

# נפלאות מנגנון השמיעה האנושי

ד"ר רפי שמש  
החוג להפרעות בתקשורת,  
הפקולטה למדעי הרווחה והבריאות,  
אוניברסיטת חיפה

העובדה שנבראנו עם שתי אוזניים, שתי עיניים, שתי אונות למוח ועוד זוגות של אברים אחרים בגופנו היא ההוכחה לאמיתות האמרה ש"טובים השניים מהאחד". במאמר קצר זה אנסה לבסס את האמרה הזו לגבי היתרונות הרבים של שמיעה דו-אוזנית שמאפשרת לנו לקלוט, לעבד ולהבין את האינפורמציה הרבה הכלולה בקולות דיבור גם בסיטואציות האזנה קשות ובתנאי רעש סביבתי מתחרה.

מההיבט האמבריולוגי (התפתחות העובר), מערכת החישה השמיעתית ההיקפית, קרי השבלול או האוזן הפנימית, מבשילה מבחינה אנטומית כבר בשבוע ה-22 של ההיריון, כך שהעובר עוד בהיותו ברחם אימו קולט גירויים שמיעתיים מהסביבה ומוחו לומד להתמודד עם סוג זה של גירויים חושיים. תהליך התפתחות השמיעה והשפה הינו אחת החידות המייחדות את הגנום האנושי. התפתחות השמיעה בתקופה העוברית מהווה אבן דרך הכרחית ברכישת שפה והפקת דיבור אצל התינוק הנולד. מערכת השמיעה הייחודית של בני האדם בנויה ומתפקדת למשימה חשובה אחת: פיתוח והבנת שפה. כתוצאה מכך, כל המנגנונים פועלים על מנת לזהות ולפענח במהירות גבוהות את מרכיבי הקולות השונים ומיוזגם יחד למבע שפתי בעל תוכן ומשמעות. האוזניים האנושיות אולי אינן החדות והרגישות ביותר בעולם החי, אך הן מתאימות למלא את אחד הצרכים הגדולים ביותר של בני האדם – הצורך בתקשורת. הן נוצרו כדי להגיב במיוחד למאפייני הקול האנושי. הוכח למשל, שלמוח האנושי מנגנונים המתמחים בניית צלילי דיבור. מחקרים בתחום ההדמיה המוחית (fMRI) מצאו כי באונה השמאלית במוח, הקורטקס האודיטורי ואזורים נוספים לוקחים חלק מרכזי בעיבוד צלילי דיבור. כמו כן, תגובות הקורטקס האודיטורי לצלילי דיבור נפוצות יותר בהשוואה לאלה של "רעש לבן" (Binder et al., 1996).

מערכת האוזן של האדם היא אחת המערכות המרהיבות ביותר. בחלל בעל נפח של כ-16 סמ"ק, מופעלים באוזן מספר מנגנונים המתבססים על עקרונות מתחומי האקוסטיקה, מכאניקה, הידרואוליקה, אלקטרוניקה ומתמטיקה מורכבת, כל זאת כדי למלא את תפקידה המורכב והחיוני. למשל, אנו יכולים לשמוע טווח של קולות החל מקול רפה עד לקול החזק פי טריליון (10 בחזקת 12) - מלחישה רכה ועד לשאון רועם של מטוס ממריא – תחום עוצמות של כ-120 דציבל. בנוסף, האוזן יכולה להבחין בין 400,000 צלילים שונים ולקלוט שיחה המתנהלת מעבר לחדר מלא אנשים או להבחין בצליל מזויף מכלי אחד בתזמורת בת מאה נגנים.

העובדה שניחנו בשתי אוזניים מאפשרת לנו קודם-כל למקם צליל במרחב. מההיבט האבולוציוני, חשיבות יכולת בסיסית זו היא באיתור מקור סכנה, במידה והיא קיימת. קביעת הכיוון ממנו קול מגיע תלוי בקליטת הפרשי זמנים בין הגעת הגירויים הקוליים לשתי האוזניים והשוני הנגרר בפאזה של גל הקול בין שני הצדדים. כמו כן, גם בעובדה שעוצמת הגל המגיע לצד הקרוב למקור- גבוהה יותר. הפרשי הזמן הם הפקטור החשוב ביותר לגבי התדרים הנמוכים מ-1000 הרץ בעוד שהבדלי העוצמה הם הפקטור החשוב ביותר לתדרים הגבוהים מ-3000 הרץ (Stevens & Newman 1936).

נוירוני רבים בקורטקס האודיטורי מקבלים קלט משתי האוזניים, ומגיבים מקסימאלית או מינימאלית כאשר זמן הגעת הגירוי באוזן אחת מתעכב בפרק זמן קבוע ביחס לזמן הגעת הגירוי לאוזן השנייה. פרק זמן קבוע זה משתנה מנוירון לנוירון. קולות המגיעים בדיוק ממול (פרונטאלית) ובו זמנית לשתי האוזניים נבדלים ככל

הנראה באיכותם מאלו אשר מגיעים מאחור, היות והאפרכסת נוטה מעט לפני. האפרכסת היא גורם פיזיולוגי נוסף שמסייע במיקום הצליל. לאפרכסת אפיונים מסננים, היא זו שאוספת את גלי הקול המורכבים לתוך האוזן. גלים מכיוונים שונים, נאספים לאפרכסת שעורכת סינון ראשוני ספקטוגרמי (סינון לפי תדר) ותורמת לאיתור מקור הצליל. כלומר, היכולת שלנו למקם בדיוק מינימאלי של שתי מעלות בלבד את הכיוון שממנו בוקע הקול מסתמכת על אינפורמציה דו-אוזנית (Binaural cues) של הפרשי זמנים בהגעת הגל לאוזנים, הפרשי עוצמות בסיגנלים לכל אוזן וניתוח הגל וקליטתו על ידי האפרכסת – ואלו הם הגורמים הדומיננטיים במיקום הצליל במרחב. אולם, ישנם גורמים שאינם חלק מהמערכת האודיטורית אשר תורמים לכך כגון: ראייה, זיכרון, ניסיון, וציפיות השומע מהיכן יגיע הצליל.

יכולת טובה של מיקום צליל במרחב מסייעת בהבחנה של צלילים או דיבור על רקע רעש. היכולת למקם את קולו של בן השיח גם במסיבת קוקטיל רבת משתתפים מאפשרת להפנות את הפנים אליו ולנצל את אפקט הכיווניות של הגעת המסר האודיטורי, קליטת הרמזים הוויזואליים בקריאת דיבור ויכולת מיקוד קשב טובה יותר (Hawley et al. 2004).

אפקט נוסף של שמיעה דו-אוזנית היא תופעת הדיכוי של הרעש המוצג דו צדדי – Masking Release או Binaural squelch. בניסוי בו השמיעו בו-זמנית לשתי האוזניים רעש באותה עוצמה וצלילים בפאזות הפוכות, הנבדק הצליח לשמוע את הצליל גם אם עוצמתו היתה נמוכה ב-10 דציבל מהעוצמה המינימאלית של הצלילים במידה והושמעו ללא הפרש זמנים (Hirsh 1948; Licklider 1948). אפקט הדיכוי של הרעש המושמע בשתי האוזניים הוכח גם כאשר השמיעו לנבדקים צלילי דיבור על רקע רעש מתחרה. תופעה זו יושמה גם באופן קליני כמבחן לאבחון הפרעות בעיבוד אודיטורי מרכזי – מבחן (Masking Level Difference) MLD (Olsen et al. 1976).

גם בהתייחס לסף השמיעה המוחלט וכושר ההבחנה של שינויי תדר ושינויי עוצמה – שתי האוזניים הן בד"כ יותר רגישות מאשר אחת. למשל, סף השמיעה הוא טוב יותר ב-2-3 דציבל בהשמעת הצליל באופן סימולטאני בשתי האוזניים מאשר באוזן אחת (Binaural Summation). כמו כן, בשמיעה דו-אוזנית נתקבלו ספים טובים יותר להבחנה בשינויי תדר ועוצמה לעומת אלו שהושגו בשמיעה חד-אוזנית (Jesteadt & Weir, 1977). אי לכך, בשמיעה דו-אוזנית קולות הדיבור נשמעים באיכות גבוהה יותר ובכך גם עולה מידת היותות (אינפורמציה עודפת או רמזי הקשר) של המסר המילולי (Binaural redundancy).

לסיכום, נפלאות מנגנון השמיעה האנושי שתואר כאן בקצרה מוכיח שיתרונות רבים של חוש השמיעה מושגים ע"י שמיעה בשתי האוזניים. למשל, שמיעה דו-אוזנית מאפשרת זיהוי של מקור הקול במרחב, מביאה לשיפור משמעותי בתפיסת דיבור על רקע רעש, השמיעה היא איכותית יותר, מאוזנת וסטריאופונית והחשוב מכל תורמת להבנה טובה של צלילי הדיבור ולשיפור התקשורת עם הסביבה.

## מקורות

**Binder J.R., Frost S.M., Hammeke T.A., Rao S.M., & Prieto T. (1996)** Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience* **17:353-362.**

**Hawley ML, Litovsky RY, Culling JF. (2004),** The benefit of binaural hearing in a cocktail party: effect of location and type of interferer. *J. Acoust. Soc. Am.* **115(2): 833-843.**

**Hirsh J. (1948)** The influence of interaural phase on interaural summation and inhibition. *J. Acoust. Soc. Am.* **20:536-544.**

**Jesteadt W. & Wier CC.** (1977) Comparison of monaural and binaural discrimination of intensity and frequency. *J. Acoust. Soc. Am.* **61:1599-1603.**

**Licklider JCR.** (1948) Influence of interaural phase relations upon the masking of speech by white noise. *J. Acoust. Soc. Am.* **20:150-159.**

**Olsen W.O,** Noffsinger D. & Carhart R. (1976) Masking level difference encountered in clinical populations. *Audiology* **15:287-301.**

**Stevens S.S & Newman E.B** (1936) The localization of actual sources of sound. *J. Acoust. Soc. Am.* **73:297-306.**