

איך להסתכל לתוך המוח ללא ניתוח!

Christine L. Mac Donald^{1*}, Esther Yuh², Pratik Mukeherjee²

¹המחלקה לניתוחים נוירולוגיים, אוניברסיטת וושינגטון, סיאטל, וושינגטון, ארצות הברית
²המחלקה לרדיולוגיה, אוניברסיטת קליפורניה, סן פרנסיסקו, סן פרנסיסקו, קליפורניה, ארצות הברית

סוקרים צעירים

LAGUNA
BLANCA
גיל: 14-16



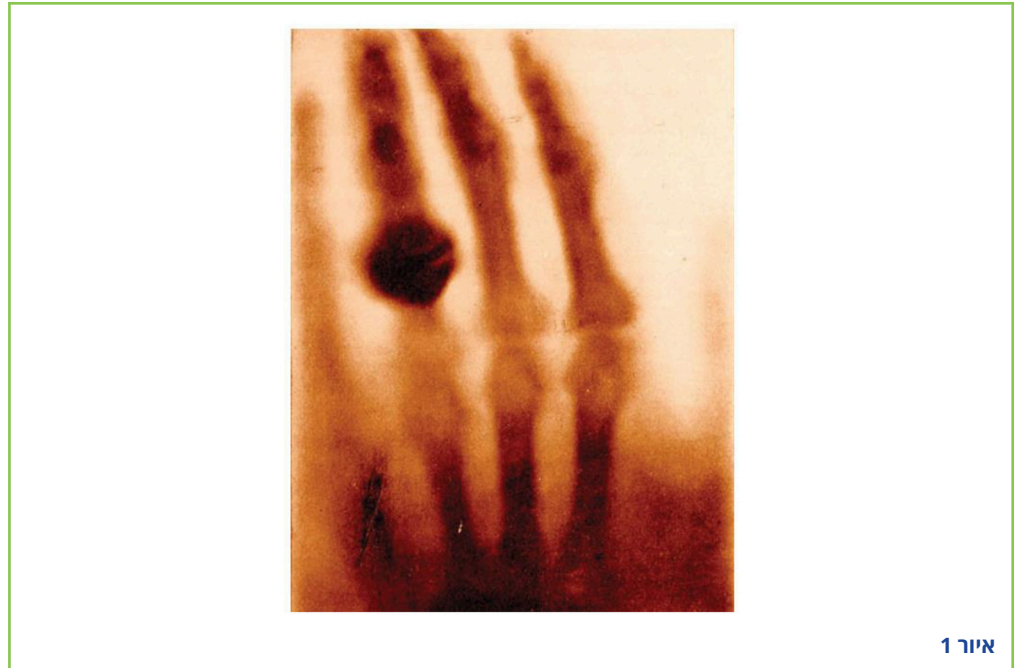
האם ידעתם שרופאים מסתכלים על מוחות של אלפי אנשים כל יום? בבתי חולים ברחבי המדינה אנו מסתכלים לתוך מוחם של מטופלים כדי לראות אם משהו השתבש, כך שנוכל להבין כיצד לסייע בטיפול במצבו של כל מטופל. שיטות של דימות מוחי ממלאות תפקיד חשוב בסיוע לרופאים לאבחן ולטפל במצבים כמו פגיעות מוחיות. מאחורי הקלעים ישנן מצלמות מיוחדות שמאפשרות לנו לראות עמוק לתוך המוח של חולים מדי יום.

הקדמה

תחום הרפואה שמתמקד בצילום וניתוח תמונות של המוח וכל חלקי הגוף נקרא רדיולוגיה. השם רדיולוגיה מגיע מסוג של "מצלמה" או טכנולוגיה שהשתמשו בה כדי לצלם את התמונות האלה, שנקרא מכונת רנטגן, אשר משתמשת בקרינה. המילה רדיולוגיה (radiology) מגיעה מצמד המילים "radio", שמשמעותה קרינה, ו-"ology" מהסיומת היוונית שמשמעותה מחקר מדעי של משהו. המצאת קרני הרנטגן משיכת למהנדס המכונות הגרמני Wilhelm Conrad Röntgen אשר יצר ואיתר בשנת 1895 את הקרינה האלקטרומגנטית שהייתה לבסיס של טכנולוגיות קרני רנטגן שאנו עדיין משתמשים בהן היום.

איור 1

צילום רנטגן של ידה של Anna Ludwig שנלקח ב-22 בדצמבר 1895 על-ידי בעלה Wilhelm Röntgen. זה נחשב השימוש הרפואי הראשון בקרני רנטגן (קרדיט לתמונה: Otto Glasser, Wilhelm Conrad, וההיסטוריה המוקדמת של קרני הרנטגן, לונדון, 1933. הספרייה הלאומית לרפואה).



איור 1

באיור 1 אתם יכולים לראות את עצמות ידה של אישתו של Röntgen, שנחשבות לתמונת הרנטגן הראשונה של גוף האדם. אתם יכולים לראות את עצמות האצבעות השונות, שנקראות פלנגות, וגומה כהה על אצבע הטבעת שהיא טבעת הנישואין שלה. אם אי פעם שברתם עצם, ככל הנראה עשיתם צילום רנטגן כדי לקבוע היכן השבר התרחש.

כיצד רופאים מסתכלים לתוך המוח?

כאשר למטופל יש פגיעה מוחית, אחד הדברים שרדיולוגים עושים במחלקת החירום בבית החולים הוא להשתמש ב"מצלמה" מיוחדת שנקראת סורק CT (טומוגרפיה ממוחשבת) כדי להסתכל לתוך מוחו של המטופל. סורק ה-CT הוא מכונה שמאפשרת לרופאים לראות לתוך מוחו של המטופל ללא ניתוח. טכנולוגיית ה-CT משתמשת בפרצים קטנים של קרינה כדי לעבור דרך הגוף, בדומה לקרני רנטגן, ויוצרת אותות שונים שתלויים בסוג הרקמה שהם עוברים דרכה בין אם זה עור, עצם, מוח או סוגי רקמות אחרים. כל האותות האלה נאספים על-ידי מחשב, אשר בונה אותם מחדש כדי ליצור תמונה תלת-ממדית של המוח שרדיולוג יכול לנתח על מחשב במטרה לחפש פגיעות. ההבדל העיקרי בין CT ובין קרני רנטגן הוא שקרני רנטגן מייצרות רק תמונה אחת דו-ממדית, בדומה לתמונה שאתם מצלמים עם הטלפון הנייד שלכם. בעוד שגם הרנטגן וגם ה-CT אוספים תמונות תוך שניות בודדות, שתי השיטות משתמשות בקרינה, וחשיפה נשנית לקרינה יכולה להעלות את הסיכון לחלות בסוגי סרטן שונים. רדיולוגיה אפילו התקדמה עד כדי כך שהיא יצרה מה שנקרא סורקי CT ב"מינון נמוך", שנמצאים בשימוש בדרך כלל בבתי חולים של ילדים כדי לנסות להפחית את כמות הקרינה שאליה מטופלים צעירים נחשפים.

נוסף על סורקי CT, שיטת דימות אחרת נקראת MRI (דימות תהודה מגנטית), וביכולתה להסתכל לתוך המוח. סורקי MRI משתמשים במגנטים חזקים מאוד כדי להסתכל על המוח באמצעות שימוש ב"עוררות" של מולקולות המים בגוף שלנו. כשאנו צעירים הגוף שלנו מורכב

טומוגרפיה ממוחשבת (CT)

(Computerized tomography)

דימות תהודה מגנטית (MRI)

(Magnetic resonance imaging)

איור 2

מטופלת ממוקמת בתוך סורק דימות תהודה מגנטית (MRI).

**איור 2**

מ-70%-80 מים, וכשאנו מזדקנים היחס הזה יורד לסביבות 50%-60, כך שישנם הרבה מים בגוף שלנו וזה מסייע לנו עם סוג הדימות הזה! המגנטים שסורקי MRI משתמשים בהם נמדדים ביחידות שנקראות טסלה (T - Tesla). אלה מגנטים חזקים מאוד, חזקים בהרבה מהשדה המגנטי של כדור הארץ, שערפו בין 25 ל-65 מיקרו-טסלה (μT , מיליונית הטסלה). העוצמה המגנטית של סורקי MRI רפואיים היא 1.5-3 טסלה, פי 30,000-60,000 חזק יותר מהמשיכה המגנטית של כדור הארץ! בגלל המגנטים החזקים האלה, כל המטופלים נסרקים בקפידה לפני שהם מוכנסים לסורק ה-MRI במטרה לבדוק אם יש עליהם מתכת או מכשירים אלקטרוניים מושתלים כמו קוצבי לב, מאחר שהמגנטים האלה יכולים לעורר את החומרים האלה ולגרום נזק למטופל. נכון להיום לא זוהו פגיעות בריאותיות שקשורות בסריקות חוזרות בסורק MRI, כל עוד למטופלים אין בגופם מכשירים שאינם מתאימים לסריקה.

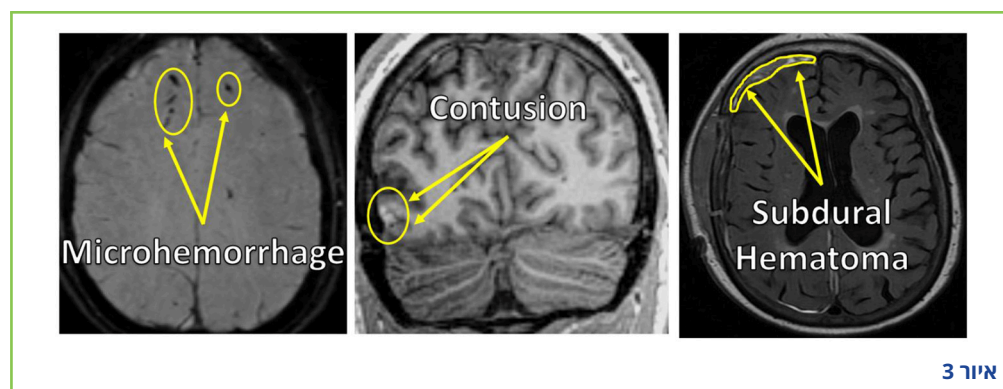
עבור דימות מוחי עם CT ו-MRI, המטופלים לעיתים קרובות מתבקשים לשכב על גבם ואז הם ממוקמים בתוך הסורק שבנוי כמו צינור. כשסורקים את המוח, ראשו של המטופל ממוקם במרכז הצינור שם עוצמת הסריקה מרבית ואחידה (איור 2).

פגיעות מוחיות שכיחות שדורשות דימות

בעקבות פגיעה מוחית טראומטית ישנם סוגי נזק מוחי שונים ששיטות דימות יכולות לסייע לרופאים לראות. שיטות דימות טובות שמאפשרות לרופאים לראות את המוח כולו הן חשובות מאוד כדי להבין כיצד בדיוק המוח נפגע. מרבית הפגיעות הן דימומים קטנים במוח שנקראים microbleeds או microhemorrhages (ראו איור 3), כלומר בריחות קטנות של דם מהווריד הקרוע. אם יורד דם מהאף זה גם סוג של microhemorrhage, של ממברנת האף. המוח צריך אספקת חמצן רצופה מהדם כדי לבצע את תפקודיו היומיומיים. החמצן מגיע למוח דרך ורידים בגדלים שונים, מעורקים גדולים ועד לנימים קטנטנים. הוורידים הקטנים יותר נחשבים פגיעים במיוחד מאחר שהם יכולים להימתח ולהידחס כשהמוח נע בתוך הגולגולת במהלך פגיעה מוחית. בסורק CT ה-microhemorrhages האלה נראים שונים מרקמת המוח הסובבת אותם, ויש להם "חתימה" ברורה של בריכות דם באזור (ראו את החיצים שמצביעים

איור 3

תמונות MRI של פגיעות מוחיות. משמאל לימין: דימומים מוחיים, חבלה ודימום תת-קשיתי.



איור 3

לנקודות הכהות בפאנל השמאלי באיור 3). סריקת MRI היא דרך רגישה יותר לזהות את ה-microhemorrhages האלה וסוגים נוספים של פגיעות מוחיות [1], אולם סריקת MRI לוקחת זמן רב יותר מסריקת CT, ולכן כשיש טראומה חמורה נהוג להשתמש ב-CT כדי לקבל תמונה מהירה של מה שקורה במוח. יתרון נוסף של סריקת MRI על פני סריקת CT הוא שאפשר להשתמש בה כדי לקבל סוגים שונים של תמונות בעוד סריקת CT מצלמת רק סוג תמונה אחד. ב-MRI אנו יכולים לשלוט בתכונות העירור המגנטי של המולקולות בדרכים שמשנות את הקונטרסט של התמונות שאנו מצלמים. היכן שסוג אחד של תמונת MRI גורם לדם להיראות בהיר תמונה אחרת עשויה לגרום לו להיראות כהה. ההבדלים האלה בקונטרסט מסייעים לרדיולוגים לקבוע ביתר ביטחון שהם רואים משהו בלתי רגיל במוח, כמו דם או חבלות ברקמת המוח שנובעים מפגיעה.

פגיעה מוחית שכיחה נוספת נקראת קונטוזיה (ראו את החיצים שמצביעים על האזור הבהיר בחלק השמאלי התחתון בפאנל האמצעי באיור 3), שהיא חבלה במוח כתוצאה מטראומה. בדומה לחבלות שיש לכם ביד או ברגל מנפילה, חבלה (קונטוזיה) מוחית כוללת לעיתים קרובות אוסף של דימומים באזור ממוקד. שלא כמו חבלה ביד או ברגל, אשר נרפאת עם הזמן ואינה משאירה סימן, חבלות מוחיות והנזק שנגרם לרקמות מוחיות שכונות עלולות להיות קבועות יותר. הסתכלות לתוך המוח באמצעות דימות CT או MRI מאפשרת לרופאים לקבל תמונה של החבלות המוחיות, מה שמסייע להם לקבוע מהי הדרך הטובה ביותר לאבחן, לטפל ולדאוג למטופלים בעלי פגיעה מוחית טראומטית.

נוסף על דימומים קטנים וקונטוזיות, ישנו מגוון של פגיעות מוחיות טראומטיות שמתרחשות במה שנקרא "extra-axial space". ה-extra-axial space הוא המרחב שבין פני השטח של המוח לבין החלק הפנימי של הגולגולת. ישנם תאים שונים של ה-extra-axial space שנקראים סובדורלי (ראו את החיצים שמצביעים לרצועה הבהירה בחלק השמאלי העליון בפאנל הימני באיור 3): אפידורלי או סאב-ארכנואידלי. התאים האלה מכילים שכבות שונות בין המוח לגולגולת ומגוון ורידים שיכולים להיפתח, מה שגורם להישפכות של דם שנקראת הֶמָטוֹמָה. המטומות מתרחשות לעיתים קרובות במקרים של פגיעות מוחיות חמורות יותר שמתרחשות בכוח ובתאוצה גדולים יותר.

בסוף, ממש כמו עם נקע בעקב, המוח גם יכול להתנפח בעקבות פגיעה או יכול להכיל אזור עם דם שנשפך אשר מכונה "בצקת". רופאים מסתמכים מאוד על דימות CT ו-MRI כדי לבדוק אם יש במוח בצקת מאחר שלא כמו עקב נקוע שבו העור יכול להתרחב מעט בתגובה לנפיחות,

הגולגולת היא מבנה נְרָמִי קשיח מאוד שאינו מתרחב כשהמוח מתנפח, מה שעלול לגרום לנזק נוסף אם המוח שמתנפח לא מטופל במהרה.

מסקנות

התפתחויות טכנולוגיות ממלאות תפקיד חשוב ביכולתם של רופאים לאבחן פגיעות ראש ולטפל בהן בגישת *team approach* (עבודה שיתופית של כמה אנשי מקצוע למען מטרה משותפת). החל מרופאים של רפואה דחופה שעורכים את ההערכות הראשוניות, דרך רדיולוגים שסוקרים ומנתחים את הסריקות המוחיות וכלה במנתחים מוחיים שעשויים לנתח את מוחו של המטופל – יִשְׁנֶה קבוצה מגוונת של רופאים שעובדים יחד במטרה לספק את הטיפול הטוב ביותר האפשרי לכל מטופל. ומאחורי הקלעים נמצאות "המצלמות המיוחדות" האלה, MRI ו-CT, אשר מאפשרות להם להסתכל לתוך המוחות של אלפי מטופלים כל יום.

מקורות

1. Yuh, E. L., Mukherjee, P., Lingsma, H. F., Yue, J. K., Ferguson, A. R., Gordon, W. A., et al., TRACK-TBI Investigators. 2013. Magnetic resonance imaging improves 3-month outcome prediction in mild traumatic brain injury. *Ann. Neurol.* 73:224–35. doi: 10.1002/ana.23783

פורסם אונליין: 22 באוקטובר 2020

נערך על ידי: Amy J. Markowitz, University of California, San Francisco, United States

ציטוט: Mac Donald CL, Yuh E and Mukherjee P (2020) איך להסתכל לתוך המוח ללא ניתוח! *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00014-he

תורגם והותאם: Mac Donald CL, Mukherjee P and Yuh E (2019) How to See Into the Brain Without Surgery! *Front. Young Minds* 7:14. doi: 10.3389/frym.2019.00014

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2019 © Mac Donald, Yuh and Mukherjee. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים), ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.



סוקרים צעירים

16-14, LAGUNA BLANCA, גיל:

תלמידים שנרשמו לשנה הראשונה בתוכנית דו-שנתית של מחקר מדעי. לכולם בכיתה יש תחומי עניין שונים, כך שלא משנה על מה כותבים שמגישים לעיתון Frontiers of Young Minds מחליטים לכתוב, אנו תמיד נציע את עזרתנו.

הכותבים

CHRISTINE L. MAC DONALD

אני פרופסורית ובעלת תואר כבוד בניתוחים ניורולוגיים מטעם James and Gaye Piggott בבית הספר לרפואה של אוניברסיטת וושינגטון (UW) בסיאטל, וושינגטון. אני גם מנהלת מחקרית של מכון הספורט ב-UW Medicine. *cmacd@uw.edu

PRATIK MUKHERJEE

אני פרופסור לרדיולוגיה וניורודיולוג עם תעודה מטעם הוועד המנהל באוניברסיטת קליפורניה סן פרנסיסקו, בסן פרנסיסקו, קליפורניה. אני גם מנהל המרכז לדימות של מחלות ניורודגנרטיביות (CIND) שממוקם במרכז הרפואי VA סן פרנסיסקו.

ESTHER YUH

אני פרופסורית לרדיולוגיה וניורודיולוגית מטעם הוועד המנהל באוניברסיטת קליפורניה סן פרנסיסקו, בסן פרנסיסקו, קליפורניה. אני מובילה מאמצים עיקריים בהערכה ניורודיולוגית של פגיעות מוח טראומתיות בשיתוף פעולה עם הדוקטורים Mac Donald ו-Mukherjee.

Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

