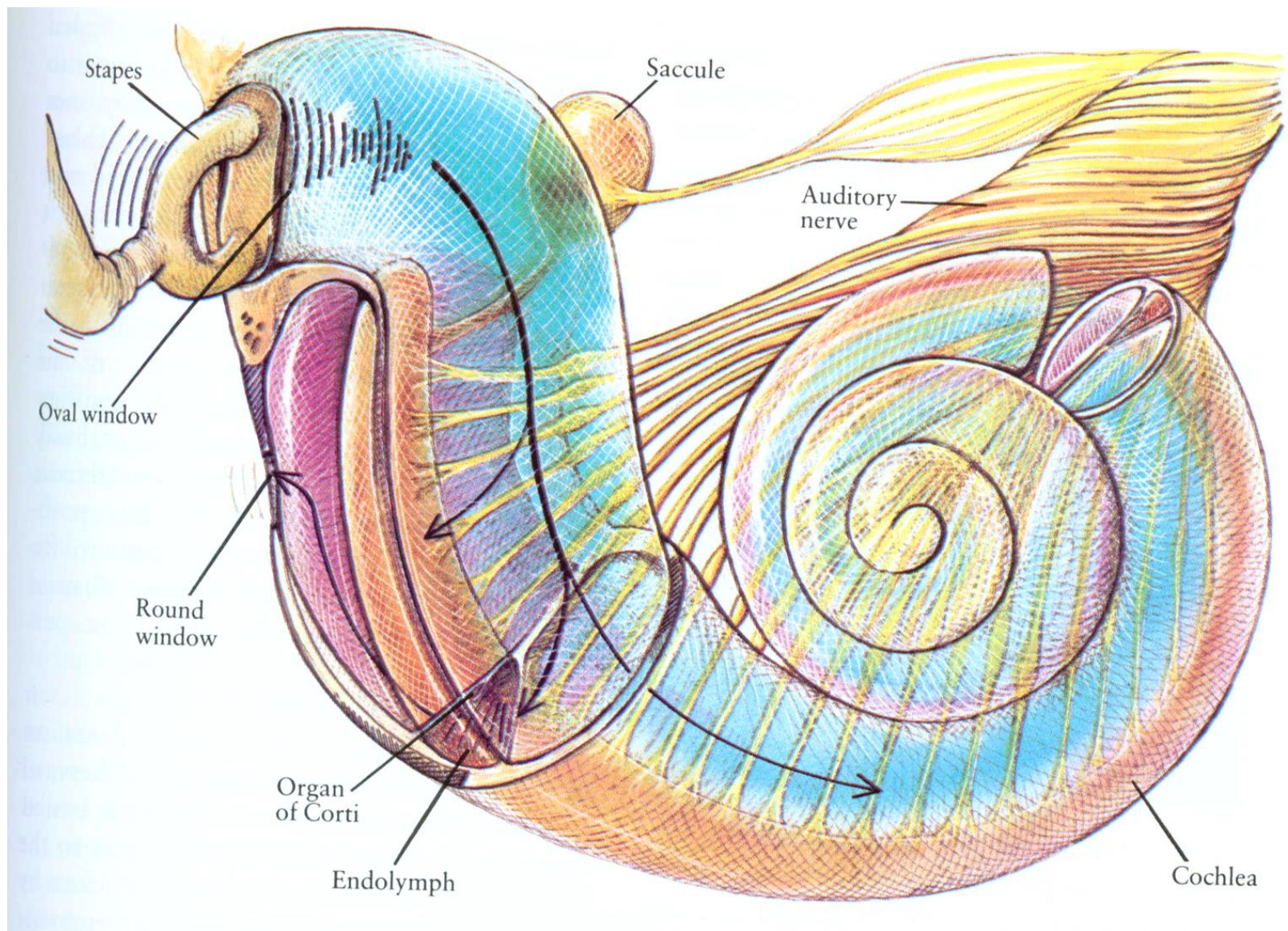
complex



תנודות האוויר נכנסות לאוזן דרך האפרכסת ומזיזות את עור התוף (tympanic membrane) בתדירות ובעוצמה מסוימות.

התנודות של עור התוף
גורמות לתנודות
בסידרה של שלוש
עצמות קטנות
שנמצאות באזור האוזן
התיכונה ושמזיזות זו
את זו. העצם
השלישית בסידרה,
הנקראת Stapes
מהווה מעין שסתום
לגוף העיקרי של האוזן
שנקרא Cochlea
("דמוי שבלול").





הכוכילאה מלאה בנוזל כך שתזוזה של ה-Stapes בתדירות ועוצמה מסוימת יוצרת בהתאמה גלים/תנודות בנוזל (מערכת עצמות האוזן התיכונה מהווה מנגנון ממסר בין תנודות האוויר לתנודות של נוזל בכוכליאה).

The Human Cochlea



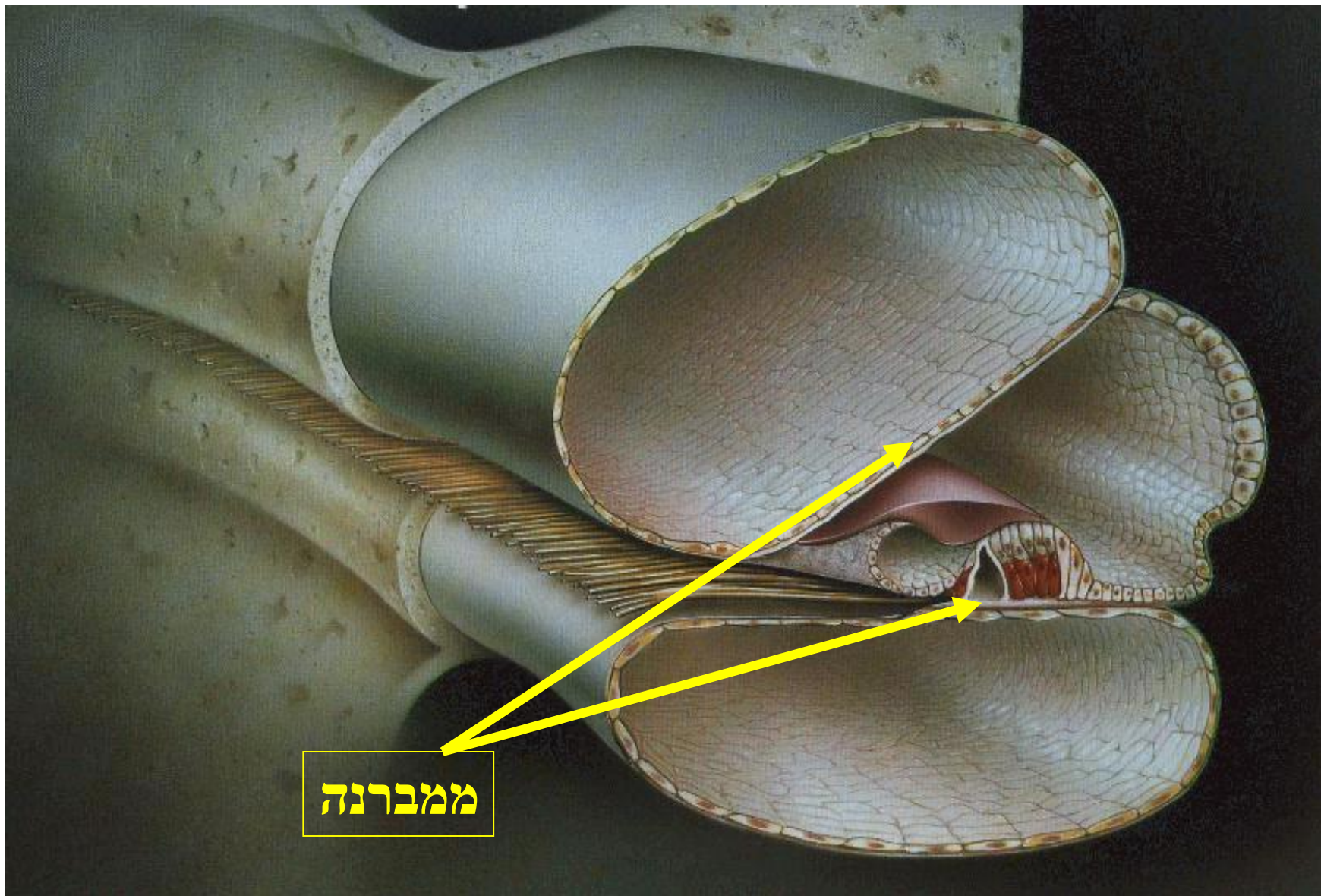
הכוכילאה נראית
כמו שבלול,
שמקופל סביב עצמו
2.5 פעמים.

Oval window=O
(ל"חלון" זה מחוברת
ה-Stapes).

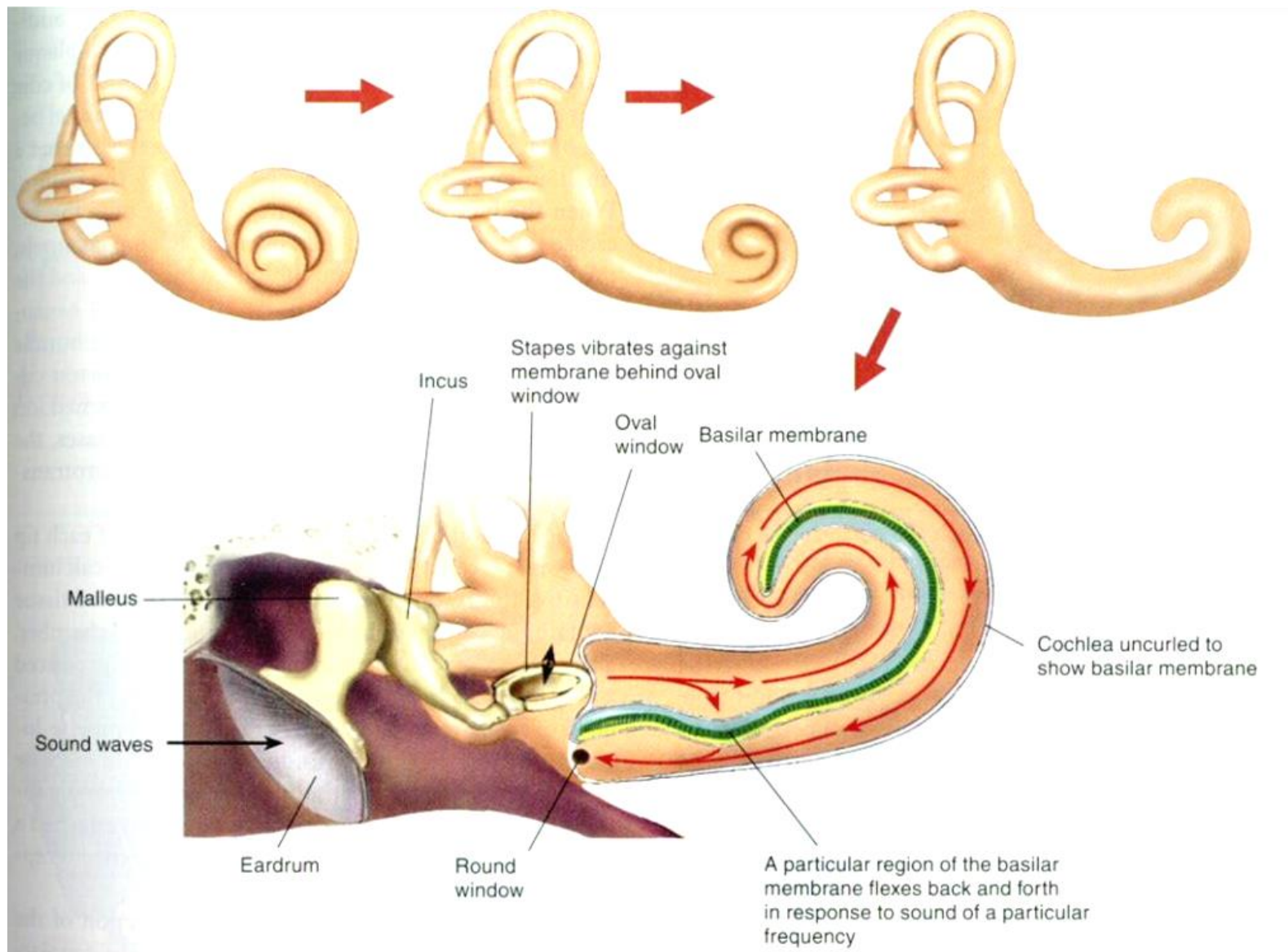
Round Window=r
(ב"חלון" זה יש

ממברנה שמאפשרת
לנוזל בכוכליאה לנוע
קדימה ואחורה)

חתך רוחב בכוכליאה

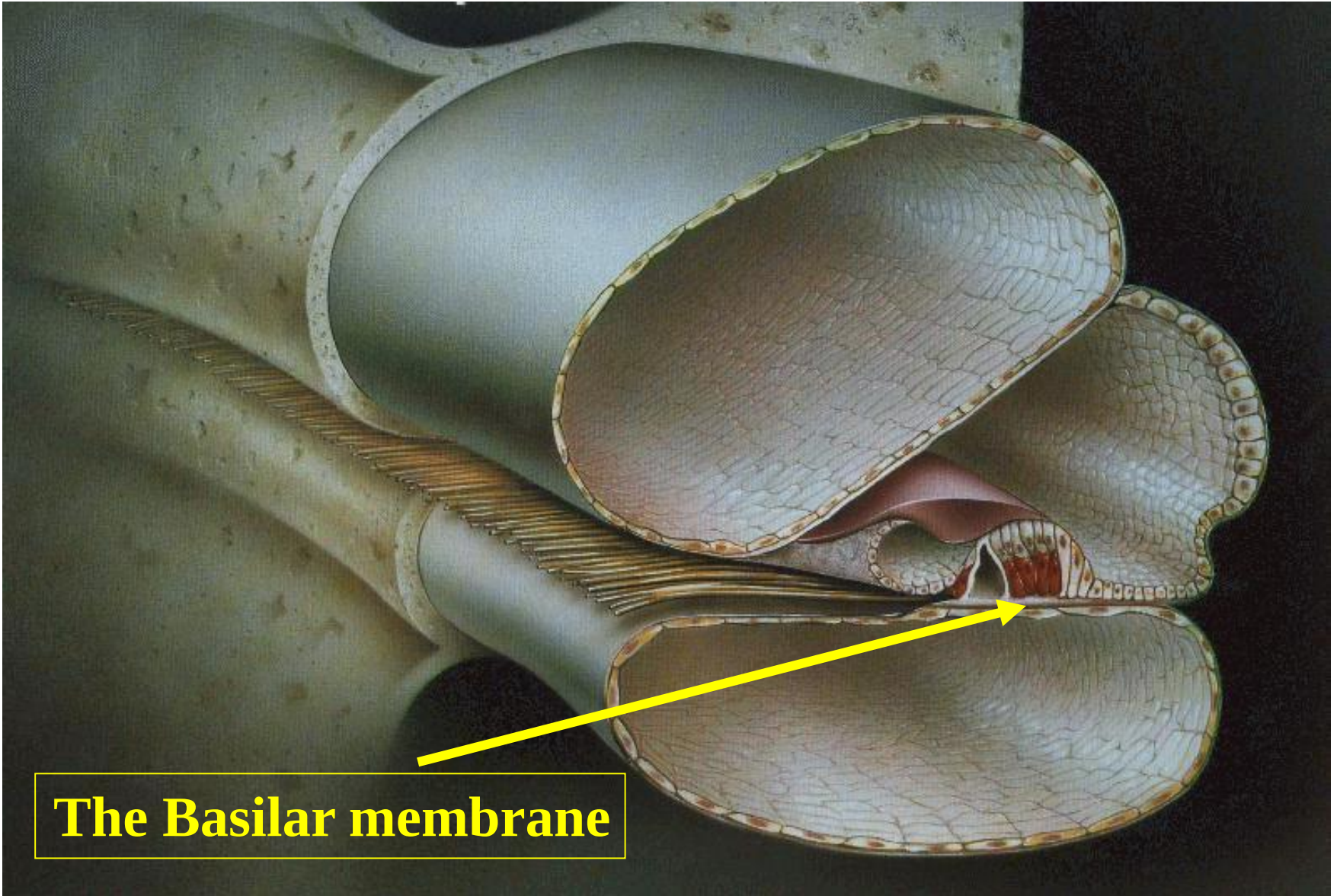


ממברנה

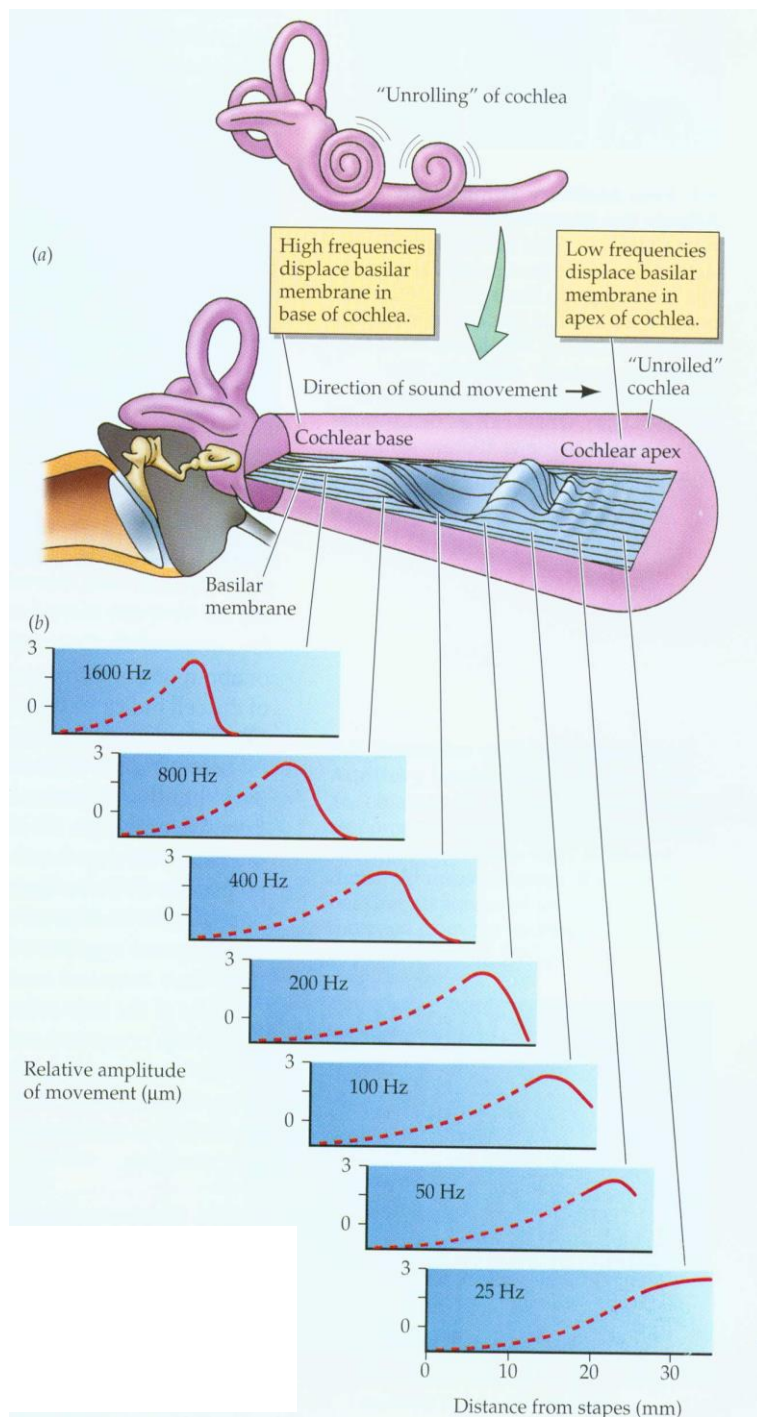


אם "מיישרים" את הכוכליאה (באופן וירטואלי), רואים שכאשר ה- Stapes גורמת לנוזל לנוע בתוך הכוכליאה נגרמת תנועה גם לאחת הממברנות הללו, שהיא בעלת תכונות אלסטיות מיוחדות ונקראת Basilar membrane (הממברנה הבאזילרית).

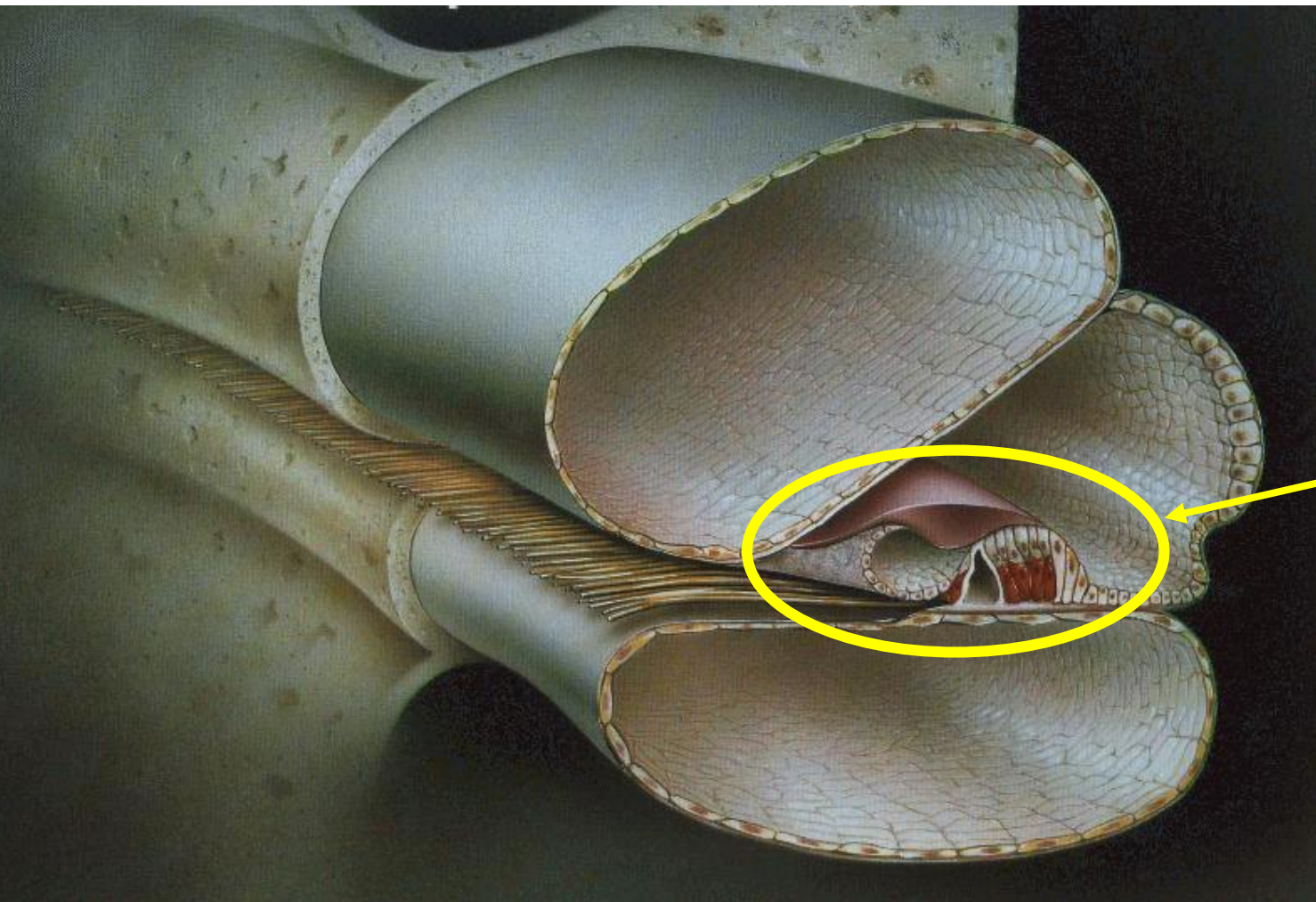
A cross section of the cochlea



The Basilar membrane



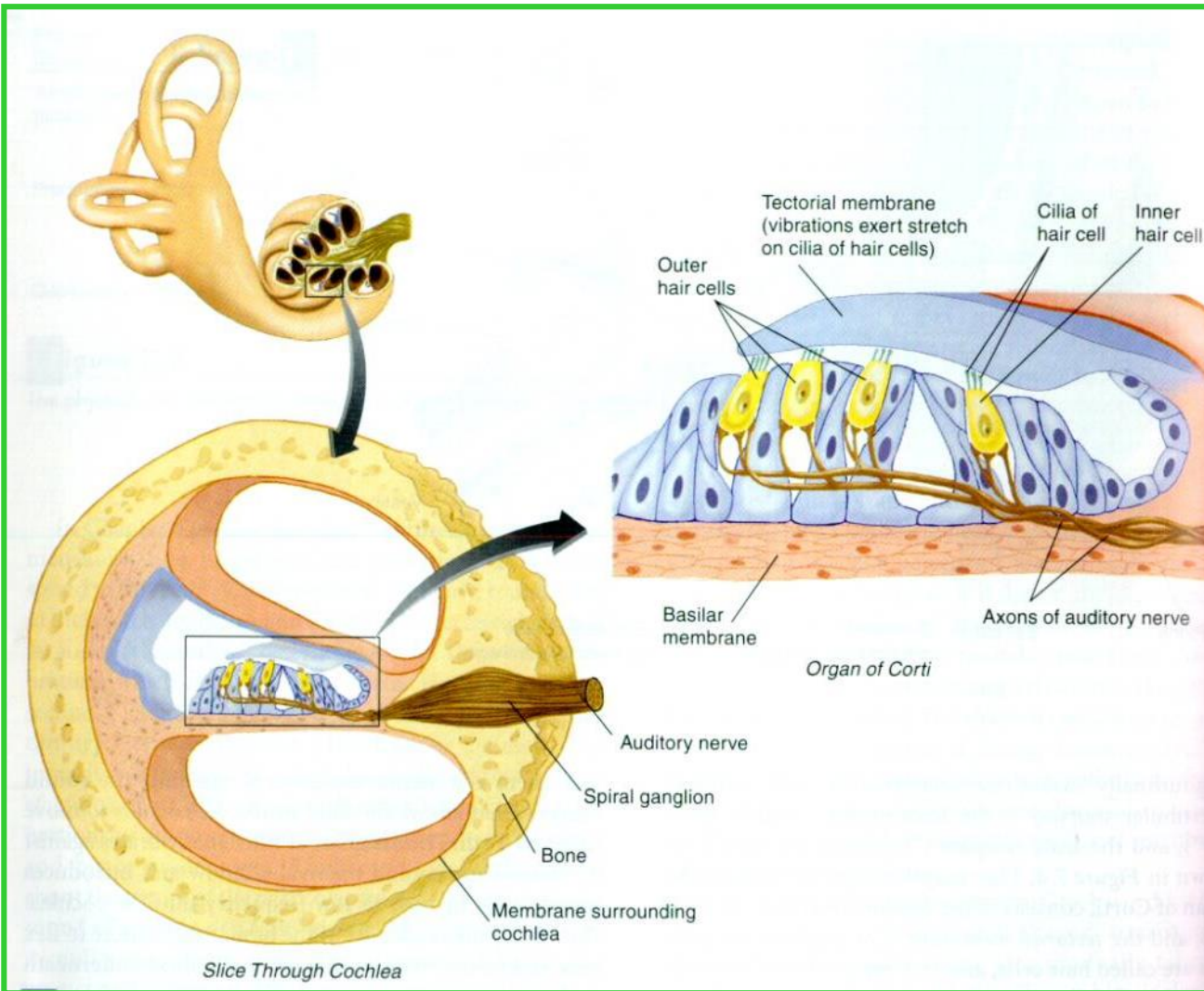
הממברנה הבאזילרית איננה נעה (רוטטת) באופן אחיד, כמו מיתר של גיטרה, אלא חלקים שונים בממברנה ירטטו בהתאם לתדירות הגירווי. תופעה זו נובעת מכך שהתכונות האלסטיות משתנות לאורך הממברנה. תדירויות גבוהות ירטיטו את החלק הסמוך ל-Stapes, ותדירויות נמוכות ירטיטו את החלק הסופי (apex) הרחוק מה-Stapes. בדרך כלל, הצלילים בעולמנו מורכבים מתדירויות רבות ולכן ירטטו חלקים רבים של הממברנה הבאזילרית בעת ובעונה אחת (כלומר, נעשה ניתוח אנליטי של הצלילים שמגיעים בכל רגע נתון).



על פני הממברנה
הבאזילרית נמצא
מבנה אנטומי
שנקרא האיבר
של קורטי
(organ of
Corti).

מבנה זה כולל את המרכיבים הדרושים התמרה transduction של הצליל (שמשתקף
בתדירות הויברציות של הממברנה הבזילרית) לשינוי חשמלי בתאי רצפטור (פוטנציאל
רצפטור) שגורם לפוטנציאלי פעולה בעצב השמע.

The organ of corti



באיבר של קורטי נמצאים

תאי הרצפטור

האודיטוריים שנקראים

תאי שיערה. מתוך כל אחד

מהתאים האלו יוצאות

מספר שערות, שכל אחת

מהן נקראת cilium

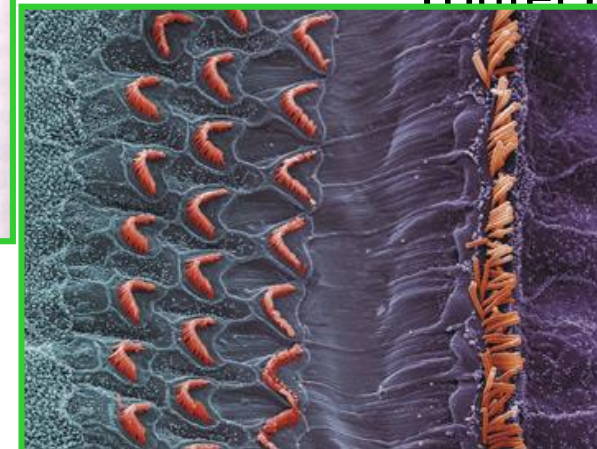
(cilia = מעין

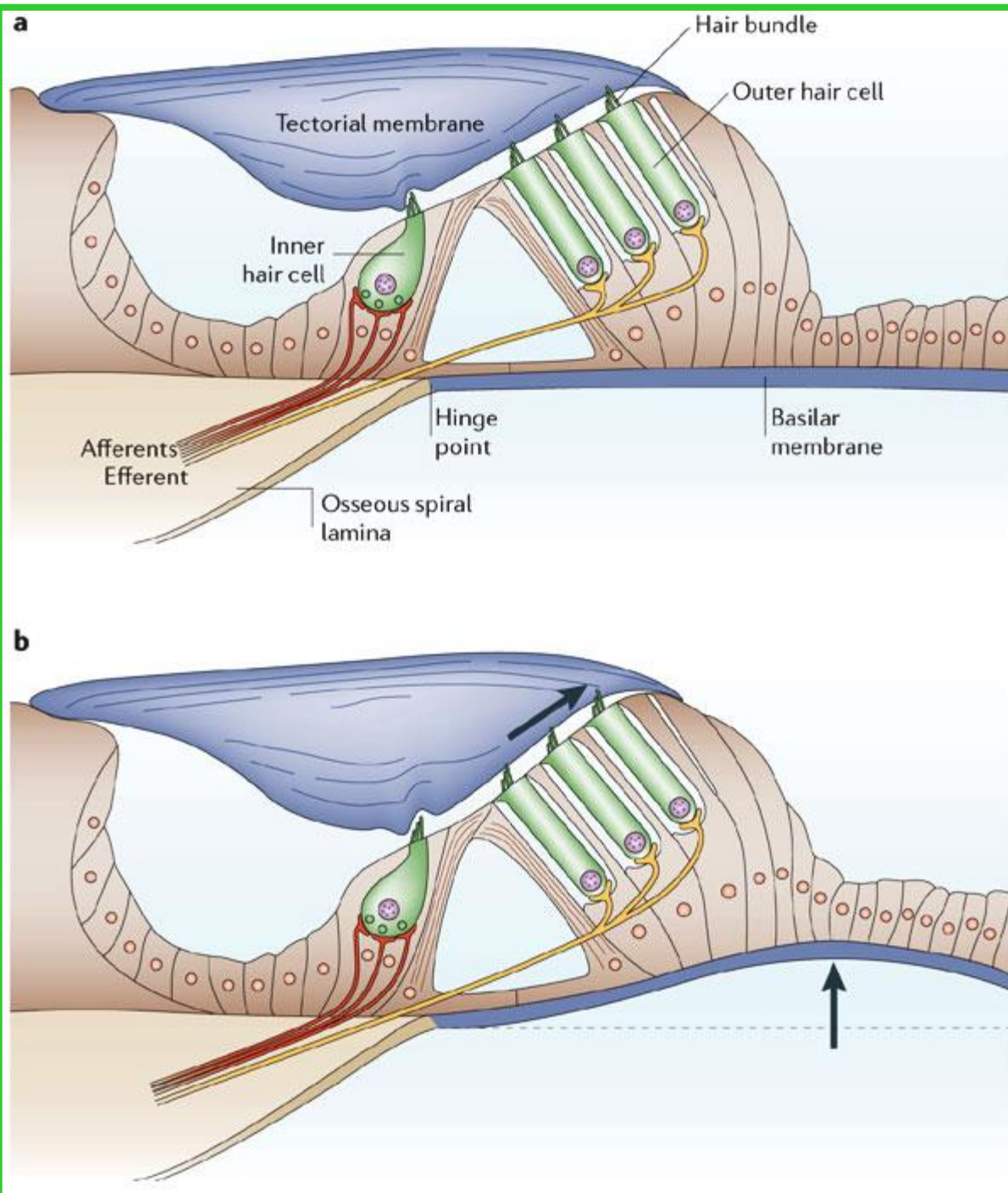
"ריסים"). ישנם שני סטים

של תאי שיערה – פנימיים

(inner)

(outer)

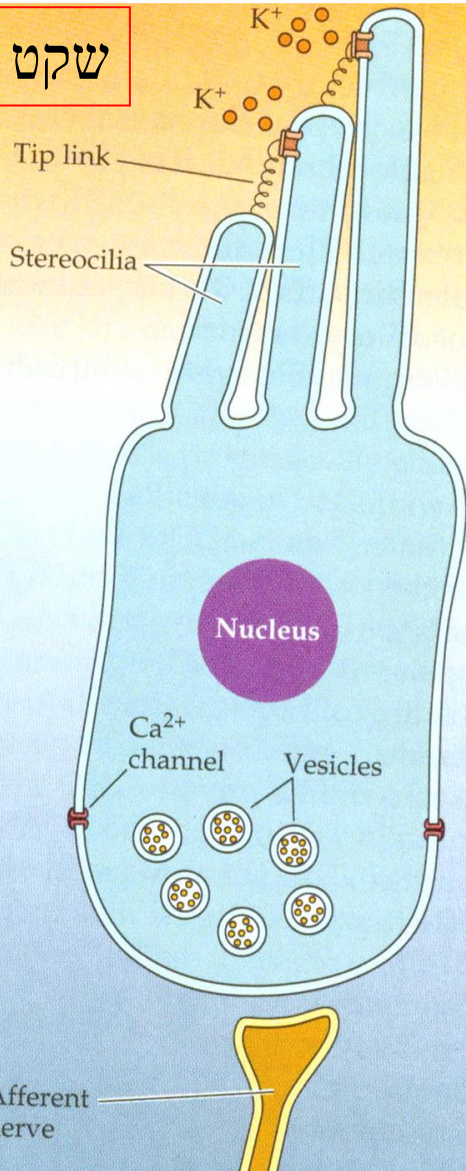




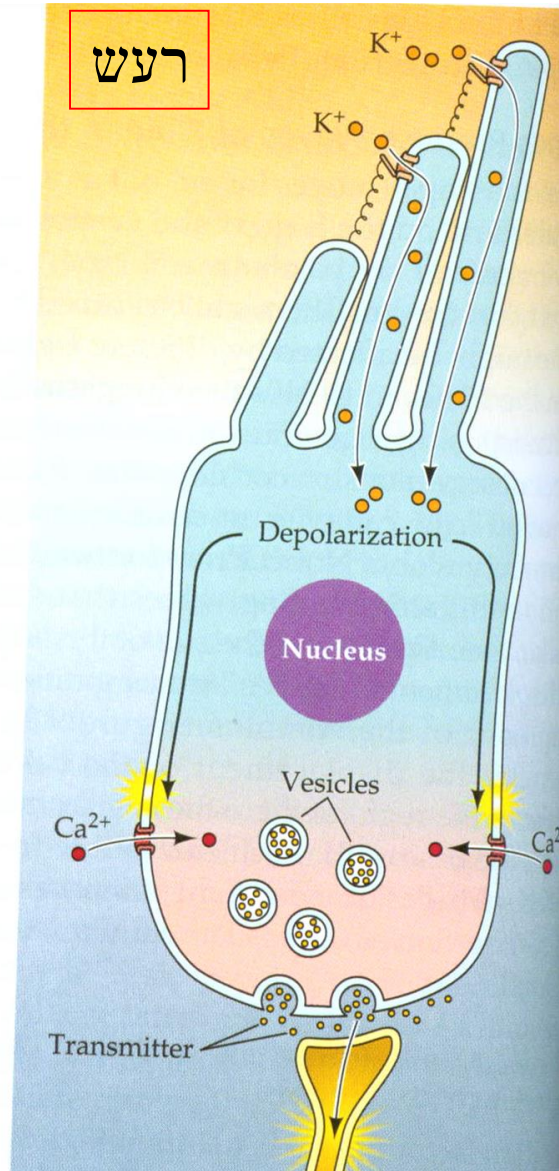
תאי השערה הפנימיים הם תאי הרצפטור העיקריים (למרות שהם מעטים יחסית לחיצוניים). כאשר הממברנה הבאזילרית רוטטת (תזוזה למעלה בתמונה b משמאל), השערות של התאים הפנימיים מוסטות על ידי תנועה של הנוזל שנמצא בין הממברנה הבאזילרית ובין ממברנה קשיחה שנמצאת רק מעל האיבר של קורטי ונקראת הממברנה הטקטוריאלית (Tectorial membrane). תזוזת נוזל זו גורמת לכפוף של השערות.

תאי השערה והתמרה של אינפורמציה אודיטורית

שקט

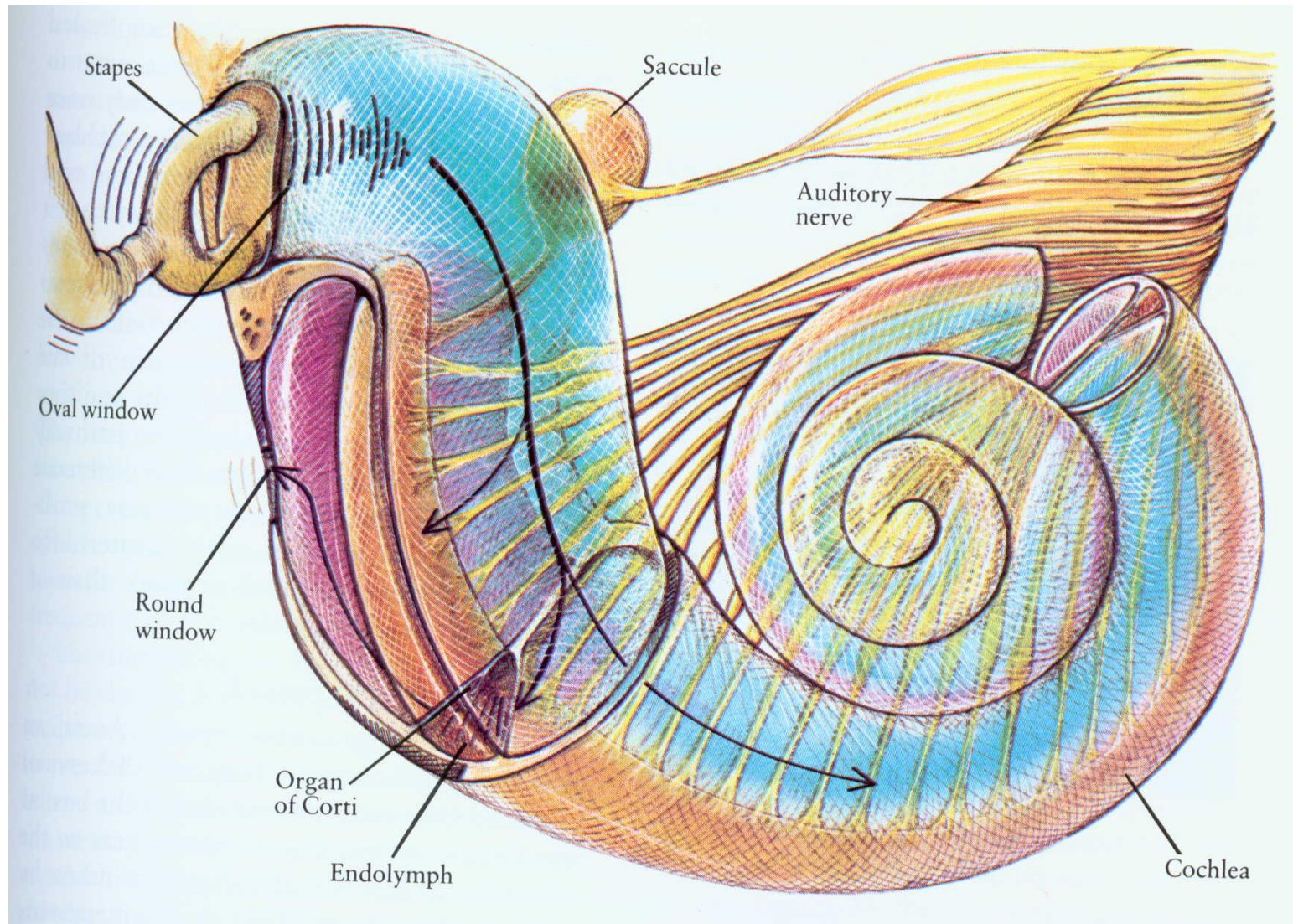


רעש

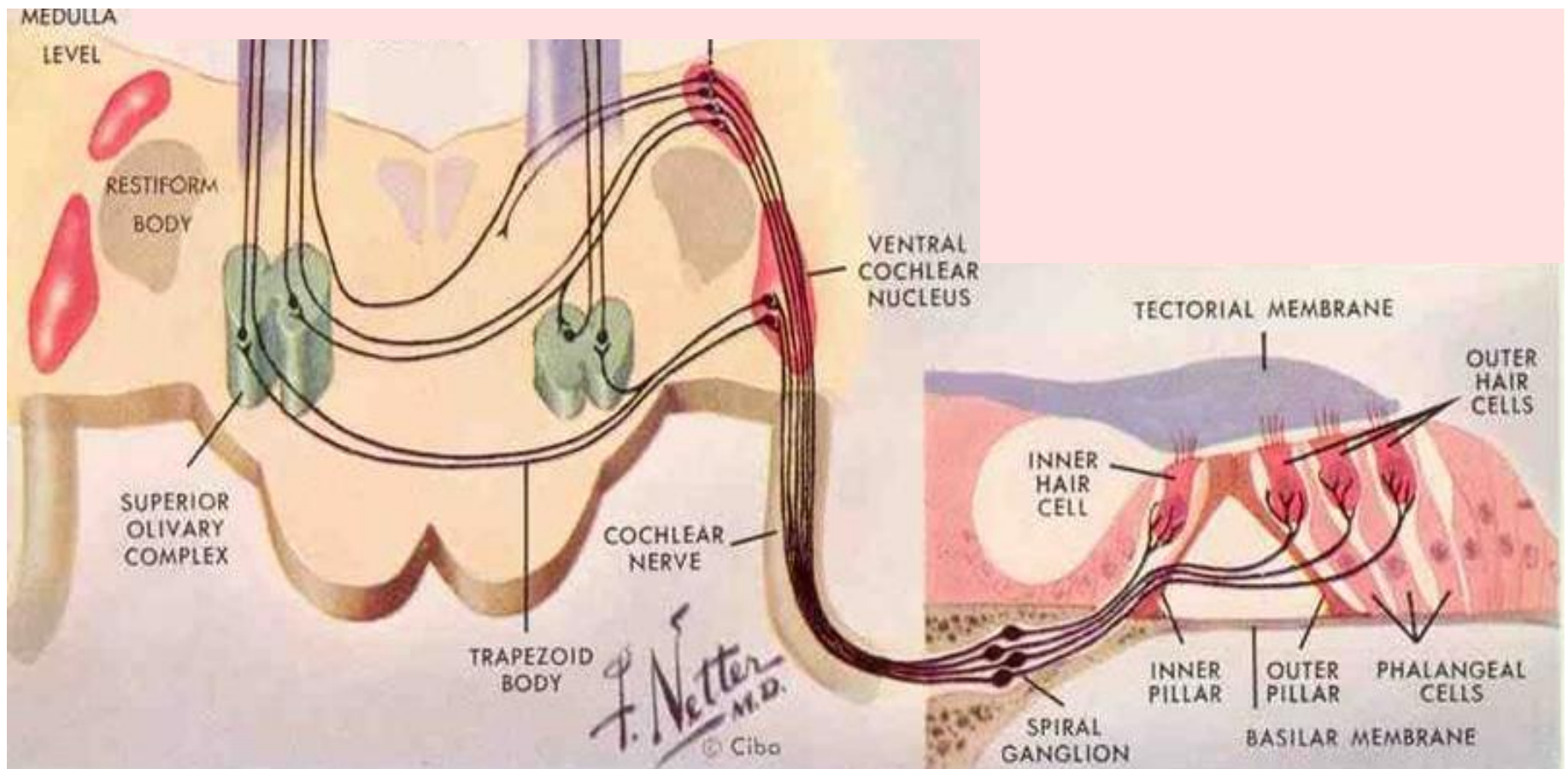


השערות בתאי השערה הפנימיים מחוברות זו לזו, ולכן תנועה בכיוון אחד תגרום להתכופפות ולמתיחה של הקשרים בין השערות. ההתכופפות הזאת יוצרת כוח או מתח בממברנה של ה-cilium ומביא באופן מכני לפתיחה של תעלות שמעבירות לתוך השערה יונים חיוביים, דבר שגורם לדפולריזציה של תא הרצפטור כולו.

תאי הרצפטור עושים סינפסה על גבי שלוחות של תאי גנגליון.

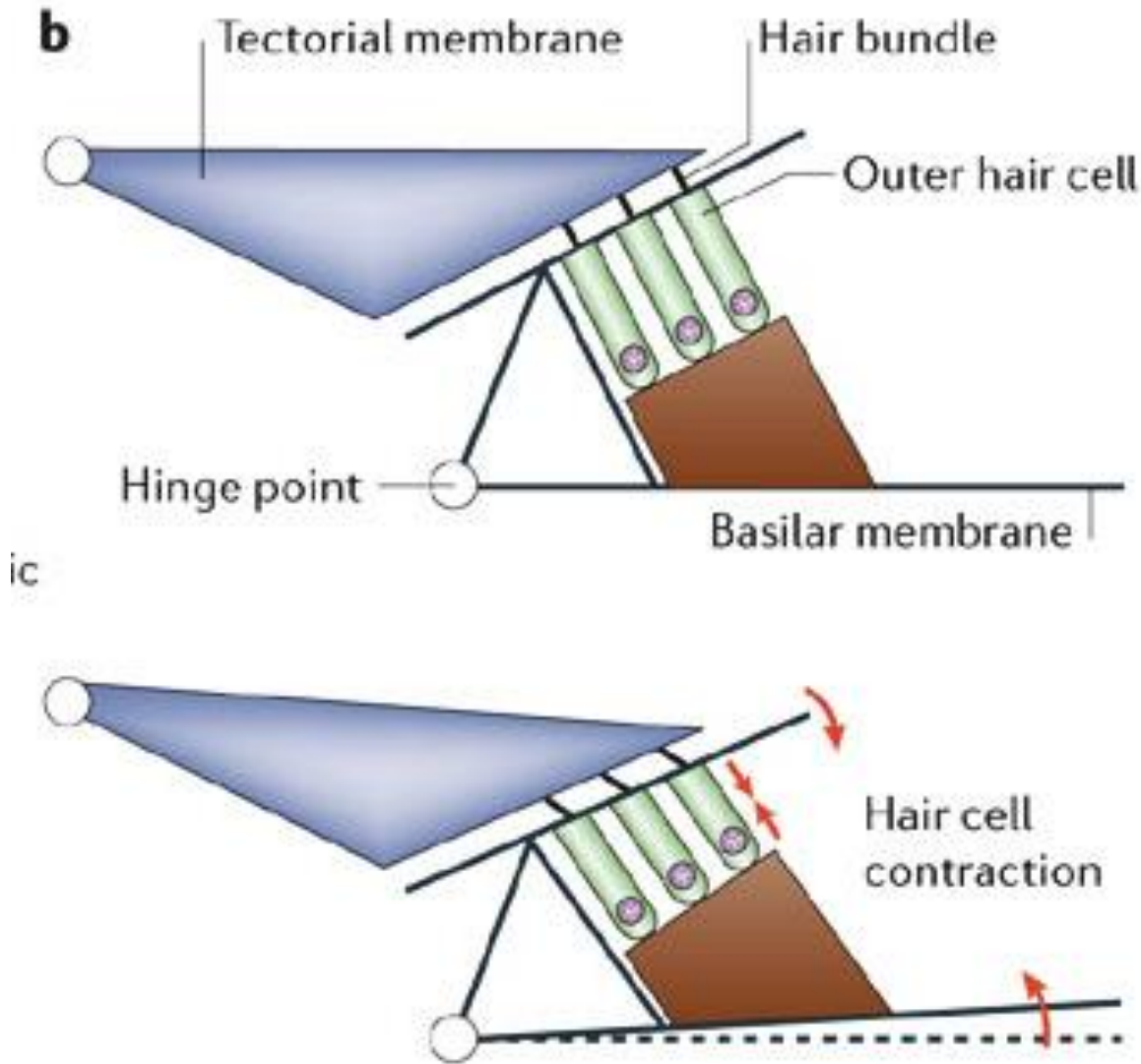


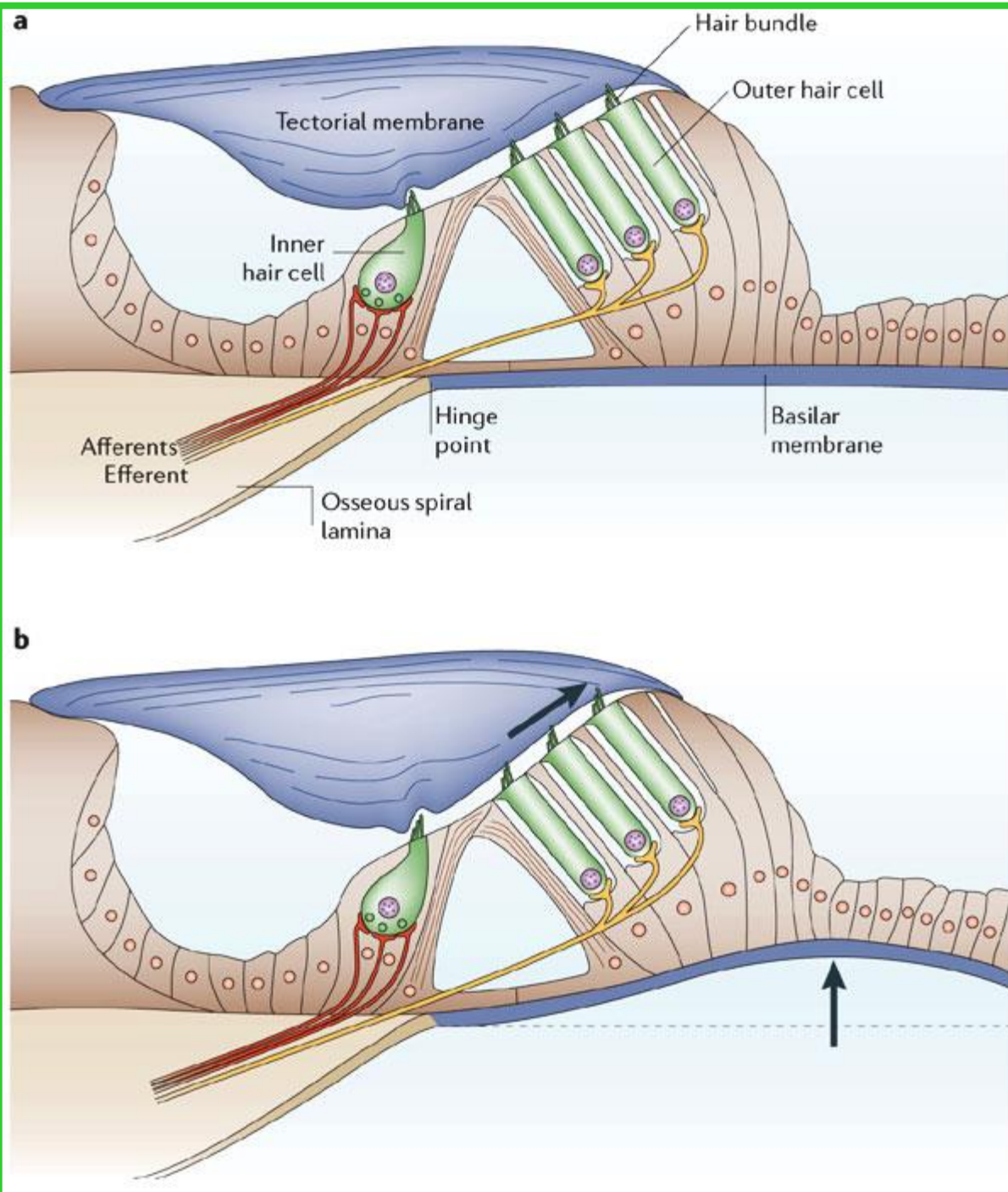
תאי הגנגליון הכוכליארי הם תאים ביפולרים, שגוף התא שלהם נמצא בגנגליון שממוקם בעצם בסמוך לכוכליאה. הם שולחים שלוחה אחת (מעין דנדריט ארוך) אל הכוכליאה ושלוחה שניה לכוון המוח. השלוחה המרכזית (שנשלחת לכוון מערכת העצבים המרכזית, כלומר למוח) של תאי הגנגליון יוצרת את עצב השמיעה, שהוא העצב הקרניאלי השמיני.



השלוחה המרכזית של תאי הגנגליון (שנשלחת לכוון המח) יוצרת את עצב השמיעה, שהוא העצב הקרניאלי השמיני. הסיום של עצב זה הוא בגרעין בגזע המוח שנקרא הגרעין הכוכלארי (cochlear nucleus).

השערות של התאים החיצוניים
 משוקעות בתוך הממברנה
 הטקטוריאלי (Tectorial
 membrane). כאשר
 הממברנה הבזילרית רוטטת,
 הכפוף של השערות בתאי
 השערה החיצוניים גורם
 לתאים אלה להתכווץ (כמו
 שריר) ולהזיז את הממברנה
 הבזילרית עוד יותר יותר
 חזק. כלומר, התכווצות זו
 גורמת לחיזוק (אמפליפיקציה)
 של תנועת הממברנה
 הבזילרית יחסית לממברנה
 הטקטוריאלי (ולכן להגברה
 וחידוד האות שמועבר על ידי
 תאי השערה הפנימיים).

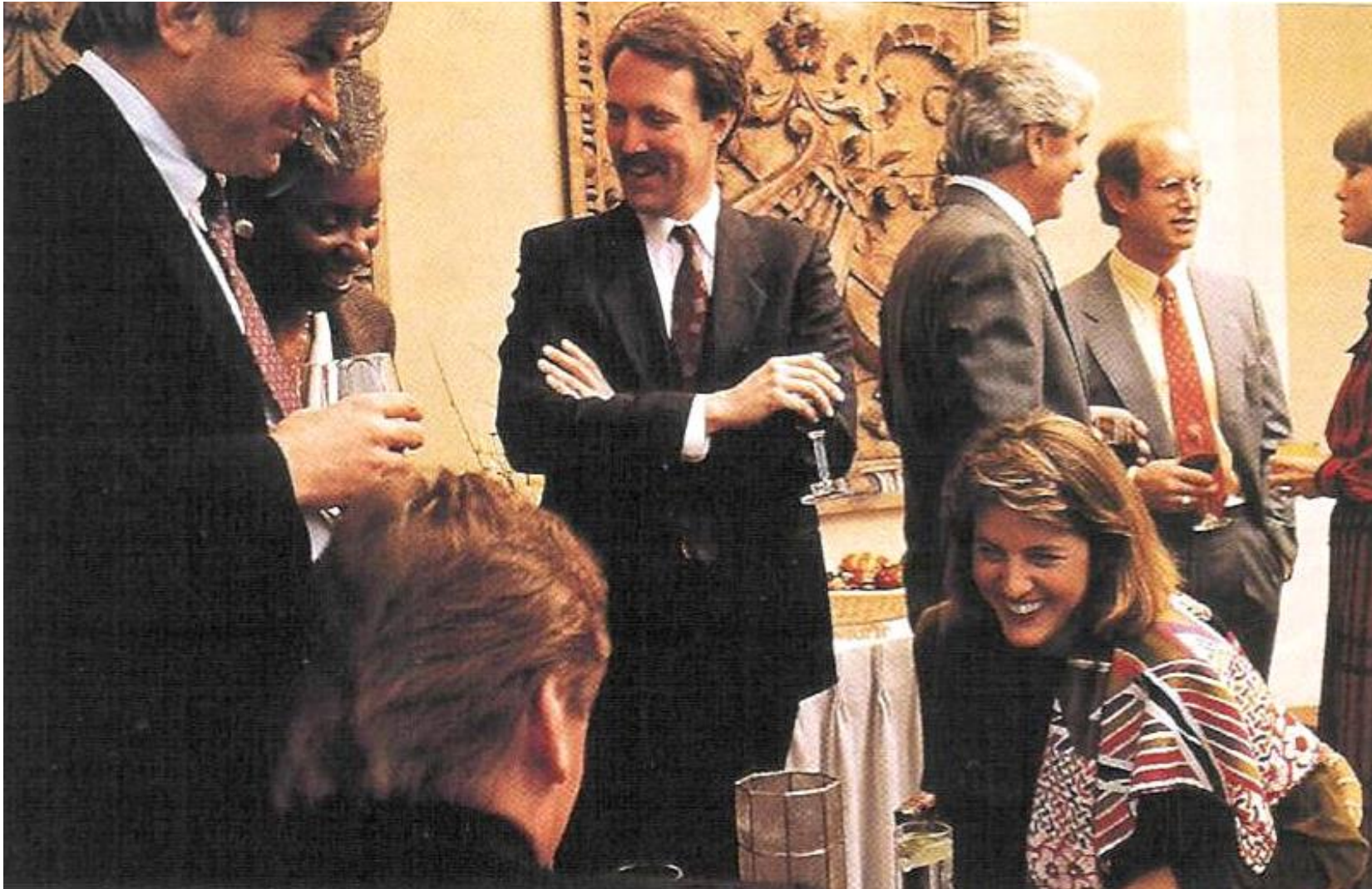




נקודה חשובה היא שעצב השמע כולל גם אקסונים שיוצאים מתאים בגזע המוח (איפרנטים). אקסונים אלה (מסומנים בצהוב בתמונה משמאל) מסתיימים ועושים סינפסה על תאי השערה (בעיקר החיצוניים) ויכולים לשנות את תכונותיהם החשמליות. דבר זה גורם לשינוי תכונות הרטט של הממברנה באותו קטע. מכאן שבמערכת השמע המוח שולט על הקלט שמגיע אליו, כבר מתהליך ההתמרה הראשונית על ידי תא הרצפטור.

Dancing hair cell

מערכת זו מדגימה בצורה יפה עיקרון כללי שמאפיין מערכות חוש והוא היכולת של אזורים תחושתיים גבוהים יחסית (למשל בקורטקס) לשלוט ולווסת את הקלט החושי שמגיע אל אותם אזורים (בהתאם לצרכים, למוטיבציה, לחשיבות הריגעית של הגרוי, וכו'). למערכות יורדות מסוג זה יש חשיבות רבה, למשל כחלק מהיכולת ליצור קשב סלקטיבי עבור צלילים מסוימים, לדוגמא: אפקט "מסיבת הקוקטיל" או אמא שיכולה לשמוע את בכי תינוקה ממרחקים, אפילו אם היא ישנה.



The auditory system

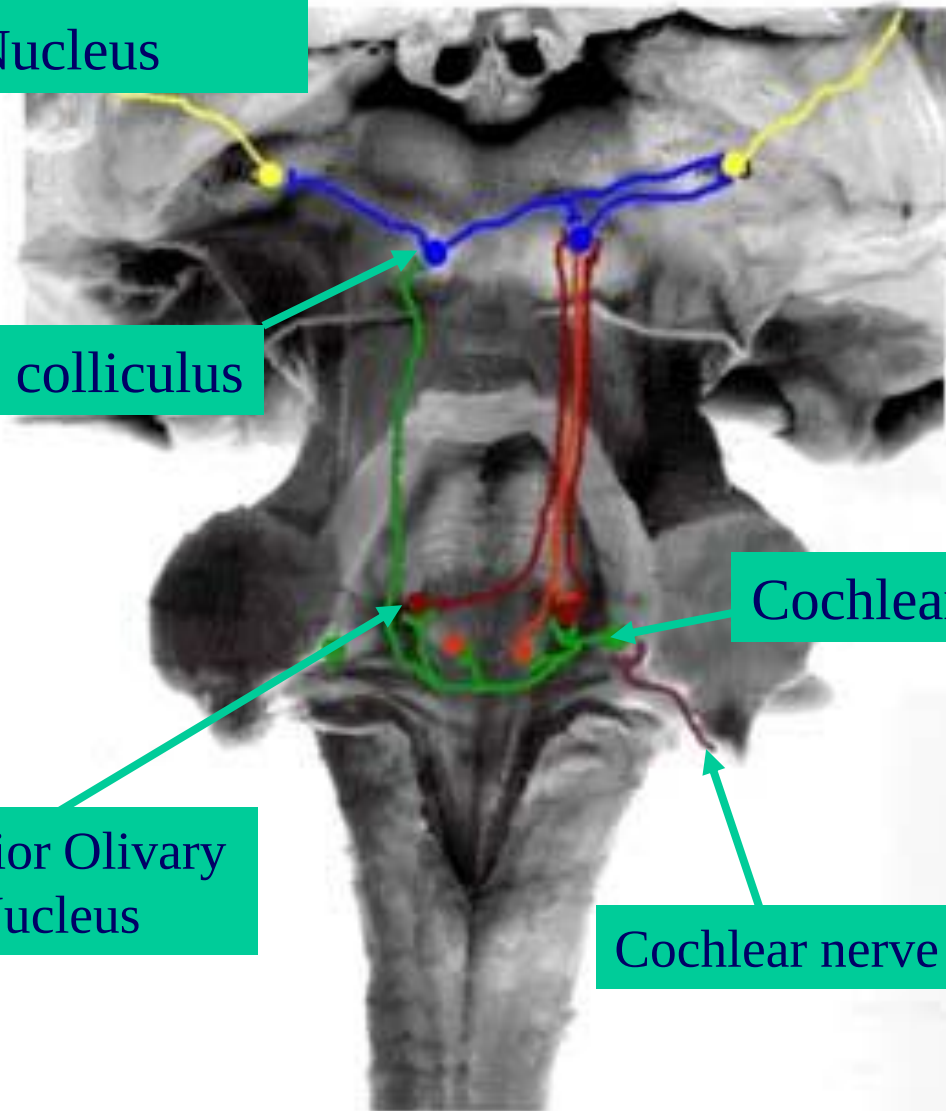
Medial Geniculate Nucleus

Inferior colliculus

Superior Olivary Nucleus

Cochlear nucleus

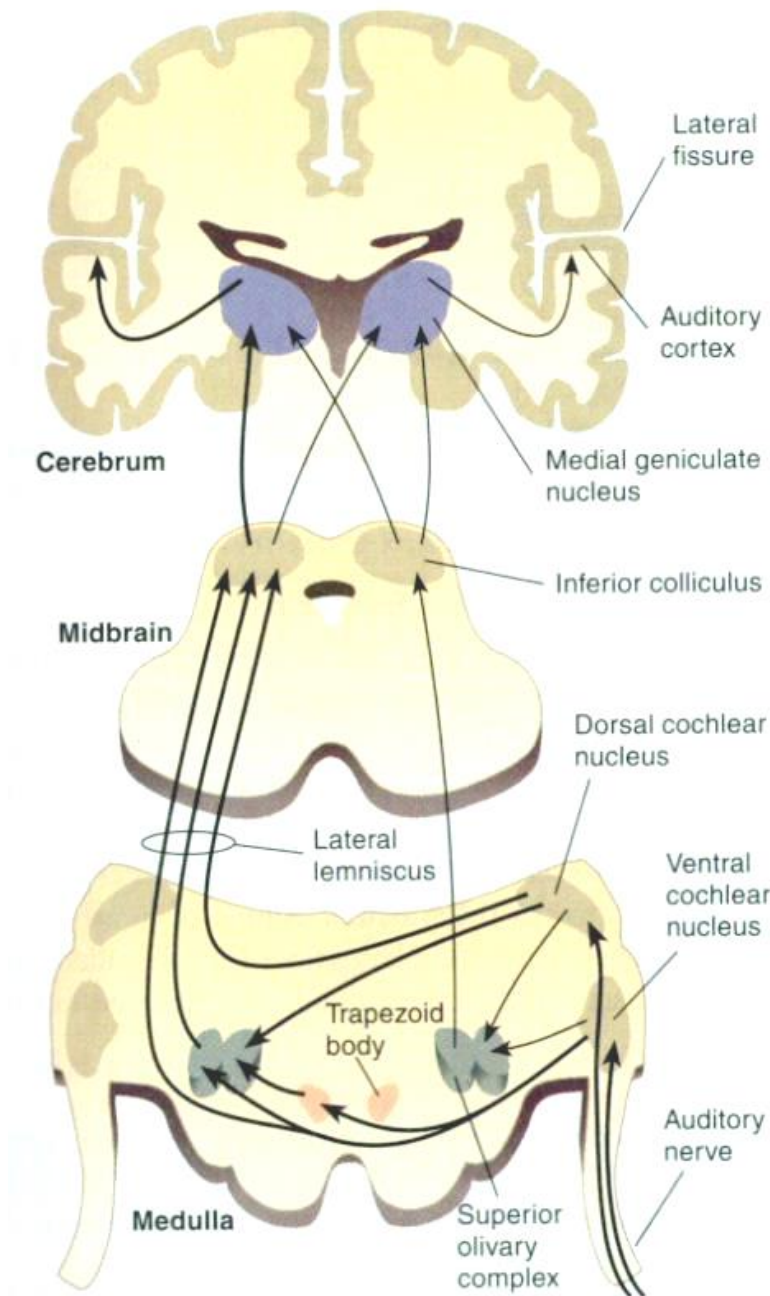
Cochlear nerve



מהגרעין הכוכלארי במדולה
האינפורמציה עוברת
לאזורים גבוהים יותר של
המח.

הצורך בתחנות הביניים
רבות כל כך נובע מהעובדה
שבכל אחת מהן נעשה קידוד
חשוב של האינפורמציה.

למשל, גם אם נהרס
הקורטקס השמיעתי עדיין
ניתן לשמוע ולהבחין בין
קולות פשוטים (פעמון דלת,
ציוץ ציפור). כמו כן תחנות
אלה חשובות לפעולות
רפלקסיביות מהירות
בתגובה לצלילים.



Primary Auditory Cortex
(Cortex)

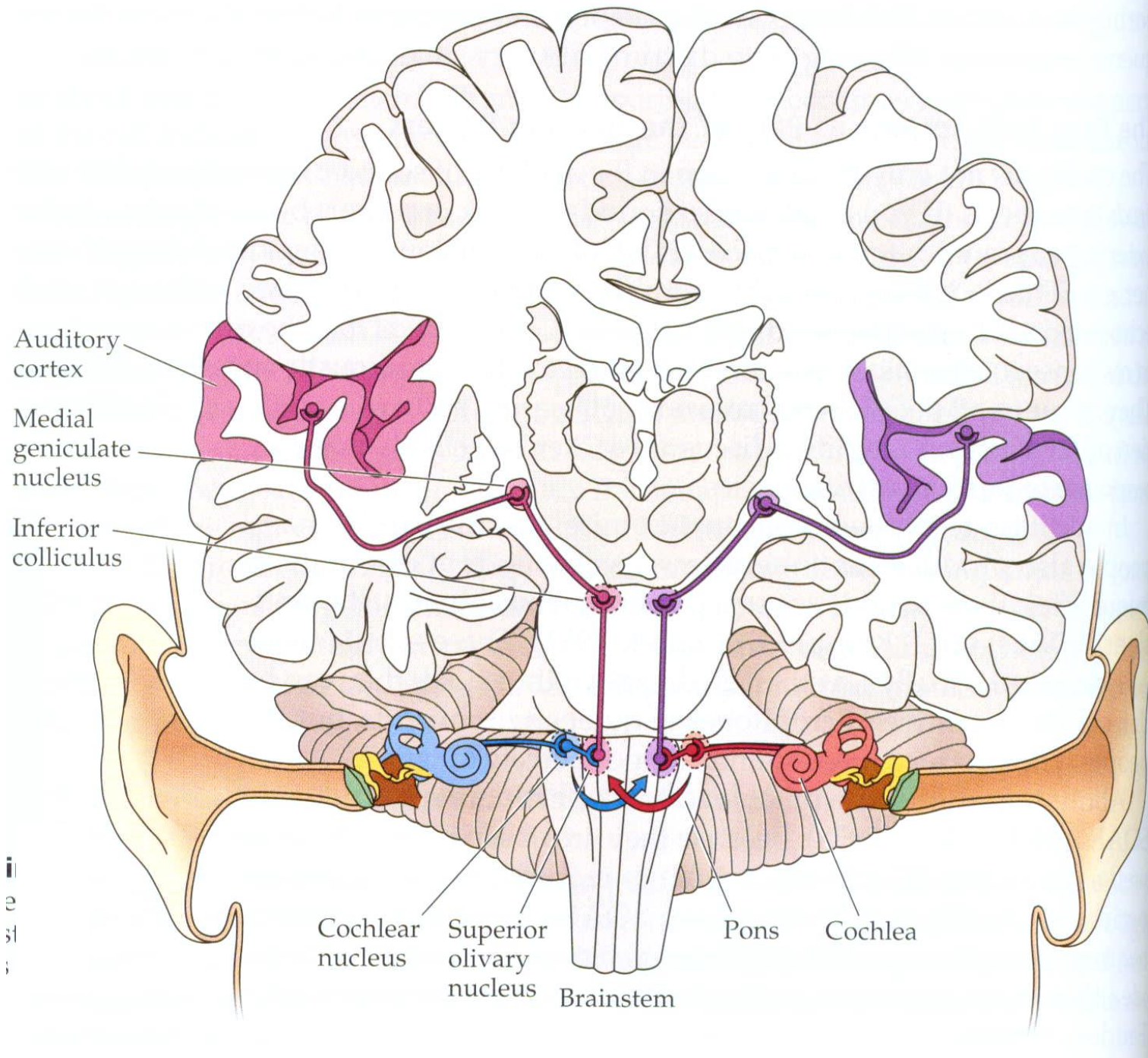
Medial Geniculate Nucleus (MGN)
(Thalamus)

Inferior Colliculus
(Midbrain)

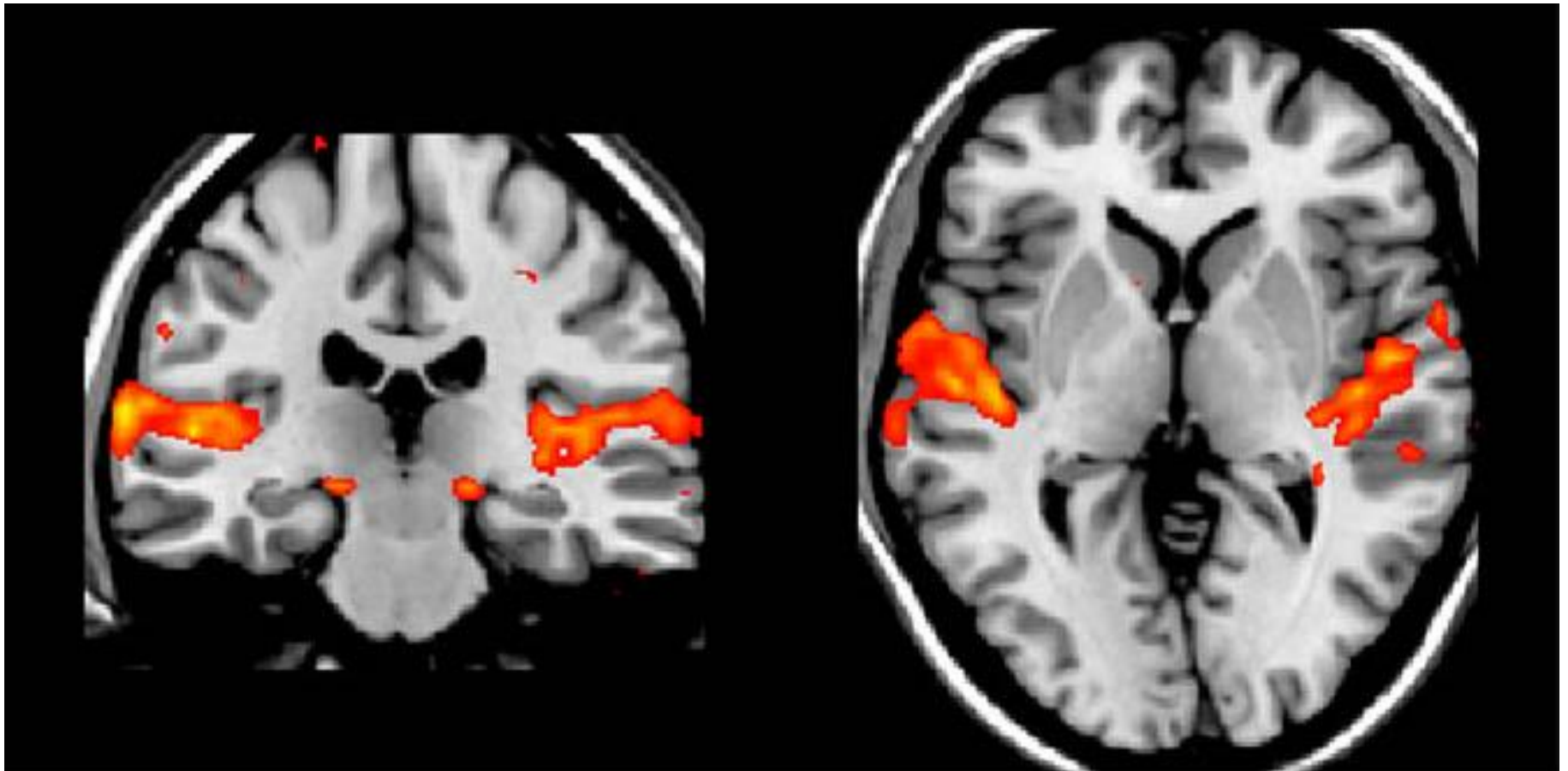
Superior Olivary Nucleus
(Medulla)

Cochlear Nucleus
(Medulla)

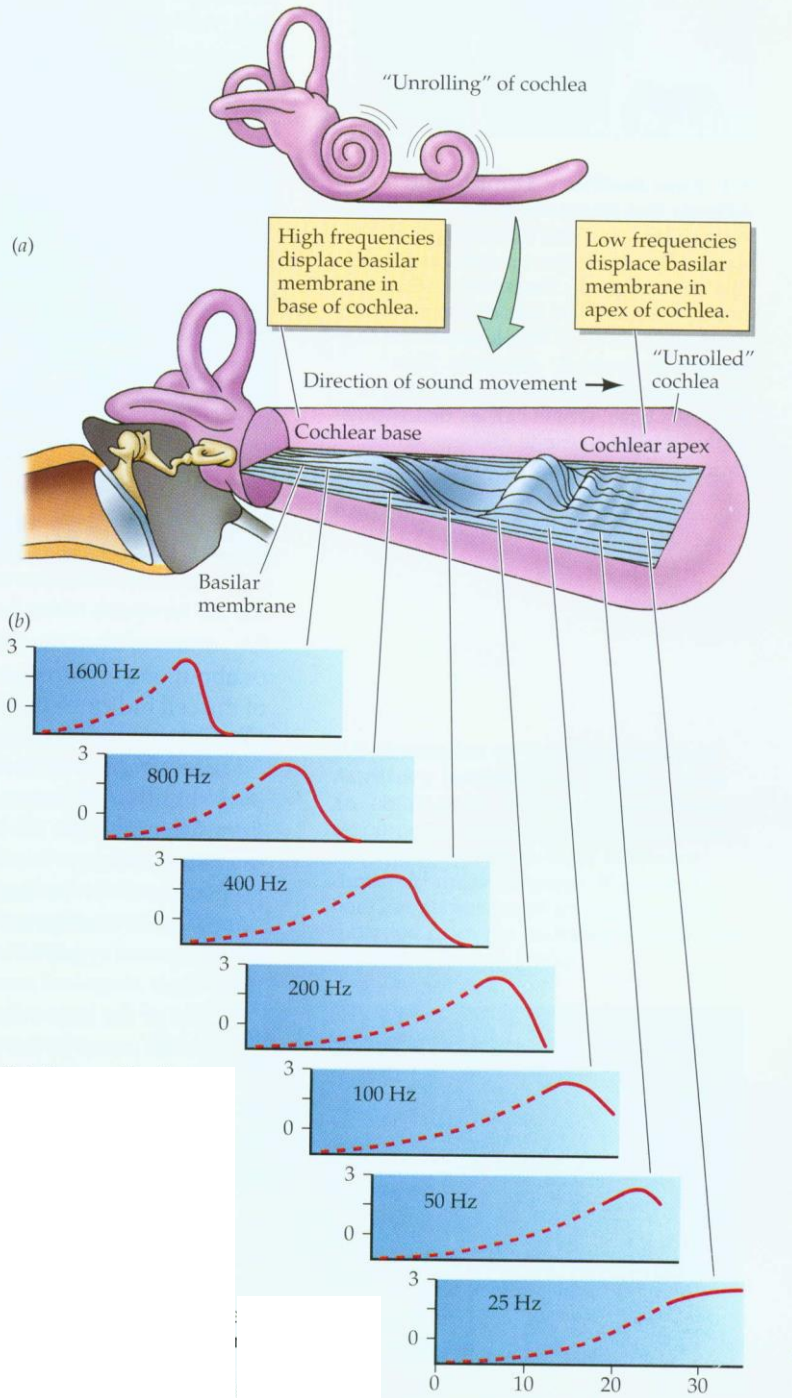
Cochlea
(Ear)



The auditory cortex



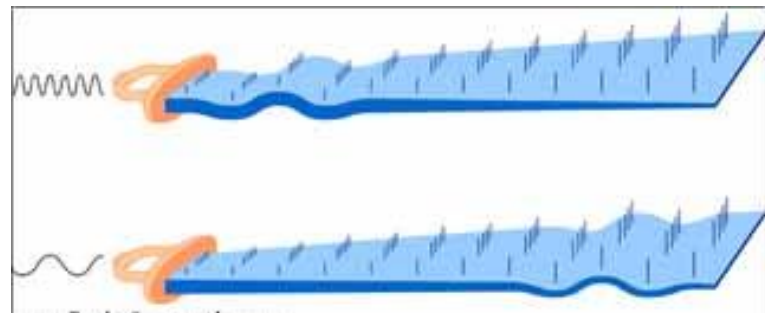
קידוד אספקטים שונים של צלילים



גובה הקול (Pitch): מקודד בשתי צורות:

(1) תדירויות גבוהות (רב תחום התדירויות) מקודדות באופן אנטומי מרחבי (place coding) בהתבסס על העובדה שתדירויות שונות גורמות לרטט של אזורים שונים בממברנה הבזילרית, שמוביל להפעלה של תאי רצפטור ספציפיים ולכן גם של תאי גנגליון שונים. כלומר, המיקום של הרטט המקסימלי בכוכליאה יכול ליצג את התדירות של הצליל ולהפעיל נוירונים ספציפיים שמעצבים אזור זה.

(2) תדירויות נמוכות מקודדות באופן זמני.

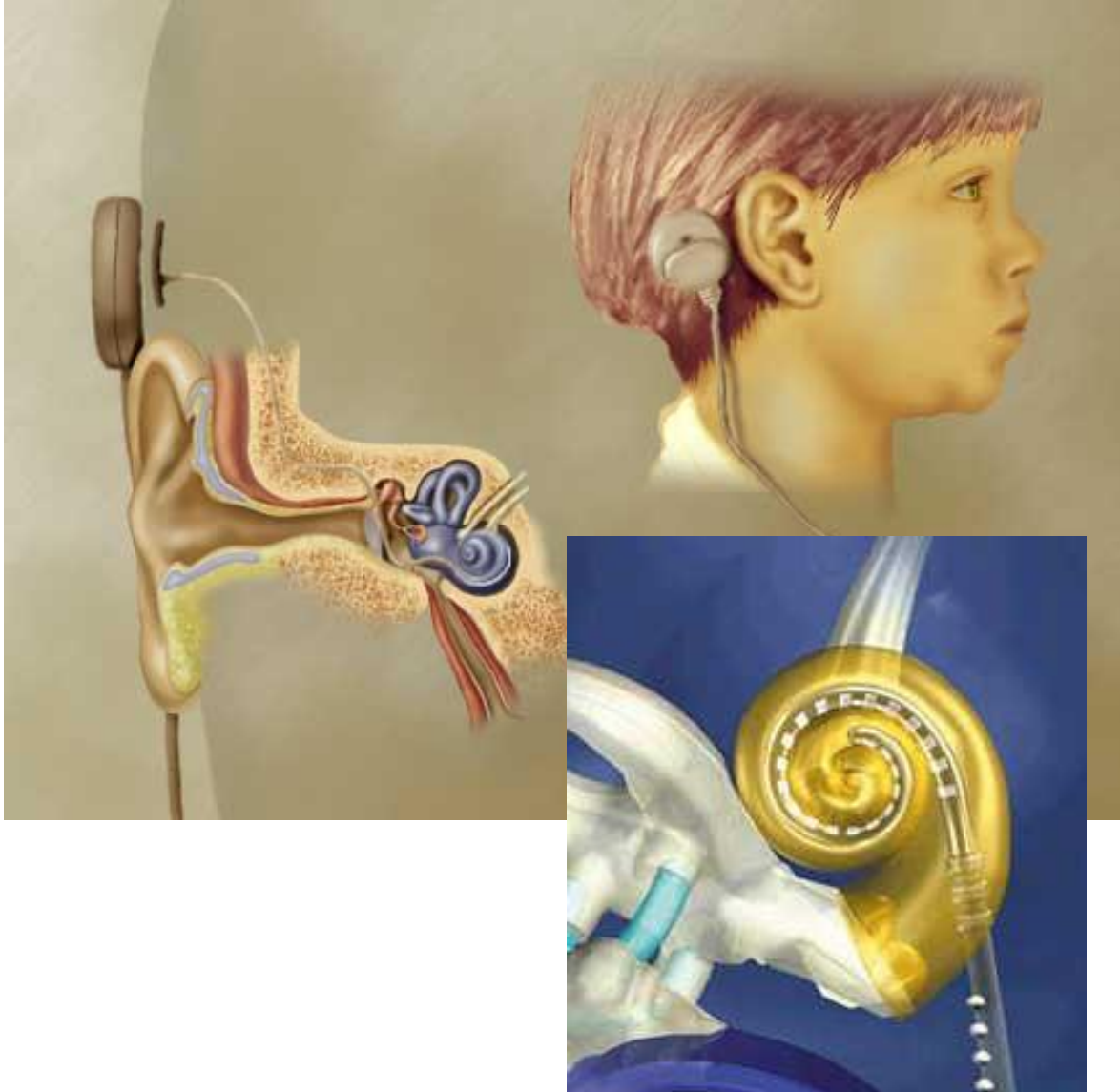


שתל כוכלארי (Cochlear implant)

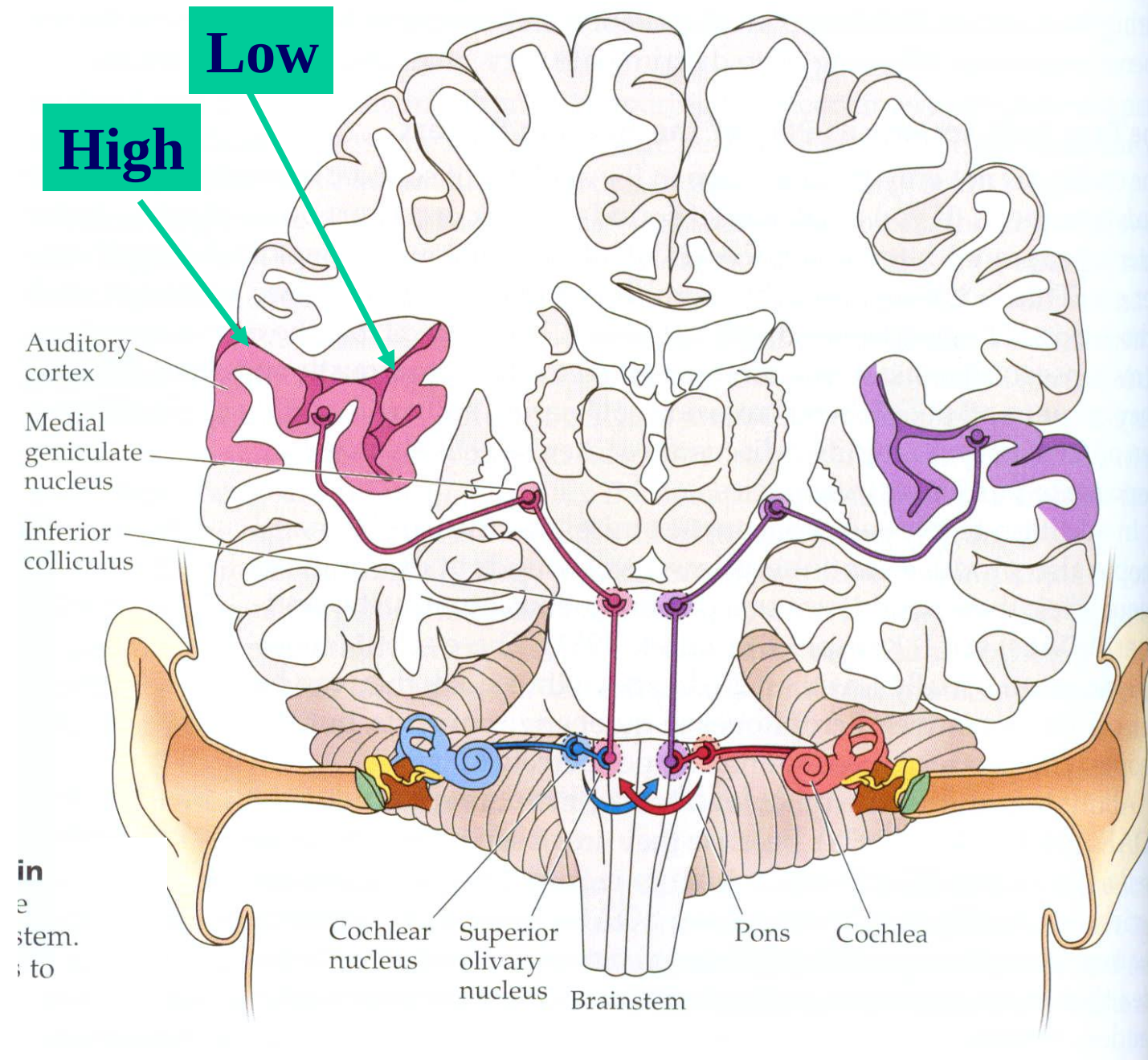
ניתן להדגים את המשמעות של
קידוד מרחבי על ידי
האפקטיביות של שתל כוכלארי
(cochlear implant).

בפרוצדורה זו משתילים שרשרת
של אלקטרודות לגריה חשמלית
לכל אורך הכוכליאנה. השרשרת
מחוברת למכשיר חיצוני לניתוח
צלילים ששולח אותות חשמליים
לאלקטרודות ספציפיות

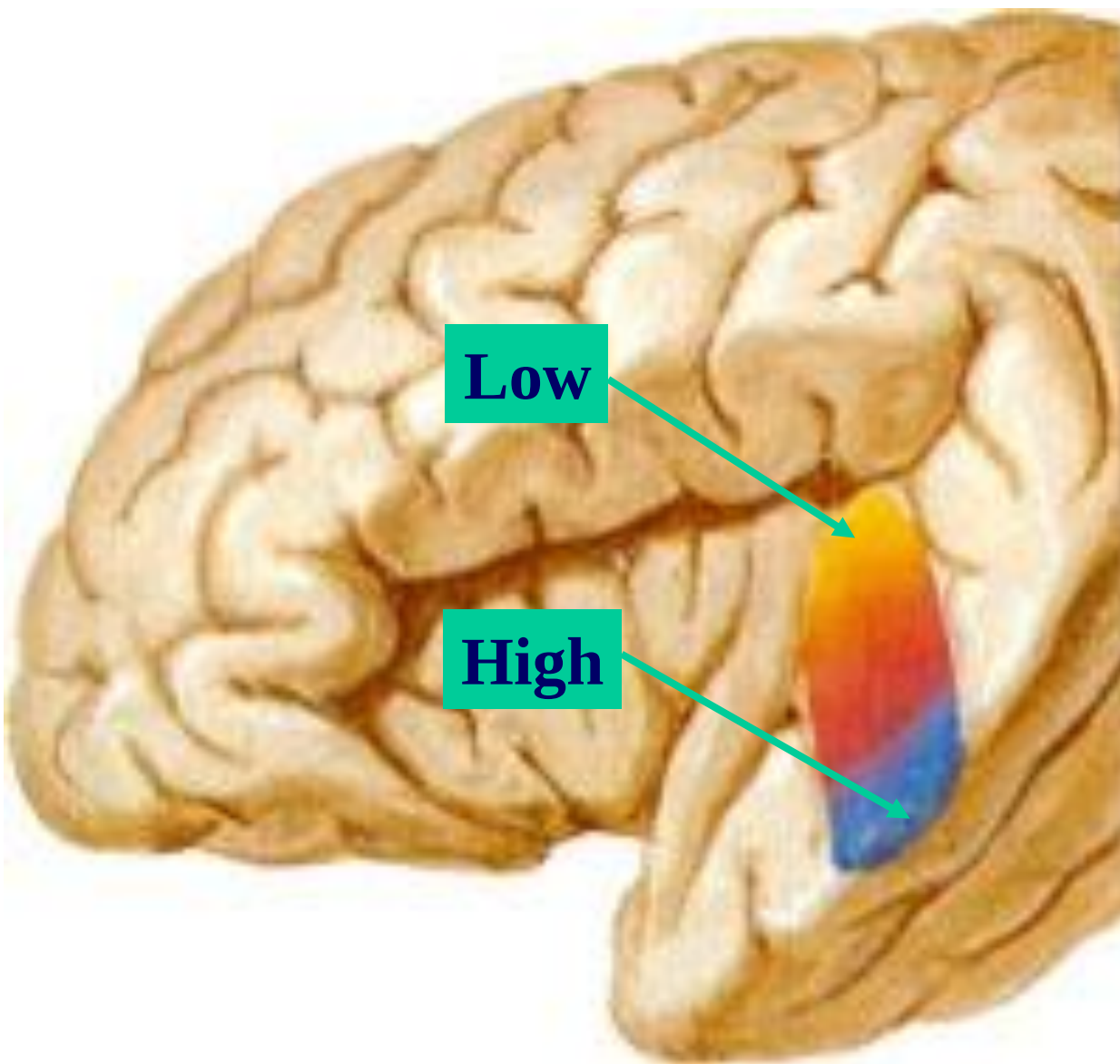
בשרשרת שגורמים לגרוי חשמלי
של תאי גנגליון באזורים שונים
של הכוכליאנה. פרוצדורה זאת
מאפשרת החזרה של שמיעה
(למשל אחרי נוון של תאי
השערה) עד להחזרה (חלקית אך
טובה) של הבנת שפה מדוברת.



באזורי המח
 השמיעתיים (התת
 קורטיקלים ובקורטקס)
 ישנו יצוג טונוטופי
 של (tonotopic)
 תדירויות כך
 שתדירויות קרובות,
 המפעילות קטעים
 קרובים של הממברנה
 הבזילרית, מפעילים
 נוירונים קרובים באזור
 המוחי הרלוונטי. אי
 לכך מצד אחד לצד שני
 של האזור יש רצף של
 תאים שמגיבים באופן
 שיטתי לתדירויות
 שונות, מתדירות נמוכה
 לתדירות גבוהה.



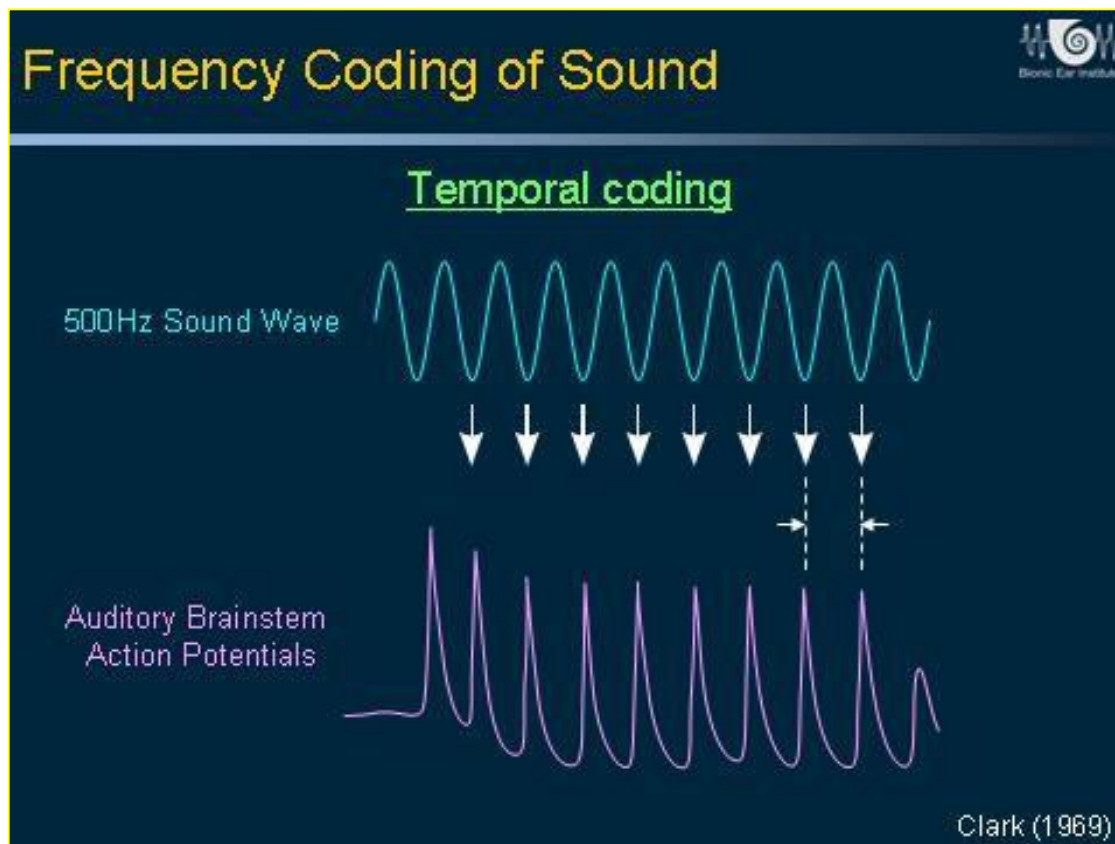
יצוג טונוטופי מרחבי בקליפת המוח השמיעתית הראשונית



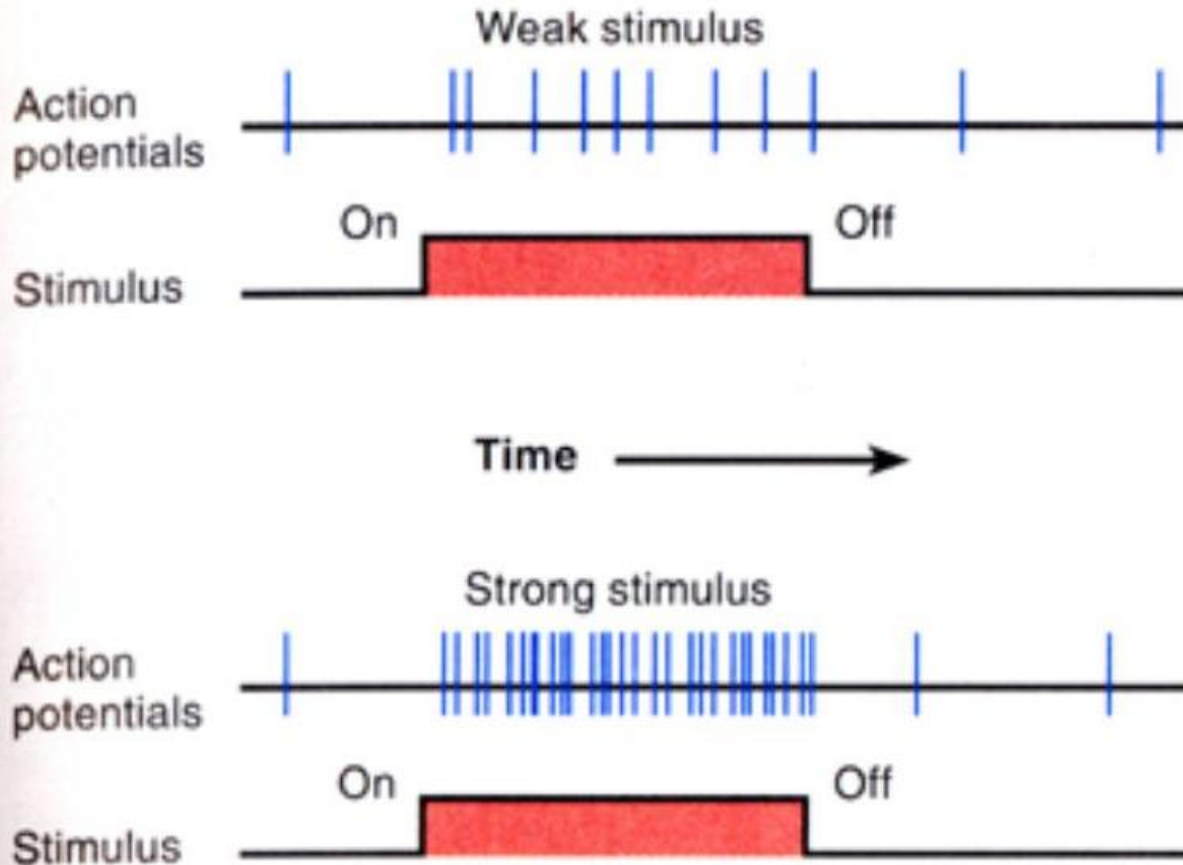
למשל, בקליפת המוח השמיעתית הראשונית, שממוקמת על הגדה התחתונה של ה-Lateral fissure, יש סידור מרחבי כזה באופן הבא: בעומק ה-Lateral fissure יש רצועה של נוירונים (בציר רוסטרו-קאודלי, כלומר מקדימה אחורנית) שמגיבים (כלומר יורים פוטנציאלי פעולה) לתדירות הכי נמוכה. קצת יותר לכוון השוליים של ה-Lateral fissure יש רצועה של נוירונים שמגיבים לצלילים קצת יותר גבוהים, וכך הלאה בהדרגה עד לקצה החיצוני של ה-Lateral fissure, שבו יש נוירונים שמגיבים לתדירויות הגבוהות ביותר.

קידוד בזמן (temporal code) של גובה הצליל

לגבי תדירויות נמוכות מאוד (מספר עשרות עד כ-200 הרץ) עיקרון הקידוד הוא שונה. בתדירויות אלו תגובות תאי הרצפטור ותאי הגנגליון שיוצרים את עצב השמע מסונכרנות לתדירות הרטט של הממברנה. כלומר אם מגיע צליל בתדירות של 20 הרץ (20 תנודות בשניה), תדירות התא באזור הרלוונטי תהיה 20 פוטנציאלי פעולה בשניה.



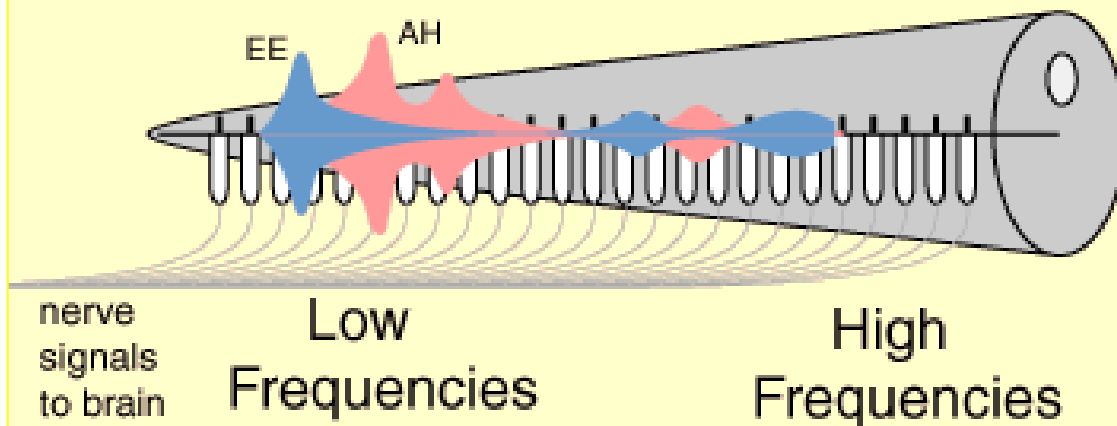
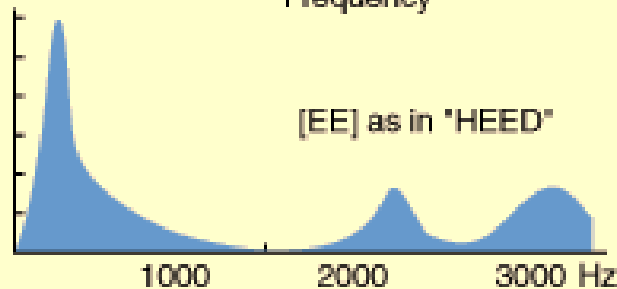
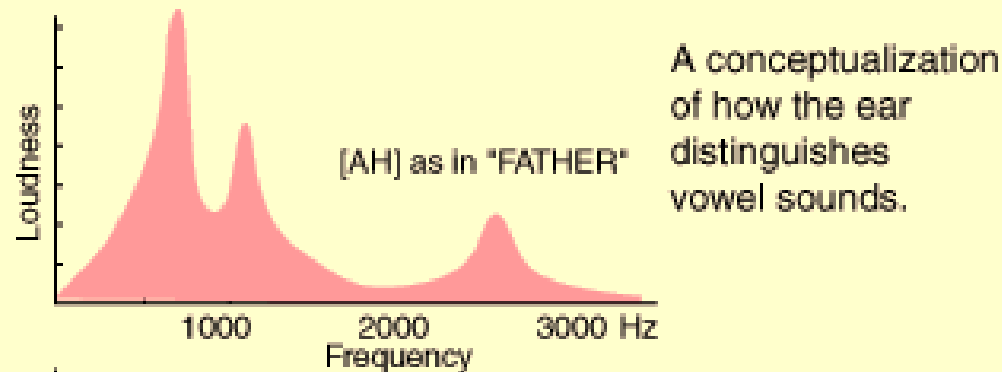
קידוד עוצמת הצליל - חוק התדר (rate law)



קידוד עוצמת הקול שונה לגבי תדירויות גבוהות לעומת נמוכות: לגבי תדירויות גבוהות ובינוניות (רב תחום התדירויות), הקידוד מתבסס על קצב פוטנציאלי פעולה- ככל שעוצמת הקול יותר גבוהה התאים שמגיבים לאותה תדירות קול יגיבו בקצב גבוה יותר של פוטנציאלי פעולה (rate law).

לגבי תדירויות נמוכות קידוד כזה לא יכול לעבוד כיוון שקצב פוטנציאלי הפעולה הוא הקוד של תדירות הקול. לכן לגבי תדירויות נמוכות העוצמה מקודדת על פי מספר תאי הרצפטור ותאי הגנגליון שמופעלים על ידי גירוי הקול.

קידוד אופי הצליל (Timbre)

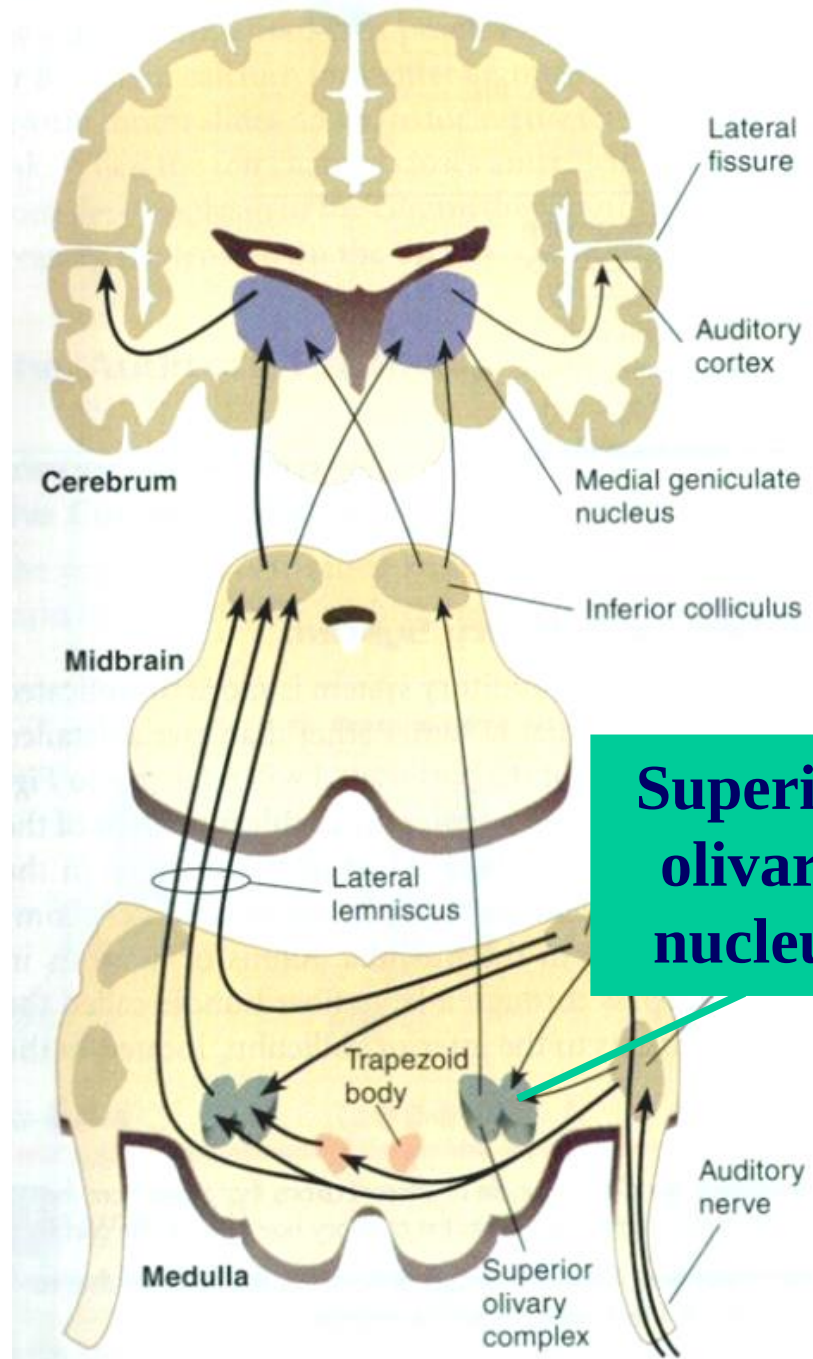


קידוד אופי הצליל מתבסס על כך שצלילים בדרך כלל אינם מורכבים רק מתדירות אחת אלא מתדירות רבות (אחת בסיסית ועליה מורכבות עוד תדירויות גבוהות יותר). מערכת השמע יכולה לעשות אנליזה של כל התדירויות המרכיבות את הקול המסוים וזה מאפשר זיהוי של האופי.

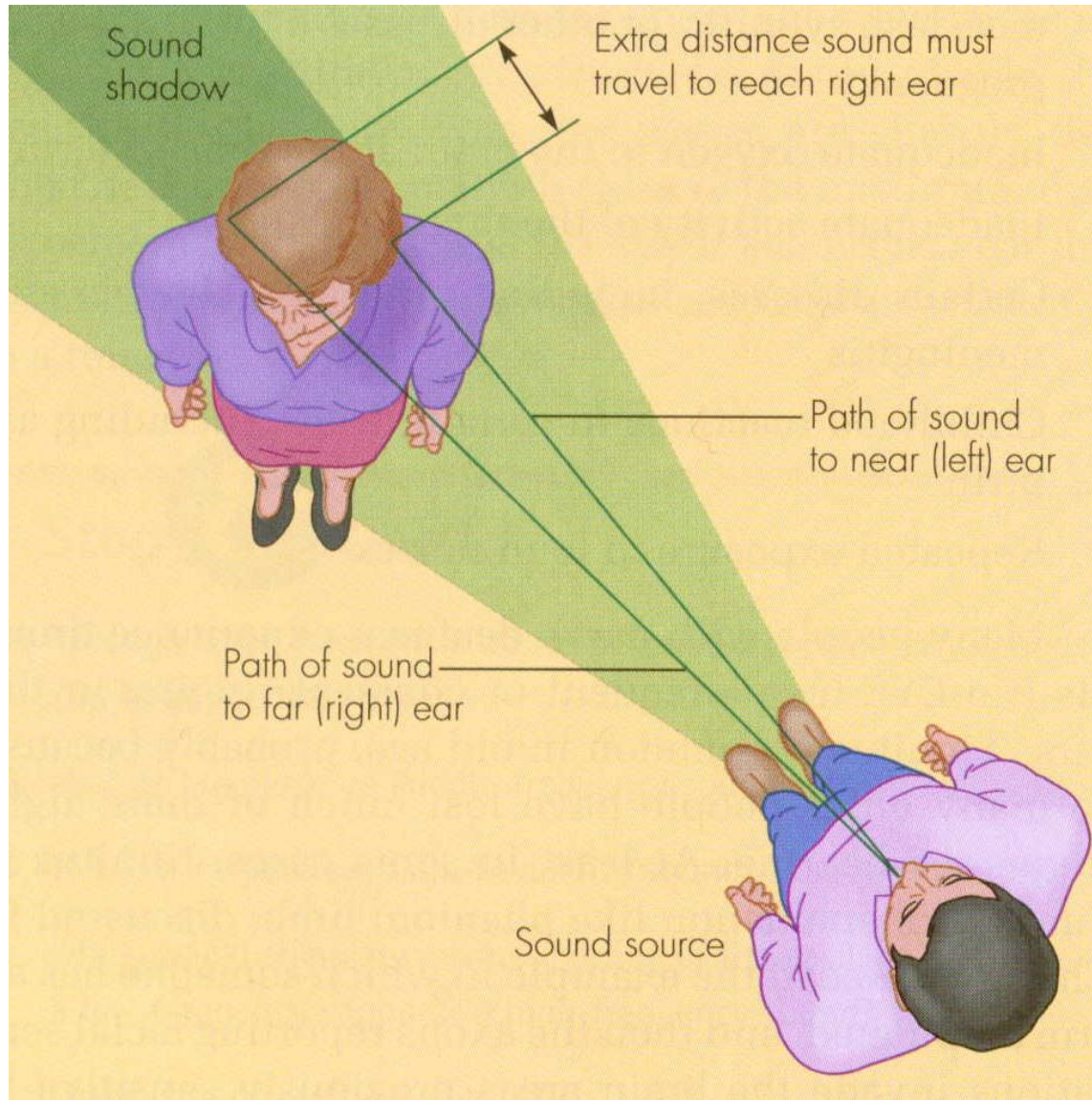
קידוד המיקום של הקול

קידוד זה נעשה הן בתאי ה-
Superior olivary nucleus, אזור
במדולה שמקבל אינפורמציה
מהכוכליאה בשני צדדי המוח והן
באזורים שונים של הקורטקס
האודיטורי.

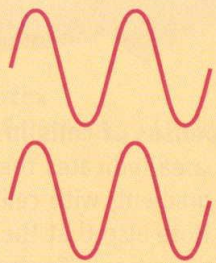
קידוד המיקום יכול להתבסס על שני
מנגנונים.



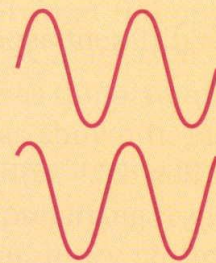
לגבי תדירויות נמוכות, המיקום מתבסס בעיקר על הפרש הזמן שלוקח לקול להגיע אל שתי האוזניים (לקול שבא מהצד לוקח יותר זמן להגיע לאוזן הרחוקה מאשר לקרובה).



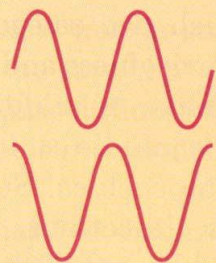
לגבי תדירויות גבוהות המנגנון הוא של זיהוי הבדלי עוצמה בין שתי האוזניים. כיוון שהגולגולת בולעת חלק מהתדירויות הגבוהות הצליל שמגיע לאוזן בצד השני של הגירוי הוא בעוצמה קצת יותר נמוכה וזה ניתן לזיהוי.



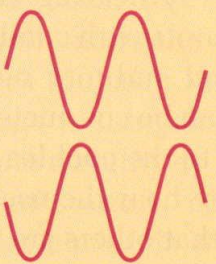
Sound waves in phase



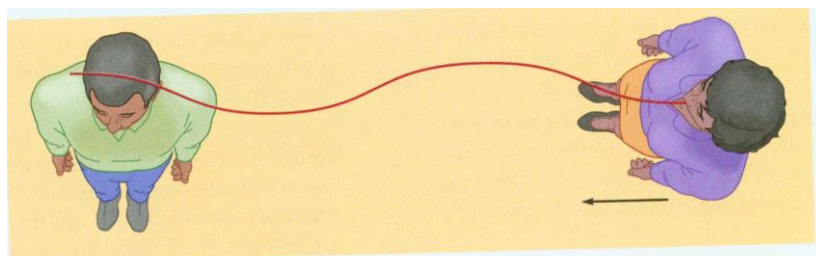
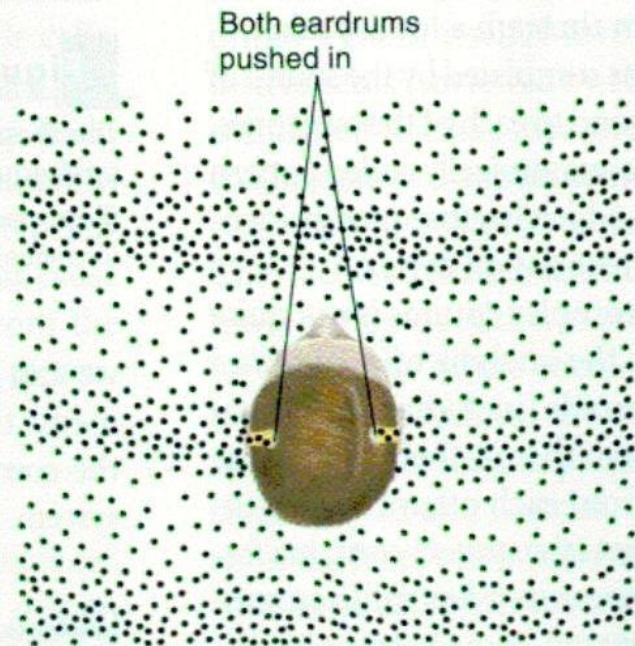
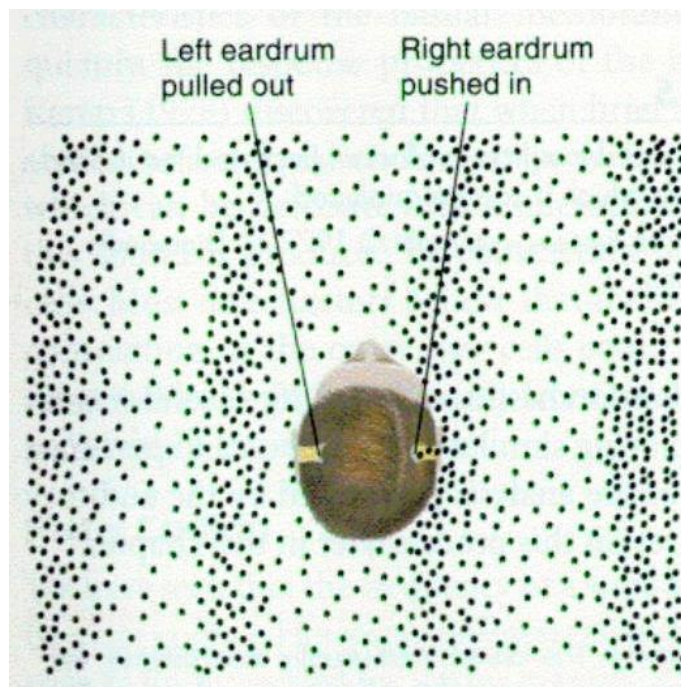
45° out of phase



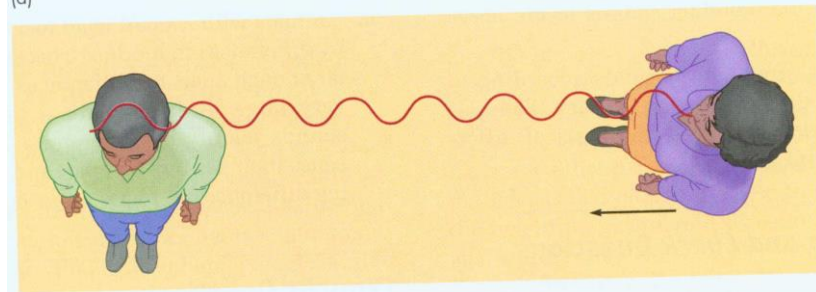
90° out of phase



180° out of phase

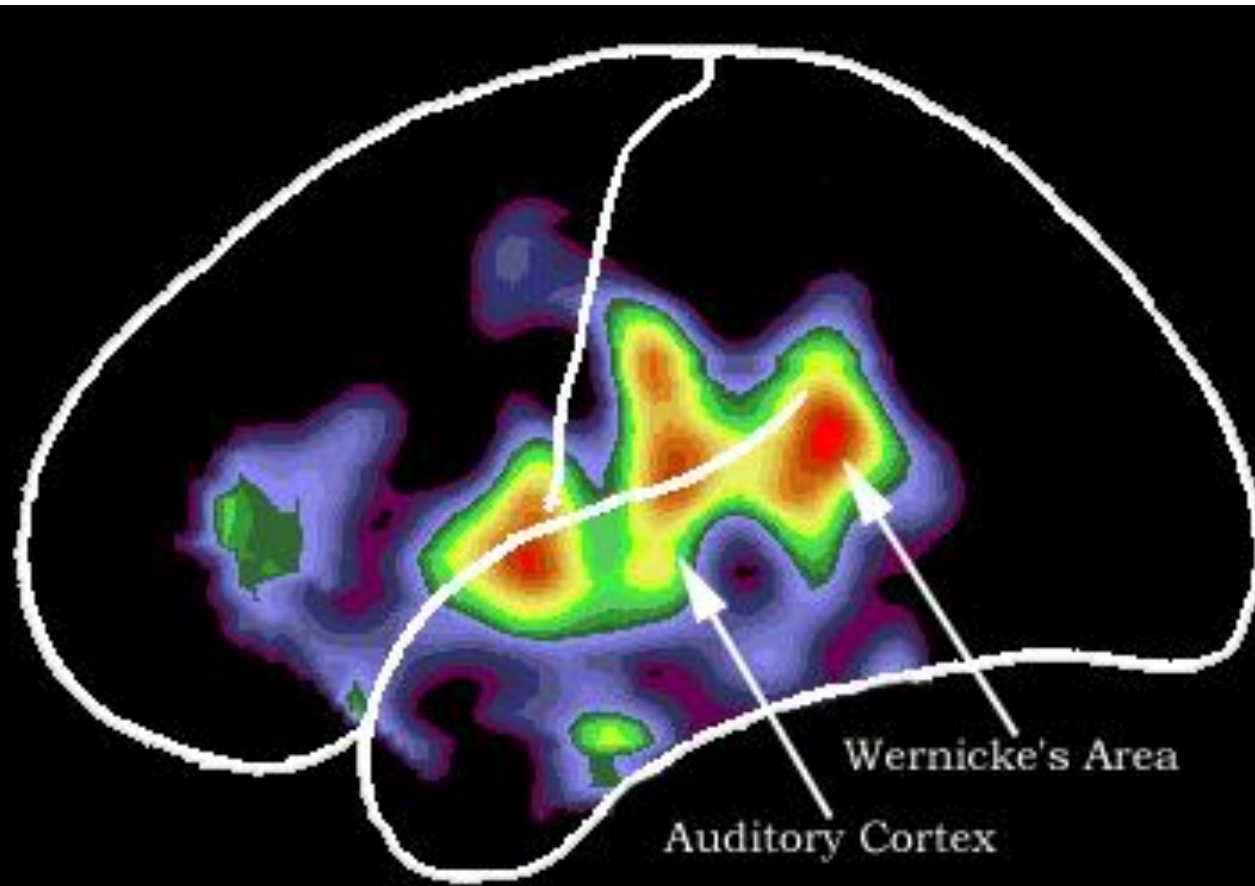


(a)



לגבי צלילים מתמשכים המנגנון
 הוא זיהוי הבדלי פאזה (phase differences)
 כלומר יש תאים שרגישים להבדל בין המיקום היחסי
 על פני גל הקול שמגיע לשתי
 האזניים ויכולת לשפוט לאיזה אוזן
 הגל מגיע תמיד ראשון.

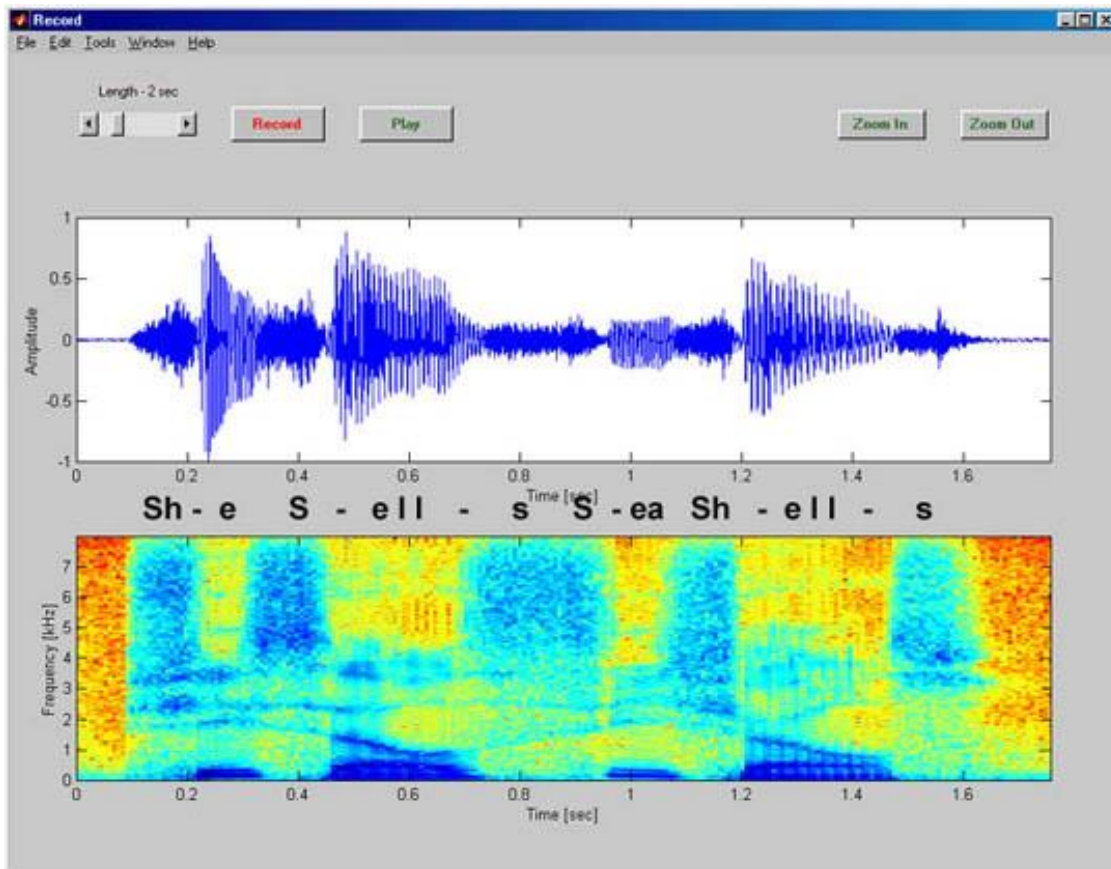
מעבר לעצם התפיסה של קולות שונים והמיקום שלהם, התפקיד העיקרי של מערכת השמע הוא לזהות את הקולות ואת המשמעות שלהם.



Hearing Words

ברגע זה אתם שומעים
קולות רבים, מלבד
הקול שלי, ואתם
צריכים לעשות הבחנה
בין כל הצלילים, לשייך
כל אחד מהן למקור
מסוים, לתפוס כל אחד
מהם באופן פרטני
ולהתמקד בקול שלי
ולא באחר.

זיהוי תבניות זה נעשה בקורטקס, בעזרת מנגנונים עצביים שונים. למשל יש נוירונים שיגיבו רק לצירוף של תדירויות מסוימות שמושמעות ביחד ולא לכל אחת מהם לחוד. מעבר לכך, בניסוי שאני השתתפתי בו לפני הרבה שנים, מצאנו שבקורטקס האודיטורי ישנם תאים שמגיבים לתדירויות מסוימות רק בקונטקסט התנהגותי מסוים. למשל, רק כשהקוף צריך לבצע תגובה בהתאם לגירוי צליל מסוים התא יורה פוטנציאלי פעולה. אם הצליל מושמע בפני עצמו, שלא בקונטקסט ההתנהגותי, אותו תא לא יגיב כלל. בנוסף תאים מסוימים מגיבים בצורה שונה בהתאם לציפייה שלהם לגבי מה שהם הולכים לשמוע.



כמו במערכת הראיה, גם במערכת השמיעה יש הבחנה אנטומית/תפקודית בין אזורים שעוסקים בזהוי תבניות צלילים (מסלול וונטרלי באונה הטמפורלית) ובין אזורים שעוסקים בניתוח המיקום והתנועה של הצלילים (מסלול דורסלי שכולל אזורים בגבול בין האונה הטמפורלית והפרייטלית, בסמוך לאזורים של תפיסת המרחב הראייתית).

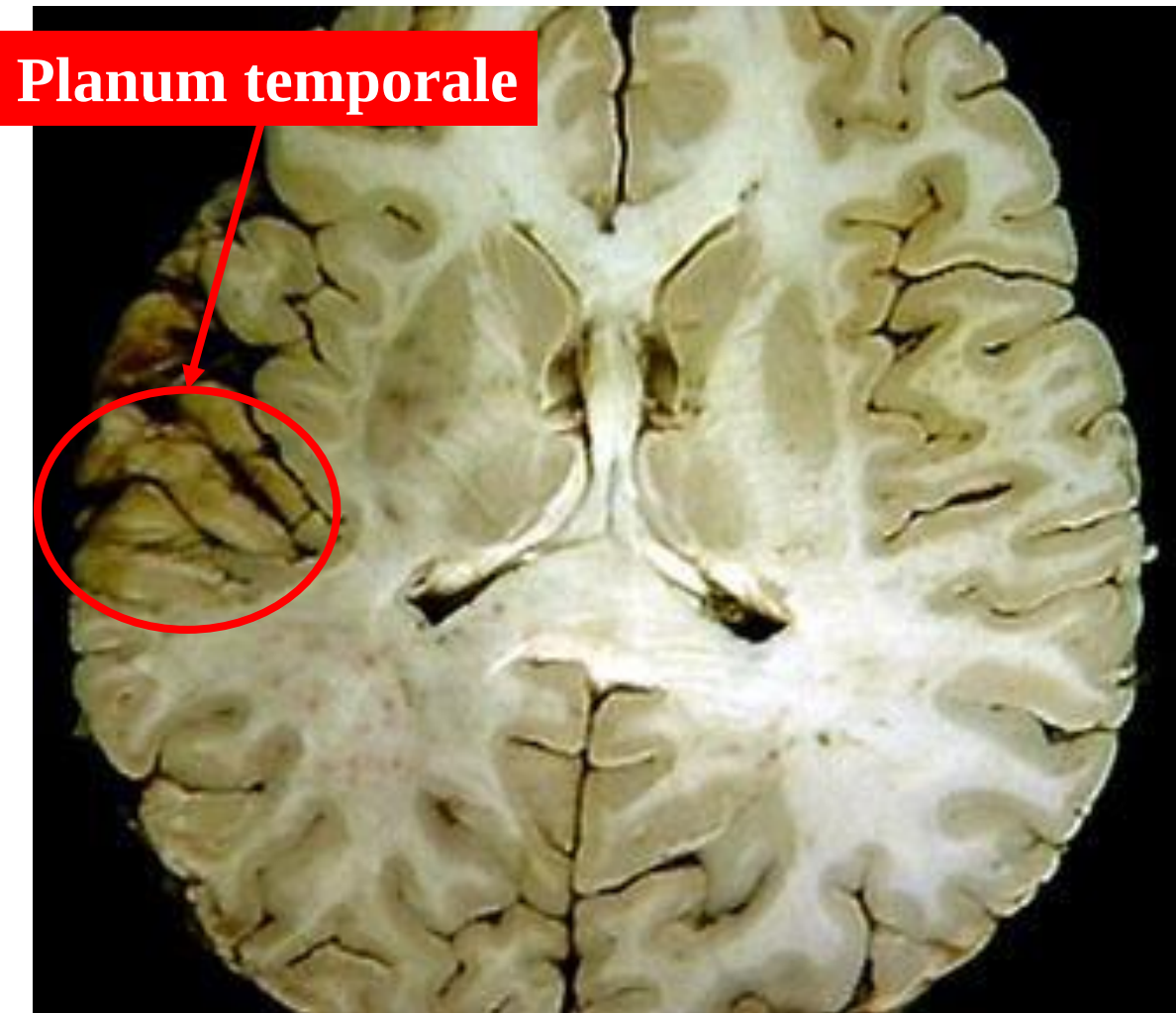
תפיסת שפה (Language)

סוג התבניות הקוליות החשוב ביותר עבור מערכת השמע הוא תבניות שקשורות בשפה. נושא זה יילמד בקורס ההמשך, "תהליכים פסיכוביולוגים", ובקורס הנוכחי נכנס רק למספר אספקטים שקשורים למערכת השמיעה.

זיהוי תבניות צלילים
במילים ותרגום של
קלט זה למשמעות
נעשה באזורים
שמיעתיים
אסוציאטיביים
הנמצאים מסביב
לקורטקס השמיעתי
הראשוני.

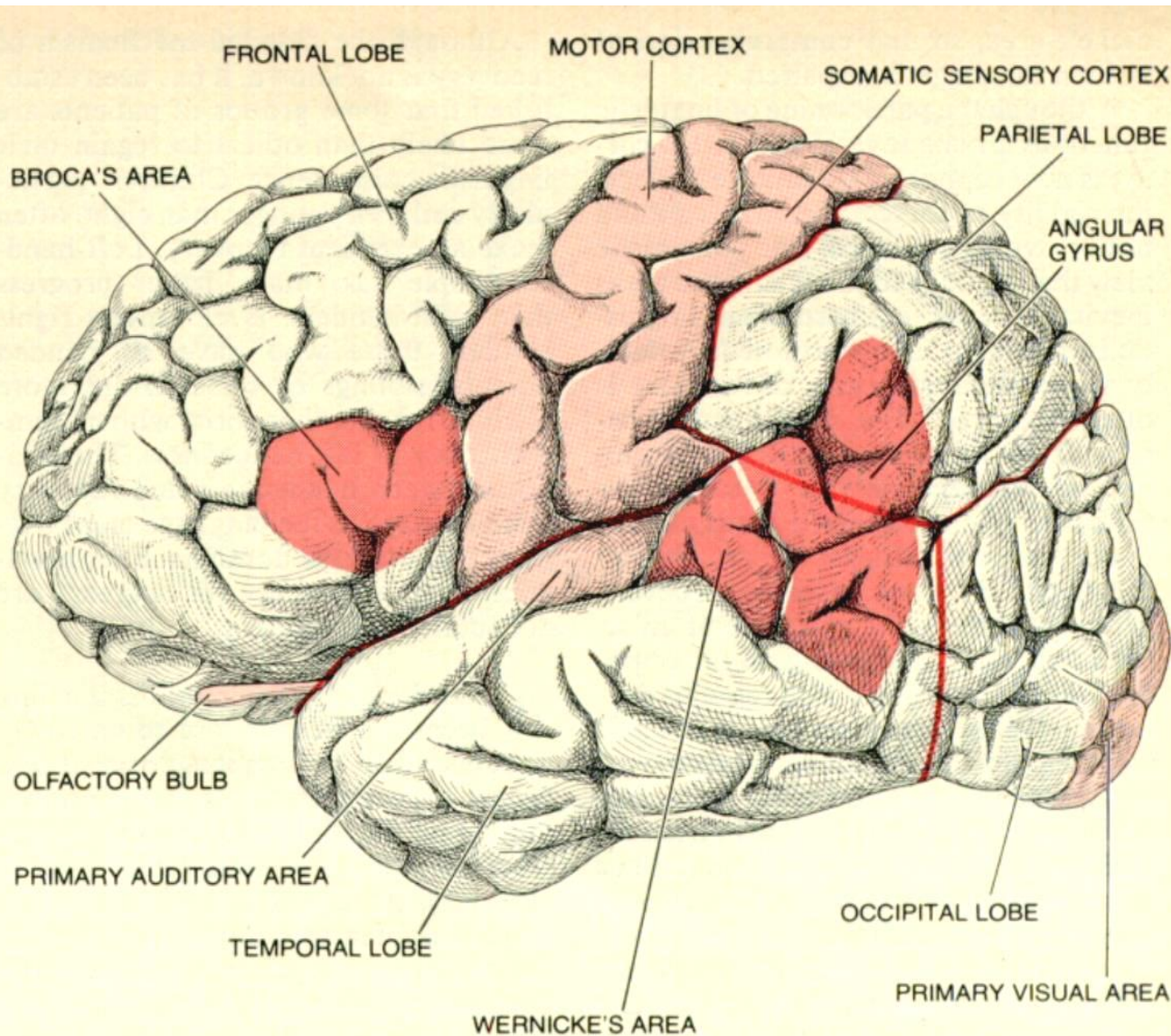


The planum temporale – the best example of lateralization within the human brain



האזורים האסוציאטיבים
היונימודלים של שמיעה מהווים
את הדוגמא הבולטת ביותר
ללטרליזציה במח - הבדלים
אנטומיים והתמחות תפקודית
ספציפית של כל אחת
מההמיספרות. באופן תפקודי
הלטרליזציה הזאת קשורה באופן
עיבוד שונה של אינפורמציה
אודיטורית – אנליטי (שמאל)
לעומת תבנית/הוליסטי (ימין).
האיזור האחורי של ה- lateral
sulcus נקרא גם planum
temporal וזהו האזור השונה
ביותר מבחינה אנטומית בין
ההמיספרות.

איזור ה Planum temporale, יחד עם החלק האחורי-תחתון של ה- superior temporal sulcus נקרא גם איזור ורניקה (Wernicke).



באזור זה יש זיכרונות
או ייצוג של תבניות
קול שמהוות מילים,
כלומר הפעלה של
נוירונים באזור ורניקה
קשורה בזיהוי קולות
של מילים כמו
שנוירונים ב-

Inferior temporal
gyrus קשורים בזיהוי
של תמונות של עצמים.

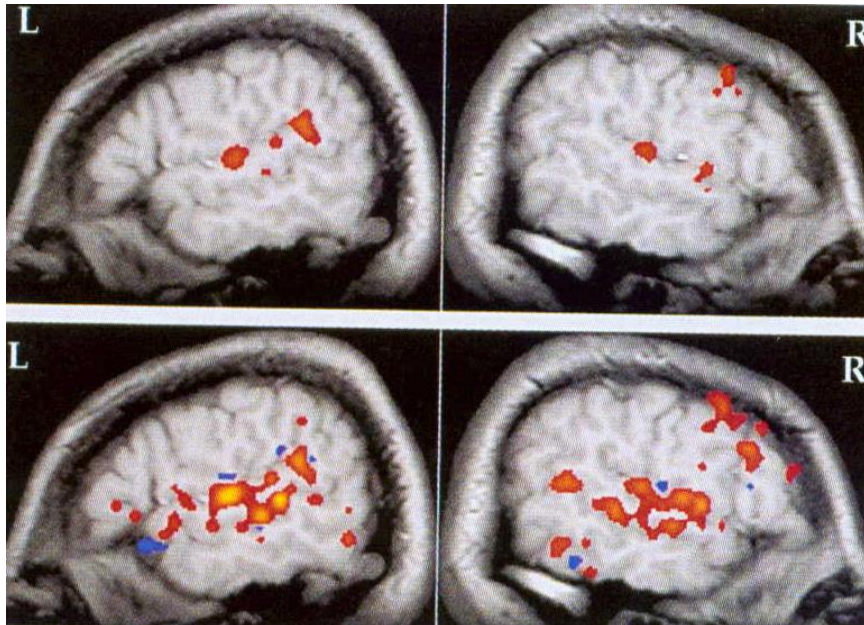


אכן מחקרי הדמיה מראים הפעלה ספציפית של אזור זה במהלך שמיעה של מילים.

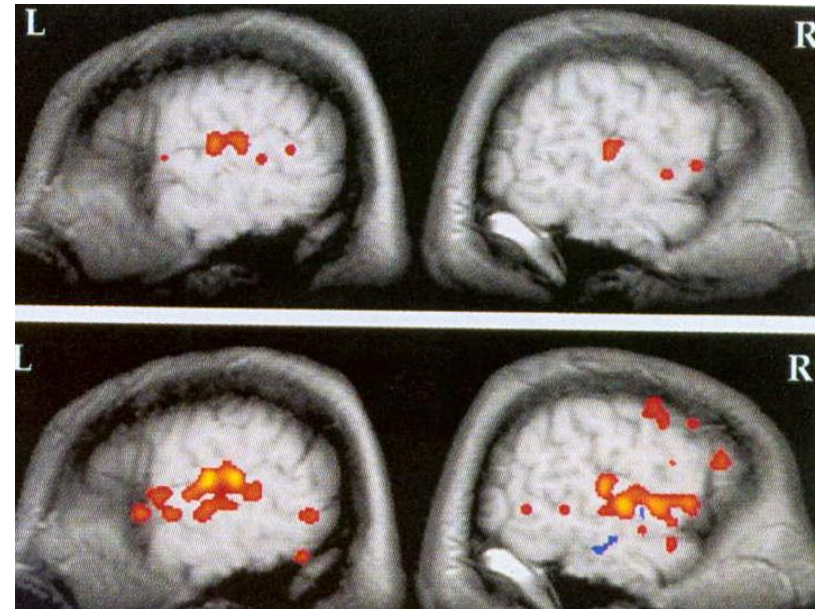
הרס של איזור ורניקה גורם להפרעה ביכולת להבין שפה Wernicke's aphasia. הפרעה זו כוללת חוסר יכולת לזהות תבניות קול כמילים, וחוסר יכולת להבין את המשמעות של מילים. התוצאה היא שהחולה איננו מבין שפה וגם איננו יכול לייצר שפה באופן משמעותי. הוא יכול לדבר באופן רצוף אבל מה שהוא אומר איננו מביע שום דבר משמעותי ומובן.

Auditory responsiveness to simple sounds (top panels) and to words (bottom panels)

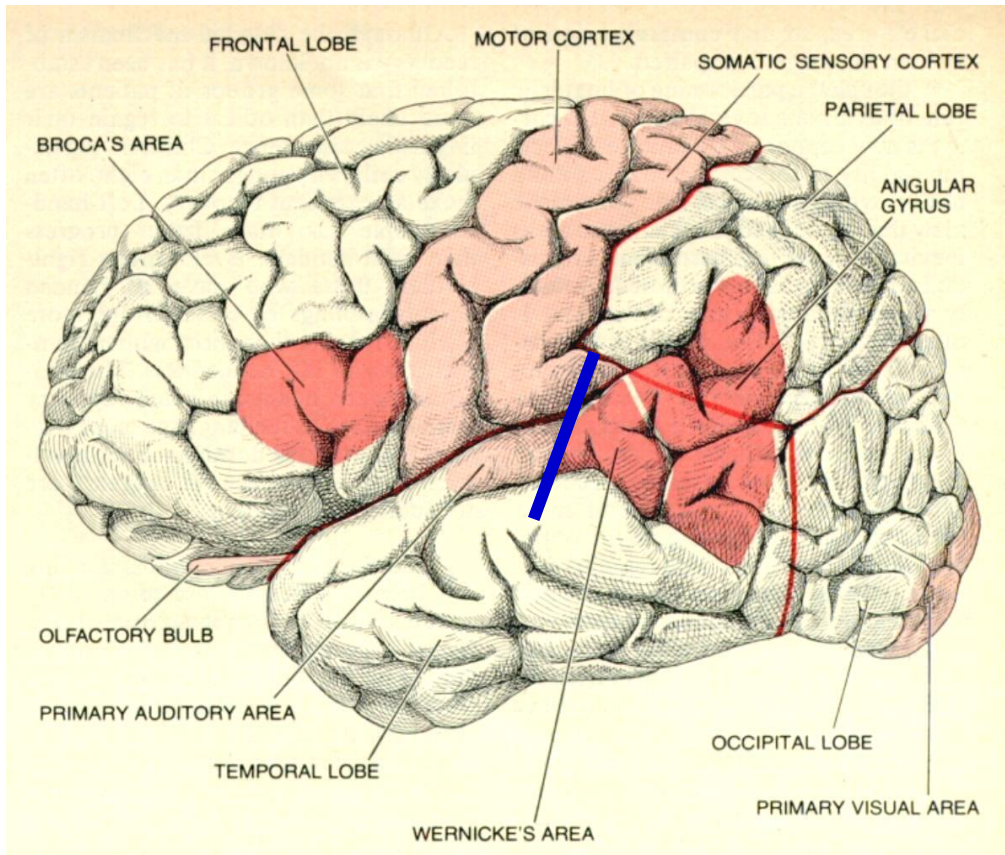
Subject 1



Subject 2



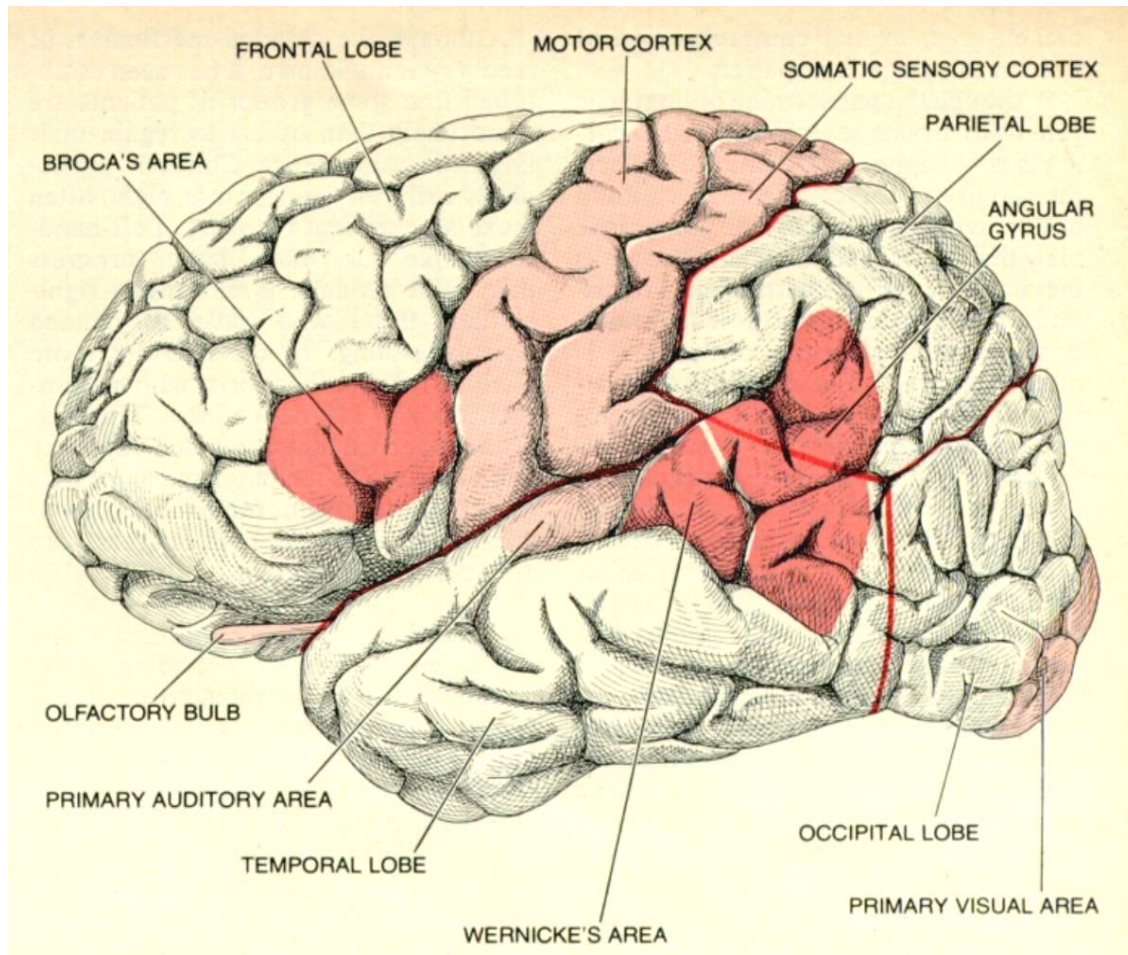
כדי שתבניות צלילים יתפרשו כמילים אינפורמציה חייבת לעבור מהקורטקס הראשוני לאזור ורניקה בצד שמאל. אם נפגע הקשר בין שני האזורים (כלומר גם הקורטקס הראשוני וגם אזור וורניקה לא נפגעים) מתקבלת הפרעה שנקראת pure word deafness. חולים עם בעיה זו אלו יכולים לזהות קולות שאינם מילים (כמו ציפצוף, ציפור, נביחת כלב), הם יכולים לעיתים לקרוא שפתיים, הם מבינים את האינטונציה (prosody) במשפט- למשל אם נובע ממנו רגש (כיוון שזוהי פונקציה של החלק המקביל באונה הימנית), אבל לא את המילים ("אני יודע שאתה מדבר אהל אני לא יכול להבין את המילים").



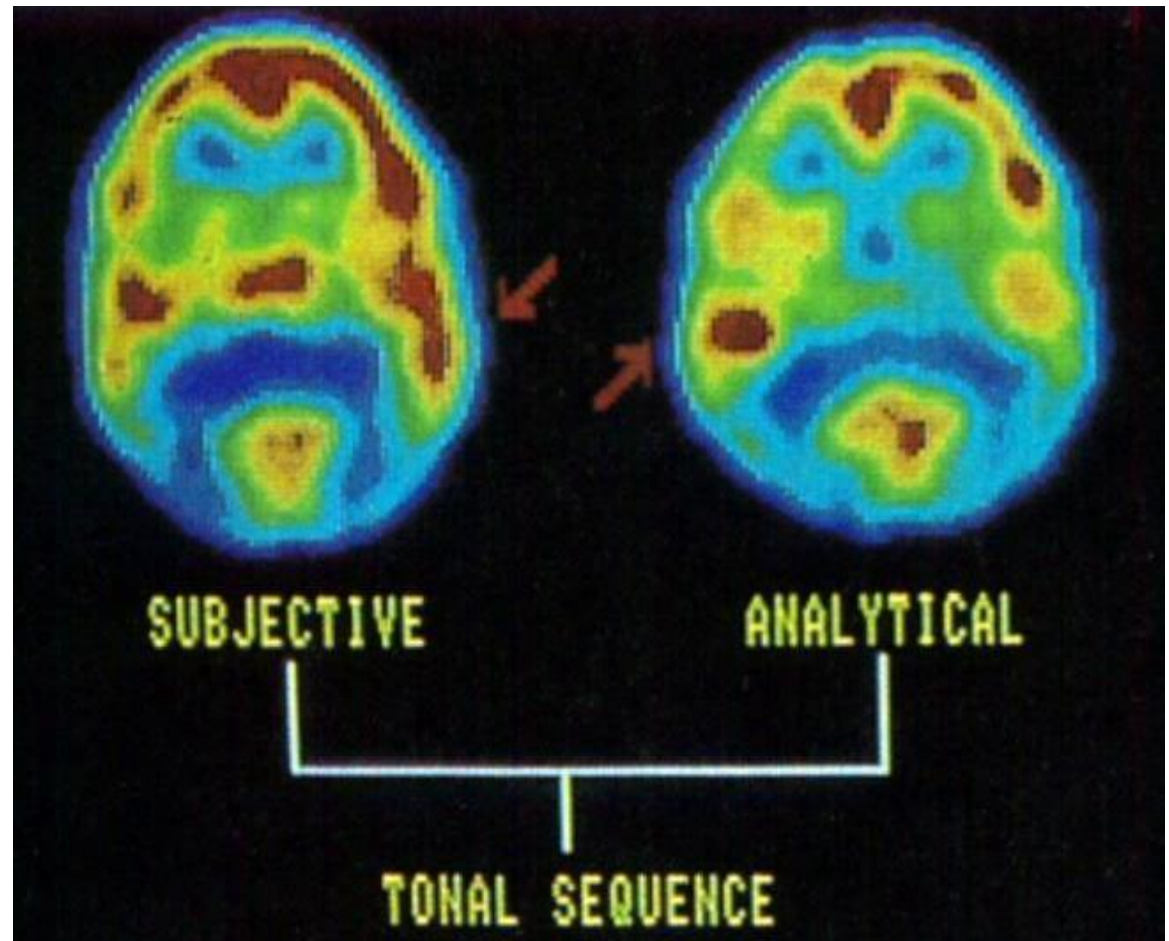
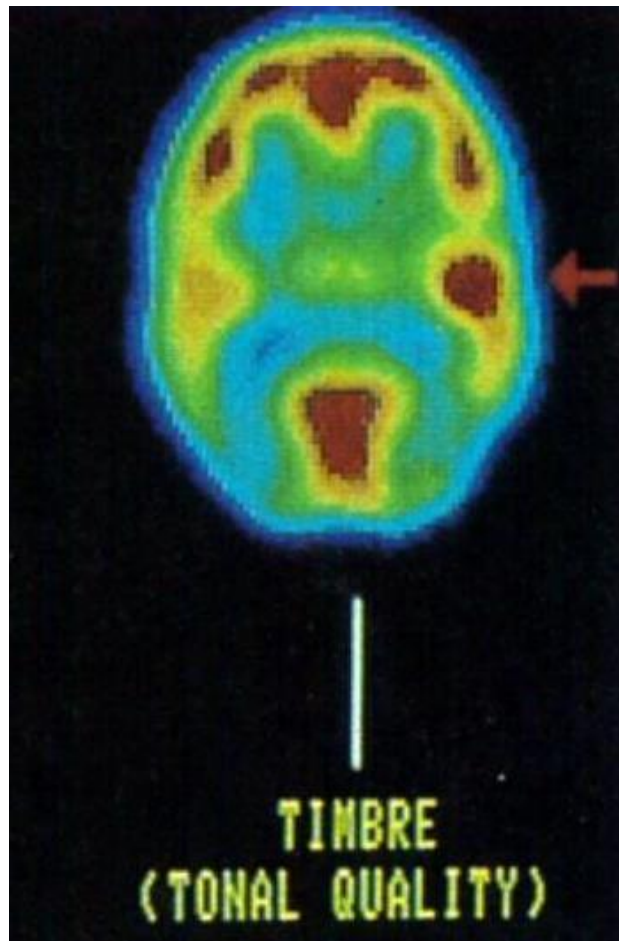
אנשים אלו אך ורק יכולים להבין את המשמעות של המילים (יכולים לקרוא ולכתוב) בניגוד להרס בורניקה, אבל לא יכולים לזהות מילים באופן שמיעתי/ אקוסטי.

עיבוד האינפורמציה השמיעתית באזור ורניקה מאפשר זיהוי של שינויים מאוד מהירים בתבניות מורכבות של צלילים. שינויים מעין אלו מעורבים בדיבור, הם נוצרים על ידי מיתרי הקול, הלשון, והשפתיים, והם הרבה פחות בולטים בצלילים אחרים (שאינם מילים). במהלך הדיבור, לחולים עם נזק חלקי באזור ורניקה יותר קל להבחין באותיות מתמשכות, כמו במילים "כעס, אלפ" ויותר קשה להבחין בין אותיות עוצרות, כמו "בית, ברז".

הקישור של התבניות השמיעתיות עם משמעות מחייב הפעלה של אזורים אסוציאטיביים, שנמצאים בגבול שבין האונות האופטיטלית, הפרייטלית והטמפורלית, והקישור של אזורים אלו עם אזורי תפיסה מתקדמים בהם מצוי הזיכרון. הרס סלקטיבי באזור ה-angular gyrus יגרום לחוסר יכולת להבין מילים, עם שמור היכולת לחזור על מילים מדוברות (נשמר הקשר בין אזור ורניקה לבין איזור ברוקה). ה-angular gyrus עושה אינטגרציה בין הצליל של המילה ובין המשמעות שלה (מה טמון בזיכרון לגבי תבנית הקול המהווה מילה) ולכן הוא מאפשר הבנה.



Musical perception



שמיעה וניתוח של אינפורמציה מוזיקלית מערבת בעיקר את הקורטקס הימני. זה נכון גם לגבי הזהוי של גוון הצליל (Timbre), וגם לגבי ההערכה של התבנית המוזיקלית כולה.

מחקרים אצל מוזיקאים מראים שני אופנים לניתוח אינפורמציה מוזיקלית. האחד יותר חווייתי וגשטלטי – מערב אונה ימנית. השני יותר אנליטי – כלומר פרוק היצירה לחלקים ותבניות, הבנת תהליכים סידרתיים בהתפתחות המלודיה. אופן עיבוד זה מערב את האונה השמאלית.