

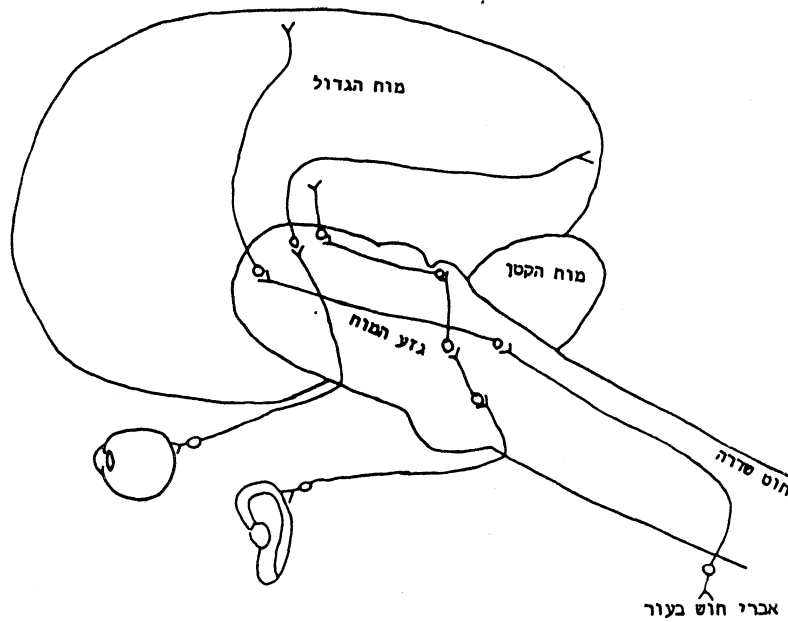
פרופ' ח. סומר

הבסיס המדעי-רפואי לקביעת מות המוח

המחלקה לפיזיולוגיה, ביה"ס לרפואה של האוניברסיטה העברית והרסה

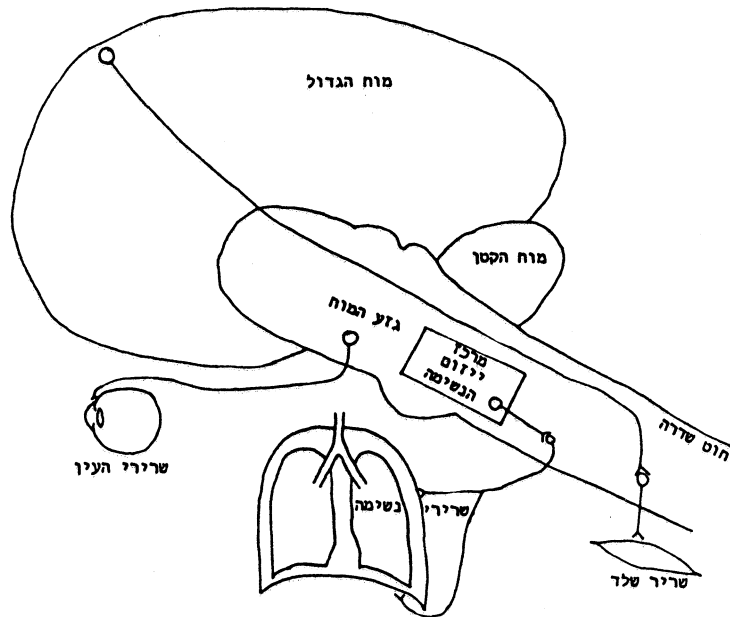
לפני כל דיון במהות המוות בכלל, וקביעת מוות מוחי בפרט, ראוי לתאר את היחסים והקשרים בין האיברים והמערכות בגוף הנוגעים לחיים, דהיינו המוח ומערכת העצבים, מחזור הדם והלב ומערכת הנשימה.

מערכת העצבים המרכזית מורכבת מחוט השדרה (spinal cord) והמוח. החלק הקדמי או העליון של חוט השדרה בגולגולת נקרא גזע המוח (brain stem) מפני שמ"גזע" זה צמח-התפתח המוח הקטן (cerebellum) מאחור והמוח הגדול (cerebrum) מלפנים. המוח הגדול אחראי, בין היתר, לתחושה הכרתית (כגון ראייה, שמיעה), לתנועה רצונית, והוא משתתף בתהליכי עירנות, הכרה, דיבור ומחשבה (ראה ציור 1, 2). התיפקוד של קליפת המוח הגדול מלווה בפעילות



ציור 1

תרשים של מערכת העצבים המרכזית (חוט השדרה ומוח) המדגים את המסילות התחושתיות מאברי החוש, דרך גזע המוח עד לאזורים בקליפת המוח האחראים לתחושה הכרתית.



ציור 2

מבנה מערכת העצבים המרכזית המדגים את המסילות התנועתיות האחראיות לשינויי גודל האישון, לתנועות רצוניות של שרירי השלד ומרכז הנשימה בגזע המוח המפעיל את הנשימה.

חשמלית שאפשר לקלוט בעזרת אלקטרודות על הקרקפת הנקראת האלקטרו־אנצפלו־גרם (electro-encephalogram), הא.א.ג. המסילות העצביות הקשורות בתנועות רצוניות מתחילות באזור מיוחד בקליפת המוח הגדול, ובדרך־כלל לשרירי הגוף לשם ביצוע התנועה הן עוברות דרך גזע המוח. בדומה, המסילות התחושתיות העוברות מאברי החוש (העין, האוזן, ואברי החוש בעור) עוברות דרך גזע המוח בדרך־כלל לאזורים המיוחדים בקליפת המוח הגדול. לגזע המוח תפקידים רבים נוספים שחלק מהם נוגעים לעניינינו, כגון ויסות טמפרטורת הגוף, ויסות לחץ הדם, אחריות על תנועות העיניים וגודל האישון, והחשוב ביותר — בגזע המוח נמצא מרכז הנשימה שגורם ויוזם את ההתכווצויות של שרירי הנשימה בחזה (הסרעפת והשרירים בין הצלעות) המביאים להכנסה והוצאה של נפחי אויר אל הריאות, דהיינו הנשימה. אם מרכז זה בגזע המוח נפגע ומפסיק לפעול, הנשימה נפסקת, וניתן להציל אדם זה רק אם דואגים תוך דקות ספורות לחבר אותו למשאבת נשימה (נשימה מלאכותית), כך שהמשאבה דוחסת לריאותיו בסירוגין נפחי אויר. כמו כן, אם נפגע כל המוח (כולל גזע המוח) כל התפקידים שתוארו לעיל יפסקו ונמצא לפנינו גוף שאינו מגיב לגירויים (חוסר

הכרה), אינו נושם לבד, איננו מסוגל בכוחות עצמו לווסת את טמפרטורת הגוף שלו ואת לחץ דמו – גוף דומם.

על מנת לבצע את תפקידיו, המוח זקוק לאספקת דם סדירה המביאה אליו חמצן (O_2) וחומר מזון (גלוקוז) ומסלקת ממנו פסולת (דו-תחמוצת הפחמן – CO_2). לכן אם יש פגיעה בזרימת הדם למוח או אם יש הפרעה בנשימה והדם הזורם למוח אינו מכיל מספיק חמצן – המוח ייפגע.

תפקיד הריאות הוא לקלוט חמצן מהאוויר הנשאף ולספק אותו לדם המוזרם דרך הריאות על ידי הלב. מהדם המוזרם לריאות מוצא דו-תחמוצת הפחמן שמצטרף לאוויר הנשיפה של הריאות. בנשימה נורמלית עצמונית של בן-אדם נפחי האוויר של השאיפה ונשיפה מוזרמים לריאות על ידי התכווצויות של שרירי הנשימה המופעלים אך ורק על ידי מסילות עצביות המתחילות במרכז הנשימה שבגזע המוח (ציור 2). אם מרכז זה נפגע, אז נפגע "היחום" של הנשימה העצמאית של האדם, ורק הנשמה מלאכותית יכולה לעזור לו.

הלב הוא איבר שרירי המתכווץ באדם במנוחה כ-70 פעם בדקה ומזרים לעורקים (בממוצע) כ-70 מיליליטר דם בכל פעימה. כאמור, דם זה זורם לכל איברי הגוף ומספק להם בין היתר חמצן וחומרי מזון ומסלק חומרי פסולת. ה"יחום" – הגורם להתכווצות הלב נמצא בתוך הלב באזור הנקרא SA node ה"קוצב" הטבעי של הלב. הלב אמנם מחובר גם למערכת העצבים, אך זו אינה גורמת להתכווצות הלב אלא רק לוויסות הקצב שלו – להאיט את הקצב בשינה ולהאיץ את הקצב במאמץ. בכל מקרה, לב מנותק ממערכת העצבים ממשיך להתכווץ בקצב של 70 פעם בדקה בערך. ראוי לציין שכאשר לב מושגל נמצא בחזהו של הנתרם, לב חדש זה לא מתחבר למערכת העצבים של הנתרם אלא עובד באופן עצמאי לגמרי. כן ניתן להוציא את הלב מגוף החי ולהחזיקו בנוזלים מתאימים, והוא ימשיך לפעול ולהתכווץ למשך כמה זמן בצלחת. במלים אחרות, היות והמוח אינו "מפעיל" את הלב, אלא שהלב מפעיל את עצמו, קיימים מצבים שהמוח נפגע לגמרי ומת, אבל הלב ממשיך לפעול. לב כזה ניתן להשתיל בגוף של חולה שלבו שלו לא מזרים מספיק דם לגופו עקב נזק חמור לשריר הלב, למשל בעקבות התקפי לב רבים בעבר.

איך ניתן לקבוע שהמוח נפגע ושהנשימה נפסקה בצורה בלתי-הפיכה? דהיינו איך קובעים את מות המוח? בעבר היו מתבססים, בנוסף על כמה סימנים קליניים, על העדר של פעילות חשמלית בקליפת המוח הגדול, הא.א.ג. אבל זוהי פעילות רק של חלק קטן ביותר של המוח הגדול, וישנם מצבים שפעילות זו לא קיימת אבל יתר המוח עדיין מתפקד, ולכן העדר של הא.א.ג. בלבד לא נחשב היום כסימן של מוות מוחי.

הבדיקות שבעזרתן ניתן לקבוע מוות מוחי בלתי-הפיך מבוססות בעיקרן על תפקידי המוח שתוארו לעיל. כפי שניתן לראות בנוהלים לקביעת מוות מוחי (ספר אסיא*¹), מדובר בחוסר הכרה עמוק ללא תגובה לגירויים תחושיים, ללא תנועה רצונית, ללא קשר עם הסביבה, חוסר תנועות עינים כולל חוסר תגובת האישון לאור, וחוסר נשימה עצמונית (החולה מונשם על יד מכונת הנשמה), חוסר יכולת לווסת את טמפרטורת הגוף ואת לחץ הדם.

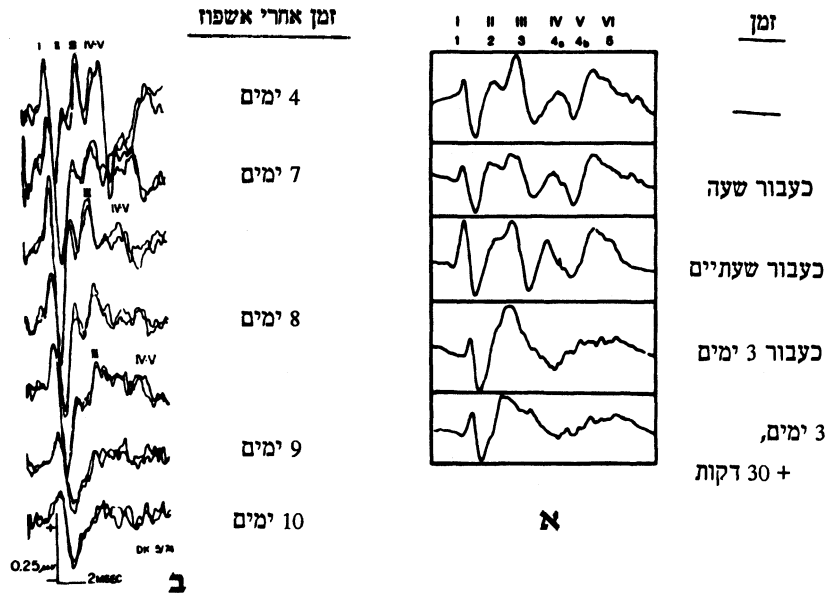
בנוסף לבדיקות אלו, נקבע על ידי מועצת הרבנות הראשית שחייבים לבצע בדיקה של הפעילות החשמלית של מסלול השמיעה בגזע המוח.

כפי שתואר לעיל, המסילה העצבית מהאוזן עד למרכז השמיעה בקליפת המוח הגדול עוברת דרך גזע המוח ויש למסילה זו דוקא לפחות שלוש "תחנות" באזורים שונים של גזע המוח. בדיקה זו נקראת רישום של תגובות עצב השמע וגזע המוח (ABR = auditory nerve — brainstem evoked response) או שמות נרדפים: BERA, BAEP. היא פותחה לפני כ-20 שנה¹ ושימשה תחילה ועד היום באבחנה שמיעתית^{2,3}. היות ופעילות חשמלית זו יש ייצוג של אזורים שונים של גזע המוח, מצאו שבדיקה זו גם תורמת לאבחנה של מצבים נוירולוגיים במוח כגון גידולים^{4,5}. יותר מאוחר הדגימו את שימושה כתורמת לאבחנה של מוות מוחי בכלל, ושל גזע המוח בפרט. הבדיקה מבוססת על מתן גירוי קול בעוצמה גבוהה ורישום פעילות התגובה החשמלית הנוצרת באוזן (בעצב השמע) ובגזע המוח בעזרת אלקטרודות המוצמדות לעור האוזן ולעור הקרקפת. הפקת גירויי הקול, וקליטת התגובות החשמליות ורישומן מבוצעים על ידי מיכשור מיוחד (המיוצר בין היתר גם על ידי חברה ישראלית — "חברת מיקרו-שב"). התגובה הנורמלית מורכבת מסדרה של גלים חשמליים זעירים, כשמקור הגל הראשון בעצב השמע, ושאר הגלים מקורם במסלול השמיעה בגזע המוח (ראה ציור 3 תרשים עליון).

הסימן למות גזע המוח בבדיקה זו הוא העדר פעילות הגלים מגזע המוח תוך כדי קיום הגל הראשון המדגים פעילות תקינה של האוזן ועצב השמע. היות ובדיקה זו מבוססת על מתן גירוי קול וחיפוש תגובות עצביות לגירוי קול זה, חייבים להיות בטוחים שהאוזן מתפקדת. אין משמעות לבדיקה כזו של מסלול השמיעה בגזע המוח אם החולה היה חרש לפני הפגיעה הקטלנית, או אם מדובר בתאונת דרכים בה נפגעו גם האזניים.

אם מתחילים לבצע רישומים חוזרים של בדיקה זו זמן קצר לאחר הפגיעה תוך הנשמת החולה באופן מלאכותי, ניתן לראות ולהדגים את המעבר מרישום שנראה נורמלי אל תבנית גלים שבה הגלים המאוחרים יותר, שמקורם ברמות גבוהות יותר של גזע המוח, נעלמים בהדרגה עד אשר נשאר רק הגל הראשון מגזע המוח. יותר מאוחר גם גל זה יכול להיעלם (ראה ציור 3).

* ספר אסיא ו', עמ' 32-37.



ציור 3

רישומים של תגובות עצב השמע (הגל הראשון) וגזע המוח בשני חולים:
 א. חתינוק שסבל מדלקת קרום המוח (תרשים ממאמר 11);
 ב. באדם שסבל מחוסר חמצן (התרשים ממאמר 6).
 כמשך אישפוזם חלה הדרדרות במצבם עד להופעת סימנים של מוות מוחי (השארות הגל הראשון — דהיינו תגובת עצב השמע בלבד). לבס גדם שעות ספורות אחרי הרישום האחרון.

משתמשים בבדיקה זו של ABR לשם קביעת מות גזע המוח במרכזים הרפואיים המתקדמים בעולם, והוכח שבהעדר תגובות גזע המוח יש מצב של מוות מוחי⁶⁻¹¹. בטחון זה נובע גם מהסתכלות קלינית, מבדיקות שלאחר המוות שנעשו בעולם^{6,8}, וגם מנסיונות בבעלי חיים שהראו במצבים קיצוניים של חוסר חמצן, עודף חומצה בדם, חוסר גלוקוזה בדם וירידה בזרימת הדם למוח, עדיין אפשר לקבל תגובות מעצב שמע ומגזע המוח לגירוי קול. לכן ניתן לומר שאם אין תגובה מגזע המוח לגירוי קול, ברור שיש כאן מוות מוחי¹².
 לפי נספח מס' 1 להחלטות מועצת הרבנות הראשית, המבוסס על נוהל קביעת מוות מוחי בביה"ח הדסה בירושלים, "ניתן לקבוע מוות מוחי אם נתמלאו כל התנאים בכל המבחנים המפורטים". דרישה זו של "הכל או לא כלום" באה מתוך ההכרה שכל אחד מהמבחנים משקף תפקוד (או חוסר תפקוד) של אזור מסוים

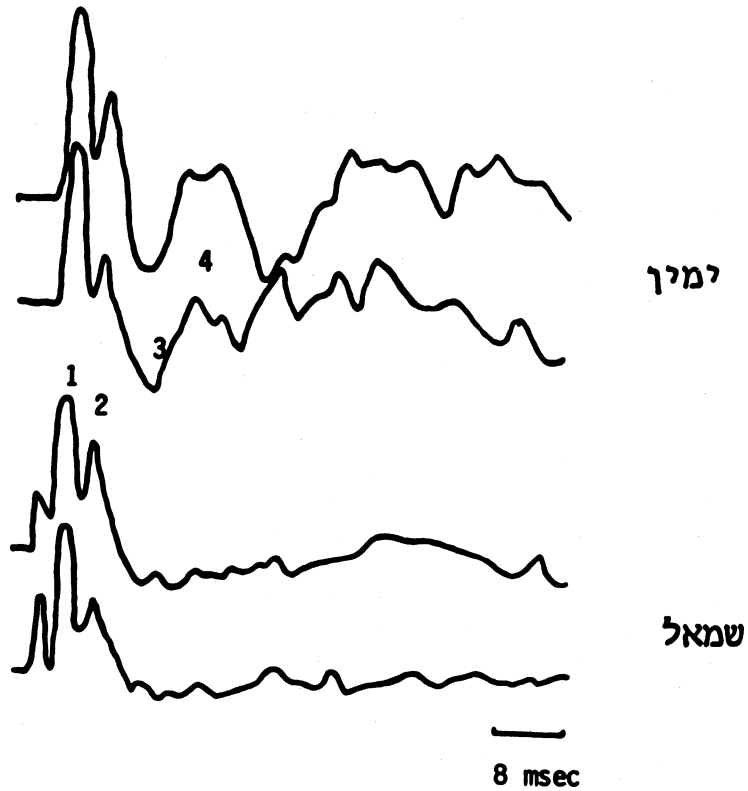
בגזע המוח, ולכן תוצאות כל המבחנים יכולות לתת תמונה מלאה של פעילות המוח.

על מנת לקבוע שהמצב של מות המוח הוא בלתי-הפיך, הנוהל דורש חזרה על כל אותן הבדיקות כעבור 12 עד 24 שעות. זהו פרק זמן ארוך בהרבה מהתקופה בה ניתן לצפות להחלמת המוח אם הפגיעה היא זמנית בלבד. כל אותו זמן (12-24 שעות) מטפלים בחולה בצורה נמרצת: הוא מונשם, מקבל תרופות לשם שמירת לחץ דמו, מחממים אותו וכו'. טיפול נמרץ זה חשוב לחולה הנפגע כל עוד לא נקבע מותו, ואז יתכן שהוא יחלים, וגם חשוב למושתל – מקבל התרומה, מפני שטיפולים אלה שומרים על מצב הלב, הכליות, הכבד וכו' של הנפגע (התורם האפשרי).

במקרה ובבדיקת ה-ABR אין תגובה אפילו מעצב השמע, לא ניתן להשתמש בתוצאה זו לקביעת מות גזע המוח, משום שאין לנו הוכחה ברורה שהפגיעה היא בגזע המוח, כי אם יש פגיעה באזניים או בעצב השמע, גם אז נקבל העדר גלים ב-ABR. במצב כזה מוצע להשתמש בבדיקה של הפעילות החשמלית של המסילה לתחושה על פני העור (SEP – somatosensory evoked potential). משום שגם מסילה זו עוברת דרך גזע המוח. בבדיקה זו מפעילים-מגרים את העצבים התחושתיים בפרק כף היד, והרישום הנורמלי מורכב מגל ראשון שנוצר בעצבים בחלק העליון של הגפה, והגלים המאוחרים יותר מחוט השדרה, מגזע המוח ומקליפת המוח^{8,10,13} (ציור 4 בעמ' הבא)*.

לסיכום: מזה כמה שנים קיים בסיס מדעי-רפואי המאפשר קביעת מוות של אדם על סמך מות גזע המוח, כולל מרכז הנשימה, למרות שלבו עדיין פועם. היום ישנן בדיקות אמינות לקבוע מוות מוחי בכלל ומות גזע המוח בפרט. משמעות עובדות אלו באה לידי ביטוי בהחלטת מועצת הרבנות הראשית מיום א' במרחשון תשמ"ז, על פיה ניתן היום לבצע השתלות לב ועל ידי כך להציל חיי אדם מחד ולאפשר לנפטר לקיים גמילות חסדים לאחר מותו בזה שהוא תורם מאיבריו להצלת חייו של אדם בישראל.

* שילב זה החלטת מועצת הרבנות הראשית אישרה את ההסתמכות על בדיקת ABR בצירוף לנוהל הקליני ולא אישרה בדיקות אלטרנטיביות. לכשיתקיים בעתיד דיון נוסף בוועדת ההשתלות, יתכן וידונו גם באלטרנטיבה המוצעת. – העורך



ציור 4

תגובות מעוררות מהמסילה לתחושה על פני העור בחולה בן 5 שנים עם פגיעה חד-צדדית במוח. לגרוי כל זרוע, רואים תגובת העצב בזרוע (הגל הראשון) ותגובה מחוט השדרה (הגל השני). לגרוי זרוע ימין רואים בנוסף תגובות מהמוח הגדול (גלים 3, 4) שלא נראים בתגובה לגרוי זרוע שמאל.

ביבליוגרפיה

1. Sohmer, H. & Feinmesser, M. Cochlear action potentials recorded from the external ear in man. *Annals Otol.* 76:427-436, 1967.
2. Sohmer, H., Feinmesser, M, Bauberger-Tell, L., Lev, A. & David, S. Routine use of cochlear audiometry in infants with uncertain diagnosis. *Annals Otol.* 81:72-75, 1972.

3. Schulman-Galambos, C. & Galambos, R. Brainstem evoked response audiometry in newborn hearing screening. *Arch.Otolaryngol.* 105:86-90, 1979.
4. Starr, A. & Achor, J. Auditory brainstem responses in neurological disease. *Arch. Neurol.* 32:766-768, 1975.
5. Sohmer, H., Feinmesser, M. & Szabo, G. Sources of electrocochleographic responses as studied in patients with brain damage. *Electroenceph. clin. neurophysiol.* 37:663-669, 1974.
6. Starr, A. Auditory brainstem responses in brain death. *Brain* 99: 543-554, 1976.
7. Goitein, K.J. & Amit, Y., Fainmesser, P. & Sohmer, H. The prognostic value of the auditory brainstem evoked responses in comatose children. *Crit. Care Med.* 11:91-94, 1983.
8. Goldie, W.D., Chiappa, K.H., Young, R.R. & Brooks, E.B. Brainstem auditory and short latency somatosensory evoked responses in brain death. *Neurology* 31:248-256, 1981.
9. Uziel, A. & Benezech, J. Auditory brainstem responses in comatose patients: relationship with brainstem reflexes and level of coma. *Electroenceph. clin. neurophysiol.* 45:515-524, 1978.
10. Chiappa, K.H. & Ropper, A.H. Evoked potentials in clinical medicine. *New Engl. J. Med.* 306:1140-1150, 1982.
11. Goitein, K.J., Fainmesser, P. & Sohmer, H. Cerebral perfusion pressure and auditory brainstem responses in childhood CNS diseases. *Am. J. Dis. Child.* 137:777-781, 1983.
12. Sohmer, H. Auditory evoked potentials during deviations from homeostasis. Theoretical and clinical implications. London symposia, *Electroenceph. clin. neurophysiol. suppl.*, 1986, in press.
13. Belsh, J.M. & Chokroverty, S. Short-latency somatosensory evoked potentials in brain-dead patients. *Electroenceph. clin. neurophysiol.* 68:75-78, 1987.