

פרק 6



מה הסוד? איך אפשר לגרום לתלמידים לחשוב כמו מדענים, מתמטיקאים או היסטוריונים אמיתיים?



שאלה: אנשי חינוך וקובעי מדיניות חינוכית מבטאים לעתים תסכול מכך שתוכניות לימוד מנותקות כל כך מן הנושאים שהן מתיימרות לכסות. תוכניות לימוד בהיסטוריה, לדוגמה, מדגישות עובדות ותאריכים. תוכניות הלימוד הטובות יותר מנסות להקנות לתלמידים משהו מתחושת הפולמוס ההיסטורי (פעם שמעתי איש חינוך אחד מתרעם על הרעיון שספר לימוד יסכם את "הגורמים למלחמת האזרחים בארצות הברית", כאילו השאלה הוכרעה זה מכבר). אבל מעטות תוכניות הלימוד שמעודדות תלמידים לחשוב כמו היסטוריונים – כלומר לנתח מסמכים וראיות ולבנות פרשנות היסטורית מנומקת. באותו האופן, תוכניות לימוד במדעים דורשות מתלמידים לשנן עובדות ולערוך ניסויי מעבדה שבהם יתבוננו בתופעות צפויות מראש. אבל תלמידים אינם מתרגלים חשיבה מדעית של ממש, אינם עוסקים בחקירה ובפתרון הבעיות שהם התגלמות המדע. מה אפשר לעשות כדי לגרום לתלמידים לחשוב כמו מדענים, היסטוריונים או מתמטיקאים?

תשובה: המחאה הזו כלפי תוכניות הלימודים נשמעת הגיונית לכאורה: איך אנחנו מצפים להכשיר דור חדש של מדענים אם איננו מכשירים אותם לעשות בדיוק מה שמדענים עושים? אלא שבסוד ההיגיון הזה עומדת הנחה בעייתית, והיא שתלמידים מסוגלים – מבחינה קוגניטיבית – לעשות את מה שמדענים או היסטוריונים עושים. זה העיקרון הקוגניטיבי המנחה את הפרק:

הקוגניציה בשלבים מוקדמים של ההכשרה שונה מהותית מן הקוגניציה בשלבים מאוחרים של ההכשרה.

העניין אינו מסתכם בכך שתלמידים יודעים פחות ממומחים, אלא שמה שידוע להם מאורגן אחרת בזיכרונם. בתחילת דרכם, מדענים מומחים לא חשבו כמומחים-מתלמידים. הם חשבו כמתחילים וחסרי ניסיון. למעשה, איש אינו חושב כמדען או כהיסטוריון לפני שהוא עובר הכשרה רבה ויסודית. מסקנה זו, אין פירושה שתלמידים לעולם אינם צריכים לנסות לכתוב שיר או לערוך ניסוי מדעי, אבל מורים ומנהלים צריכים לדעת מראש במה יועילו מטלות כאלה לתלמידים.

חשבו בעצמכם על שיעורי המדעים שלמדתם בחטיבה ובתיכון. אם חוויתם אותם כמוני, הם נבנו כך: (1) בבית קראתם ספר לימוד שהסביר עיקרון כלשהו בביולוגיה, בכימיה או בפיזיקה. (2) בכיתה, למחרת, המורה הסביר את העיקרון. (3) במעבדה, יחד עם שותף, ערכתם ניסוי שנועד להמחיש את העיקרון. ו-(4) באותו ערב פתרתם שאלות אחרות כדי לתרגל את יישום העיקרון.

נדמה שפעילויות אלה אינן מספקות לתלמידים תרגול כלשהו במה שמדענים עושים הלכה למעשה. כך לדוגמה, מדענים אינם יודעים מראש מה יהיו תוצאות הניסוי – הם עורכים ניסויים כדי לגלות מה יקרה ועליהם לפרש את התוצאות, שלעתים קרובות הן מפתיעות ואפילו סותרות. תיכוניסטים, לעומת זאת, יודעים שלניסויי המעבדה שלהם יש תוצאות צפויות מראש, ולכן מתרכזים קרוב לוודאי בשאלה אם "עשו זאת כמו שצריך" ולא במה ששיעור המעבדה נועד להמחיש. היסטוריונים אינם קוראים ומשננים ספרי לימוד – הם עובדים עם מקורות ראשוניים (תעודות לידה, יומנים, קטעי עיתונות מן התקופה הנחקרת וכדומה) כדי לבנות פרשנויות הגיוניות לאירועים היסטוריים. אם איננו מתרגלים תלמידים בעשיית הדברים שהיסטוריונים ומדענים עושים הלכה למעשה, באיזה מובן אפשר לומר שאנחנו מלמדים אותם היסטוריה ומדעים?

מדענים אמיתיים הם מומחים. הם עוסקים במדע ארבעים שעות בשבוע (ותכופות הרבה יותר מכך) זה שנים. מסתבר שכל אותן שנות תרגול משפיעות

באופן איכותי ולא כמותי בלבד על דרך החשיבה שלהם – בהשוואה לחשיבתו של חובבן המגלה בקיאות בחומר. מסתבר שלא קל בכלל לחשוב כמו היסטוריון, כמו מדען או כמו מתמטיקאי. אנסה תחילה להקנות לכם מושג על מה שעושים מומחים בחשיבה, ועל איך הם עושים זאת.

מה עושים מדענים, מתמטיקאים ומומחים אחרים?

מובן שמה שמומחים עושים תלוי בתחום המומחיות שלהם. ובכל זאת ישנם קווי דמיון חשובים בין מומחים – לא רק בתחומים אקדמיים כמו היסטוריה, מתמטיקה, ספרות ומדעים אלא גם בתחומים יישומיים כמו רפואה ובנקאות ובעיסוקים לשעות הפנאי כמו שחמט, ברידג' וטניס.

יכולותיהם של מומחים מומחשות יפה בסדרת הטלוויזיה "האוס", שבה הרופא הרגזן והמבריק (איור 1) פותר תעלומות רפואיות שמותירות רופאים אחרים אובדי עצות.

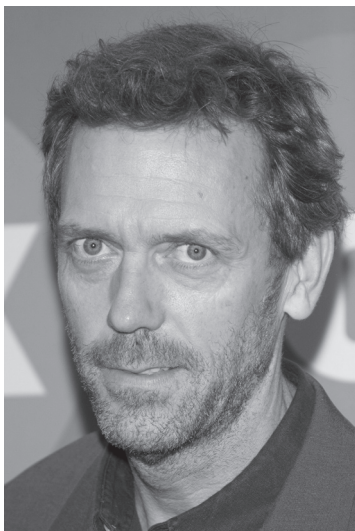
הנה תקציר של אחד המקרים שהגיעו לטיפולו של האוס, שיעזור לנו להבין כיצד מומחים חושבים.²⁶

1. האוס מקבל לטיפולו נער בן שש-עשרה המתלונן על ראייה כפולה ועל ביעותי לילה. האוס מציין שלאחר שנשללה טראומה למוח, ביעותי לילה אצל בני-עשרה קשורים בדרך כלל במתח נפשי קשה – למשל, כזה שסובלים ממנו עדים לרצח או קורבנות להתעללות מינית. **אבחנה טנטטיבית: התעללות מינית.**

2. האוס מגלה שמוחו של הנער אכן ספג טראומה. הוא נפגע בראשו במהלך משחק לאקרוס. הוא מתרגז על כך שהעובדה נודעה לו בשלב מאוחר כל כך של הבדיקה, מסיק שהנער סובל מזעזוע מוח ואומר בעוקצנות שהרופא בחדר המיון שבדק את הנער אחרי המשחק "פישל" בעליל. **אבחנה טנטטיבית: זעזוע מוח.**

3. האוס עומד לעזוב את בית החולים בזמן שהנער יושב ליד דלפק ומגדנד את רגלו. האוס מבחין שרגלו של הנער מפרקסת בפתאומיות – פרכוס קל טיפוסי לאיברים אצל אדם לקראת הירדמות. אלא שהנער אינו מתחיל להירדם. לתצפית משמעות עצומה מבחינתו. האוס חושד שהנער סובל ממחלה ניוונית. הוא מורה לאשפז אותו.

4. האוס מורה לערוך לנער בדיקת שינה (שמאשרת כביכול את ביעותי הלילה), בדיקות דם וסריקת מוח. רופאים אחרים אינם רואים דבר



בסריקה, אבל האוס מזהה שאחד ממבני המוח מעוות מעט, והוא משער שהרבר נובע מלחץ של נוזלים. **אבחנה טנטטיבית: חסימה במערכת ששוטפת את המוח בנוזל מגן. החסימה לוחצת על המוח, והלחץ גורם לתסמינים שנצפו.**

איור 1: יו לורי, שמגלם את הדיאגנוסטיקן המומחה גרגורי האוס.

5. האוס מורה לבצע בדיקה שתבחן אם הנוזל סביב מוחו של הנער נע

כרגיל. הבדיקה מגלה חסימות, ולכן הוא מזמין חדר ניתוח.

6. במהלך הניתוח מתגלים בנוזל שסביב המוח סמנים כימיים אופייניים לטרשת נפוצה – אבל בלי הנזק המוחי שנקשר במחלה בדרך כלל. **אבחנה טנטטיבית: טרשת נפוצה.**

7. החולה הווה. האוס תופש שהנער סבל מהזיות ולא מביעותי לילה. על כן קשה להניח שהוא סובל מטרשת נפוצה, ולעומת זאת הגיוני יותר שהוא סובל מדלקת במוחו. בדיקות אינן מעלות ראיות כלשהן לדלקת, אבל האוס מציין ששלילה מוטעית במקרים של עגבת עצבית מתרחשת בכ-30 אחוזים מן הבדיקות. **אבחנה טנטטיבית: עגבת עצבית.**

8. החולה סובל מהזיה נוספת, שגורמת להאוס לחשוב שהנער אינו חולה בעגבת עצבית. אילו סבל ממנה, הטיפול שקיבל היה משפר את מצבו. האוס מגלה שהחולה מאומץ – ההורים הסתירו את העובדה הזו אפילו מן הנער. האוס משער שאמו הביולוגית לא חוסנה כנגד חצבת, ושהנער נדבק במחלה לפני שמלאו לו שישה חודשים. אף שהחלים, וירוס החצבת עבר מוטציה, נדד אל מוחו והמתין שם במשך שש-עשרה שנים. **אבחנה סופית: דלקת מוח.**

פסחתי, כמובן, על חלק גדול מן המידע שהוצג בפרק – שהוא מהנה הרבה יותר מן התקציר, אבל אפילו סיכמו ממחיש כמה התנהגויות טיפוסיות למומחים. ככל רופא אחר, גם האוס מופצץ במידע: נתונים מן הבדיקה שערך בעצמו, תוצאות של בדיקות מעבדה רבות, פרטי ההיסטוריה הרפואית, וכן הלאה. בדרך כלל אנחנו חושבים שמידע רב הוא דבר טוב, אבל האמת הפוכה – חשבו על תגובתכם כאשר אתם מחפשים משהו בגוגל ומקבלים חמש מיליון תוצאות. סטודנטים לרפואה מתקשים להפריד בין עיקר לטפל, אבל רופאים מנוסים מצוידים, כך נדמה, בחוש שישי המאפשר להם להבחין בין פרטים חשובים לכאלה שאפשר להתעלם מהם. האוס אינו מודאג למשל מן הראייה הכפולה של המטופל (בתחילה הוא אומר לו "לך לאופטיקאי"). הוא ממקד את תשומת לבו בביעוטי הלילה. הניסיון גם מגביר את רגישותו של האוס לרמזים דקים שאחרים מחמיצים: רק הוא מבחין בפרכוס הפתאומי הקל ברגלו של הנער.

כצפוי לאור הדיון בפרק 2, מומחים מתאפיינים בידע רך נרחב בתחומם. אבל מומחיות דורשת יותר מידע סתם. מתמחים רבים יודעים לא פחות ממומחים (או כמעט כמוהם). הרופאים שעובדים בצוות של האוס בדרך כלל אינם נראים המומים לגמרי כשהוא מציע אבחנה או מפנה את תשומת לבם לתסמין כלשהו. אלא שהאוס מסוגל לשלוף מזיכרונו את המידע הנכון במהירות ובדייקנות. מדובר במידע שגם רופאים זוטרים יותר אוצרים בזיכרונם אבל שפשוט אינו עולה בדעתם.

המומחיות מתבטאת אפילו בסוג הטעויות שאנחנו עושים. כאשר מומחים נכשלים, הטעויות שלהם נסלחות. כלומר, כאשר מומחה מגיע למסקנה שגויה, מדובר על פי רוב בניחוש טוב למדי. האוס טועה לעתים קרובות בדרך לאבחנה הנכונה (שאם לא כן, פרקי הסדרה היו מסתיימים בתוך חמש דקות), אבל ניחושו נראים הגיוניים, בניגוד להערכות הטנטטיביות של עמיתיו. האוס נוהג לציין (לרוב בקנטרנות גדולה) שתסמין חשוב (או היעדרו) הופך את האבחנות שהם מציעים לבלתי מתקבלות על הדעת.

מאפיין אחרון של ביצועי מומחים אינו מומחש בדוגמה הקודמת, אף שהוא חשוב בהחלט. בהשוואה לטירונים בתחום כלשהו, מומחים מפגינים יכולת העברה טובה יותר של הידע שלהם מתחומם לתחומים אחרים. כך לדוגמה, היסטוריון יוכל לנתח מסמכים מתחום שאינו תחום מומחיותו ועדיין להציע ניתוח הגיוני. הניתוח יגזול ממנו זמן רב יותר ולא יהיה מפורט כמו זה שהיה מספק בתחומו, ובכל זאת ידמה הרבה יותר לניתוח של מומחה מאשר לניתוח של אדם חסר כל הכשרה בהיסטוריה. תארו לעצמכם מה יקרה אם מבקר הסרטים הקבוע של

"ניוֹוויק" יתבקש לכתוב טור עצה כלכלי עבור ה"וול סטריט ג'ורנל". חלק גדול מן המומחיות שלו יהיה ייחודי לכתיבה על סרטים, אבל רבות מיכולות הכתיבה שלו (בהירות ומבנה משפטים, לדוגמה) יוכלו לעבור בהצלחה, והטורים שיכתוב ודאי ייראו מקצועיים יותר בהשוואה לאלה של חובבן אקראי.

בהשוואה לטירונים בתחומם, מומחים יודעים טוב יותר כיצד לבודד פרטים חשובים, להציע פתרונות מתקבלים על הדעת ולהעביר את הידע שלהם לתחומים דומים. יכולות אלה מתגלות לא רק אצל רופאים, אלא גם אצל סופרים, מתמטיקאים, שחמטאים – ומורים. מורים טירונים מחמיצים לא פעם התנהגויות בעייתיות בעוד מורים מומחים מחמיצים אותן לעתים רחוקות בלבד (אין פלא שתלמידים נדהמים מן "העיניים בגב" שיש למורים מנוסים!) כמו האוס, מורים מומחים גם מסוגלים לגשת במהירות למידע. בהשוואה למורים טירונים, הם מסוגלים לחשוב על דרכים רבות יותר להסביר מושגים, והחלופות הללו גם עולות בדעתם במהירות רבה יותר.

מה מכיל ארגז הכלים המנטלי של המומחה?

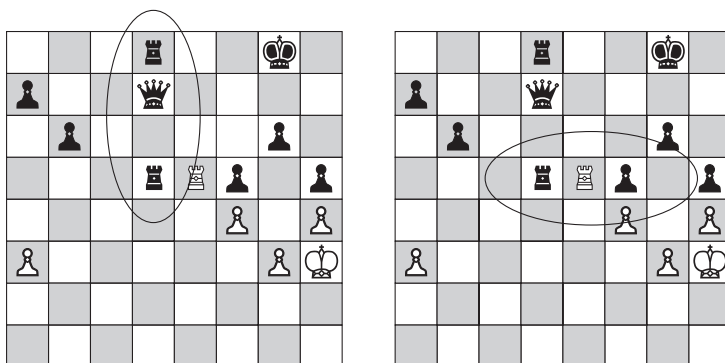
תיארתיה מה מומחים מסוגלים לעשות. אבל מה מאפשר להם לעשות זאת? אילו יכולות של פתרון בעיות או איזה ידע מיוחד נחוצים להם לשם כך? וכיצד נוכל להבטיח שגם תלמידים ירכשו את כל מה שדרוש להם?

המנגנונים שמומחים נסמכים עליהם דומים מעט לאלה שכבר הוזכרו כאן. בפרק 1 ציינתי את זיכרון העבודה כצוואר בקבוק משמעותי לחשיבה אפקטיבית. זיכרון העבודה הוא השטח המוקצה לעבודה שבו מתרחשת החשיבה, אבל השטח הזה מוגבל, וכאשר הוא נעשה צפוף אנחנו מאבדים את קצות החושים של מעשינו, והחשיבה נכשלת. ציינתי שתי דרכים שמאפשרות לעקוף את מגבלת זיכרון העבודה: ידע־רקע (פרק 2) ותרגול (פרק 5). טירונים בלמידה יכולים לשפר את חשיבתם באמצעות כל אחד משני המנגנונים הללו. מומחים משתמשים אף הם בשניהם, אבל הניסיון הנרחב שלהם מגדיל אצלם עוד יותר את האפקטיביות של האסטרטגיות הללו.

ידע־רקע, עוזר לנו, כזכור, להתגבר על מגבלת זיכרון העבודה כי הוא מאפשר לנו לקבץ יחדיו פיסות מידע – כמו למשל בהתייחסות לאותיות ד, נ ו־א כאל יחידה אחת – דנ"א. ודאי לא תופתעו לשמוע שלמומחים יש הרבה ידע־רקע בתחום המומחיות שלהם. אבל מוחו של המומחה נהנה מיתרון נוסף

על מוחותיהם של הדיוטות כמונו. לא זו בלבד שהמומחה צבר מידע רב בזיכרון ארוך-הטווח שלו, אלא שהמידע הזה מאורגן בזיכרונו אחרת מן הדרך שבה הוא מאורגן בזיכרון ארוך-הטווח של הטירון.

מומחים אינם חושבים כמו טירונים, במונחים של מאפיינים שטחיים. הם חושבים במונחים של **תפקוד**, או של מבני עומק. בניסוי אחד, לדוגמה, הושו שחמטאים מקצוענים לטירונים.²⁷ הנבדקים נחשפו לרגע ללוח שחמט בעמדת אמצע משחק ואז התבקשו לשחזר את העמדה שראו על גבי לוח שחמט ריק. הנסיינים הקדישו תשומת לב מיוחדת לסדר שבו העמידו הנבדקים את הכלים. הם ראו שהנבדקים מניחים את הכלים חזרה בקבוצות, כלומר מעמידים ארבעה-חמישה כלים במהירות, מפסיקים, מסדרים עוד שלושה-ארבעה כלים, מפסיקים, וכן הלאה. הם מפסיקים כדי לשחזר את קבוצת הכלים הבאה. הנסיינים גילו שהשחמטאים המתחילים סידרו קבוצות כלים לפי מיקום. היה ביניהם, למשל, מי שבחר להניח תחילה את הכלים שעמדו באחת מפינות הלוח, ואז את הכלים מפינה אחרת של הלוח, וכן הלאה. השחמטאים המומחים, לעומת זאת, קיבצו את הכלים ביחידות **תפקודיות**. כלומר, כלים הונחו במקובץ לא משום שעמדו זה ליד זה אלא משום שכלי אחד איים על אחר, או הגן על אחר (איור 2).

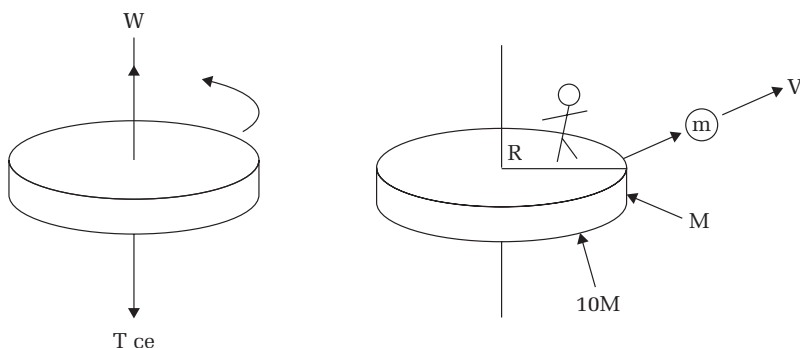


איור 2: בניסוי זה הנבדקים מקבלים הזדמנות להציץ לרגע בלוח שחמט ואז מתבקשים לשחזר את עמדות הכלים על גבי לוח ריק. מקצוענים ומתחילים כאחד עושים זאת בקבוצות – הם מניחים כלים אחדים על הלוח, מפסיקים כדי לשחזר מזיכרונו את הקבוצה הבאה, מניחים עוד כמה כלים, וכן הלאה. מתחילים נוטים לקבץ כלים על בסיס קרבה – כלים סמוכים זה לזה מונחים יחדיו, כפי שמראה הלוח הימני. שחמטאים מקצוענים, לעומת זאת, מקבצים את הכלים לפי תפקוד – כלים המתייחסים זה לזה מבחינה אסטרטגית במשחק משתלבים באותה קבוצה, כפי שמראה הלוח השמאלי.

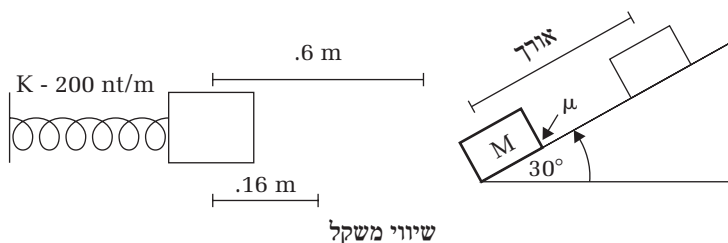
אפשר להכליל ולומר שמומחים חושבים באופן מופשט. זכרו שבפרק 4 אמרתי שאנשים מתקשים להבין רעיונות מופשטים כי הם מתמקדים במבנה השטח שלהם ולא במבנה העומק. מומחים מבינים רעיונות מופשטים בנקל כי הם מבחינים במבנה העומק של בעיות. בהמחשה קלאסית של רעיון זה, טירונים בתחום הפיזיקה (סטודנטים לתואר בוגר שלמדו רק קורס אחד) ומומחים בפיזיקה (סטודנטים לתארים מתקדמים ומרצים) התבקשו לחלק לקטגוריות עשרים וארבע בעיות בפיזיקה.²⁸ הטירונים בנו קטגוריות שהתבססו על מושאי הבעיות. בעיות שכללו קפיצים הושמו בקטגוריה אחת, בעיות שהשתמשו במישורים משופעים הושמו בקטגוריה שנייה, וכן הלאה. המומחים, לעומת זאת, חילקו את הבעיות על סמך העקרונות הפיזיקליים הדרושים לפתרונן. כל הבעיות שעסקו בשימור אנרגיה למשל הוכנסו לאותה קבוצה בין אם השתמשו בקפיצים או במישורים (איור 3 בעמוד הבא).

הכללה זו, שלפיה למומחים יש ידע מופשט של סוגי בעיות ואילו לטירונים אין ידע כזה – נכונה כנראה גם למורים. כאשר הם נתקלים בבעיה בניהול כיתה, מורים טירונים נוהגים לקפוץ מיד ולנסות לפתור אותה. מומחים, לעומת זאת, מנסים להגדיר תחילה את הבעיה, ולאסוף מידע נוסף במקרה הצורך. למורים מומחים יש אפוא ידע בסוגים שונים של בעיות בניהול כיתה. שלא במפתיע, מורים מומחים פותרים בעיות כאלה לעתים תכופות בדרכים שמתייחסות לגורמי היסוד שלהן ואינם מתייחסים להיבט ההתנהגותי לכדור. המורה המומחה יבצע שינויים קבועים בסידורי הישיבה למשל לעתים קרובות יותר מהמורה הטירון.

בפרק 4 אמרתי שההעברה קשה כל כך כי טירונים בתחום כלשהו נוטים להתמקד במאפייני השטח שלו ואינם מצטיינים בזיהוי קשרים מופשטים ותפקודיים בין בעיות – אותם קשרים שהם המפתח לפתרונן. זה אפוא הדבר שמומחים מצטיינים בו כל כך. הם אוצרים בזיכרון ארוך-הטווח שלהם ייצוגים של בעיות ומצבים. והייצוגים האלה הם מופשטים. לכן מומחים מסוגלים להתעלם מפרטים טפלים ולהתבסס על מידע מועיל. חשיבה תפקודית מזהה בן-רגע את מה שחשוב. זו גם הסיבה ליכולתם הטובה להעביר ידע לבעיות חדשות. בעיות חדשות שונות במבנה השטח שלהן, אבל מומחים מזהים את מבנה העומק המופשט שלהן. זו גם הסיבה לכך ששיקול דעתם מתקבל על הדעת בדרך כלל, אף כשאננם צודקים לגמרי. רופאים מנוסים, לדוגמה, חושבים במונחי הפיזיולוגיה הבסיסית של הגוף. הם מכירים את מערכות הגוף די הצורך כדי לשער כיצד הן פועלות על סמך התסמינים החיצוניים, והיכרותם עם המערכות הללו עשירה דיה כך שרק לעתים רחוקות, אם בכלל, יאמרו עליהן משהו המכיל סתירה פנימית או אבסורדי בבירור.



פיזיקאי טירון 1: "מהירות זוויתית, תנע, דברים עגולים"
 פיזיקאי טירון 2: "קינמטיקה בתנועה מעגלית, גודל מהירות זוויתי, מהירויות זוויתיות"
 פיזיקאי טירון 3: "בעיות עם משהו מסתובב: גודל מהירות זוויתי"



פיזיקאי מומחה 1: "שימור אנרגיה"
 פיזיקאי מומחה 2: "משפט עבודה-אנרגיה. כולן בעיות פשוטות"
 פיזיקאי מומחה 3: "את אלה אפשר לפתור מנקודת מבט אנרגטית. או שצריך לדעת את עיקרון שימור האנרגיה, או שיש הפסד עבודה איפשהו"

איור 3: פיזיקאים טירונים נוטים לכלול את שני התרשימים העליונים באותה קטגוריה כי שניהם כוללים דיסקה מסתובבת. מומחים נוטים לכלול את שני התרשימים התחתונים באותה קטגוריה כי שניהם משתמשים לפתרונם בעיקרון שימור האנרגיה.

לעומת זאת, תלמידי רפואה מתחילים יכולים לזהות דפוסי תסמינים ששינונו, אבל אינם חושבים באופן תפקודי, ולכן כאשר הם נתקלים בדפוס לא מוכר, אינם יודעים בדיוק כיצד לפרשו.

דרך שנייה לעקוף את קיבולתו המוגבלת של זיכרון העבודה היא לתרגל הליכי פתרון פעמים רבות כל כך עד שייעשו אוטומטיים. כך נחסך מקומם של ההליכים הללו בזיכרון העבודה. אם תקשרו את שרוכי הנעליים שלכם

כמה מאות פעמים לא תצטרכו עוד לחשוב על כך. אצבעותיכם פשוט ינועו ביעף דרך שגרה בלא הנחיה כלשהי מצד תהליכי מחשבה שיכבירו על זיכרון העבודה. מומחים מיפנו רבות מן הפרוצדורות השגרתיות, התכופות, שבראשית הכשרתם עוד דרשו מהם שיקול דעת זהיר. שחקני ברידג' מומחים יכולים לספור את הנקודות שבידיהם מבלי לחשוב על כך. מנתחים מומחים מסוגלים לתפור אוטומטית. למורים מומחים יש שגרות לפתיחת שיעורים ולסיומם, למשיכת תשומת לבם של תלמידים, לטיפול בהפרעות שכיחות וכן הלאה. מעניין לציין שמורים מתחילים מתסרטים לא פעם את שיעוריהם לפרטי־פרטים, ומתכננים מראש בדיוק מה יגידו. מורים מומחים אינם נוהגים כך בדרך כלל. הם מתכננים דרכים שונות שבהן ידונו ברעיון כלשהו או ימחישו אותו, אבל אינם כותבים תסריטים – עדות לאוטומציה שחלה בתהליך תרגומם של רעיונות מופשטים למילים שתלמידיהם יכולים להבין.

מומחים חוסכים אפוא מקום בזיכרון העבודה באמצעות רכישה של ידע־רקע נרחב ותפקודי, ובאמצעות מיכון של הליכי מחשבה. מה הם עושים עם המקום שהתפנה בזיכרון העבודה שלהם? בין השאר, הם מדברים עם עצמם. איזו מין שיחה מנהל המומחה עם עצמו? לעתים קרובות הוא מדבר על בעיה שהוא עובד עליה, ועושה זאת ברמה המופשטת שתיארתיו זה עתה. הפיזיקאי המומחה אומר דברים כמו "זו תהיה כנראה בעיה בשימור אנרגיה, ואנחנו נמיר אנרגיה פוטנציאלית לאנרגיה קינטית".²⁹

הדבר המעניין בשיחות האלה של מומחים עם עצמם, היא שהם יכולים להסיק מהן מסקנות. הפיזיקאי המומחה שהוזכר זה עתה כבר ניסח השערה לגבי מהות הבעיה, ותוך כדי קריאה יעריך אם השערתו נכונה. ואמנם, כעת אומר הפיזיקאי הזה, "עכשיו אני בטוח בכך, כי אנחנו נלחץ את הקפיץ וכך תיווצר עוד אנרגיה פוטנציאלית". מומחים לא רק מספרים מה הם עושים. הם גם מייצרים השערות, ובתוך כך בוחנים את הבנתם ושוקלים השלכות של פתרונות אפשריים. אבל כדי לדבר עם עצמך דרוש מקום בזיכרון העבודה, ולכן טירונים עושים זאת לעתים רחוקות יותר. אם הם מדברים עם עצמם בכל זאת, מה שהם אומרים צפוי להיות שטחי בהרבה ממה שאומרים המומחים. הם מנסחים את הבעיה מחדש, או מנסים למפות את הבעיה אל נוסחה מוכרת. כאשר טירונים מדברים עם עצמם הם מספרים מה הם עושים, ולדבריהם אין האיות המועילה של בדיקה עצמית שמאפיינת את דיבור המומחים.

איך נוכל לגרום לתלמידים לחשוב כמו מומחים?

כבר דנתי ביכולותיהם של מדענים, היסטוריונים, מתמטיקאים ומומחים באופן כללי. הם רואים בעיות ומצבים בתחומיהם המקצועיים בראייה תפקודית במקום באופן שטחי. ראייה כזו מאפשרת להם להתביית על פרטים חשובים בתוך שטף המידע, לייצר פתרונות שהם תמיד הגיוניים ועקביים (אף אם אינם צודקים תמיד), ולבטא יכולת כלשהי להעביר את הידע שלהם אל תחומים קשורים. יתר על כן, רבות מן המטלות השגרתיות שמומחים מבצעים נעשות מוכניות באמצעות תרגול.

נשמע נהדר. אבל איך נוכל ללמד תלמידים לעשות זאת? למרבה הצער, התשובה לשאלה זו אינה מעודדת במיוחד. ודאי ברור לכם שלא יועיל לעוץ לתלמידים עצות בנוסח "דברו אל עצמכם" או "חשבו באופן תפקודי". מומחים אמנם עושים את הדברים האלה, אבל רק משום שארגז הכלים המנטלי שלהם מאפשר להם לעשות זאת. למיטב ידיעתנו, הנתיב היחיד למומחיות הוא תרגול (איור 4).



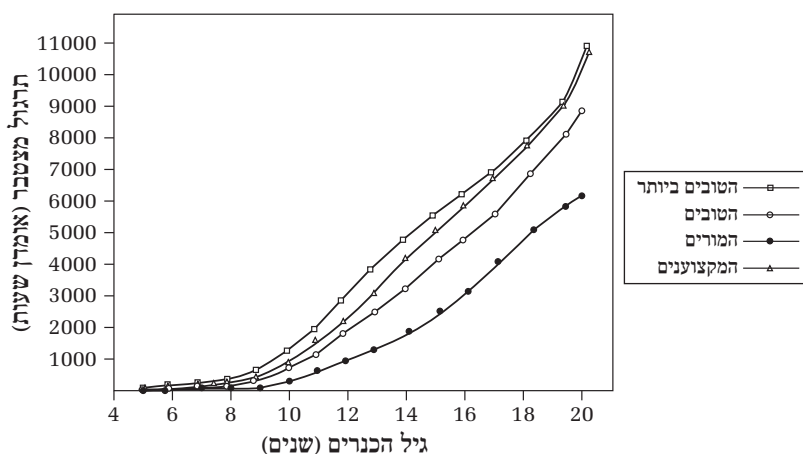
איור 4: "קרנגי הול" הוא אולם קונצרטים ניריורקי ידוע. בדיחה ישנה מספרת על צעיר שעצר אישה מבוגרת באחד מרחובות מנהטן ושאל, "סליחה גברתי, איך מגיעים לקרנגי הול?" האישה השיבה

ברצינות, "תרגול, תרגול, תרגול". הבדיחה הזו כרה בעבר בעמוד הוראות הדרך באתר האינטרנט של קרנגי הול, ומחקרים פסיכולוגיים מאשרים את האמת שביסודה: מומחיות אכן דורשת תרגול רב.

חוקרים שונים ניסו להבין את סוגיית המומחיות באמצעות בחינת חייהם של מומחים והשוואתם אל מי שאפשר לכוונתם "כמעט מומחים". קבוצת חוקרים אחת ביקשה מכנרים להעריך כמה שעות התאמנו בכינור בגילאים שונים.³⁰ חלק מן הנבדקים (מקצוענים) היו חברים בתזמורות סימפוניות בינלאומיות ידועות. האחרים היו סטודנטים למוזיקה בשנות העשרים המוקדמות לחייהם. חלק מן הסטודנטים (הכנרים הטובים ביותר) צוינו בידי המרצים שלהם כבעלי פוטנציאל לקריירה של סולנים בינלאומיים. אחרים (הכנרים ה"טובים") ראו

לנגד עיניהם את אותו היעד, אבל המרצים שלהם חשבו שיש להם פחות פוטנציאל. נבדקים בקבוצה רביעית למדו כדי שיוכלו לשמש מורים למוזיקה ולא במטרה להיות מבצעים מקצועיים.

איור 5 מראה את ממוצע השעות המצטבר שהכנרים בכל אחת מארבע הקבוצות השקיעו באימונים בין גילאי חמש ועשרים. אף על פי שהכנרים הטובים והטובים ביותר למדו כולם באותה אקדמיה למוזיקה, ניכר הבדל משמעותי בשעות התרגול שעליהן דיווחו חברי שתי הקבוצות מאז הילדות.

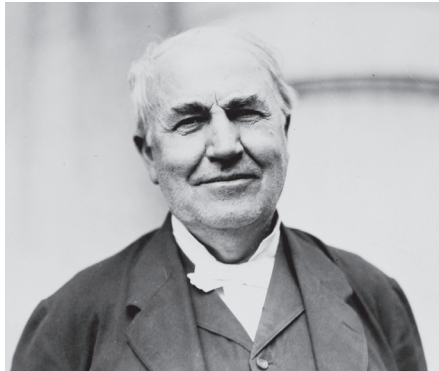


איור 5: נסיינים שאלו כנרים כמה שעות שבועיות (בממוצע) הם התאמנו בגילאים שונים. הגרף המוצג כאן מראה את סך השעות שנצברו לאורך השנים, ומאפשר להבחין בנקל במגמות. הסטודנטים הטובים ביותר דיווחו שהשקיעו באימונים (עד גיל עשרים) בערך אותה כמות שעות שהשקיעו המקצוענים המבוגרים – יותר ממה שדיווחו הכנרים הטובים. למעשה, עד גיל עשרים, הכנרים הטובים ביותר צברו שעות אימון בכמות גדולה ב-50 אחוזים כמעט מזו של הכנרים הטובים סתם. שלא במפתיע, מי שראו את עתידם בהוראת מוזיקה בלבד התאמנו הרבה פחות (אף על פי שגם הם היו נחשבים, כמובן, כנרים טובים בהחלט לפי כל קנה מידה).

מחקרים אחרים נקטו גישה ביוגרפית מפורטת יותר. בחמישים השנים האחרונות אירעו מקרים אחדים שבהם חוקרים ראינו בהרחבה מספר נכבד של מדענים בולטים (עשרה ומעלה), חילקו להם שאלוני אישיות ואינטליגנציה וכן הלאה. בכל אחד מן המקרים האלה, החוקרים חיפשו נקודות השקה בין הרקעים, תחומי העניין והיכולות של אותם מדענים ומדעניות דגולים. תוצאות

המחקרים היו עקביות למדי בממצא אחד מפתיע. המאורות המדעיים הללו לא הצטיינו במנת משכל יוצאת מן הכלל. הם היו חכמים מאוד, כמובן, אבל לא היו חריגים כפי שאפשר היה לצפות מאנשים במעמדם. מה שיחד אותם באמת היה יכולתם לעבוד שעות רבות. מדענים גדולים הם כמעט תמיד "חולי עבודה". כל אחד מאיתנו מכיר את גבולותיו.

בנקודה מסוימת אנחנו נאלצים להפסיק לעבוד ולצפות בתוכנית טלוויזיה מטופשת, לקרוא מגזין או לעשות משהו דומה. למדענים דגולים יש יכולת התמדה יוצאת דופן, וסף התשישות המנטלית שלהם גבוה מאוד (איור 6).

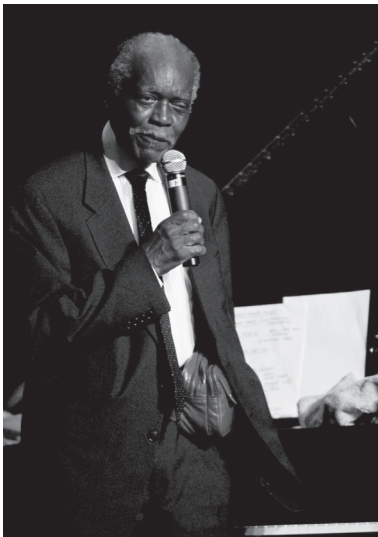


איור 6: תומס אלווה אדיסון, שנודע כמי שהמציא או לפחות שיפר מאוד את נורת הלהט, את הפלואורוסקופ (גרסה מוקדמת של מכונת הרנטגן), את הפטיפון ואת הקולנוע. אדיסון נודע גם בזכות הרגלי העבודה שלו. שבועות שבהם עבד 100 שעות לא היצו חריגים, ולעתים קרובות נמנם במעבדתו במקום לישון בבית. אין פלא שאמר ש"גאונות היא אחוז אחד השראה ו-99 אחוזים עבודה קשה".

השלכה נוספת לחשיבות התרגול היא שאיננו יכולים להיות מומחים לפני שהשקענו בכך את כמות השעות הנדרשת. כמה וכמה חוקרים אימצו את מה שנודע כ"כלל עשר השנים": אדם לא יכול להיעשות מומחה בתחום כלשהו בתוך פחות מעשר שנים, ויהיה התחום פיזיקה, שחמט, גולף או מתמטיקה.³¹ כלל זה יושם בתחומים מגוונים כמו הלחנה, מתמטיקה, כתיבת שירה, שחייה תחרותית ומכירת מכוניות. נטען שעילויים כמו מוצרט, שהלחין כבר בגיל חמש, אינם חריגים לכלל עשר השנים, כי תפוקתם המוקדמת היתה על פי רוב חקינית ולא הוכרה בידי עמיתיהם כיוצאת דופן באיכותה. ומכל מקום, גם אם נכיר בקיומם של עילויים אחדים מדי מאה שנה, "כלל עשר השנים" בעינו עומד.

עשר שנים אינן "מספר קסם". פשוט נראה שזה הזמן הנדרש כדי ללמוד את ידע־הרקע וכדי לפתח את האוטומטיות שעליהם דיברתי בפרק הזה. למעשה הוכח שמי שיש להם פחות זמן להתאמן זקוקים ליותר מעשור, וכן שבתחומים שבהם יש

פחות מה ללמוד – כמו למשל ריצה למרחקים קצרים או הרמת משקולות – אפשר להגיע לגרולה אחרי שנות תרגול ספורות. אבל ברוב התחומים, עשר שנים הן



כלל אצבע טוב. והלימוד והתרגול אינם מסתיימים כאשר מגיעים למעמד של מומחה. המומחה חייב להמשיך לעבוד כדי לשמר את מעמדו (איור 7).

איור 7: בשנת 1989 זכה מוזיקאי הג'ז הדגול הנק ג'ונס לפרס חשוב על תרומתו לתחום (National Endowment for the Arts Jazz Master award). בשנת 2005, בגיל שמונים ושבע, נשאל ג'ונס בראיון אם הוא עדיין מתאמן. תשובתו: "אה, כמובן, כמובן, כן. אני לא יודע איך אפשר בלי להתאמן. אני מנגן סולמות, עושה תרגילים... 32"

השלכות ליישום בכיתה

מומחים אינם רק מצטיינים יותר מטירונים בחשיבה על תחומם הנבחר. מומחים חושבים בדרכים שונות ממש מבחינה איכותית. תלמידים אינם מומחים אלא טירונים בלמידה. איך אמור הדבר להשפיע על דרכי ההוראה שלכם?

תלמידים מוכנים להבין אבל לא ליצור ידע

אחרי שקראתם את הפרק אתם אמורים לדעת פחות או יותר מה ההבדל בין מתמטיקאים, מדענים והיסטוריונים לבין טירונים בתחומים הללו. המומחים עבדו בתחומם במשך שנים, והידע והניסיון שצברו מאפשר להם לחשוב בדרכים שאינן פתוחות לכולנו. על כן, אין זה יעד מציאותי לנסות לגרום לתלמידים שלכם לחשוב כמותם. תגובתכם עשויה להיות "טוב, ברור. מעולם לא ציפיתי שהתלמידים שלי יזכו בפרס נובל! בסך הכול רציתי שיבינו קצת מדעים." זו אכן מטרה ראויה, אבל היא שונה מאוד מן המטרה לגרום לתלמידים לחשוב כמו מדענים.

עשויה להועיל כאן ההבחנה בין הבנה של ידע לבין יצירה של ידע. מומחים יוצרים: מדענים יוצרים ובוחרים תיאוריות לגבי תופעות טבע, היסטוריונים

יוצרים פרשנויות נרטיביות לאירועים היסטוריים, ומתמטיקאים יוצרים הוכחות ותיאורים של דפוסים מורכבים. מומחים לא רק מבינים את תחומי העיסוק שלהם אלא גם מוסיפים להם ידע חדש.

שאיפה צנועה ומציאותית יותר עבור תלמידים היא שייכנו ידע. תלמיד אולי לא יהיה מסוגל לפתח תיאוריה מדעית משל עצמו, אבל יוכל לפתח הבנה עמוקה של תיאוריה קיימת. תלמיד אולי לא יוכל לכתוב נרטיב חדש ביחס לעובדות היסטוריות, אבל יוכל לעקוב אחר נרטיב שמישהו אחר כתב, וגם להבינו.

למידה של תלמידים אינה צריכה להסתיים בזאת. תלמידים יכולים גם להבין כיצד המדע מתפקד ומתקדם, אף אם בעצמם אינם מסוגלים עדיין לעשות שימוש הולם בתהליך הזה, אם בכלל. תלמידים יכולים, לדוגמה, ללמוד על ממצאי מפתח במדעים וכך להבין את המדע בתור שיטה לזיקוק מתמשך של תיאוריות במקום בתור "גילוי" של חוקים בלתי מעורערים. תלמידים עשויים לקרוא תיאורים שונים העוסקים בהתכנסות ועידת החוקה האמריקנית ובאמצעותם ללמוד כיצד היסטוריונים מפתחים נרטיבים.

כאמור, המטרה היא לספק לתלמידים הבנה כלשהי לגבי האופן שבו אחרים יוצרים ידע – ולא לדרוש מהם לעסוק בפעילויות של יצירת ידע.

פעילויות מתאימות למומחים עשויות להתאים לעתים לתלמידים, אך לא משום שיועילו להם רבות מבחינה קוגניטיבית

אמרתי שאחד ההבדלים החשובים בין המומחה לחובבן הבקי נעוץ ביכולתו של המומחה ליצור ידע חדש לעומת יכולתו של החובבן להבין מושגים שפיתחו אחרים. מה יקרה אפוא אם תבקשו מתלמידכם ליצור ידע חדש? מה תהיה התוצאה אם תבקשו מהם לתכנן ניסוי מדעי או לנתח מסמך היסטורי? שום דבר נורא לא יקרה, כמובן. התוצאה הצפויה ביותר תהיה שהם לא יעשו זאת היטב. מסיבות שתיארתי בפרק זה ובפרק 2, דרושים לשם כך הרבה מאוד ידע-רקע וניסיון.

אבל מורה יכול לבקש מתלמידיו לעשות דברים כאלה מסיבות אחרות. מורה עשויה לבקש מתלמידה לפרש תוצאות של ניסוי מעבדה כדי להדגיש בפניהם תופעה מסוימת או כדי להפנות את תשומת לבם לצורך בהתבוננות קפדנית בתוצאות ניסויים – ולא דווקא בציפייה שתלמד אותם לחשוב כמו מדענים.

מטלות הדורשות יצירתיות עשויות גם לעורר בתלמידים מוטיבציה. שיעור מוזיקה יכול להדגיש תרגול וטכניקה נאותה, אבל גם לעורר תלמידים להלחין יצירות משלהם, פשוט משום שהתלמידים ימצאו בכך הנאה ועניין. האם

תרגול כזה נחוץ או מועיל כדי שתלמידים יחשבו כמו מוזיקאים? כנראה שלא. לתלמידים מתחילים אין עדיין הכלים הקוגניטיביים הנחוצים להלחנה, אבל אין פירוש הדבר שלא ייהנו מאוד לעשות זאת – וזאת עשויה להיות סיבה מספקת לכך.

אותו הדבר נכון לירידי מדעים של תלמידי בתי ספר. אני עצמי שפטתי הרבה מאוד ירידים כאלה, והפרויקטים המוצגים בהם, ברובם הגדול – אם לא נבקש להתנסח בעדינות יתרה – איומים ונוראים. בדרך כלל, השאלות שתלמידים מנסים להשיב עליהן הן גרועות משום שאינן מהותיות לתחום. והפרויקטים גם אינם מעידים שתלמידים למדו רבות על השיטה המדעית, משום שהניסויים שלהם מתוכננים רע ומשום שהם אינם מנתחים את הנתונים כהלכה. אבל חלק מהתלמידים גאים מאוד במה שעשו, והעניין שלהם במדעים או בהנדסה זוכה לדחיפה ממשית. ולכן אף על פי שההיבט היצירתי של הפרויקט כושל בדרך כלל, לתחרויות מדעים יש ככל הנראה השפעה חיובית על מוטיבציה. בשורה התחתונה, כאשר מאתגרים תלמידים ליצור משהו חדש, לרוב מדובר במטלה שנמצאת מעבר להישג ידם – אבל אין פירוש הדבר שלעולם אין להטיל עליהם מטלות כאלה. צריך פשוט לדעת מה התלמיד מקבל או לא מקבל כתוצאה מכך.

אל תצפו ממתחילים וחסרי ניסיון ללמוד באמצעות עשייה של מה שמומחים עושים

כאשר שוקלים כיצד לעזור לתלמידים לרכוש מיומנות, טבעי לכאורה לעודד אותם לחקות מישהו שכבר יודע איך לעשות את מה שאתם רוצים שיעשו. על כן, אם אתם רוצים שתלמידים ידעו איך לקרוא מפה, מצאו מישהו שקורא מפות היטב והתחילו להכשיר אותם בשיטות שבהן משתמש אותו אדם. הגישה נשמעת הגיונית אבל עלולה להטעות, כי כפי שהדגשתי, ישנם הבדלים משמעותיים בין דרכי החשיבה של מומחים לבין אלה של טירונים בתחום כלשהו.

קחו את הדוגמה הבאה: כיצד עלינו להורות קריאה? ובכן, אם נביט בקוראים מומחים, נראה שכאשר הם קוראים הם מזיזים את עיניהם פחות מקוראים לא מיומנים. אפשר לומר אפוא שהדרך הטובה יותר לקרוא היא באמצעות זיהוי של מילים שלמות, ושתלמידים צריכים ללמוד בשיטה זו מלכתחילה, כיוון שכך נוהגים הקוראים היטב. ואמנם, על מדף הספרים שלי ישנו ספר לימוד

ישן בפסיכולוגיה חינוכית שמביא את נתוני תנועות העיניים המוצגים באיור 8 וטוען את הטענה הזו בדיוק.³³

איור 8: כל קו מראה היכן נעצרו עיני הקורא כשקרא פסקה. משמאל מוצגות התוצאות הטיפוסיות אצל קורא מתחיל, ומימין תוצאותיו של קורא מומחה. נכון שעיני המומחה נעצרות לעתים רחוקות יותר בהשוואה לעיני המתחילים (אם מעולם לא עשיתם זאת, צפו פעם בעיניו של קורא – זו חוויה מעניינת), אבל אין פירוש הדבר שקוראים מתחילים יכולים להשתמש באסטרטגיה של מומחים.

מן הראוי לפקפק בטיעונים כאלה. במקרה המסוים אנחנו יודעים על סמך נתונים אחרים שקוראים מומחים מסוגלים לקלוט מילים שלמות בכל פעם, אבל הם לא בהכרח התחילו לקרוא כך. טניסאים מיומנים למשל מבלים את רוב זמנם במהלך המשחק במחשבה על אסטרטגיה ובניסיון לחזות את מהלכי היריב. אבל איננו צריכים לומר לטניסאים מתחילים לחשוב על אסטרטגיה. טניסאים מתחילים צריכים לחשוב על עבודת הרגליים שלהם ועל היסודות הטכניים של החבטות שלהם.

בכל פעם שאתם רואים מומחה עושה משהו אחרת מן הלא-מומחה, ייתכן בהחלט שהמומחה נהג בעבר כמו התלמיד המתחיל, ושגישתו זו היתה צעד הכרחי בדרך למומחיות. רלף וולדו אמרסון ניסח זאת יפה יותר: "כל אמן היה פעם חובבן".³⁴

קריאה נוספת

להשכלה כללית

Bloom, B. S. (1985). *Developing talent in young people*. New York: Ballantine Books.

ספר זה הוא תוצאת סקירה של מאה מומחים עולמיים בתחומיהם: ספורטאים, מדענים, מוזיקאים וכן הלאה. המסר העולה מן הספר הוא שאנשים אינם נולדים מומחים אלא מפתחים מומחיות בהדרגה, ומתאר את שיטות ההכשרה של מומחים.

Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). Studies of expertise from psychological perspectives. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 41–68). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

הפרק הוא חלק מספר המיועד לקהל קוראים אקדמי, אבל מדובר בסקירה כללית נגישה בהחלט של מאפייניהם הפסיכולוגיים של מומחים.

להשכלה מקצועית

Glaser, R., & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, & M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise* (pp. xv–xxviii). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

פרק זה מונה את ההבדלים הקוגניטיביים העיקריים בין מומחים וטירונים. הרשימה נותרה רלוונטית בהחלט גם עשרים שנה אחרי פרסומה.

Hogan, T., Rabinowitz, M., & Craven, J. A. (2003). Representation in teaching: Inferences from research of expert and novice teachers. *Educational Psychologist*, 38, 235–247.

מאמר זה סוקר את ספרות המחקר העוסקת בהבדלים בין מורים טירונים ומומחים תוך שהוא בוחן את המומחיות מנקודת מבט קוגניטיבית.

Simon, H. A., & Chase, W. G. (1973). Skill in chess. *American Scientist*, 61, 394–403.

מאמר קלאסי על מומחיות שהציע את כלל עשר השנים, ושהעריך כי שחמטאים אומנים אוצרים במוחם כחמישים אלף עמדות משחק.

Tittle, C. K. (2006). Assessment of teacher learning and development.

In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed., pp. 953–984). Mahwah, NJ: Erlbaum.

סקירה רחבה של מה שמורים יודעים ושל ההשפעה שיש לכך על שיטות העבודה שלהם.