

חוש השמיעה של העופות

כתבו:
ד"ר חיים מויאל
ויצחק דוידוביץ



צילום:
ד"ר חיים מויאל



קניית אפריקאית בשירה. כמו רבות מציפורי-השיר יש להם שמיעה מצוינת וגם היכולת להבחין בווריאציות קוליות מורכבות ופענוחם במוח. צילום: חיים מויאל

חוש השמיעה אצל העופות, ובמיוחד הווקליים שבהם, הוא חד ונחשב למן היעילים והמזורים בעולם החי, והשני בחשיבותו אחרי חוש הראייה אצל מרבית מיני העופות. תמונה העובדה שמלבד היותם משוללי מבנה אוזן חיצונית בכלל, פתחי השמיעה דמויי המשפך אצל מרביתם אינם גלויים לעין (למעשה, הם מכוסים בסוככות אוזן זעירות - Auriculars). נראה כי ההגנה על הפתחים מזיהום, חבלה או רעשים טורדניים חשובה מאוד לשרידותם, וכי אין ירידה של ממש באיכות השמיעה.



פורטרט של תנשמת. לתנשמת שמיעה מצוינת ובניסויים שבוצעו מסוגלת לצוד בחשיכה מוחלטת נברנים ככשעיניה מכוסות לגמרי. צילום: Caroline Legg

באורח פלא, באוזן התיכונה של העופות יש רק עצם אחת, אך יעילותה לשמיעה היא גדולה, בשילוב עם קרום תוף גדול במיוחד ומבנה אוזן פנימית טוב במיוחד (כנגזרת של הברירה הטבעית), בעיקר בכל הנוגע לתקשורת, ציד וניזוט.

חוש השמיעה שלהם פחות רגיש או טוב משל האדם (למעט במקרה של דורסי לילה וציפורי שיר, שניחנו בשמיעה מדויקת ומעולה) רק בתחום הצר של תדרים המאפיין אותם (1-4 קילוהרץ), ורובם גם אינם מסוגלים להבחין בתדרים אולטרה-סוניים (הגדולים מ-20 קילוהרץ), למעט אלו הנמנים עם דורסי הלילה העלומים. מעטים מהם מסוגלים לשמוע קולות אינפרה-סוניים הנמוכים מ-20 הרץ בלבד, כדוגמת היונים (ייתכן שהדבר מסייע להם ולעופות נוספים לשמוע גם סערות מתקרבות, ויש הגורסים שגם רעידות אדמה והתפרצויות געשיות).

נציגי המשפחות האחרות. מתברר, על פי מחקר, כי רעש הקולות המגיע לעור התוף הימני שונה בתדר מזה המגיע לשמאלי, מה שמאפשר למוחם להחליט מהיכן באים הקולות, האם מלמעלה, מלמטה, מלפנים או מאחור. זה שונה מהעובדה שגלי הקול לא יכולים לעבור בין שתי האוזניים ככלל, אלא מגיעים באותו תדר אך בנפרד, ובעיתוי שונה לכל אוזן, מה שמסייע למיקוד מוצלח יותר.



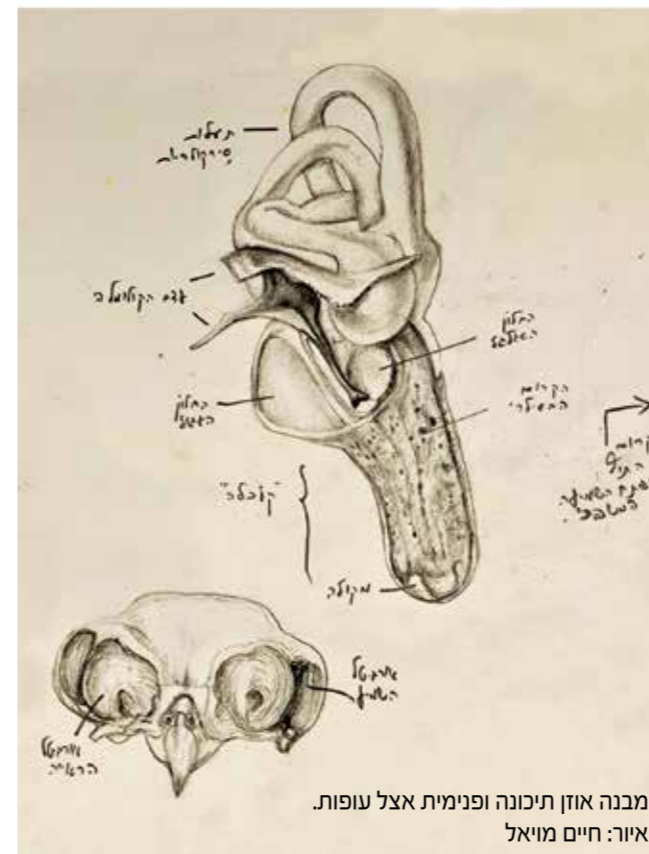
תנשמת. איור: חיים מויאל

העצם היחידה באוזן התיכונה מצליחה להיות מתווכת יעילה וטובה משלנו, בהעבירה את גלי הקול לתוף הנוזל שבאוזן הפנימית, לאיבר המכונה קולכה, אם כי אצל עופות צורתו לא שבלולית כמו אצל היונקים והאדם אלא ישירה עם כיפוף קל בקצה. אורכו משתנה בין העופות, כך למשל אצל התנשמת הוא גדול פי שניים משל היונה. מעניין לציין שהצורה והמידה היחסית של הקולכה דומות מאוד בכל העופות.

השמיעה האמיתית וגם שיווי המשקל מתרחשים כידוע, כמו

חוץ מאצל דורסי לילה ועוד כמה מינים, חוש השמיעה של העופות הוא לרוב החוש השני בחשיבותו, אך הווריאביליות גדולה מאוד בכל הפרמטרים הנוגעים לשמיעה. פתחי האוזניים של העופות הם מעין חור משפכי מכוסה נוצות, ובניגוד ליונקים אין להם אפרכסות למיקוד גלי הקול (לכשליש ממיני הינשופים בעולם ציציות לראשם, אך אלו לא קשורות כלל וכלל לשמיעה אלא לתקשורת והסוואה).

שמיעתם של העופות שונה בתכלית מן השמיעה של היונקים והאדם בכמה אופנים, החל מהיעדר מבנה אוזן חיצונית (אפרכסת, תעלת שמע, וחומר סיקה), וכלה בהבדל המשמעותי ביותר הנוגע לעובדה שלעופות יש במפתיע רק עצם שמיעה אחת (*Columella*) באוזן התיכונה ולא שלוש עצמות שמע, כמו אצל היונקים והאדם. מתברר שלאורכה של העצם הזאת יש חשיבות רבה ליכולת השמיעה, כך למשל נבדק ונמצא כצפוי כי בדורסי הלילה היא גדולה יותר מפי שניים מבמרבית



מבנה אוזן תיכונה ופנימית אצל עופות.
איור: חיים מויאל



יכולת השמיעה. השלב האחרון והקריטי של השמיעה מתרחש עם תיווך המידע המקודד אל מרכז השמיעה במערכת העצבים המרכזית שבמוח, לפיענוח ותגובות מתאימות.

עובדה חשובה ומעניינת המתגלה מחקירת מבנה מערכת השמיעה של העופות היא, כי קרום התוף הרגיש לזוויברציות שיוצרים גלי הקול גדול משמעותית מזה של היונקים; עובדה זו בולטת אף יותר בקרב ציפורי השיר ודורסי הלילה, שאצלם קרום התוף גדול במיוחד. מעניין לציין, כי קיימים גם מעין חדרי אוויר בגולגולתם של עופות אשר שמיעתם מעולה - כמו אצל דורסי לילה - המסייעים אף הם לתהליך השמיעה, במיוחד במה שקשור לרגישות ללחצי אוויר משתנים.

- ① פורפיריה כחולה (כמו לסופית וליתר הרליטיים) קריאות ווקליות ואקוסטיות ויכולת שמיעה מותאמת לקריאות מתפרצות אלו (עשויות בעונת הקינון להיות אף רעשניות), אך בכל מקרה תמיד כששקט מסביבם וכשמסתרות בסבך הביצה או הגדה. צילום: Bernard Spragg
- ② קאק. שמיעתם של העורבים ככלל דומה לשל האדם במוגים מסוימים והיא חשובה מאוד לתקשורת ביניהם. צילום: חיים מויאל
- ③ עוזניית נגב אפריקאית. לבני סוגה פתחי שמיעה חשופים וגדולים יחסית בראשה החשוף וקפלי צווארה המדומים בעצמם למעין קפלי "אוזניים". ישן עדויות נסיבתיות כי השמיעה טובה מאוד ונעזרים בה אפילו בחיפוש מזון לצד ראייתם המשובחת... צילום: Bernard DUPONT
- ④ כרוון מצוי. מין מאוד ווקאלי, כחלק מהתקשורת והטריטוריאליות בלילות האביב והקיץ צילום: חיים מויאל

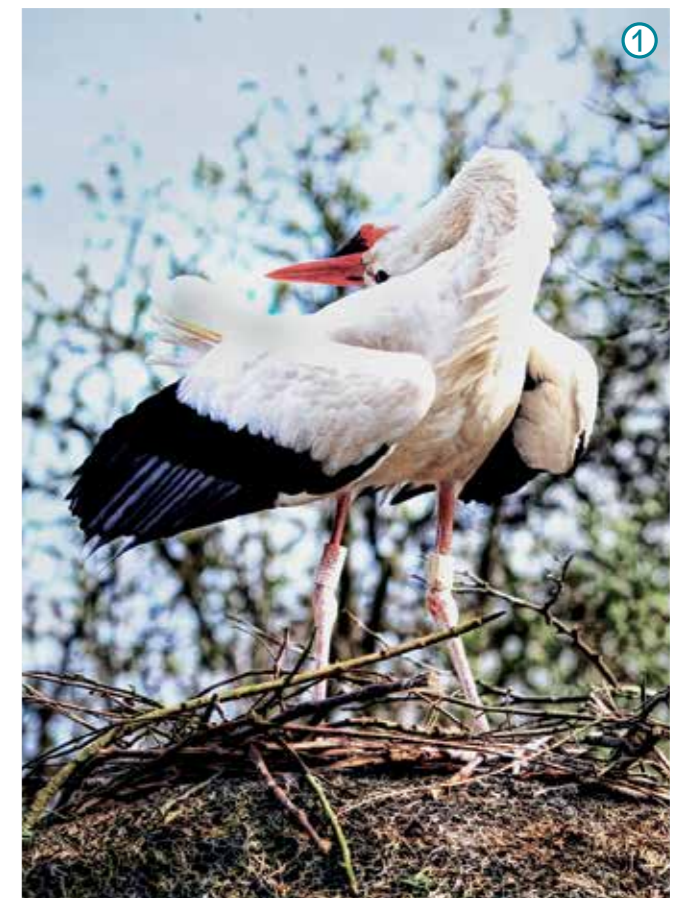


לדורסי הלילה, מלבד מה שנאמר לעיל ומלבד העובדה שהאוזן הפנימית שלהם ארוכה באופן מובהק משל מרבית העופות, יש פרצוף שטוח ורחב, ולא בכדי, שהרי מרביתו משמש כרפלקטור המתעל בהצלחה רבה וביעילות את גלי הקול הנוצרים על ידי המכרסמים, הנישאים באוויר אל פתחי השמיעה הגדולים והאסימטריים שלהם, בזר נוצותיהם. שמיעתם על כן, לא רק מצוינת אלא גם סטריאופונית וחשובה אפילו מראיית הלילה המשובחת שלהם, וזאת בנוסף ליכולת צידוד הראש עד 270 מעלות ללא הצורך לזוז ולהתגלות.

במחקרים שבוצעו על תנשמת התברר כי היא מצליחה לאתר טרף באמצעות שמיעתה בלבד. דורס יום ששמיעתו מופלאה יותר משל דורסי יום אחרים, המזכיר במידת מה את התנשמות והינשופים, הוא הזרון, וגם הוא בזכות דיסק הפנים שלו המעוטר בזר נוצות צפופות מסביב לו ופתחי השמיעה הגדולים והאסימטריים שלו המזכירים את אלו של דורסי הלילה.

הדוכיפת ועופות שהתמחו בשמיעה ממוקדת למתרחש מתחת לפני הקרקע (קולות של ערצבים, למשל) מצוידים בפתחי שמיעה הממוקמים בקדמת הפנים. לנקר יש בולמי זעזועים המצויים על פתחי השמיעה, האוזן התיכונה, האוזן הפנימית והמוח. אלמלא ההתאמות המיוחדות

- ① חסידות לבנות בחיזור. בני המשפחה די שקטים, ובחיזור אומנם אינם משמיעים קולות (למעט מינים מסוימים שלהם קולות חלשים יחסית שמזכירים נעירת חמור), אך הם נוהגים להפשיל צווארם לאחור ולתקתק במהירות במקורם. צילום: Jinterwas/flickr
- ② נקבת חנקן אדום-גב עם חרק במקורה. בשל היותם טורפי חרקים מעולים, תצפיתנים ללא מורא וטריטוריאליים לעילא, אף שמיעתם טובה במיוחד בהתאמה מופתית. צילום: חיים מויאל
- ③ קורמורן גדול. כמין אמפיבי (כצוללנים ומרגונים) יש שמיעה חלשה באוויר (כ-2 קילוהרץ) ואילו במים השמיעה טובה יותר ומנצלת רמזים אקוסטיים במים. צילום: חיים מויאל
- ④ דוכיפת. שירתה דמויית-קוקייה נשמעת היטב מהדהדת בעונת הרבייה, כשביתר עונות השנה שקטה יחסית. מיקום פתחי השמיעה קצת לפני בהתאמה לשמיעה טובה יותר של רחשי לארוות החרקים והתחפרות הערצבים ודומיהם באדמה. צילום: חיים מויאל





1

האלה הוא מתקשה לנקר בעץ במפסלת מקורו במהירות ובעוצמה שהייתה מוציאה מדעתו כל יצור חי. כאשר הנקר רוצה לאתר זחל הוא מצמיד ככל האפשר את ראשו לפתחים ולסדקים כדי להקשיב. שמיעתו מותאמת למטרה הספציפית הזאת, על אף העובדה שפתחי האוזניים והמוח הגרמי החזק שלו מוגנים היטב ומכוסים בלשוננו הארוכה והבשרנית מאוד שמתפתלת מעליהם. עד כמה שידוע, שום עוף לא ניחן באסטרטגיה מעין זו.



2

שמייעה אינפרה-סונית - פחות מ-20 הרץ בלבד - תועדה אצל יונים ועופות יחידים נוספים, וזאת בנוסף ליכולת הניווט המעולה שלהם המסוגלת לפענח שינויים בשדה המגנטי של ציר תנועתם. לעופות תחום צר ורגיש של תדרים שהם שומעים - 1-4 קילוהרץ (שהם 4,000 מחזורים בשנייה), אך יש ביניהם המסוגלים לשמוע בתדרים נמוכים וגבוהים יותר. במקרה של דורסי הלילה משרעת התדרים רחבה בהרבה (מ-80-100 הרץ ל-6-20 קילוהרץ).

1 בז מצוי על הקרקע. לבזים כיתר דורסי-היום חוש השמיעה הוא טוב מאוד (במיוחד מנוצלת קרוב לפני הקרקע) ורק משנית לראייתם המעולה. צילום: חיים מויאל

2 זוג בולבולים. מרבים לשוחח ולפטפט בבקרים מוקדם בעיקר באביב ובקיץ וכיתר ציפורי-השיר שמיעתם מעולה ומותאמת היטב לשמיעה ופענוח של ווריאציות קוליות מורכבות. צילום: חיים מויאל

3 אנפית גמדית במארב. מנוצלת בעיקר את ראייתה הטובה, אך גם בשילוב עם שמיעתה החלשה יחסית. צילום: חיים מויאל

4 צוללן פסיפי. כמו לשאר העופות הנוהגים לצלול עמוק במים כדי ללכוד את טרפם, גם לצוללן הפסיפי שמיעה חלשה יחסית, והוא נעזר בעיקר בראייתו האמפיבית. פתחי אוזניו חבויים ומוגנים בתוך נוצותיו הפלומתיות והצפופות. צילום: Alaska Region U.S. Fish & Wildlife Service

5 אוו וירג'יניה. כמו ליתר דורסי-הלילה, שמיעתו משובחת להפליא, טובה יותר משאר משפחות העופות. חוש השמיעה הוא המפותח בחושים ומבנה פתחי האוזניים הגדולות והאסימטריות, גודל עצם האוזן התיכונה ומבנה הקרום הבדילרי באוזן הפנימית מפותחים ביותר. (ציציות שלראשו לא קשורות לשמיעה אלא לתקשורת והסוואה). צילום: חיים מויאל



3



5



4

ראוי לציין כי מעל לתדר האנושי (מעל 20 קילוהרץ) סובלים העופות לפחות כמונו מרעשים רמים מדי העלולים לפגוע בקולטני השמיעה המצויים בריסים שבתוך אוזניהם, דבר שעלול לגרום לפגיעה ברגישות השמיעה ולנזק משמעותי מצטבר עם השלכות קשות הנוגעות לניווט, שירת חיזור וסכנת טריפה. הוכח כי באזורים עתירי רעשים גבוהים יש אכן נזק מצטבר וקריטי לעופות - כמו יונים וברווזים - בדומה לאדם. במחקרים למדו על השפעת עוצמת התדרים ומשכם על פיזור העופות הרחק משדות נחיתה והמראה.



2



3



1

יחסית בין מוקד הגלים (שומע) במעופים מעגליים כדי לנווט או לקבוע מיקום וכיוון מדויק של מקור הקול.

לעופות מים צוללים, כמו קורמורנים, צוללים ומרגונים, המסתייעים בעיקר בראייה, יש שמיעה מותאמת היטב במים המסייעת להם בזמן מרדף אחר טרפם. וכיוון שמדובר בתווך המימי ישנם לחצים הידרוסטטיים והגברת לחץ הקולות במים, כך שקרום התוף ועצם הקולומלה שבאוזן התיכונה קטנים בהתאמה, בנוסף להקטנת מהירות רטט הקולות בשהייה מחוץ למים בין האוויר החיצוני לאוזן הפנימית. לקיווי הניו-זילנדי, שנחשב לפרימיטיבי, יש פתחי שמיעה גדולים ושמיעה טובה בתדרים נמוכים, המסגלים אותו לתקשורת הטריטוריאלית.

עופות הגואשרו מדרום אמריקה, או בשמם האחר עופות השמן (Oilbirds), וגם מינים מסוימים של סיסני מערות ליליים, משתמשים באקולוקציה (איתור באמצעות קולות) בתנאי תאורה גרועים במערות, באמצעות קריאות - "קליקים" מהירים השבים אליהם מן האובייקט, וכך הם בונים מעין תמונה של סביבתם המיידית.

לסיכום, לעופות סגנונות שונים ואיכויות שונות של שמיעה, בהתאם למבנה האוזניים, לתדרים ולמרכזי השמיעה במוח וסוג התווך של גלי הקול או הוויברציות שהדי הקול גורמים (בוואקום או בחלל גלי קול אינם עוברים כלל). בהשוואה לעולם החי שבסביבתם של העופות - אצל היונקים, כולל בני האדם, לא קיימת עצם אחת באוזן התיכונה

ציפורי שיר רגישות לשינויי קצב הצליל, לטון ולגובה הצליל, אולי יותר מכל בעל חיים. מרבית העופות זקוקים לשמיעה טובה יחסית בנוסף לראייתם המעולה, וההתאמות הספציפיות חשובות לאין ערוך ומסייעות לזיהוי פרטני של בן זוג וצאצאים, אפילו מבין להקות של אלפי פרטים. הדבר נכון גם לדידים של הפינגווינים ודומיהם, בקינון ההמוני שלהם - להכרזה על טריטוריה ושמיעה קפדנית של מתחרים, לחיזור אחר בת זוג, לקריאות אזהרה מפני אויבים, ולחיפוש ושמיעת טרף (במיוחד נכון לדורסי יום ולילה). למינים הגדולים יחסית של העופות (כמו עורב, פלמינגו ושקנאי) יש קולות נמוכים יחסית לציפורים הקטנות יותר, שלהן קולות גבוהים (כמו לירגזי, לעלווית ולאדום החזה), וזה ללא ספק קשור בהתאמה למידות החלקים הרוטטים שבגרונן (תהודה ספציפית). העופות משתמשים גם באפקט דופלר (שינוי תדירות הנצפית של גלי הקול או האור כתוצאה מתנועה

- 1 נקר אדום-ראש (Red headed woodpecker). לנקרים ככלל שמיעה טובה של הזחלים ודומיהם במעבה העץ, אך בעת נקירות מסיביות ותיפוף ווקאלי מאוד, מוגנים פתחי השמיעה ומוחים מהלמות מקור האזמל שלהם המוטח במהירות וברעש חזק בעץ. צילום: חיים מויאל
- 2 "שעיר ענק" (Giant scops owl). בדומה ליתר השעירים הניזונים בעיקר מחרק-לילה, שמיעתו מעולה ומותאמת היטב לשמיעת רחשיהם מקרוב. ציציות "אוזניו" לא קשורות לשמיעה אל למטרות אחרות. צילום: חיים מויאל
- 3 עיטם לבן-ראש. כיתר דורסי-הלילה שמיעתו טובה, אך משנית בלבד לראייתו המופלאה. צילום: Mathias Appel



לדוחיים רבים אין פתחי שמיעה, אלא קרום שמיעה המכונה *tympanum*, המצוי מאחורי עיניהם, וכן יש להם אוזן פנימית פרימיטיבית, עם יכולת קליטת תדרים מסוימים המסייעים להם בעיקר לאתר אויבים מקרוב, וכן לשם החיזור המאוד קרקרני שלהם. חרקים כמו עשי הכוורת הנטפלים לדבורים, עשויים להפתיע מאוד עם יכולת מרשימה של זיהוי קריאות אולטרה-סוניים של אויביהם העטלפים, וזאת הודות לחיבור ישיר בין איברי השמיעה לעצב בבטנם הרגיש לתנודות הדי הקול. חרקים מסוימים כחגבים, ציקדות ודומיהם יודעים להשמיע קולות חזקים מחרשי אוזניים בעזרת שפשוף שולי כנפיהם במהירות, ומסוגלים לשמוע תדרים מסוימים באיברי שמיעה המצויים אצל חלק מהם ברגליהם. •

ד"ר חיים מויאל חוקר באוניברסיטת ת"א, מרצה במכללת לוינסקי ותלפיות. **יצחק דוידוביץ** מנכ"ל לשעבר של מדטון הדים לפתרון בעיות שמיעה.

התדרים שונה ממין למין, וברוב המקרים שמיעתם אולטרה-סונית, אך משרעתה 1-200 קילוהרץ, ולשם קליטת התדרים שלהם ביעילות, לאחר שחזרו מן העצם שאליו נשלחו לאיתור מדויק של מה עומד לפנייהם (אקולוקציה), עומדות לרשותם גם אפרכסות גדולות ומיוחדות במינן. לפילים יכולת שמיעה מצוינת באוזני המניפה הגדולות שלהם (השמיעה טובה גם ממרחקים ארוכים, של חמישה-שישה ק"מ לפחות), אך יש להם גם יכולת לשמוע תדרים תת-קוליים לשם תקשורת, קולות שהאוזן האנושית אינה מסוגלת לשמוע.

לנחשים אין פתחי שמיעה כלל (בניגוד למרבית הזוחלים במחלקתם), והם למעשה חירשים בטווח האווירי. הם קולטים ויברציות מן הקרקע, המרעידות את גולגולתם ומועברות לאנליזה גסה במוחם (החוש המפותח ביותר בנחשים הוא כמובן חוש הריח - פרודות הריח נאספות על ידי לשונם השסועה ומוצמדות לאיבר יעקובסון שמצוי בתקרת חלל הפה, ומתורגמות היטב על ידי מערכת העצבים).



אלא יש שלוש עצמות (פטיש, סדן וארכובה), והקוכלה שלהם בצורת שבלול ולא ישרה. לפרימטים קטנים, כמו קופיפי גלאגו ולמור יש טווח שמיעה גדול פי שלושה מלאדם, ואילו נציגי החתוליים מסוגלים לשמוע קולות אולטרה-סוניים של שלל מכרסמים וחרקים, וטווח שמיעתם גדול פי ארבעה משל האדם, בדומה לשל הכלביים, אלא שיש להם יכולת משובחת יותר למיקוד גלי קול בשל אפרכסות אוזניהם הגדולות הגדושות כלי דם ומכווננות היטב בעזרת שרירים. זאת ועוד, ידוע כי לווייתנים שומעים למרחקים של קילומטרים ב"תעלות שמע" בתווך המימי המעולה שבאוקיינוסים, שלמעשה טוב שבעתיים מן האוויר, והם שומעים עד 12 אוקטבות (לעומת שמונה של האדם), ומשרעת התדרים שלהם מופלאה מ-50 הרץ בלבד ועד 200 קילוהרץ. לקרוביהם הדולפינים, מלבד המערכת הסונית המרשימה הידועה שלהם, יש פתחי אוזניים קטנים ליד עיניהם, אך הדי הקול מתועלים אליהם גם דרך מלתעותיהם ושיניהם. אצל עטלפים (שגם הם יונקים) טווח

- ① פורטרט לילית אפורה. כמו כול יתר דורסי-לילה מין זה ניחן בפרצוף שטוח, שמיעה אסימטרית, אך במיוחד ניחנה רפלקטורים המשובבים על פרצופה לתיעול גלי הקול של המכרסמים אל פתחי השמיעה הגדולים במיוחד. צילום: Bernard Spragg
- ② צחינית חרמון. כמו ליתר ציפורי-השיר שמיעתו טובה מאוד ואין ציציית "אוזניו" שלראשו קשורים לשמיעה, אלא לתקשורת. צילום: Imran Shah
- ③ זרון תכול טורף רלית לבנת-גרון. ככלל, לחושים שמיעה מפותחת להפליא, בשל פרצופם השטוח יחסית, "זר" הנוצות שמסביב לפנייהם המשמש כרפלקטור יעיל, פתחי השמיעה הגדולים שלהם, ומבנה האוזן התיכונה והפנימית. צילום: Imran Shah
- ④ ברבור מצוי. למעשה גם לברבורים ולברווזים המסננים שי שמיעה לא רעה ואוזניהם מכוסים טוב בנוצותיהם למעשה הברבורים שומעים גם קולות נמוכים. צילום: Joseph Gage