

שתל שבלול

מערכת שתל השבלול היא מערכת אלקטרו אקוסטית המהווה פריצת דרך משמעותית ביותר במאה האחרונה. שתל השבלול פותח במטרה לאפשר יכולת שמיעתית לאנשים חרשים, שאינם מפיקים תועלת ממכשירי שמיעה רגילים.

שתלי השבלול הם נכון להיום הטכנולוגיה הרפואית היחידה המאפשרת שיקום של אחד מחמשת החושים. מסיבה זו, רופאים רבים מתייחסים אל שתלי השבלול כאל "נס טכנולוגי". האלקטרודות המושתלות עוקפות את תאי השיער הפגועים בשבלול, ומעבירות גרייה חשמלית ישירות לשארית סיבי עצב השמע של החרש. על מנת לאפשר שמיעה.

(Mcklenburg & Brimacombe 1985, Pariser & Chute 1991)

השתל מיועד לילדים ומבוגרים הסובלים מחרשות, ולרוב מאפשר למשתמשים בו לשמוע, להבין דיבור בסביבות שקטות ואף יותר מכך. הודות להתקדמות הטכנולוגית הרבה בתחום, מושתלי שתל השבלול של היום יכולים להנות משמיעה מלאה יותר ואיכותית יותר ויותר. כשם שתחילת הדרך (שנות ה-80), המטרה הייתה שמיעה ושיפור הבנת דיבור כתוספת לקריאת השפתיים, היום המחקרים בודקים הבנת דיבור באמצעות השתל בסביבות רועשות, הנאה ממוזיקה, שיחות בטלפון ועוד...

מועמדים לשתל –

1. ילדים מגיל 12 חודשים (למעט מקרים מיוחדים כמו דלקת קרום המוח ו-CMV) ועד גיל 17 שנים, שאיבדו את שמיעתם או שנולדו עם לקות שמיעה חמורה עד עמוקה בשתי האוזניים, ואינם מקבלים תמורה מספקת ממכשירי שמיעה. או במילים אחרות – מכשירי השמיעה, אינם מאפשרים שמיעת דיבור מספקת, ולכן בנוסף למרכיב של השבת יכולת השמיעה והיכולת לתקשר עם הסביבה הקיים אצל מושתלים מבוגרים, ישנה השפעה מיידית גם על רכישת השפה והדיבור אצל הילדים, כמו גם על ההתפתחות האקדמית, ועוד.
2. מבוגרים מעל גיל 18 שנים, שאיבדו את שמיעתם לאחר שלב רכישת השפה, או ששמיעתם ירדה בהדרגה. בשתי האוזניים, הסובלים מליקוי שמיעתי חמור עד עמוק, ותוצאות הבחנת הדיבור עם מכשירי שמיעה אינם עולים על 50% (זיהוי משפטים בסביבה שקטה ובסט פתוח).
3. במדינת ישראל כל מועמד זכאי לשתל שבלול באחת האוזניים, ובמקרים מיוחדים – גם באוזן השנייה. ישנן מדינות בעולם, שכלל (כמו אנגליה), כל ילד עד גיל 17 שנים המועמד לניתוח שתל השבלול זכאי מיידית (אם הנתונים מאפשרים) להשתלה דו צידית של שתי האוזניים.

(Bond et al 2009, Summerfield et al 2009, NICE 2008, Summerfield et al 2002, Shipgood et al 2009, Garadat & Litovsky 2005)

בנוסף לקריטריונים למועמדות כפי שהוגדרו ב"חוק", ישנם גורמים נוספים המשפיעים על ההצלחה עם שתל השבלול, ובטרם קבלת ההחלטות – לוקחים בחשבון גם נתונים אלו.

האבחון ובדיקת המועמדות לניתוח שתל השבלול (או שניים = דו צידי) נעשים במרכזי ההשתלות, על ידי צוות רב תחומי, הכולל מנתח/ת א.א.ג., קלינאי תקשורת – שמיעה ודיבור, פסיכולוג/ית ועובד/ת סוציאלי/ת.

נלקחים בחשבון נתונים כגון:

1. מצב רפואי כללי – האם אפשר וניתן לנתח!?
 2. בעיות רפואיות ו/או התפתחותיות נוספות.
 3. מצב אנטומי ותפקודי של מערכת השמיעה (מצב אוזן תיכונה, מבנה השבלול, מצב המערכת הוטיבולרית, סימנים לשאריות סיבי עצב השמיעה, ועוד....
 4. תמיכה של הסביבה, ובעיקר ההורים, ובמקרה של מבוגרים או מתבגרים – המוטיבציה לניתוח.
 5. שימוש במכשירי שמיעה, והתרומה ממכשירי השמיעה.
 6. גיל התחלת החרשות, סיבת החרשות, מספר השנים שעברו מאז אבדן השמיעה ועד לניתוח השתל, גיל בעת הניתוח, ועוד נתונים אישיים נוספים.
- הצוות במרכז ההשתלות יערוך סדרה של בדיקות ושאלונים, ובמקרה של עוללים ותינוקות – יעזר רבות בהורים ובצוות החינוכי המלווה את המועמד/ת.

השתל המסחרי הראשון הוצג באופן רשמי ומסחרי, בשנות השמונים. מאז ועד היום טכנולוגית שתל השבלול התפתחה רבות. אך המחקר בנושא החל כבר לפני שנים רבות – כשאלכסנדר וולטה, ניסה להשיג תחושת שמיעה על ידי החדרה לאוזניו בדידים מטאליים, וחיברם למעגל חשמלי שהכיל 30-40 תאים אלקטרוליטיים שפיתח. וולטה דיווח על תחושת רעש הדומה למים רותחים.

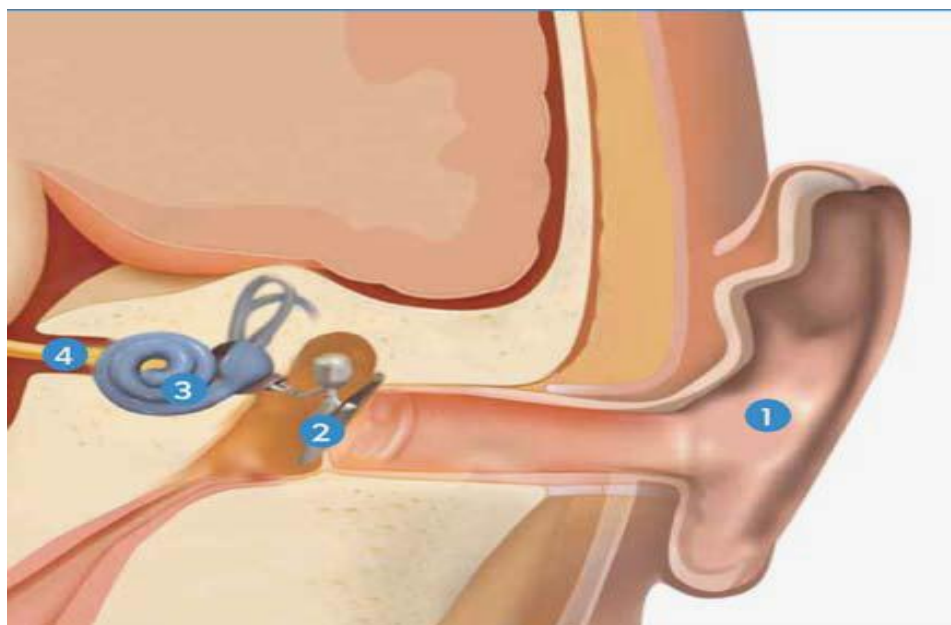
מאז נעשו ניסיונות עם שתלים מסוגים רבים, השונים זה מזה בתכונות רבות, הקשורות לדרך בה מועבר המידע השמיעתי אל עצב השמיעה, לדוגמא – מיקום האלקטרודות המגרות, מספרן, הקישור שבין החלקים החיצוניים לחלקים המושתלים, שיטות העיבוד של צלילי הסביבה, ועוד... על מנת להבין כיצד עובדת מערכת שתל השבלול ננסה בהמשך לפרט את התכונות השונות של מערכת שתל השבלול.

אך על מנת להבין כיצד פועלת מערכת שתל השבלול, יש להבין ראשית את תהליך השמיעה התקינה, ומהו ליקוי שמיעתי:

תהליך השמיעה התקינה

1. אוזן החיצונית קולטת את צלילי הסביבה המועברים דרך האוויר אל תעלת השמע.
2. גלי הקול מניעים את עור התוף ואת שלושת העצמות הקטנות (הפטיש, הסדן והארכובה) שבאוזן התיכונה פנימה והחוצה. תנועתיות זו מניעה ממברנה המחוברת לקצה הפנימי של שרשרת העצמות, ומהווה את החיבור לאוזן הפנימית.

3. באוזן הפנימית – תנועתיות הממברנה מניעה את הנוזל ואת תאי השיער הממוקמים לאורך השבלול, תנועת תאי השיער מותמרת לפוטנציאלים חשמליים ופולסים חשמליים מועברים לסיבי עצב השמיעה המתחברים לשבלול לאורך הציר הפנימי.
4. עצב השמיעה מעביר את הסיגנל החשמלי אל המוח, אל מרכז השמיעה, שם המידע מתורגם לצלילים.



ליקוי שמיעתי

ליקוי שמיעה הינו תוצאה של פגיעה באחד או יותר מחלקי מערכת עדינה ומורכבת זו.

נהוג לחלק ליקוי שמיעתי לשלוש קטגוריות עיקריות:

1. ליקוי הולכתי – הכולל הפרעה באחד השלבים שבדרך אל האוזן הפנימית.
2. ליקוי תחושתי עצבי (סנסורי-נוירלי) – כשההפרעה היא בשבלול או בעצב השמיעה בדרכו אל מרכז השמיעה.
3. ליקוי שמיעה מרכזי – בקליטת המידע המועבר מסיבי עצב השמיעה למרכז השמיעה שבקליפת המוח (קורטקס).

ליקוי הולכתי = הפרעה באוזן החיצונית, או באוזן התיכונה.



סיבות אפשריות:

1. חסימת התעלה "פקק צרומן" (שעווה), או גוף זר.
2. מבנה אנטומי לא תקין – כמו לדוגמא העדר או חסימה של תעלת השמע החיצונית.
3. קרע בעור התוף.
4. דלקת אוזן חיצונית או תיכונה.
5. נתק או הסתיידות בשרשרת עצמות השמע.

ליקוי תחושתי עצבי =



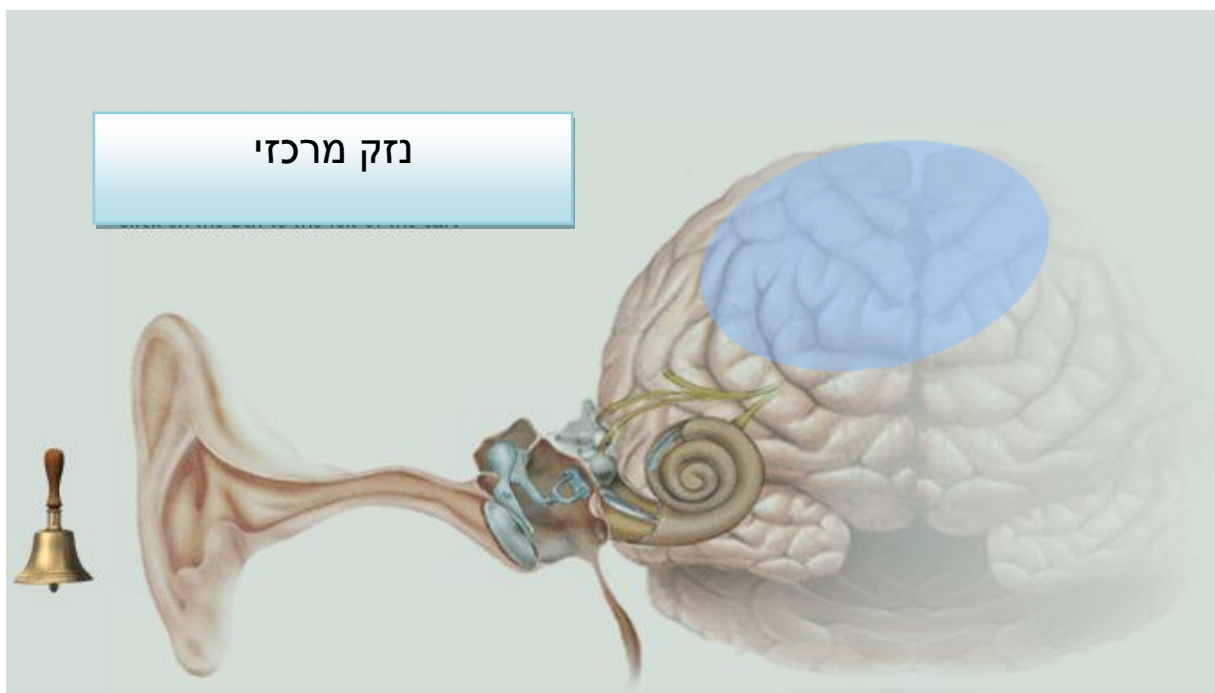
1. ליקוי תחושתי = נגרם עקב נזק לתאי החישה בשבלול.
 2. ליקוי עצבי = פירוש נזק או הפרעה בסיבי עצב השמיעה היוצאים מהשבלול ומעבירים את המידע דרך התחנות השונות בגזע המוח אל המרכז השמיעתי בקליפת המוח.
- במרבית המקרים אם לא בכולם – ליקוי תחושתי אינו רק תחושתי ולהיפך. ולכן ההגדרה היא על פי מוקד הבעיה, או כללית.

סיבות אפשריות לליקוי תחושת – עצבי:

1. תורשה, גנטיקה
 2. חשיפה לרעש.
 3. ליקוי שמיעתי עם הגיל.
 4. הפרעה מולדת (קונגניטלי).
 5. תרופות/ טיפולים.
 6. חבלת ראש.
 7. מנייר ומחלות נוספות הפוגעות בשמיעה.
- ועוד סיבות רבות אחרות.

נזק מרכזי

הפרעה במרכז השמיעה במוח, זוהי הפרעה שבה הצלילים מגיעים דרך סיבי עצב השמיעה אל המוח, אך פעולת הפענוח של הסיגנלים לשמיעה פגועה.



ההגדרה התפקודית של ליקוי שמיעתי:

פגיעה ביכולת לשמוע צלילים. כאשר מבחינת עוצמת סף שמיעה, שמיעה עד **20dBHL** נחשבת לשמיעה בתחום הנורמה.

בנוכחות ליקוי שמיעתי נצפה קושי בקליטת מידע באמצעות הערוץ השמיעתי, ו/או קושי בהבנת דיבור ויצירת תקשורת יעילה עם הסביבה.

בדיקות השמיעה לבדיקת הליקוי השמיעתי

כוללות בדיקות אובייקטיביות שאינן דורשות שיתוף פעולה של הנבדק/ת, ובדיקות סובייקטיביות הדורשות תגובה של הנבדק/ת. הבדיקות בודקות את האפיונים השונים, והסוגים השונים של הליקוי השמיעתי.

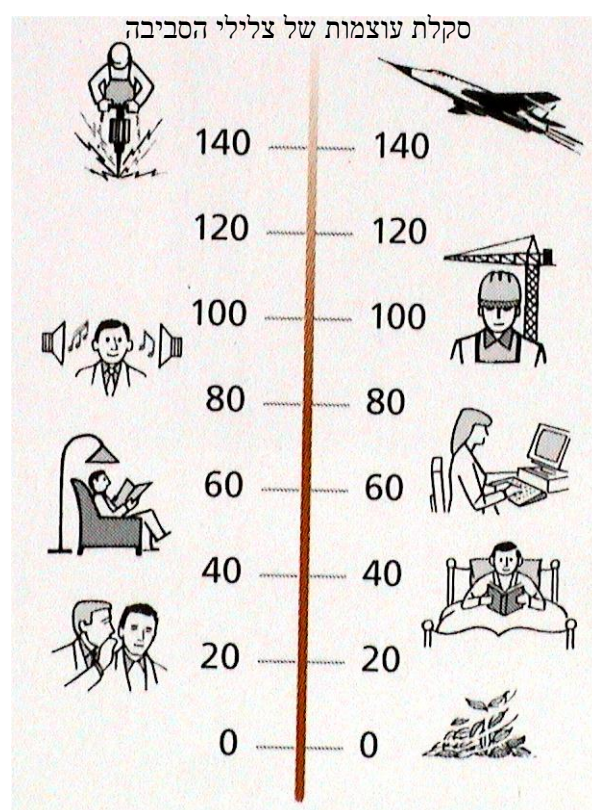
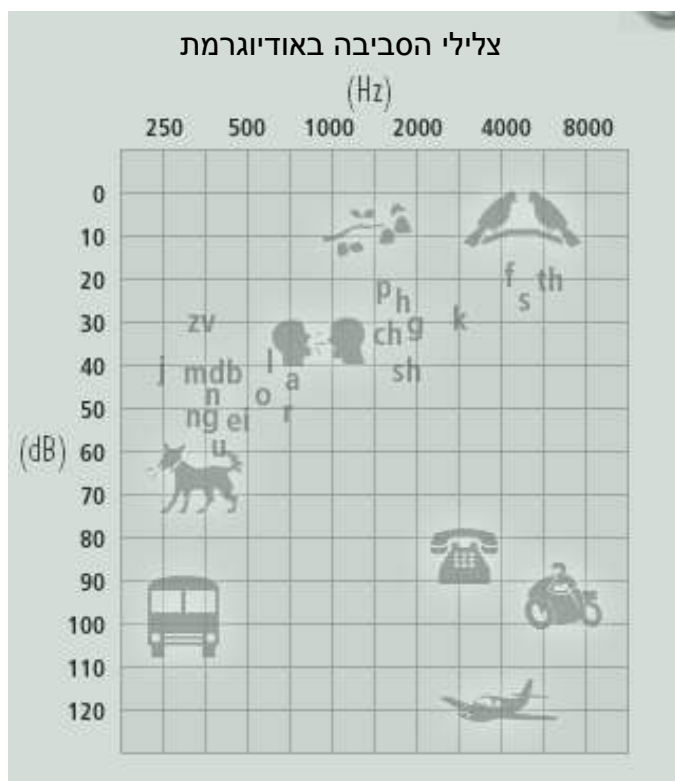
בדיקות סובייקטיביות – הדורשות תגובה מהנבדק כוללות בדיקת סף לצלילים - בהולכת אוויר, ובהולכת עצם = אודיוגרמה. בדיקת סף לדיבור (מילים), ובדיקת אחוזי הבנת דיבור בסביבה שקטה ונוכחות רעש.

בדיקות אובייקטיביות - שאינן דורשות שיתוף פעולה של הנבדק כוללות בדיקת טימפנומטריה, בדיקת הרפלקס האקוסטי, בדיקת ABR, (תגובות מהתחנות השונות של עצב השמיעה בגזע המוח- בדרכו מהשבול אל מרכז השמיעה) ובדיקת הדים קוכלארים = OAE.

ליקוי שמיעתי וצלילי הסביבה

צלילי הסביבה להם אנו נחשפים רבים

ושונים זה מזה בעוצמתם ובתדירויות מהן הם מורכבים. סקלת העוצמות (באודיוגרמה = הציר האנכי) נמדדת ביחידות של דציבל, וסקלת התדירויות (הציר האופקי באודיוגרמה) ביחידות של הרץ.



חומרת ליקוי שמיעתי מוגדרת על פי עוצמת סף השמיעה בצלילים השונים:

0-20dB = שמיעה תקינה

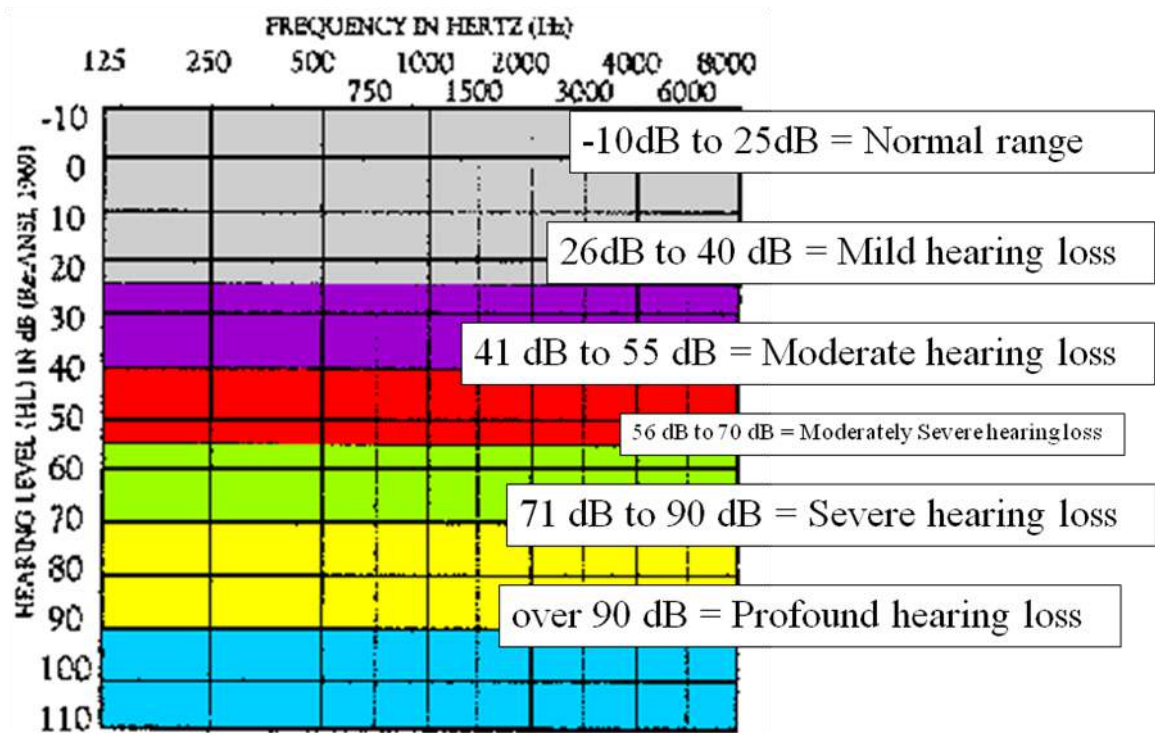
21-40dB = ירידה קלה בשמיעה

41-70dB = ירידה בינונית בשמיעה

71-90dB = ירידה חמורה בשמיעה

+91dB = ירידה עמוקה בשמיעה

אם כי ישנם כאלו שמחלקים את החומרה מעט אחרת, לדוגמא:

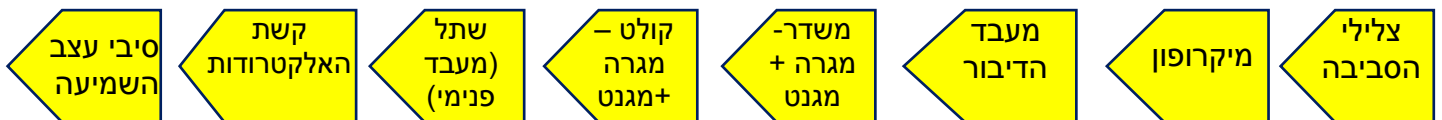


מועמדים לשתל השבלול – שייכים לשתי הקבוצות האחרונות, עם ליקוי שמיעתי חמור עד עמוק,

כאשר מכשירי השמיעה אינם תורמים מספיק לשמיעת והבנת דיבור. אם בשל הליקוי החמור מאוד,

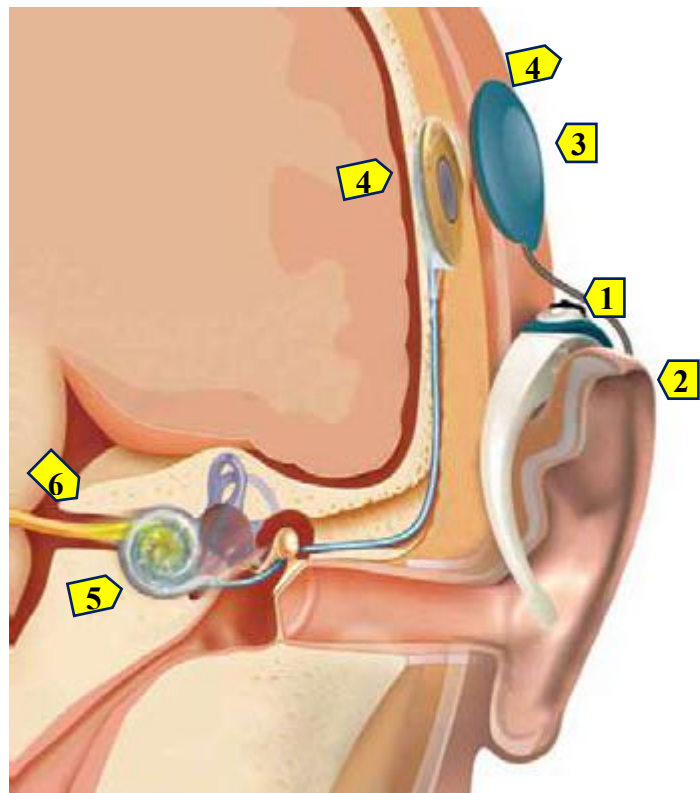
ואם בשל תוצאות נמוכות מאוד בבדיקות שמיעת והבנת הדיבור.

מערכת שתל השבלול מורכבת מחלקים פנימיים, אשר מושתלים כירורגית, וחלקים חיצוניים הנישאים על האוזן ו/או על הגוף. בחלקים החיצוניים, מעבד הדיבור אוסף את הצלילים באמצעות המיקרופון, מעבד אותם למידע דיגיטלי, המשודר באמצעות יחידת הראש (באמצעות משדר-מגרה) אל השתל הפנימי, אל הקולט-מגרה, המעביר את המידע אל המעבד הפנימי ומשם דרך האלקטרודות אל סיבי עצב השמיעה. החלקים החיצוניים והחלקים המושתלים נצמדים זה אל זה דרך העור על ידי מגנטים הנמצאים בשני הצדדים.



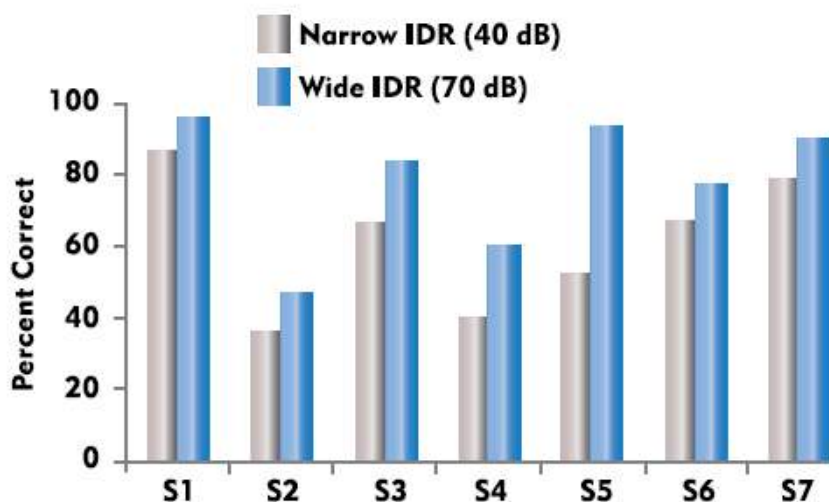
שמיעה באמצעות מערכת שתל השבלול:

1. המיקרופון במעבד הדיבור קולט את הצלילים.
2. מעבד הדיבור מעבד את הצלילים, למידע דיגיטלי מפורט.
3. יחידת הראש, יושבת על הראש באמצעות מגנט הנמצא בתוכה וכן בחלק המושתל, ומשדרת את המידע הדיגיטלי אל השתל.
4. השתל ממיר את המידע הדיגיטלי לאותות חשמליים,
5. והאלקטרודות שולחות את האותות החשמליים אל עצב השמיעה.
6. עצב השמיעה מעביר את המידע אל המוח, לפענוחו כתחושת שמיעה של צלילים.



המיקרופון:

המיקרופון, כמו במכשירי שמיעה, קולט את צלילי הסביבה ומעבירם אל המעבד לעיבוד וקידוד. ככל שהמיקרופון יעתיק את הסיגנל באופן מדויק ומלא יותר, כך תתאפשר העתקה מדויקת יותר. במכשירי שמיעה הקידמה והטכנולוגיה הובילו עם השנים לשיפור באיכות המיקרופונים, והמיקרופונים במכשירי השמיעה קולטים את כל צלילי הסביבה בעוצמות השונות ומעבירים אותם למעבד כאשר העוצמות החזקות מאוד כמובן נדחסות בהתאם לרמת אי הנוחות של המשתמש. בעבר, כאשר החוקרים סברו כי האוזן הפגועה לא תוכל להסתדר עם כל המידע, היו מערכות שהעבירו רק חלקים מהסיגנל, וכך גם לגבי תחום העוצמות של צלילי הסביבה שהמיקרופון קלט והעביר אל המעבד. מחקרים מהעשור האחרון הראו כי ככל שההעתקה מדויקת יותר ומלאה יותר, כך נצפה שיפור בהבנת דיבור ושמיעה מלאה ואיכותית יותר למושתלים בחיי היום יום. תוצאות המחקרים הראו שהרחבת התחום הדינמי מ-30 דציבל ל-60 דציבל הובילה לשיפור משמעותי בהבנת דיבור בחיי יום יום, שמיעה מלאה יותר ובעיקר בסביבות רועשות. (Spahr & Dorman 2007, Khajehnouri et al 2007) מחקר עצמאי (שלא נערך מטעם חברת שתלים מסוימת) נוסף הוא המחקר של Wolfe & Mears שפורסם בשנת 2008:



AzBio sentence recognition scores for 7 adult CI Users when speech was presented at a low level using narrow (40 dB) and wide (70 dB) IDRs. All listeners understood soft speech better with the wide IDR than with a narrow IDR.

תחום צלילי הסביבה שהמיקרופון קולט = Input Dynamic Range (IDR), שונה מחברה לחברה, אך ישנה נטייה בחברות הקיימות היום להרחבת תחום זה כך שיינתן ייצוג מלא של כל צלילי הסביבה.



המטרה העיקרית של מערכת שתל השבלול, כמו גם במכשירי השמיעה, היא לאפשר הבנת דיבור טובה ככל שניתן בסביבות השונות, וגם בסביבות רועשות. על מנת לעזור למשתמש במכשיר השמיעה או במערכת שתל השבלול, המערכות נעזרות בשיטות רבות ושונות להגברת סיגנל הדיבור והנחתת הרעש הסביבתי. ישנן מערכות הנעזרות ב**מערכת מיקרופונים כיוונית**, המיקרופון הקדמי מגביר את הדיבור הבא מלפנים והמיקרופון האחורי מאפשר הנחתה של הרעשים הבאים מאחור. יש המשתמשים ב**המיקרופון זוויתי** הממוקם בפתח תעלת השמע (T-Mic) לשמיעה טבעית עם השפעת האפרכסת להנחתת רעשי הסביבה והגברת סיגנל הדיבור הבא מלפנים.

מעבד הדיבור:

מעבד הדיבור קולט את צילי הסביבה מהמיקרופון, ומעבד אותם כך שניתן יהיה להעבירם אל החלק המושלם ובסופו של דבר אל האלקטרודות כפולסים חשמליים. המטרה היא לאפשר העתקה מדויקת ככל שניתן ושימור הסיגנל בכל השלבים בשלושת המימדים – על ציר הזמן, לאורך התדירויות, ובכל עוצמות הסיגנל השונות. לשם כך על המעבד להיות מתקדם מהיר ומדויק.

בציר הזמן – עם השנים, אנו רואים שיפור משמעותי בקצב הדגימה וכן בקצב הגרייה, שיפור המאפשר העתקה מדויקת יותר, אך גם תגובה טבעית יותר של סיבי עצב השמיעה, הרגילים לגרייה מהירה, ומחקרים מראים כי על מנת להשיג תגובה טבעית יותר של סיבי עצב השמיעה יש צורך בקצב גרייה של 2500 פולסים בשנייה או יותר לאלקטרודה.

(Frijns et al. 2002 ,Zeng et al.2000 Loizou et al. 2000, Rubenstein et al. 1999)



על ציר התדירויות: ככל שנעתיק את ספקטרום התדירויות במדויק יותר (חלוקה ליותר ערוצי תדירויות),



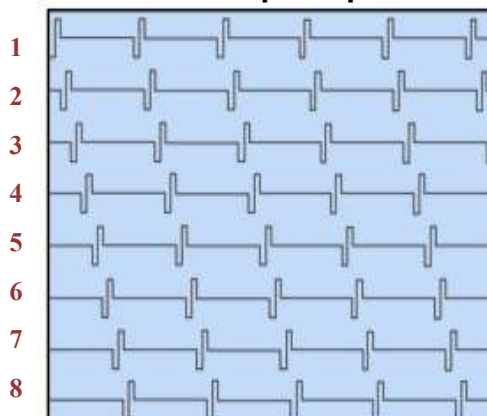
תוך שמירה על הפרטים הקטנים של הסיגנל יחד עם המעטפת שלו, כך השמיעה תהיה איכותית יותר, ומלאה יותר, וכך הבנת הדיבור בסביבות השונות תהיה טובה יותר. מספר ערוצי התדירויות הנבחר לגרייה תלוי בגורמים רבים כמו

קצב הגרייה ומספר מקורות הזרם (מקור זרם הינו כמין מנוע להפעלת האלקטרודות, ובמקרה בו ישנו מקור זרם אחד בלבד – בכל רגע נתון, אותו מקור זרם פנוי לגרות אלקטרודה אחת בלבד). אם הקצב

איטי, על מנת לא לאבד מידע על ציר הזמן המערכת צריכה לצמצם את מספר הערוצים המגורים בכל סבב של גרייה. שכן בגרייה עוקבת, אם לדוגמא יש 20 אלקטרודות שיש לגרות, בכל שלב של גרייה המערכת עוברת על כל האלקטרודות מהראשונה ועד אלקטרודה מספר 20, ורק לאחר סבב שלם היא חוזרת שוב לאלקטרודה הראשונה. על מנת לא לאבד מידע רב מידי על ציר הזמן - מערכות איטיות יעדיפו לצמצם את הסבב ולבחור לדוגמא רק 10 אלקטרודות לגרייה בכל סבב. המערכת תבחר את האלקטרודות בהן יש את מירב הגרייה.

אסטרטית CIS – עוקבת בקצב איטי

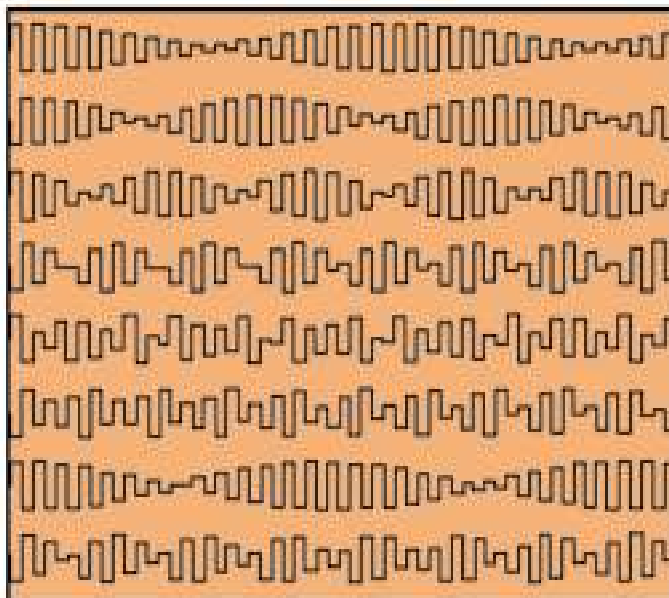
אלקטרודה מס.



אפשרות נוספת הינה להגדיל את קצב הגרייה באופן משמעותי, לאפשר לסיבי עצב השמיעה לעבוד באופן טבעי ואיכותי יותר, ובו בזמן לאפשר גרייה בכל הערוצים מבלי לאבד מידע לא בתחום התדירויות ולא על ציר הזמן. דוגמא לאפשרות זו הינה אסטרטגיית העיבוד HiRes. 90k של חברת

: AB

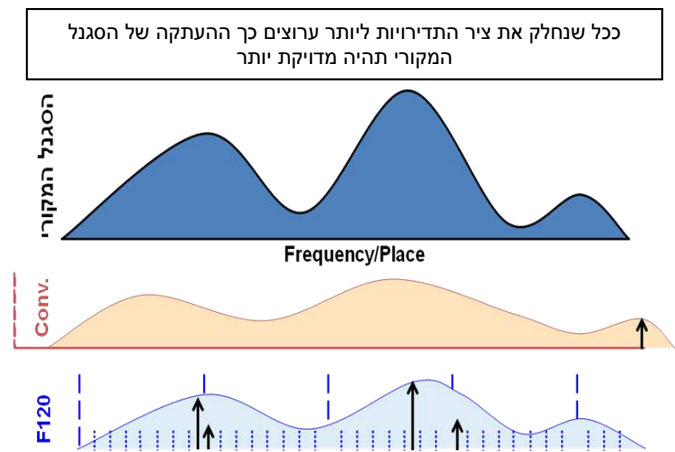
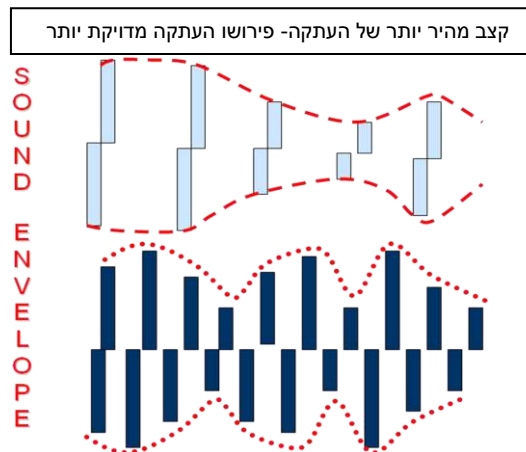
אסטרטית HiRes.90k – עוקבת מהירה



מעטפת הסיגנל:

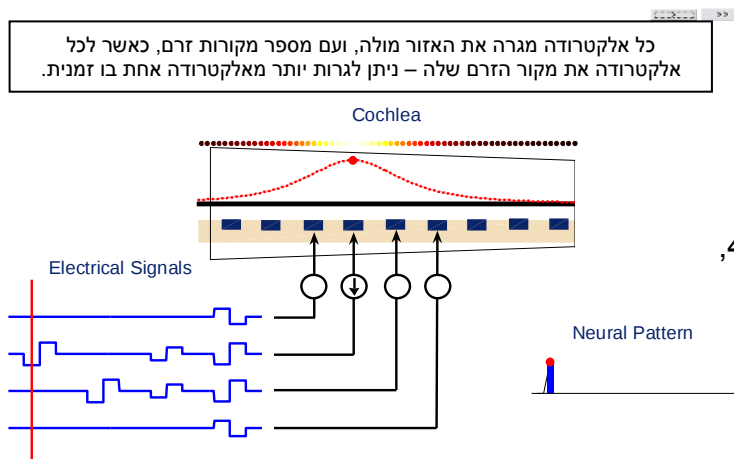
במערכות השתל הקיימות היום הגרייה היא לרוב באמצעות פולסים דו קוטביים שווים, אם כי ישנם מחקרים הבודקים אפשרות לגירויים שונים. רמת הפולסים נקבעת על פי רמת הסיגנל, אך דגם

הגרייה אינו מעתיק בהכרח את מעטפת הסיגנל. המעטפת של הסיגנל מעבירה מידע על שינויי העוצמות ושינויי התדירויות עם הזמן: בדוגמא הבאה אנו רואים העתקה של אותו סיגנל בשתי מערכות בעלות קצב דגימה שונה. ככל שהקצב מהיר יותר ההעתקה תהיה מדויקת יותר.



ערוצים וירטואליים:

ההתקדמות הטכנולוגית במערכות השתלים הקיימות היום בשוק, מאפשרת גרייה של מספר ערוצים רב, שאינו בהכרח שווה למספר האלקטרודות המיוחדות לשבול. מספר הערוצים מייצג את החלוקה לתדירויות לאורך השבול, והייצוג של אותן תדירויות באמצעות מערכת השתל. לאחר מחקרים רבים בנושא, יצאה חברת AB עם אסטרטגית 120 הערוצים (וירטואליים), אסטרטגית 120 הערוצים (HiRes. Fidelity 120) מתאפשרת הודות לעצמאות המלאה של האלקטרודות, כשלכל אלקטרודה מקור זרם משלה בחלק המושלם. מקור זרם לכל אלקטרודה מאפשר גרייה סימולטנית של יותר מאלקטרודה אחת בו זמנית, שתיים, ארבע, או כולן. באסטרטגית 120 הערוצים כמות הזרם המיועדת לאזור תדירות מסוים מנותבת בין שתי האלקטרודות הקרובות לאזור תדירות זה, וכך תחום התדירויות בין כל זוג אלקטרודות מחולק לשמונה תחומי תדירויות מדויקים יותר. לדוגמה אם התדירות נמצאת במרכז בין אלקטרודה מספר 4 לאלקטרודה מספר 5, כמות הזרם תחולק בין האלקטרודות הללו, כך שמחציתו תשלח לאלקטרודה 4 ובו זמנית מחצית שנייה של הזרם תשלח לאלקטרודה 5. גרייה בו זמנית של שתי האלקטרודות



תגרום לגרייה של התדירויות במרכז

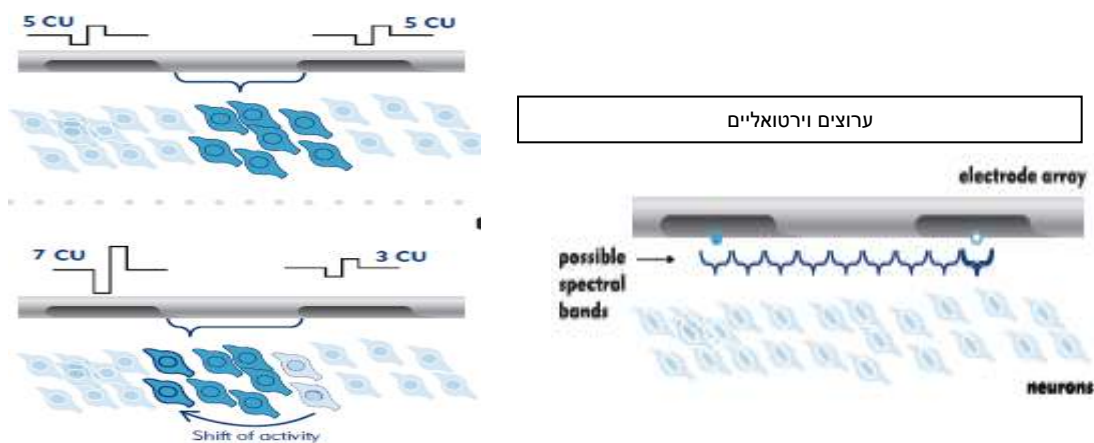
הרווח שבין שתי אלקטרודות אלו.

ואם התדירות קרובה יותר לאלקטרודה 4

– הזרם יחולק בהתאם,

לדוגמא 75% מהזרם ישלח לאלקטרודה 4,

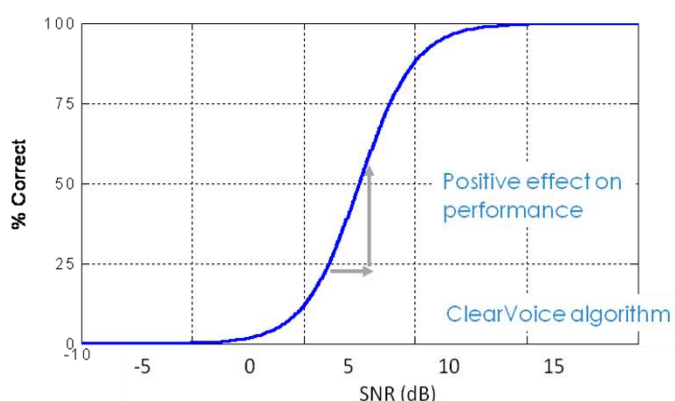
ו-25% מהזרם ישלח לאלקטרודה 5.



הבחירה של חברת AB לחלק את ציר התדירויות ל-120, נובעת ממחקרים שבדקו יכולות של מושתלים להבחין בין תחומי התדירויות השונים, וכיוון שהממוצע היה 120 תחומי תדירויות – החברה בחרה בחלוקה זו.

הנחתת רעשים: מחקרים רבים מדווחים על הצורך ביחס דיבור לרעש טוב יותר בנוכחות ליקוי שמיעתי, וכך גם במקרה של שתל השבלול. מכשירי שמיעה דיגיטליים וכן מערכות שתלי השבלול

לשמיעה טובה יותר גם בסביבות רועשות,



משתדלות לשפר ככל שניתן יחס זה, על מנת לאפשר למשתמש שיפור משמעותי בהבנת דיבור בסביבות רועשות. החברות השונות משתמשות בטכנולוגיות שונות להנחתת רעשי סביבה, אם באמצעות מיקרופונים כיוונים או מיקרופון הממוקם בתעלה,

ואם על ידי עיבוד הצלילים באופן שהמערכת מזהה רעשים ומנחיתה אותם. ישנן מערכות המזהות רעשי סביבה ומנחיתות את ההגברה בערוצים בהם הרעש שולט, חברת AB יצאה לאחרונה עם טכנולוגיה חדישה בשם **Clear-Voice** המזהה נוכחות דיבור, ונוכחות רעש ב-120 הערוצים, בודקת את יחס הדיבור לרעש בכל אחד מהערוצים, ומנחיתה את הרעש לרמה הנמוכה יותר מהדיבור. ישנן ארבע אפשרויות בחירה בעת המיפוי של יחס דיבור לרעש: ללא הנחתת רעשים, זיהוי דיבור והנחתת הרעש ל-6+ דציבל לטובת הדיבור, 12+ דציבל לטובת הדיבור, ו-18+ דציבל.



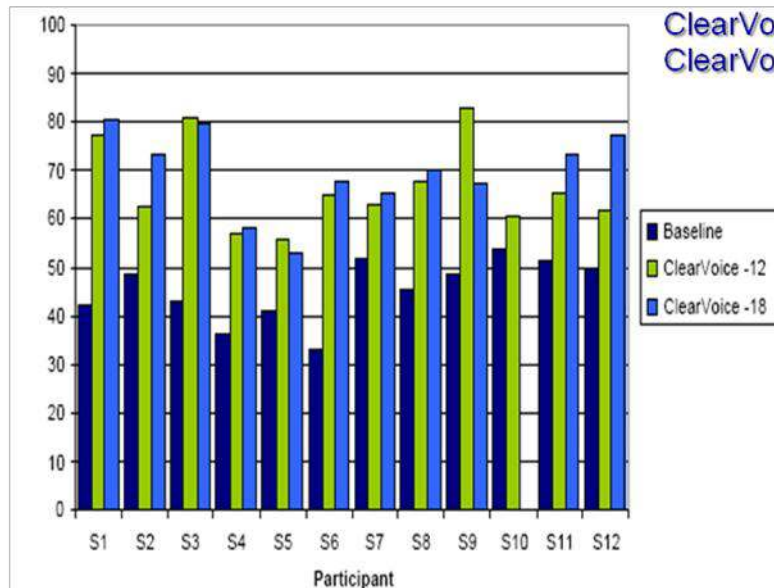
The ClearVoice™ Speech Enhancement Algorithm

Andreas Büchner, Sabine Haumann, Thomas Lenarz
Medical University of Hannover, Germany

- נתונים מ-MHH
- 12 משתמשים מנוסים (בממוצע השתמשו 1.7 שנים בשתל).
- בדקו - HSM in noise with clinical program
 - 65 dB SPL=Speech
 - Signal to noise ratio individually established (approx. 50% correct)
- נתנו שתי תוכניות CV (-12 and -18 dB)
 - Changes in volume control were allowed
 - A few minutes to get used to the programs
 - Repetition of HSM test with both ClearVoice programs
- כל הנבדקים "נהנו" מתוכניות ה-CV.
 - למרות שלא קיבלו זמן רב להסתגלות.

ממוצעים בקבוצות השונות:

- Baseline: 45.4%
- ClearVoice -12 dB: 66.6%
- ClearVoice -18 dB: 69.5%



החלקים הפנימיים (המושגים):



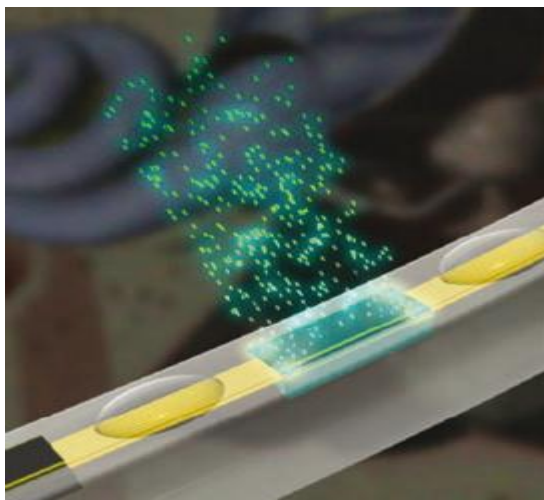
החלקים המושגים כוללים מעבד פנימי, קולט מגרה - הקולט את המידע מהחלקים החיצוניים באמצעות טבעת השידור, המגנט (אם כי בעבר היו דרכים נוספות לחיבור בין החלקים החיצוניים לפנימיים), קשת האלקטרודות אשר מעבירה את הסיגנל החשמלי לעצב, ואלקטרודות הארקה (ייחוס).

המעבד הפנימי - הוא החלק הגדול מבין החלקים המושגים, הוא ממוקם באופן כירורגי בין עצם הגולגולת לעור, מאחורי האפרכסת. בצמוד אליו נמצא המגנט אשר נצמד למגנט חיצוני המהווה חלק מהחלקים החיצוניים של המערכת. וטבעת השידור - הקולט מגרה (האנטנה) אשר קולטת את הסיגנל המגיע מהחלקים החיצוניים ממוקמת גם היא בצמוד למעבד הפנימי. מרבית השתלים היום משתמשים ב"אריזת" סיליקון וטיטניום אשר הוכחו כעמידים, מאפשרים פרופיל דק, ומינימום של תגובות אלרגיות ודחייה. כל השתלים היום הינם שתלים רב ערוצים, כלומר - השתל מעביר מידע המחולק למספר תחומי תדירויות דרך מספר אלקטרודות הממוקמות לאורך קשת המוחדרת אל תוך השבלול.

המערכות הקיימות היום שונות זו מזו במספר האלקטרודות, במיקום אלקטרודת הייחוס, במספר הערוצים (שאינו בהכרח שווה למספר האלקטרודות, ראה הסבר בהמשך), במספר מקורות הזרם המפעילים את האלקטרודות, בקצב הגרייה ואופן הגרייה ועוד טכנולוגיות רבות הייחודיות לכל חברה וחברה.

אנו ננסה לפרט על התכונות השונות, ולהסביר מעט על תפקידן:

1. **אלקטרודות** - האלקטרודות שונות בין החברות במבנה, במספר האלקטרודות וכן במיקום אלקטרודת הייחוס. מבנה האלקטרודות יכול להיות מעוגל, טבעתי או מלבני. כאשר יש חשיבות



למבנה בהתאם לשיטת הגרייה. כך לדוגמה אם מרוצים גרייה סימולטנית או סימולטנית בחלקה, או גרייה על ידי ערוצים וירטואליים (בחלוקת תחום התדירויות ל 120 ערוצים) ישנה חשיבות רבה לדיוק בגרייה ולכן בחברת AB האלקטרודות הן מלבניות ושטוחות, פונות לכיוון סיבי עצב השמיעה ועם מחיצות דיאלקטריות ביניהן. אם הגרייה הינה עוקבת בלבד (כלומר - בכל רגע נתון מגורה אלקטרודה אחת בלבד בתוך השבלול, הצורך בדיוק רב והחשש

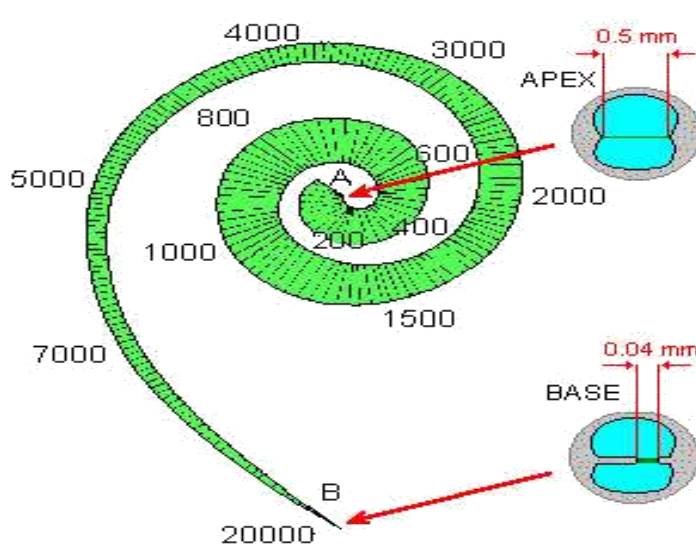
מהשפעה על "אזורים שכנים" פוחתים ואז ניתן להשתמש במגעים מעוגלים או טבעתיים.

2. **אלקטרודת הייחוס** – כיוון שמדובר בזרם חשמלי, זרם עובר בין שני מגעים. ישנה האלקטרודה המגורה וישנה אלקטרודת הייחוס. הגרייה יכולה להיות **ביפולרית** (דו-קוטבית), כאשר אז הכוונה היא ששתי האלקטרודות- המגורה והייחוס נמצאות בתוך השבלול. או **מונפולרית** –



כאשר האלקטרודה המגורה נמצאת בתוך השבלול ואלקטרודת הייחוס נמצאת מחוץ לשבלול. אלקטרודת הייחוס יכולה להיות על הקשת הראשית, באזור המעבד הפנימי, או על "זנב" נפרד.

3. **האלקטרודות המוחדרות אל תוך השבלול – מסודרות על קשת**, כאשר האלקטרודות



הפנימיות מגרות בתדירויות הנמוכות, בדומה לארגון הטונו טופי של השבלול, ולצורת הגרייה הטבעית של השעריות בשבלול. והאלקטרודות החיצוניות יותר מגרות בתדירויות הגבוהות יותר. השתלים הקיימים היום מנסים לשמר ככל שניתן את המבנים הפנימיים של השבלול, ולאפשר החדרת קשת האלקטרודות עם מינימום פגיעה

בשבלול(קשת עם קצה פנימי רך, וקוטר הנעשה דק יותר ככל שהקשת נכנסת פנימה יותר. הקשת מוחדרת בין סיבוב אחד לשני סיבובים של השבלול (כ- סיבוב וחצי) אל תוך החלק הנקרא סקלה טימפני. הקשת יכולה להיות ישרה, מעוגלת מעט או מעוגלת מאוד. אלקטרודה ישרה נוחה למנתחים בהחדרתה, אך פחות חובקת את הציר המרכזי של השבלול (המודיולוס) שם ממוקמים סיבי עצב השמיעה, אליהם נשלחת הגרייה. קשת אלקטרודות מעוגלת תחבוק יותר את הציר המרכזי ותהיה קרובה יותר לסיבי עצב השמיעה, אך קשה יותר להחדרה, ודורשת כלי החדרה מיוחד ליישור הקשת. לחברות השונות – סוגי אלקטרודות שונות, וכלי החדרה

שונים. כך למשל חברת AB מציעה למנתחים בחירה בין שתי אפשרויות של אלקטרודות וכלי החדרה, כשהאלקטרודות הן זהות אך הקשת האחת מעוגלת ודורשת כל החדרת מיוחד המישר את הקשת. ואפשרות שנייה של קשת אלקטרודות ישרה יחסים (עם התעגלות קלה בקצה החיצוני). אותה ניתן להחדיר עם כלי החדרה קל וידידותי, או בלעדיו.

4. **מקורות זרם:** כפי שכבר הוזכר מעלה, באלקטרוניקה של השתל יש מקור זרם אחד לפחות, לשליחת הזרם אל האלקטרודה לגרייה של סיבי העצב. כאשר יש רק מקור זרם אחד – המערכת יכולה לגרות רק אלקטרודה אחת בכל רגע נתון. על מנת להפעיל מספר אלקטרודות בו זמנית, יש צורך במספר מקורות זרם בתוך החלק המושל. מספר אזורי הגרייה בכל רגע נתון, כמו גם קצב הגרייה תלויים במספר מקורות הזרם הפעילים.

5. **המשתל:** החלק המושל הכולל את האלקטרוניקה, המגנט הפנימי והקולט-מגרה (האנטנה). מרבית השתלים הקיימים היום עשויים מציפוי של סיליקון וטיטניום. חומרים אלו הוכחו כעמידים יותר, ומאפשרים שתל בעל פרופיל דק יותר. ככל שהשתל הפנימי ("המחשב" הפנימי) יעבוד מהר יותר ומדויק יותר ברמות ההעתקה(ביטים) והרצים במונחים העתקה דיגיטלית) – כך תתאפשר העתקת צלילי סביבה מדויקת יותר. חלק זה מושל בין עור הקרקפת ועצם הגולגולת, מאחורי האפרכסת. לרוב חלק זה מקובע אל עצם הגולגולת, ואף מושקע 2-3 מ"מ בתוך העצם.

6. **המגנט:** המגנט מאפשר חיבור עם יחידת הראש החיצונית, הכוללת את המגנט החיצוני. וברוב השתלים – ניתן להוציא את המגנט במקרה בו יש צורך בבדיקת MRI (תהודה מגנטית), באזור השתל (ראש). הוצאת המגנט תמנע דמגנטיזציה אפשרית של המגנט או "טיול" של המגנט מהשתל החוצה. ההוראות שונות בחברות השונות, אם כי - המגנטים דומים בכל החברות.

7. **הקולט-מגרה:** זוהי האנטנה, הקולטת את המידע מהחלקים החיצוניים, וכן המעבירה אל החלקים החיצוניים מידע חזרה, כמו בבדיקות האובייקטיביות ונוריות החיווי (טלמטריה דו-כיוונית).

8. **בנק זיכרון בשתל הפנימי:** בכל רגע נתון מערכת השתל זקוקה לשני סוגי מידע, למידע על צלילי הסביבה, ולמידע על ה"מפה", והנתונים האישיים הקבועים של המושל (כמו תחום דינמי חשמלי, עכבות ועוד...). בנק זיכרון בשתל עצמו – יאפשר אכסון של הנתונים האישיים הקבועים, ויאפשר למערכת להתמקד בהעתקה מדויקת יותר של צלילי הסביבה.

9. **inteliLink:** על מנת למנוע שימוש במעבד הלא נכון (מעבד ימין על צד שמאל למשל, או מעבד של ילד אחר) במרבית השתלים ישנו קוד המקשר בין מעבד מסוים לשתל מסוים, וכך המערכת לא תעבוד אם השתל יזהה מעבד שאינו שייך לו.