

FLOW HIJACKED - LECTURE 49

כיצד המוח כותב מחדש את הזיכרון

גיבוש מחדש, שגיאת חיזוי, פלסטיות עצבית
ומסדרון עדכון האטרקטור

מאת ד"ר תומר אברהם

כאשר סתירה מופיעה בזמן היזכרות, מה משתנה - הזיכרון הישן, זיכרון מתחרה, או המודל של העולם?

משפט ליבה

הפעלה מחדש יוצרת אפשרות לעדכון, לא הבטחה. השינוי תלוי בפתיחת הזיכרון לפלסטיות, בשיוך הסיבתי, בהקשר, במשקל הוודאות וביכולת של העדכון לפעול גם מעבר לאירוע שבו נוצר.

תוכן העניינים

שמונה חלקים מובילים מהפעלה מחדש ומערעור היציבות, דרך גורלות מתחרים של זיכרון, ARC, הסקה חיזויית ואינטרוספטיבית, תרגום קליני והשאלה אם העדכון מסוגל לנוע בין מצבים והקשרים.

עדות אישית - הערת המחבר - א. המודל הישן עדיין מדבר 5

עדות אישית - הערת המחבר - ב. עדכון ללא מחיקה 6

עדות אישית - הערת המחבר - ג. מה השינוי צריך לשאת עמו 7

פתח דבר - סתירה אחת, שלושה עתידים 8

1. אותו רמז יכול להוביל לזיכרונות שונים 9

2. תקציר אקדמי 10

3. התזה המרכזית - הפעלה מחדש יוצרת אפשרות 11

4. כיצד לקרוא את סימוני הראיות 12

חלק I - היזכרות אינה הקרנה חוזרת 13

5. זיכרון כמצב הנבנה מחדש 14

6. מה בדיוק הופעל מחדש? 15

7. שרשרת העדכון בת ששת השלבים 16

8. שליפה אינה ערעור יציבות 17

9. המשפט המסוכן: כל היזכרות כותבת את הזיכרון מחדש 18

חלק II - מה פותח זיכרון לשינוי? 20

10. החזרה המולקולרית לאי-יציבות 21

11. מה באמת מערער את יציבותו של זיכרון שנשלף? 22

12. חידוש, הפתעה ושגיאת חיזוי 23

13. לשגיאת חיזוי יש כמה תכנים 24

14. בעיית העיתוי 25

15. חוזק, גיל, חזרה ועוצמה רגשית 26

חלק III - שלושת גורלותיה של הסתירה 28

16. אי-התאמה נמוכה - אישור או ייצוב מחדש 29

17. אי-התאמה הרלוונטית למודל - אפשרות לעדכון 30

תוכן העניינים

שמונה חלקים מובילים מהפעלה מחדש ומערעור היציבות, דרך גורלות מתחרים של זיכרון, ARC, הסקה חילונית ואינטרוספטיבית, תרגום קליני והשאלה אם העדכון מסוגל לנוע בין מצבים והקשרים.

18. כאשר הסתירה נשלחת למקום אחר 31

19. אי-ההתאמה המרבית אינה בהכרח יוצרת את העדכון המרבי 32

20. מדוע אין עקומת U הפוך אוניברסלית 33

חלק IV - מסדרון עדכון האטרקטור תחת לחץ 35

21. מדוע ARC שימושי 36

22. מה שבר את ARC המקורי 37

23. ההגדרה המתוקנת של ARC 38

24. הממדים הנדרשים 39

25. אטרקטורים, אגנים והיסטרזיס - ביקורת ראיות 40

26. כיצד אפשר להפריך את ARC 41

חלק V - כאשר החוויה החדשה נשמרת במקום אחר 43

27. גיבוש מחדש לעומת הכחדה 44

28. הסקת סיבה חבויה - באיזה מצב אני נמצא? 45

29. הקשר הוא יותר מחדר 46

30. המזלג ההיפוקמפלי - שילוב או הפרדה 47

31. הכללה והבחנה ייצוגית 48

32. מדוע תגובות שעברו הכחדה חוזרות 49

33. מדוע חוויה מתקנת פועלת כאן ונכשלת שם 50

חלק VI - המוח החוזה, הנופני והפועל 52

34. שגיאת חזיון היא יחסית למודל 53

35. משקל ודאות - איזו שגיאה ראויה לשנות את המודל? 54

36. פריסטון - מצב, פרמטר, מבנה או פעולה 55

37. סת - הסקה אינטרוספטיבית וההקשר המורגש 56

38. פעולה יכולה להסתיר שגיאת חזיון 57

תוכן העניינים

שמונה חלקים מובילים מהפעלה מחדש ומערעור היציבות, דרך גורלות מתחרים של זיכרון, ARC, הסקה חיזויית ואינטרוספטיבית, תרגום קליני והשאלה אם העדכון מסוגל לנוע בין מצבים והקשרים.

39. היכן הגשר החיזוי חייב לעצור 58

חלק VII - זיכרונות שונים, מגבלות שונות 60

40. פחד ולמידה הגנתית 61

41. זיכרון אפיזודי והצהרתי 62

42. זיכרונות תגמולים הקשורים להתמכרות 63

43. הרגלים ומדיניות פעולה 64

44. טראומה ו-PTSD - המקום שבו האנלוגיה נעשית מסוכנת 65

45. היכן ממצאי בעלי חיים ובני אדם מתפצלים 66

46. מגבלת השחזור במחקר האנושי 67

47. מה ניתן לתרגם באחריות לפסיכותרפיה? 68

חלק VIII - כאשר השינוי חייב לנוע 70

48. הבעיה השנייה של שינוי זיכרון 71

49. מדרג ניידות העדכון - הגדרה 72

50. ארבעת ממדי ההתרחקות 73

51. מה באמת חדש? 74

52. תחזיות ותנאי הפרכה 75

53. פרשנות חומלת לחזרתה של תגובה 76

54. ARC וניידות העדכון חייבים להישאר נפרדים 77

אפילוג - שינוי ללא ניר-הייפ 79

55. מה הראיות מבססות 80

56. מה חזק אך מסויג 81

57. טענות שאסור להרצאה לטעון 82

58. תוכנית המחקר 83

59. משפט סיום - השינוי חייב לנוע 84

עדות אישית - עמוד 1 מתוך 3

א. המודל הישן עדיין מדבר

ניסיון חיים - עדות ופרשנות אישית, לא ראייה אמפירית.

לא פגשתי לראשונה את שאלת עדכון הזיכרון כבעיה מדעית אלגנטית. פגשתי אותה כחזרה העיקשת של עולם שכבר לא רציתי לחיות בתוכו. גם לאחר שקיבלתי החלטה, וגם כאשר הבטחה לעצמי הייתה כנה, רמז מוכר היה יכול להפוך שוב את העתיד הישן למייד. הגוף הצטמצם עוד לפני שהמחשבה הספיקה להדביק אותו. הקשב נטה אל ההקלה. הזמן התקצר. לרגע, מה שידעתי במילים ומה שמערכת העצבים שלי הייתה מוכנה לעשות השתייכו לשתי מציאויות שונות.

זו אחת הסיבות לכך שההרצאה מסרבת למשפט הקל שלפיו היזכרות פשוט כותבת את הזיכרון מחדש. היו זיכרונות שלא הרגישו כתובים מחדש כאשר חזרו. הם הרגישו מתורגלים. הם הגיעו במהירות של דבר שנלמד שוב ושוב בתוך מצוקה, בדידות, בושה וחזרה. ובכל זאת, הם לא היו קבועים. ההתמדה שלהם והיכולת שלהם להשתנות התקיימו יחד. השאלה הקשה מעולם לא הייתה אם שינוי אפשרי באופן מופשט, אלא איזה מפגש יכול להגיע אל התחזית הישנה בלי רק להפחיד אותה, לאשר אותה או לתת לה מקום חדש להסתתר בו.

שהיתי כשנה וחצי בקהילה טיפולית. במשך חלק גדול מן השנה הראשונה לא היה ברשותי טלפון. כאשר דרכי המילוט הרגילות נעלמו, הזמן נעשה גלוי באופן כמעט לא מוכר. הימים קיבלו מבנה של קבוצות, אחריות, מדיטציה, אימון גופני, עימותים, תיקון והדרישה החוזרת להופיע שוב בבוקר הבא. שום דבר בקצב הזה לא דמה לאיפוס עצבי דרמטי. זו הייתה חזרה בעלת תוצאות. אותו אדם פגש מצבים דומים פעמים רבות מספיק כדי שהבדלים קטנים כבר לא יוכלו להידחות כמקרה.

הקהילה לימדה אותי גם שהקשר יכול להגן על שינוי ובה בעת להגביל אותו. בסביבה מובנית פעולות אחרות נעשות נגישות. מבחינים כאשר אדם אינו מגיע. הארוחות מתקיימות. לשינה יש ארכיטקטורה חברתית. לשעה קשה יש עדים ויש פגישה הבאה אחריה. התנאים האלה יכולים לאפשר תגובה חדשה, אך הם עלולים גם להפוך לחלק מן הזיכרון ששולף אותה. היציאה מן הקהילה אינה רק מבחן של מוטיבציה. היא משנה את מערך הרמזים, את מצב הגוף, את הפעולות האפשריות ואת השאלה הסמויה: באיזה עולם אני נמצא עכשיו?

אני מביא את הדברים כדי לחדד את השאלה המדעית, לא כדי להשיב עליה. החלמה של אדם אחד אינה מוכיחה מנגנון מולקולרי ואינה מאמתת תאוריה. היא כן יכולה להראות היכן תאוריה נעשית קטנה מדי. אם מודל מתאר שינוי רק ברגע של תובנה, הקלה או ירידה בתגובה, הוא מחמיץ את הבעיה הקשה יותר: האם השינוי נשאר זמין כאשר החדר, הגוף, מערכות היחסים והעתיד מרגישים אחרת. בהמשך אכנה את הבעיה הזאת מדרג ניידות העדכון. כאן היא מתחילה בהכרה פשוטה יותר: למידה צריכה לשרוד את התנועה בתוך החיים.

עדות אישית - עמוד 2 מתוך 3

ב. עדכון ללא מחיקה

ניסיון חיים - עדות ופרשנות אישית, לא ראייה אמפירית.

החלמה לא התקדמה כהחלפה נקייה של זהות אחת באחרת. הארגון הישן של קשב, פעולה וציפייה היה יכול להיחלש בסביבה אחת ולחזור בסביבה אחרת. לעיתים החזרה הרגישה כהוכחה לכך שדבר לא השתנה. במבט לאחור היא הראתה לעיתים דבר מדויק יותר: למידות שונות שלטו בהתנהגות בתנאים שונים. קיומה של דרך ישנה לא הפך את הדרך החדשה לדמיונית. הוא אמר שנגישות, תחרות והקשר עדיין חשובים.

ילדיי היו בין הסיבות החזקות ביותר לבנות חיים המסוגלים להכיל יותר מהקלה מיידית. הם לא היו שיטה, ואסור להפוך אותם לכזאת. אהבה אינה מבטלת התמכרות, דיכאון או פגיעות, והורות אינה מגינה על אדם מכוח מוסרי. הקשר כן העניק לי עתיד שיש בו פנים. הוא הפך תוצאות מסוימות למוחשיות וצורות מסוימות של נוכחות לראויות לתרגול. גם אז, משמעות הייתה צריכה להפוך שוב ושוב לפעולה. הידיעה מה חשוב לא הייתה זהה ליכולת לשלוף את הידיעה הזאת בכל מצב.

הספורט סיפק תיקון מסוג אחר. הגוף היה יכול ללמוד מאמץ בלי אסון, עייפות בלי התמוטטות ועצימות בלי הימלטות כימית. האימון לא מחק אסוציאציות ישנות. הוא בנה היסטוריה נוספת של תחזיות: אי-נוחות יכולה להגיע לשיא ולחלוף; אימון קשה יכול להסתיים ביציבות ולא בהיעלמות. הכתיבה עשתה דבר מקביל לזמן. היא אפשרה לחוויה להפוך לרצף, להבחנה ולשפה. מצב שפעם הרגיש מוחלט יכול היה להיכנס לתוך משפט, להתחבר למה שקדם לו ולהיפתח אל מה שעשוי להגיע אחריו.

מערכות יחסים היו קשות יותר, מפני שלא היה אפשר לשלוט בהן כמו בלוח אימונים או לערוך אותן כמו פסקה. לאמון היה זיכרון משני הצדדים. התנצלות הייתה יכולה להיות נחוצה ועדיין לא להספיק. הזהירות של אדם אחר לא הוכיחה שלא השתניתי; היא הראתה שגם ללמידה שלו יש היסטוריה. תיקון דרש לשאת את המרחק בין הכוונה הפנימית שלי לבין אי-הוודאות המוצדקת של אדם אחר. הוא דרש עקביות בלי לדרוש הכרה מיידית כתמורה.

היו הצלחות, כישלונות ורגעים שלא התאימו לאף אחת מן הקטגוריות. יום קשה היה יכול להסתיים בלי אסון ועדיין להרגיש ריק. תקופה יציבה הייתה יכולה להכיל פחד מפני אובדנה. מעידה הייתה יכולה להפעיל בושא במהירות כזאת שהמודל הישן ניסה להסביר אדם שלם באמצעות אירוע אחד. הפרשנות החומלת יותר הייתה גם המדויקת יותר מבחינה דינמית: חזרה מספקת מידע על תנאים, נגישות ומדיניות פעולה מתחרות. היא אינה פסק דין על אופי. הפרשנות הזאת אינה מסירה אחריות. היא הופכת אותה למדויקת יותר ושואלת מה צריך להיבנות מחדש, להשתנות, להתאמן או לקבל הגנה כעת.

עדות אישית - עמוד 3 מתוך 3

ג. מה השינוי צריך לשאת עמו

ניסיון חיים - עדות ופרשנות אישית, לא ראייה אמפירית.

לעיתים מתארים שימור החלמה כאילו המשימה העיקרית היא להגן על תיקון שכבר הושלם. הניסיון שלי דומה יותר לבנייה מתמשכת. הנפש, הגוף, מערכות היחסים והמשמעות אינם קופאים בזמן שאדם שומר על החלמתו. העבודה משתנה. הילדים גדלים. השינה נפגעת וחוזרת. קשר נפתח או נסגר. הצלחה יוצרת אפשרויות שלא היו קיימות בזמן משבר, וגם האפשרויות האלה נושאות אי-ודאות. המערכת שלמדה יציבות צריכה להמשיך ללמוד, מפני שהחיים סביבה אינם מפסיקים לנוע.

בנקודה הזאת העדשה של Flow Hijacked נעשתה שימושית עבורי באופן אישי. היא לא אמרה לי שאני מכונה, ולא שאגן משיכה פוטר אותי מאחריות. היא נתנה שפה להתמדה בלי גינוי מוסרי. תגובה מוכרת יכולה להיות נגישה מאוד משום שהיסטוריה של מצבים, רמזים ופעולות הפכה אותה לכזאת. הפרעה קטנה יכולה לדעוך; צירוף מסוים של עייפות, בושא והזדמנות יכול לגדול. תלות במסלול פירושה שהיום אינו בלתי תלוי באתמול, אך אין פירושה שהמחר נקבע מראש.

חשבון נפש יומי היה חשוב דווקא מפני שכוונה דרמטית אינה אמינה. השאלה נעשתה פחות 'האם סוף סוף השתנית?' ויותר 'מה הפכתי היום לקל יותר לשליפה?' לפעמים התשובה כללה אימון, כתיבה, שיחת טלפון, הגעה לפגישה, אכילה, שינה או הסכמה לכך ששעה קשה אינה דורשת פרשנות גדולה. המעשים האלה נשמעים צנועים ליד שפה של טרנספורמציה. הצניעות היא חלק מכוחם. הם משנים את התנאים שבתוכם תתקבל ההחלטה הבאה.

היו גם רגעים קצרים של מה שאפשר לכנות אאוטימוניה: לא אושר מתמיד, אלא תחושה שמאמץ, קשר, גוף ומשמעות מיושרים במידה שמאפשרת לחיים להרגיש מיושבים. אי אפשר לפקוד על הרגעים האלה, למדוד אותם בציון או להחזיק בהם לצמיתות. הם אינם הוכחה לריפוי. בתוך חיים מסוימים הם מראים שארגון אחר אפשרי. ערכם אינו בכך שהם מבטלים סבל, אלא בכך שהם מרחיבים את מערך הדרכים הזכורות שבהם אפשר לחיות יום.

לכן הערת המחבר מסתיימת לפני שהטיעון המדעי מתחיל. העמודים הבאים יבחנו פתיחות מולקולרית לשינוי, שגיאת חיזוי, סיבות חבויות, הסקה פעילה, הקשר וייצוגים מתחרים. הם ידרגו ראיות וישמרו גם את הכישלונות. העדות שלי אינה אמורה להכריע במחלוקות האלה. תפקידה לשמור על יושרה של השאלה המנחה. עדכון שמופיע בחדר אחד, במצב אחד או בשיחה אחת יכול להיות אמיתי ועדיין להישאר שברירי. שינוי נעשה בעל משמעות כאשר הוא מסוגל לנוע בלי לדרוש מן האדם להיות בדיוק אותו אדם, בדיוק באותו מקום, שבו נלמד לראשונה.

זו התקווה שאפשר להגן עליה בלי להבטיח מחיקה. למידה ישנה עשויה להישאר אפשרית. למידה חדשה יכולה בכל זאת להיעשות נגישה יותר, אמינה יותר וניידת יותר. חמלה אינה הטענה שכל תוצאה תהיה טובה. היא הסירוב לבלבל בין חזרה לבין מהות. ענווה מדעית ותקווה הנשענת על ניסיון נפגשות בנקודה הזאת: אף אחת מהן אינה יכולה להבטיח מה ישלף הרמז הבא, אך שתיהן יכולות לעזור לנו לשאול שאלות טובות יותר על התנאים שהופכים תגובה אחרת לנגישה.



פתח דבר

סתירה אחת, שלושה עתידים

תחזית שנשלפה מן הזיכרון פוגשת חוויה שאינה מתאימה לה. הייצוג הישן עשוי להישאר, להשתנות או לפנות מקום לייצוג מתחרה לצדו. ההרצאה מתחילה בצומת הזה.

1

אותו רמז יכול להוביל לזיכרונות שונים

מעמד הראיות: נתמך היטב - התוצאה תלויה במשימה, בהקשר, במערכת הזיכרון ובעיתוי.

רמז מוכר יכול להחזיר ציפייה ישנה בעוצמה רבה. מה שיקרה אחר כך אינו נקבע מראש. המפגש עשוי לאשר את התחזית הישנה, להחליש את ביטויה ההתנהגותי, לשלב בה מידע חדש או ליצור ייצוג נוסף שיתחרה על השליטה. בניסוי קצר התוצאות האלה עלולות להיראות דומות, אף שהן משקפות תהליכי זיכרון שונים.

לכן השאלה המנחה אינה רק אם ההתנהגות השתנתה. השאלה היא מה נעשה אחראי לשינוי. האם הייצוג הישן עצמו נעשה פתוח לשינוי? האם נלמדה אסוציאציה מעכבת חדשה? האם המערכת הסיקה שההווה שייך להקשר או לסיבה חבויה אחרת? ואולי השתנו הקשב, העוררות, הפעולה או בחירת התגובה, בעוד שהזיכרון הישן נותר זמין.

לכן אין לרמז תוצאת זיכרון יחידה הטמונה בו מראש. השפעתו תלויה בשאלה איזה ייצוג מנצח בתחרות להסביר את ההווה, אילו רכיבים מופעלים מחדש ואיזו תגובה נמדדת. ירידה במוליכות העור, למשל, יכולה להופיע לצד ציפייה מילולית שלא השתנתה; משמעות נרטיבית חדשה יכולה להתקיים לצד נטיית פעולה מוכרת. אלה אינן רק בעיות מדידה. הן מראות שהמשפט 'הזיכרון השתנה' גם מדי כל עוד לא הוגדרו הייצוג שנבחן והמדד המאוחר.

הניסוי המכריע צריך להפריד בין שלוש אפשרויות לפחות. ייתכן שהייצוג הישן השתנה; ייתכן שייצוג מעכב או הקשרי חדש מדכא את ביטויו; וייתכן שהקשב, בחירת הפעולה או הביצוע השתנו בעוד ששני הזיכרונות נשארו זמינים. מבחנים מאוחרים, החלפת הקשר, השבה לאחר חשיפה לתוצאה ומדדים נפרדים לכל רכיב מסייעים להבחין בין ההסברים, אף שאין תכנון התנהגותי יחיד שמזהה מנגנון בוודאות. ההרצאה תחזור שוב ושוב לצומת הזה: שינוי בהתנהגות הוא התופעה שצריך להסביר, לא הוכחה אוטומטית לכך שהעקבה הישנה נכתבה מחדש.

לכן המחקרים האינפורמטיביים ביותר אינם נשענים על תוצאה יחידה. הם מצרפים לביטוי המיידי מבחן שימור מאוחר, העברה להקשר אחר ולפחות מדד אחד ממערכת תגובה נוספת. התכנסות מחזקת טענה לשינוי רחב; פיצול מראה מה נשאר נפרד. עקרון התכנון פשוט: כל טענה על זיכרון שהשתנה צריכה לציין את הרכיב, את תנאי המבחן ואת ההסבר המתחרה שהמבחן נועד לשלול.

עובדי ראיות

- [20] Hupbach et al. (2007), Learning & Memory - Healthy adults - Moderate evidence
 [44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence
 [46] Gershman et al. (2010), Psychological Review - Human/animal data models - Strong evidence

תגובה שהשתנתה היא תצפית. שינוי של עקבת הזיכרון הוא רק הסבר אפשרי אחד.

תקציר אקדמי

2

מעמד הראיות: סינתזה של תחום הטרוגני - הבסיס הסיבתי חזק יותר במחקר בבעלי חיים ופחות מוכרע בבני אדם.

גיבוש מחדש תלוי-שליפה מתאר ייצוב פעיל מחדש של זיכרון מגובש לאחר הפעלתו, בתנאים שבהם הוא נעשה פתוח לשינוי. מחקרי יסוד הראו שהתערבויות לאחר שליפה יכולות לשנות את ביטוי הזיכרון בהמשך. מחקרים מאוחרים יותר זיהו תנאי גבול הקשורים לשגיאת חיזוי, מבנה התזכורת, איתות מולקולרי, חוזק הזיכרון, גילו ועיתוי ההתערבות. עם זאת, שליפה, ערעור יציבות ועדכון הם תהליכים שניתן להפריד ביניהם ניסויית.

ההרצאה משלבת את ספרות הגיבוש מחדש עם הכחדה, הסקת סיבות חבויות, שילוב והבחנה בהיפוקמפוס, למידת חיזוק, עיבוד חיזוי, הסקה פעילה ואינטרוספציה. המסקנה המרכזית מותנית: שינוי של ייצוג קיים סביר יותר כאשר אותו ייצוג פעיל סיבתי, מסוגל לעבור שינוי ביולוגי ועדיין נתפס כהסבר הטוב ביותר לחוויה הסותרת. סתירה גדולה או שונה מאוד בהקשר עשויה לתמוך דווקא בלמידה נפרדת או בשינוי מבני של המודל. לא הוכחה עקומת אי-התאמה אוניברסלית.

נכון להבין את הבעיה המנחה כבעיית גורלו של זיכרון בתנאי אי-ודאות. לאחר הפעלה מחדש עשוי להתרחש ייצוב פעיל עם שינוי מועט בתוכן, שינוי של קשר קיים, יצירה של למידה מתחרה, או שינוי בשליפה ובמדיניות הפעולה בלי עדכון ברמת האחסון. מחקר מולקולרי על גיבוש מחדש, תאוריות של למידה אסוציאטיבית, מחקרי היפוקמפוס ומודלים של סיבות חבויות מאירים כל אחד חלק מן ההחלטה. אף אחד מהם אינו מספק חוק מלא החל על כל מערכות הזיכרון.

לכן הסינתזה בנויה כשכבות של ראיות. התערבויות בבעלי חיים מספקות את הבסיס הסיבתי החזק ביותר למנגנוני ערעור יציבות וייצוב מחדש. ניסויים בבני אדם מראים עדכון התנהגותי ורגישות לתנאי גבול, אך בדרך כלל מסיקים את הפתיחות לשינוי בעקיפין. מודלים חישוביים מנסחים תהליכים סמויים של שיוך ותחרות, ואילו עיבוד חיזוי והסקה פעילה מרחיבים את השאלה למשקל ודאות, הסקה גופנית ופעולה. ARC מוצג רק לאחר הפרדת השכבות האלה, ונשאר השערה של Flow Hijacked שערכה תלוי בכוח ניבוי מעבר לתאוריות שהיא משלבת.

תרומת ההרצאה היא אפוא ארכיטקטונית ולא רדוקציוניסטית. היא ממקמת פתיחות תאית לשינוי, תחרות אסוציאטיבית, הסקת מצב חבוי והעברה על מפה אחת בלי לזהות ביניהן. מן המבנה עולות שתי שאלות נפרדות: האם הייצוג הקיים נעשה בר-שינוי, והאם מה שנלמד מסוגל לשלוט בהתנהגות לאחר התרחקות מתנאי הלמידה? ARC עוסק באזור התנאים הראשון; מדרג ניידות העדכון עוסק בפרופיל התוצאה השני.

עוגני ראיות

[18] Alberini et al. (2013), Current Biology - Cross-species - Strong evidence

[31] Else et al. (2018), Psychological Bulletin - Human - Strong evidence

[56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence

התזה המרכזית - הפעלה מחדש יוצרת אפשרות

מעמד הראיות: נתמך היטב כטענה מותנית.

המשפט הפופולרי שלפיו הזיכרון נעשה 'ניתן לכתיבה' בכל פעם שנזכרים בו דוחס כמה שערים לתהליך אחד. הניסוח המדויק יותר הוא ששליפה יכולה להפעיל ייצוג; הפעלה מחדש יכולה, בתנאים מסוימים, לערער את יציבותו; ערעור היציבות מאפשר עדכון אך אינו קובע אותו; וההתנהגות בהמשך תלויה בדרך שבה המידע מיוצב ונשלף מחדש.

ההבחנה הזאת מגינה מפני שתי טעויות סימטריות. הראשונה היא לתאר זיכרון כמחסן קבוע שמנגן הקלטה. השנייה היא לתאר כל היזכרות כעריכה מקיפה. הזיכרון דינמי, אך אינו גמיש ללא גבול. הפלסטיות שלו מווסתת, שונה בין רכיבים ומוגבלת על ידי למידה קודמת, הקשר והמודל הנוכחי של המערכת לגבי מה שמתרחש.

המילה המכרעת היא אפשרות, מפני שלכל מעבר יש שער משלו. רמז יכול לשלוף מידע בלי להפעיל מחדש את כל רכיביו; רכיב שהופעל יכול להישאר יציב; ייצוג שנעשה פתוח לשינוי יכול להתייצב מחדש בלי לשלב את האירוע החדש; והתנהגות מאוחרת יכולה לשקף תחרות ולא שינוי. דחיסת המעברים האלה ל'חלון כתיבה מחדש' אחד מסתירה את המשתנים שקובעים את התוצאה: מבנה התזכורת, תוכן אי-ההתאמה, חוזק הזיכרון, ההקשר, העיתוי, משקל הוודאות וקיומם של הסברים חלופיים.

התזה המותנית משנה גם את הפרשנות האנושית של שינוי שלא החזיק. כאשר תגובה ישנה חוזרת, החזרה אינה מעידה על עצלות, חוסר כנות או גורל ביולוגי. ייתכן שהרכיב הרלוונטי מעולם לא נפתח לשינוי, שהלמידה החדשה נשמרה בנפרד או שההקשר המאוחר שלף מודל אחר. האפשרויות האלה אינן מסירות אחריות ואינן מבטלות יכולת פעולה. הן ממקמות אותן בתוך מערכת מסתגלת שמצבה הבא תלוי בהיסטוריה ובתנאים הנוכחיים, ולא רק במעשה רצון יחיד.

הניסוח הזה אינו סימטרי בכוונה. עדכון מוצלח דורש התאמה בין כמה שערים, ואילו כישלון בשער יחיד יכול להשאיר את הלמידה הישנה שלמה במידה רבה. לכן תוצאה אפסית אינה ריקה מבחינה מדעית: כאשר בדיקות התפעול מספקות, היא מסייעת לאתר את המעבר שלא התרחש. ההרצאה מתייחסת לכישלון כמידע על השרשרת, לא רק כניסיון שלא הצליח לשחזר אפקט רצוי.

עובדי ראיות

[3] Nader et al. (2000), Nature - Rat - Strong evidence

[24] Sevenster et al. (2012), Neurobiology of Learning and Memory - Healthy adults - Strong evidence

[56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence

שליפה היא כניסה לעץ החלטות, לא פקודת עריכה.

כיצד לקרוא את סימוני הראיות

מעמד הראיות: כלל הגנה מתודולוגי.

טענה מבוססת נשענת על שיטות מתכנסות ואינה שנויה במחלוקת מהותית ברמת הניסוח המוצגת. טענה הנתמכת היטב נשענת על בסיס ראיות משמעותי, אך עדיין כפופה לתנאי גבול חשובים. טענה אפשרית משלבת ראיות בלי שנבחנה עדיין ישירות או שוכפלה במידה מספקת. טענה ספקולטיבית היא הצעה ניתנת לבדיקה. טענה שאינה נתמכת או נסתרת חורגת מן הראיות הקיימות או מתנגשת עם ממצאים מכריעים.

אותה משמעת חלה על השפה הדינמית. תהליך מולקולרי או עצבי שנמדד מסומן כמנגנון אמפירי. אטרקטורים ומודלים של מצבים חבויים יכולים להיות פרשנות בעלת הנעה מתמטית. ARC ומדרג ניידות העדכון הם מודלים מסבירים של Flow Hijacked. מילים כמו מסדרון, אגן ונוף עשויות להיות גם מטפורות. הקטגוריה חייבת להישאר גלויה, מפני שאלגנטיות אינה תחליף למידה.

סימון ראיות חל על הטענה בנוסח המדויק שלה, לא על כל משפט סמוך ולא על המונסין של חוקר. 'מבוסס' יכול לתאר את ההבחנה בין הכחדה למחיקה, בעוד שהמימוש העצבי המדויק נשאר לא מוכרע. 'נתמך היטב' מאפשר תנאי גבול חשובים. 'אפשרי' פירושו שכמה קווי ראיות מתכנסים אך מבחנים מכריעים עדיין חסרים. 'ספקולטיבי' אינו כינוי מנומס לעובדה חלשה; הוא מציין הצעה שחייבת להסתכן בכישלון. 'אינו נתמך או נסתר' מסמן טענה שחורגת כיום מן הראיות או מתנגשת בהן.

אותה משמעת חלה על משוואות ותרשימים. גודל שנמדד יכול להיכנס למודל אמפירי; משתנה חבוי יכול לארגן התנהגות בלי להימדד ישירות; ומושג של Flow Hijacked יכול להציע סינתזה הניתנת לבדיקה בלי לקבל תוקף עצמאי. לכן כל עמוד פורמלי מציין את רמתו. מתמטיקה יכולה לחשוף הנחות וליצור תחזיות מבדילות, אך סימון מתמטי אינו הופך מטפורה למנגנון. הנטל נשאר ראיות מאוחרות הניתנות לשחזור ומבחינות בין עדכון למידה ישנה, למידה חדשה, תחרות בשליפה ושינוי בביצוע.

מעמד הראיות יכול להשתנות גם לפי רמת התיאור. מבוסס היטב שהכחדה משאירה לעיתים למידה ישנה הניתנת לחזרה; פחות ברור איזו אוכלוסיית תאים נושאת כל יחס מתחרה במשימה אנושית מסוימת. לכן טענה יכולה להיות חזקה ברמה ההתנהגותית וזמנית ברמה המנגנונית. הסימונים שומרים על הגרנולריות הזאת, כדי שממצא אמין לא ייחלש בגלל מנגנון לא מוכרע וכדי שמנגנון אלגנטי לא ישודרג מכוח ממצא אמין בלבד.

עוגני ראיות

[31] Elsey et al. (2018), Psychological Bulletin - Human - Strong evidence

[34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence

[38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence

I

חלק I

היזכרות אינה הקרנה חוזרת

היזכרות בונה מצב שימושי בהווה מתוך עקבות נבחרות, ההקשר הנוכחי, מצב הגוף והמטרות. הבנייה הזאת עשויה לשמר, לשנות או לפצל את מה שהיה קודם.

זיכרון כמצב הנבנה מחדש

מעמד הראיות: מבוסס - שליפה היא תהליך בונה ותלוי-מצב.

היזכרות אינה שולפת אובייקט שלם ממקום יחיד. היא מתאמת מידע חלקי המפוזר בין מערכות תפיסה, רגש, פעולה, משמעות והקשר. המצב שנוצר מושפע מן הרמז השולף ומן הדבר שהאדם או בעל החיים צריכים לחזות או לעשות עכשיו. האופי הבונה הזה מסביר גם את תועלתו של הזיכרון וגם את פגיעותו לעיוות.

בנייה אינה פירושה המצאה חופשית. העקבות הקודמות מגבילות את התוצאה, וזיכרונות שנלמדו היטב יכולים להיות יציבים מאוד. הבעיה המדעית היא לזהות מתי הבנייה רק מבטאת ייצוג יציב ומתי עצם השחזור מתחיל תהליכים שמשנים את ביטוי בעתיד.

השחזור מתרחש מפני שזיכרון שימושי מורכב בין מערכות שונות ואינו מוקרן מארכיון יחיד. פרטים תפיסתיים, יחסים במרחב, ערך גופני, סדר בזמן ורלוונטיות לפעולה יכולים להישמר ולהישלף ברמות שונות של דיוק. הרמז השולף מעניק לרכיבים משקל בהתאם למטרות ולהקשר הנוכחיים. הארכיטקטורה הזאת מאפשרת להסיק באופן גמיש ממידע חלקי, אך משמעותה גם שחזרה על שליפה יכולה לשנות נגישות, דגש ואסוציאציה בלי לכתוב מחדש כל רכיב שנשמר.

לכן תיאור קפדני צריך להבחין בין תוכן הייצוג לבין המצב שנוצר בזמן השליפה. את המצב הנוכחי אפשר לבחון באמצעות דיווח, בחירה, פיזיולוגיה או דפוס עצבי; את הייצוג המתמשך מסיקים מתוך יציבות והעברה בין מבחנים מאוחרים. כאשר תגובה משתנה פעם אחת, הראיה נוגעת קודם כול למצב. טענה חזקה יותר דורשת התמדה לאורך זמן, הכללה ובקורות להשפעת ציפיות, קשב ובחירת תגובה. האופי הבונה של השליפה מבוסס. עדכון ברמת האחסון באירוע מסוים הוא טענה סיבתית נוספת.

ההבחנה חשובה בכל פעם שדיווח מאוחר שונה מדיווח מוקדם. ההבדל יכול לשקף שינוי באחסון, שינוי ברמזי השליפה, הסקה חדשה, הטיית תגובה או שכחה רגילה. מחקרי עדכון חזקים מתכננים מבחנים מאוחרים המפרידים בין המסלולים, למשל באמצעות בדיקת מקור, ביטחון, חדירות והעברה ולא רק זכירה כוללת. האופי המשחזר של הזיכרון מאפשר שינוי, אך גם מרבה את ההסברים שיש לבחון לפני שמסיקים עדכון באחסון.

עוגני ראיות

[17] Dudai (2012), Annual Review of Neuroscience - Cross-species - Strong evidence

[20] Hupbach et al. (2007), Learning & Memory - Healthy adults - Moderate evidence

[59] Shohamy et al. (2008), Neuron - Healthy adults - Strong evidence

מה בדיוק הופעל מחדש?

מעמד הראיות: נתמך היטב - רכיבי זיכרון יכולים להתפצל זה מזה.

זיכרון של אירוע עשוי לכלול זהות חושית, מקום, סדר בזמן, ערך רגשי, מצב גופני, משמעות סיבתית ונטייה לפעולה. תזכורת יכולה להפעיל חלק מן הרכיבים בעוצמה גבוהה מאחרים. לכן התערבות עשויה לשנות תגובה פיזיולוגית בלי לשנות ציפייה מודעת, או לשנות משמעות נרטיבית בעוד שדפוס פעולה המופעל מרמז נשאר.

התפיסה הרכיבית מגבילה טענות על 'הזיכרון כולו'. ירידה במוליכות העור אינה שקולה למחיקת פחד אוטוביוגרפי. שינוי בדיווח מילולי אינו מוכיח שהרגל השתנה. יש להגדיר את היחידה הסיבתית: איזה ייצוג, איזו מערכת תגובה או איזה קשר נלמד הופעלו, ואיזה מדד השתנה בהמשך.

הספציפיות של הרכיבים מסבירה מדוע התערבות יכולה להיראות מוצלחת במדד אחד וחסרת השפעה במדד אחר. בלמידה הגנתית, עוררות אוטונומית, בהלה, ציפייה והימנעות קשורות זו לזו אך אינן זהות. בזיכרון אפיזודי, זהות הפרוט, המקור, היחס בזמן והביטחון יכולים להיפרד. בלמידה הקשורה להתמכרות, ערך הרמז, ציפייה להקלה, הרגל ורצף פעולה עשויים להגיב לתזכורות שונות. תזכורת שמפעילה קשר אחד אינה פותחת אוטומטית את האחרים לשינוי.

לכן יש להגדיר את היעד כיחס: רמז מנבא תוצאה, הקשר מסמן איום, מצב גופני מנבא הקלה, או פעולה מובילה לתגמול. תכנון ניסוי מתחזק כאשר התזכורת נבחרת כדי להפעיל את היחס הזה והמבחנים המאוחרים מודדים גם את הרכיב המיועד וגם רכיבים סמוכים אפשריים. אותו כלל מונע הפרזה קלינית. אדם יכול לרכוש נרטיב חדש בעוד שהגוף עדיין מצפה לסכנה, או להראות ירידה בעוררות בעוד שההימנעות נשארת. שינוי חלקי הוא אמיתי; הוא אינו הוכחה לכך שזיכרון בלתי ניתן לחלוקה נמחק.

לכן מפת רכיבים צריכה להקדים את ההתערבות. אפשר לשאול איזה רמז שולף איזו תוצאה, באיזה הקשר ובאמצעות איזה דיווח, מדד גופני או פעולה. אותה מפה יכולה להנחות התבוננות טיפולית בלי להתיימר לאבחן עקבה: מה השתנה בשפה, מה בציפייה הגופנית, מה בהימנעות ומה השתנה רק במפגש המוגן? דיוק ברמה הזאת מגן על הישגים חלקיים מפני ביטול ועל טענות כוללות מפני ניפוח.

עוגני ראיות

- [6] Debiec et al. (2002), Neuron - Rat - Strong evidence
- [35] Sinclair et al. (2021), PNAS - Healthy adults - Strong evidence
- [58] Yoo et al. (2017), Translational Psychiatry - Rat - Moderate evidence

שרשרת העדכון בת ששת השלבים

מעמד הראיות: נתמך היטב כפירוק ניסויי של התהליך.

שליפה הופכת מידע לנגיש. הפעלה מחדש פירושה שהייצוג הקיים תורם סיבתית לעיבוד הנוכחי. ערעור יציבות הוא מעבר למצב הדורש ייצוב פעיל מחדש. שגיאת חיזוי היא פער ביחס למודל הפעיל. עדכון הוא שילוב מידע או שינוי ביחסים בין רכיבי הייצוג. גיבוש מחדש הוא תהליך הייצוב שבא לאחר מכן.

השלבים חופפים בזמן, ובבני אדם כמעט שאין אפשרות לצפות בהם ישירות. אף על פי כן, ההבחנה ביניהם מונעת הסקה המבוססת רק על עיתוי. התערבות שניתנה לאחר תזכורת אינה בהכרח התערבות בגיבוש מחדש. הראיות חזקות יותר כאשר הניסוי משנה את התזכורת, בוחן תנאי גבול של פתיחות לשינוי ומודד תוצאות מאוחרות וספציפיות לתהליך.

השלבים הם פירוק סיבתי, לא שש קופסאות שהמוח עובר בהן בתהלוכה גלויה ומסודרת. שליפה והפעלה מחדש יכולות לחפוף; שגיאת חיזוי יכולה להופיע בזמן שהייצוג מתבטא; ועדכון עשוי להתחיל לפני שהייצוב המולקולרי הושלם. הפירוק עדיין מועיל מפני שמניפולציות שונות יכולות להשפיע על קישורים שונים. שינוי בתזכורת בוחן הפעלה מחדש, התערבות בקולטנים או במערכת פירוק חלבונים עשויה לבחון ערעור יציבות, ותוצאה מאוחרת התלויה בהקשר בוחנת מה נשמר.

השרשרת מונעת גם טעות של הסקה מן העיתוי. התערבות שניתנה לאחר שליפה אינה ראייה לגיבוש מחדש רק מפני שנפלה בתוך חלון זמן מוצע. ההשפעה צריכה להיות תלויה בתזכורת, לכבד תנאי גבול ידועים או כאלה שהודגמו בניסוי, ולהישמר במבחנים ששוללים שינוי זמני בביצוע. בבני אדם, שבהם הגישה למנגנונים מולקולריים מוגבלת, ההסקה בהכרח מתכנסת מכמה מדדים ואינה ישירה. לכן השרשרת היא גם השערה מנגנונית וגם רשימה של מה שעדיין לא הוכח.

מודל מעברים מותנה

$$S = \{R, A, D, E, U, S\}, \quad P(Z_{t+1} = j | Z_t = i, \mathbf{x}_t) = T_{ij}(\mathbf{x}_t)$$

Z מצוין שלב בקבוצה S: שליפה; A הפעלה מחדש; D ערעור יציבות; E שגיאת חיזוי; U עדכון; S ייצוב מחדש. T היא הסתברות מעבר המותנית במצב הניסויי והאורגניזמי X.

פירוק פורמלי של FLOW HIJACKED - השלבים מארגנים מבחנים סיבתיים; הם אינם מצבים עצביים שנצפו ישירות.

עובדי ראיות

- [3] Nader et al. (2000), Nature - Rat - Strong evidence
- [10] Ben Mamou et al. (2006), Nature Neuroscience - Rat - Strong evidence
- [11] Tronson et al. (2007), Nature Reviews Neuroscience - Cross-species - Strong evidence

שליפה -> הפעלה מחדש -> ערעור יציבות -> שגיאת חיזוי -> עדכון -> ייצוב מחדש. אף חץ אינו מובטח.

שליפה אינה ערעור יציבות

מעמד הראיות: מבוסס - ניתוקים מולקולריים בבעלי חיים ומחקרי תנאי סף בבני אדם.

בן מאמו ועמיתיו הראו שמנגנוני פירוק חלבונים באמיגדלה עשויים להיות נחוצים לערעור היציבות בלי להיות נחוצים לשליפה עצמה. גם מחקרי שגיאת חיזוי בבני אדם מצאו השפעות לאחר שליפה רק בתנאי תזכורת מסוימים. המסר המתכנס הוא שביטוי יכול להתרחש בעוד שהייצוג נשאר יציב יחסית.

זהו הקו האדום הראשון של ההרצאה. אין להסיק שהזיכרון נעשה פתוח לשינוי רק מפני שאדם נזכר בעוצמה, חש מצוקה או הראה תגובה מותנית. תצפיות אלה מאשרות הפעלה או ביטוי. הן אינן מגלות אם התקיימו התנאים המולקולריים והחשוביים הדרושים לעדכון.

מחקר בבעלי חיים מספק את הניתוק הברור ביותר. פגיעה בתהליכים מולקולריים הדרושים לערעור יציבות יכולה להשאיר את השליפה המיידית תקינה ובה בעת להגן על הזיכרון המאוחר מפני שיבוש לאחר ההפעלה. להפך, תזכורת יכולה ליצור תגובה מותנית בלי להפוך את הזיכרון לרגיש להתערבות אמנסטית. התכנונים האלה מראים מדוע ביטוי נראה לעין אינו סמן לפתיחות לשינוי: אותה התנהגות יכולה לנבוע מייצוג יציב או מייצוג שעבר ערעור יציבות.

המחקר בבני אדם מתמודד עם בעיית זיהוי קשה יותר. אין סמן ישיר ומוסכם המראה שזיכרון אוטוביוגרפי או מותנה מסוים נכנס למצב התלוי בייצוב מחדש. לכן החוקרים מסיקים ערעור יציבות מתלות בתזכורת, מתנאי גבול של שגיאת חיזוי, מן העיתוי ומתוצאות מאוחרות. כל רמז כזה חלקי. היזכרות חיה, עוררות רגשית או תגובה גופנית חזקה מאשרות שמשו נשלף; הן אינן מצדיקות את המסקנה שהעקבה המיועדת נעשתה ניתנת לכתיבה.

סמן עתידי לערעור יציבות יצטרך להציע יותר ממתאם עם היזכרות חיה. עליו לנבא רגישות תלויה בתזכורת להתערבות מאוחרת, להבחין בין פתיחות לשינוי לבין הכחדה או עוררות, ולהשתחזר בין מעבדות בלי להניח מראש את התוצאה שהוא אמור לזהות. עד שיימצא סמן כזה, מחקרים בבני אדם צריכים לומר שערעור היציבות הוסק. זה אינו עודף זהירות, אלא זיהוי מדויק של הקישור הסיבתי שלא נצפה.

עוגני ראיות

- [24] Sevenster et al. (2012), Neurobiology of Learning and Memory - Healthy adults - Strong evidence
- [25] Sevenster et al. (2013), Science - Healthy adults - Strong evidence
- [38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence

המשפט המסוכן: כל היזכרות כותבת את הזיכרון מחדש

מעמד הראיות: אינו נתמך ואף נסתר כאשר הוא מוצג כחוק אוניברסלי.

המשפט קל לזכירה מפני שהוא מחבר הנחת יסוד נכונה למסקנה שאינה מוצדקת. השליפה היא תהליך בונה, וחלק מן היזכרונות המופעלים נעשים פתוחים לשינוי. מכאן לא נובע שכל שליפה משנה את הייצוג המאוחסן. חזרה יכולה לחזק זיכרון. תזכורת קצרה יכולה לשמר אותו. שליפות חוזרות עשויות לשפר נגישות בלי לשנות את תוכן הליבה.

הסבר ציבורי אחראי צריך לומר שהיזכרות יכולה לשנות את הדבר שנזכרים בו בתנאים מסוימים. עליו להוסיף מיד שאין להסיק משליפה בלבד את כיוון השינוי, את רמתו או את מגנונו. שפה של כתיבה מחדש בכל פעם מזמינה ניר-הייפ ועלולה ליצור ודאות כוזבת בהקשרים קליניים.

המשפט האוניברסלי מבלבל גם בין שינוי באפיזודת שליפה לבין שינוי בייצוג המתמשך. היזכרות מתרחשת תמיד במצב נוכחי ולכן אינה יכולה להיות עותק מושלם של אירוע קודם. ההבדל בחוויה אינו מוכיח שינוי ברמת האחסון. מבחני שליפה חוזרים יכולים לחזק נגישות, תזכורות יכולות לשמר או לייצב מחדש תוכן קודם, וחזרה יכולה להגביר ביטחון גם כאשר הדיוק אינו משתפר. 'מרגיש אחרת עכשיו' ו'נכתב מחדש להמשך' הן שתי טענות שונות.

לשפה ציבורית יש חשיבות מפני שהטענה עלולה להשפיע על ציפיות טיפוליות ועל האמון בזיכרון האוטוביוגרפי. כאשר כל היזכרות מתוארת ככתיבה מקיפה מחדש, אנשים עלולים לראות בחיות הוכחה, באי-ודאות נזק, או במשמעות שנבנתה בטיפול עובדה ששוחזרה. ניסוח בטוח יותר נשאר מדויק ועדיין משאיר מקום לתקווה: היזכרות יכולה לשנות זיכרון מאוחר בתנאים ביולוגיים, מידעיים והקשריים מסוימים. את הכיוון, הרכיב והעמידות של השינוי צריך למדוד, לא להסיק מעוצמת ההיזכרות.

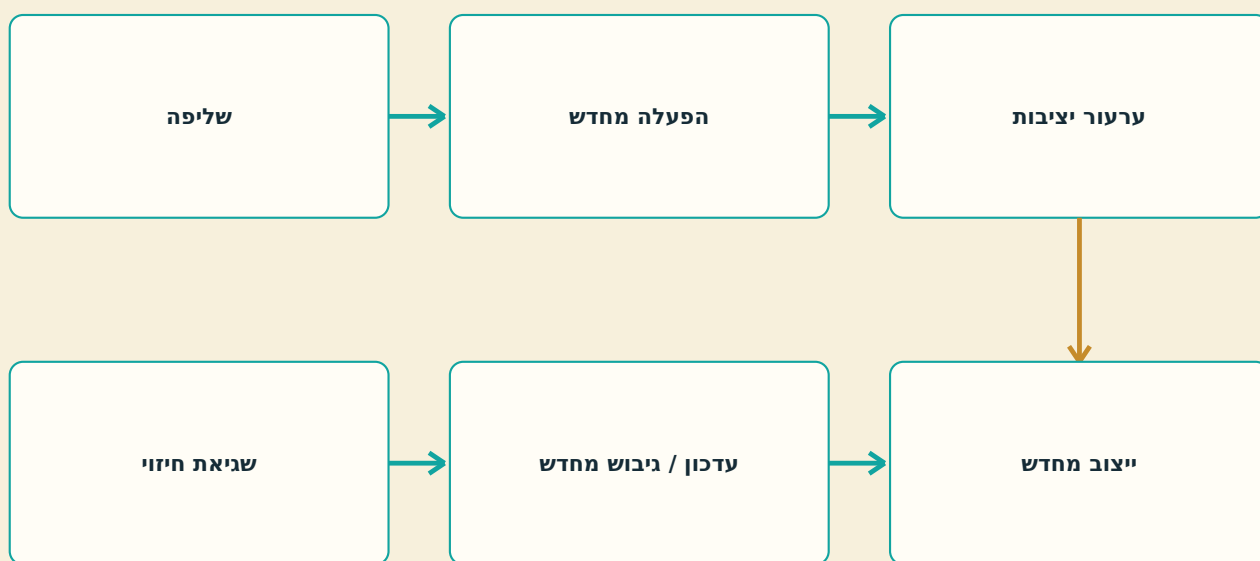
הניסוח הבטוח יותר מגן גם על כבודו של הזיכרון האוטוביוגרפי. זיכרון יכול להיות שגוי ובונה בלי להיות ניתן לעיצוב ללא גבול, ואי-ודאות אינה מעמידה את ההיסטוריה של אדם לרשותו של אדם אחר. בסביבה לימודית או טיפולית יש להציע פרשנויות כהשערות על משמעות ועל ארגון בהווה, לא כהוכחה לאירועי עבר שלא אומתו. ענווה מדעית היא כאן גם אמצעי הגנה אתי.

עובדי ראיות

- [4] Sara (2000), Learning & Memory - Cross-species - Moderate evidence
- [17] Dudai (2012), Annual Review of Neuroscience - Cross-species - Strong evidence
- [31] Elseley et al. (2018), Psychological Bulletin - Human - Strong evidence

שליפה אינה ערעור יציבות

שישה שלבים, חמישה שערים, ואין עדכון אוטומטי.



כל חץ מותנה. עצם ביטוי של זיכרון אינו מגלה איזה שער נפתח.

II

חלק II

מה פותח זיכרון לשינוי?

הפתיחות לשינוי נשלטת באמצעות שערים. הפעלה מחדש צריכה לפגוש תנאים ביולוגיים, זמניים ומידעיים לפני שייצוג קיים יזדקק לייצוב מחדש.

החזרה המולקולרית לאי-יציבות

10

מעמד הראיות: מבוסס בכמה פרדיגמות בבעלי חיים; ההשלכה לבני אדם עקיפה.

השושלת המודרנית של מחקר הגיבוש מחדש החלה כאשר התערבויות לאחר הפעלה מחדש יצרו שוב אמנזיה ללמידה שכבר התבססה. ניידר, שייף ולה-דו הראו שעיקוב סינתזת חלבונים באמיגדלה לאחר שליפה יכול לפגוע בזיכרון פחד מגובש. מחקרים מאוחרים יותר קשרו קולטני NMDA, פעילות של מערכת היוביקוויטין-פרוטאזום ומסלולי איתות נוספים לערעור יציבות ולייצוב מחדש.

ממצאים אלה מראים שזיכרונות מופעלים יכולים לחזור למצב ביולוגי פגיע. הם אינם מראים שכל זיכרון עושה זאת, או שלאותה התערבות יש אותה משמעות בין מינים ומערכות זיכרון. אמנזיה תרופתית יכולה לשקף גם פגיעה בביצוע, רעילות או קושי בשליפה אם הבקורות אינן מספיקות.

השושלת הסיבתית המודרנית מתחילה באי-סימטריה: זיכרון מגובש יכול להתבטא באופן תקין בזמן התזכורת ובכל זאת להיעשות פגיע להתערבות שניתנה אחריה. ניידר, שייף ולה-דו הדגימו זאת בהתניית פחד התלויה באמיגדלה באמצעות עיקוב סינתזת חלבונים. מחקרים מאוחרים יותר קשרו לתהליך איתות דרך קולטני NMDA, פעילות יוביקוויטין-פרוטאזום, אנדוציטוזה של קולטני AMPA ותהליכי פלסטיות נוספים. הדרישות המולקולריות המדויקות משתנות לפי המשימה, אזור המוח, גיל הזיכרון וההתערבות.

הניסויים מבססים אפשרות ביולוגית, לא חוק עריכה אוניברסלי. אמנזיה תרופתית יכולה לשקף רעילות, פגיעה בביטוי או שינוי בשליפה אם חסרות בקורות ללא תזכורת ובקורות עיתוי. מעכבי סינתזת חלבונים גם אינם מקבילה קלינית לפסיכותרפיה רגילה. ערכם המדעי צר וחזק יותר: לאחר הפעלה מחדש העומדת בתנאים, ההתמדה יכולה לשוב ולהיות תלויה בעבודה תאית פעילה. גיבוש מחדש הוא שמה של התלות הזאת; הוא אינו קובע מראש אם הזיכרון ייחלש, יתחזק או יעודכן.

ביטחון מנגנוני תלוי בניתוקים מתכנסים. התערבות צריכה לפגוע בהתמדה המאוחרת רק לאחר התזכורת הרלוונטית ובעיתוי מתאים, תוך שמירת הביטוי המידי וזיכרונות השוואה ככל האפשר. ניסויי הצלה ותפעולים ספציפיים למסלול מחזקים עוד את ההסקה. אין סיבה לצפות לחתימה מולקולרית אוניברסלית אחת, מפני שמערכות זיכרון שונות יכולות לגייס דרכים חופפות אך לא זהות אל הפתיחות לשינוי וממנה.

עובדי ראיות

[3] Nader et al. (2000), Nature - Rat - Strong evidence

[11] Tronson et al. (2007), Nature Reviews Neuroscience - Cross-species - Strong evidence

[19] Carneiro et al. (2023), Neuroscience & Biobehavioral Reviews - Primarily rodents; multiple memory tasks - Strong evidence

מה באמת מערער את יציבותו של זיכרון שנשלף?

מעמד הראיות: נתמך היטב כתהליך רב-גורמי; לא זוהה מפעיל אוניברסלי.

ערעור יציבות כנראה דורש יותר מהפעלה. התנאים הרלוונטיים כוללים את מבנה התזכורת ומשכה, הפרת ציפייה, מידת השליטה של הזיכרון הישן בחיזוי הנוכחי, חוזק הזיכרון וזמינותה של פלסטיות מולקולרית. פרדיגמות שונות עשויות להגיע לפתיחות לשינוי בדרכים שונות.

שגיאת חיזוי היא שער חשוב, לא מתג קסם. תזכורת יכולה להיות קצרה מדי מכדי ליצור את אי-ההתאמה הרלוונטית, או ממושכת עד כדי כך שלמידת הכחדה נעשית דומיננטית. זיכרון חזק עשוי לדרוש תזכורת חזקה יותר או בנויה אחרת. המשמעות המעשית היא צניעות מתודולוגית: יש להסיק את מצב הפתיחות לשינוי מתוך מניפולציות מתכנסות, ולא להניח אותו לפי מבנה של מפגש יחיד.

אין גורם יחיד שמספיק בכל הפרדיגמות. נראה כי ערעור יציבות תלוי בצירוף: חלק מספיק מן היחס המיועד צריך להיות פעיל; התזכורת צריכה לחשוף מידע שהייצוג הנוכחי אינו מצליח להסביר; שערי הפלסטיות המולקולרית צריכים להיות זמינים; והאירוע צריך להתרחש בתנאי זמן ומצב המאפשרים שינוי התלוי בייצוב מחדש. משימות שונות מממשות את המרכיבים בדרכים שונות, ולכן משך תזכורת או השמטת תוצאה יכולים לפתוח זיכרון לשינוי בפרוטוקול אחד וליצור הכחדה או חוסר השפעה באחר.

הראיה העתידית הנקייה ביותר תשנה את השערים המוצעים באופן בלתי תלוי ותמדוד תוצאה ספציפית לתהליך. אפשר, למשל, להציג אותה אי-ההתאמה פיזית תוך שינוי האחריות ההקשרית, חוזק הזיכרון או משקל הוודאות. אם רק צירופים מסוימים ייצרו רגישות תלויה בתזכורת להתערבות מאוחרת, יהיה אפשר לזהות ערעור יציבות טוב יותר מאשר באמצעות התנהגות בלבד. עד שתכנונים כאלה יתכנסו, התשובה האחראית נשארת ברבים: זיכרונות שנשלפו עוברים ערעור יציבות מתוך אינטראקציות תלויות-משימה בין הפעלה, אי-ההתאמה, למידה קודמת ומצב ביולוגי.

הבעיה המתודולוגית המרכזית היא מעגליות. חוקרים מסיקים לעיתים שתזכורת ערערה את יציבות הזיכרון מפני שהתערבות מאוחרת פעלה, ואז מסבירים התערבות שנכשלה בכך שערעור היציבות לא התרחש. התקדמות דורשת סמנים מראש ותכנונים פקטוריאליים המשנים את תוכן התזכורת, השיוך הסיבתי ושערי הפלסטיות לפני שהתוצאה ידועה. תאוריה של ערעור יציבות צריכה לנבא גם פגיעות וגם הגנה בתנאים שנקבעו מראש.

עובדי ראיות

[9] Pedreira et al. (2004), Learning & Memory - Crab (Chasmagnathus) - Strong evidence

[10] Ben Mamou et al. (2006), Nature Neuroscience - Rat - Strong evidence

[16] Rao-Ruiz et al. (2011), Nature Neuroscience - Mouse - Strong evidence

חידוש, הפתעה ושגיאת חיזוי

מעמד הראיות: נתמך היטב כמבנים קשורים אך לא זהים.

חידוש מתאר חוסר היכרות. הפתעה מתארת תצפית שהסתברות הצפויה שלה נמוכה. שגיאת חיזוי מתארת את ההפרש בין כמות צפויה לנצפית תחת מודל מסוים. גירוי יכול להיות חדש בלי לסתור את הזיכרון הפעיל, והוא יכול להפתיע מפני שהמערכת הניחה סיבה חבויה לא נכונה.

במחקר הגיבוש מחדש אי-ההתאמה החשובה אינה רק הבדל פיזי. עליה להיות רלוונטית לתחזית שנוצרה על ידי הייצוג שהופעל. פדריירה ועמיתיו, סבנקטר ועמיתיה, דיאס-מטאיקס ומחקרים נוספים תומכים בתפקיד שער של שגיאת חיזוי, אך כל משימה מגדירה את השגיאה בדרך אחרת. לכן נכון לדבר על שגיאות חיזוי ברבים.

חידוש נוגע למידת ההיכרות; הפתעה נוגעת להסתברות מוקדמת נמוכה; ושגיאת חיזוי נוגעת להפרש בין כמות צפויה לכמות שנצפתה תחת מודל מסוים. הן יכולות להופיע יחד אך אינן חייבות. גירוי חדש יכול להיות חסר משמעות לזיכרון הפעיל. אירוע מוכר יכול להפתיע בגלל עיתויו. השמטת תוצאה יכולה ליצור שגיאת חיזוי בלי להכניס דבר חדש. טענות על גיבוש מחדש נעשות חדות יותר כאשר השגיאה ששונתה קשורה לתחזית של היחס שהופעל, ולא לעוררות או לחידוש באופן כללי.

ההבחנה מונעת גם טעות קטגוריאלית בהקשר טיפולי. חוויה חזקה או חריגה אינה בהכרח מתקנת. אם האדם מייחס אותה למטפל מיוחד, לסביבה מוגנת יוצאת דופן או למצב גופני זמני, התחזית הישנה יכולה להישאר ללא שינוי. סתירה רלוונטית למודל דורשת יותר מהבדל; עליה להיחשב ראייה על הציפייה שמארגנת כרגע את המפגש. גם אז, משקל הוודאות והשינוי הסיבתי קובעים עד כמה ייעשה שימוש בשגיאה.

מבחינה ניסויית לא די בכך שהחוקר מתאר אירוע כמפתיע; דרושה ראייה שהאדם או בעל החיים החזיקו בתחזית הרלוונטית. דירוגי ציפייה, עיתוי שנלמד, בחירה, תגובת התמצאות או אומדנים ממודל ברמת הניסוי יכולים לספק ראייה כזאת, כל אחד באופן חלקי. יש להפריד גם בין הפתעה לעוררות. אחרת תגובה גופנית חזקה עלולה להיחשב בטעות מידע ספציפי למודל כאשר היא מסמנת רק בולטות.

עוגני ראיות

- [25] Sevenster et al. (2013), Science - Healthy adults - Strong evidence
- [32] Sinclair et al. (2018), Learning & Memory - Healthy adults - Strong evidence
- [33] Sinclair et al. (2019), Trends in Neurosciences - Cross-species - Strong evidence

לשגיאת חיזוי יש כמה תכנים

מעמד הראיות: נתמך היטב במדעי הלמידה; המיפוי הישיר לערעור יציבות עדיין חלקי.

תגמול יכול להיות שונה בערכו, בזהותו או בעיתויו. תוצאה מפחידה יכולה שלא להופיע, להופיע במקום אחר, לנבוע מסיבה אחרת או להיות מלווה במצב גופני בלתי צפוי. אלה אינן שגיאות מתחלפות. הן מפעילות חישובים שונים ועשויות לעדכן רכיבים שונים.

השמטה שמאתגרת את הסתברות התוצאה עשויה לשנות ציפייה ולהשאיר את הזהות החושית ללא שינוי. שינוי בזהות עשוי לשמר את הערך אך לעדכן את הדבר המצופה. טעות בעיתוי יכולה להזיז תחזית בזמן בלי לשנות אמונה סיבתית. לכן ARC חייב להתייחס לאי-התאמה כווקטור של תוכן, גודל ורלוונטיות סיבתית, ולא כמנה סקלרית יחידה.

שגיאה סקלרית מסתירה מבנה מדעי חשוב. למידת חיזוק מתחילה לעיתים בשגיאת ערך, אך זיכרון יכול לטעות בזהות התוצאה, בעיתויה, במיקומה, בגורם האחראי, ביחס הסיבתי או בתוצאה הגופנית. לכן שני אירועים בעלי הבדל פיזי דומה יכולים לעדכן פרמטרים שונים. היעדר תגמול משנה הסתברות צפויה; תגמול אחר משנה זהות; תגמול מאוחר משנה מבנה בזמן. בלמידה הגנתית, בטיחות, שליטה ומקור האיום הם גם תחזיות הניתנות להפרדה.

לכן ARC צריך להתייחס לסתירה כווקטור שקואורדינטותיו מקבלות משקל שונה במערכות שונות. הווקטור אינו מוצג כאובייקט עצבי יחיד שכבר נמדד. הוא כלי פורמלי המחייב את המודל לציין מה בדיוק נסתר. טענה ניסויית צריכה לדווח איזו תחזית השתנתה, איזו מערכת תגובה ביטאה את השינוי והאם רכיבים אחרים העבירו אותו. ללא הפירוט הזה, הביטוי 'שגיאת חיזוי גדולה' מאחד מניפולציות שאינן ניתנות להשוואה ויוצר רושם כוזב של עקומה אוניברסלית.

שגיאת חיזוי כווקטור

$$\delta_t = y_t - \hat{y}_t = (\delta_{id}, \delta_{time}, \delta_{value}, \delta_{cause}, \delta_{body})_t$$

התוצאה שנצפתה y מושווית לתוצאה החזויה $\hat{y}$ עם סימן גג. הקואורדינטות מבחינות בין זהות, עיתוי, ערך, סיבתיות ומצב גופני; אין הכרח שיהיה להן קוד עצבי יחיד.

פרשנות בעלת הנעה מתמטית - שגיאה וקטורית מקובלת במודלים; מערך הקואורדינטות הזה הוא סינמזה של Flow Hijacked.

עובדי ראיות

[37] Gerlicher et al. (2022), Scientific Reports - Healthy adults - Strong evidence

[38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence

[40] Mirea et al. (2024), Journal of Cognitive Neuroscience - Online healthy adults - Strong evidence

בעיית העיתוי

14

מעמד הראיות: נתמך היטב כתנאי גבול; החלונות המדויקים משתנים.

השפעות של גיבוש מחדש תלויות לעיתים קרובות בזמן. התערבות לפני הפעלה מחדש, מיד אחריה או כעבור כמה שעות עשויה להוביל לתוצאות שונות. גם משך התזכורת חשוב, מפני שהמערכת יכולה לעבור משליפה דרך פתיחות לשינוי אל למידה חדשה משמעותית. המעברים האלה אינם מתרחשים לפי שעון אוניברסלי אחד.

העיתוי מסוכן במיוחד בתרגום למחקר אנושי. תוצאה בתוך חלון מקובל לאחר שליפה אינה מזהה את התהליך. הכחדה, קשב, זיכרון מקור ומצב תרופתי יכולים להשתנות בזמנים דומים. העיתוי תומך בפרשנות של גיבוש מחדש רק כאשר הוא משולב בבקורות מתאימות של תזכורת ותנאי גבול.

גיבוש מחדש מתואר לעיתים באמצעות חלון לאחר שליפה, אך אי אפשר לפרש זמן בנפרד מן התהליך. תזכורת קצרה מאוד יכולה לשלוף בלי ליצור אי-התאמה משמעותית. אי-חיזוק ממושך יכול לבנות למידת הכחדה גם אם ערעור יציבות התרחש קודם. התערבות מוקדמת מדי יכולה לשנות ביטוי מיידי; התערבות מאוחרת מדי עלולה להחמיץ תהליכים התלויים בייצוב מחדש. לכן אותו מספר דקות מקבל משמעות שונה בין מינים, משימות, חוזקי זיכרון ומבני תזכורת.

תכנון חזק ממפה את הזמן במקום לבחור עיכוב נוח אחד. הוא כולל בקורות ללא תזכורת, מבחנים מיידיים ומאוחרים ויותר ממועד התערבות אחד. הוא גם מפריד בין משך התזכורת לבין העיכוב שאחריה. פרוטוקולים בבני אדם יורשים לעיתים עיתוי ממחקר מוקדם שהצליח בלי לוודא שהאוכלוסייה או המשימה החדשות חצו אותו תנאי גבול. הזמן הוא משתנה מנגנוני רק כאשר השלבים שמתחתיו נתמכים באופן עצמאי; אחרת הוא רק סדר כרונולוגי.

לכן זמן השעון הוא משתנה של הפרוטוקול, לא מנגנון. אותו מרווח יכול להכיל שיעורים שונים של שליפה, ערעור יציבות, למידה חדשה ועייפות לפי משך התזכורת והמשימה. תכנון טוב יותר בוחן מעבר תהליכי באמצעות הצלבת זמן עם אי-התאמה ובקורות ללא תזכורת. בהקשר טיפולי אין שעון עצר מתוקף המזהה את חלון הגיבוש מחדש של אדם, ויש לדחות טענות לגישה מדויקת עד הדקה.

עובדי ראיות

- [8] Suzuki et al. (2004), Journal of Neuroscience - Mouse - Strong evidence
- [21] Monfils et al. (2009), Science - Rat - Strong evidence
- [27] Sevenster et al. (2014), Learning & Memory - Healthy adults - Strong evidence

חוזק, גיל, חזרה ועוצמה רגשית

מעמד הראיות: נתמך ביחס לחוזק; מעורב ותלוי-אינטראקציה ביחס לגיל ולעוצמה הרגשית.

זיכרונות חזקים וחוזרים קשים לעיתים יותר לערעור, אף שאפשר לעיתים להתאים את התזכורת ולהחזיר פתיחות לשינוי. הגיל הכרונולוגי אינו כלל מספיק: זיכרון ישן אך חלש עשוי להיות ניתן לעדכון יותר מזיכרון חדש שחוזק שוב ושוב. מחקרים עדכניים מחזקים את חשיבותו של החוזק התפקודי על פני הגיל לבדו.

עוצמה רגשית יכולה להגביר חזרה, עוררות וגיבוש מערכת, אך אינה מקבעת זיכרון לצמיתות. גם חיות הזיכרון אינה מוכיחה דיוק או פתיחות לשינוי. המשתנים האלה פועלים יחד עם התזכורת, המצב הנוכחי ומערכת המדידה. נכון יותר לתאר אותם כמשנים את ההסתברות ואת התנאים הדרושים לעדכון, ולא כדלת שנפתחת או נסגרת לעד.

התכונות האלה משנות את ההסתברות המוקדמת שהייצוג הקיים יישאר ההסבר המועדף. חזרה יכולה להעמיק קשרי רמז-תוצאה, להרחיב דרכי שליפה ולהגדיל תמיכה ברמת המערכות. זיכרונות חזקים דורשים לעיתים תזכורת מלאה או מפתיעה יותר כדי לעבור ערעור יציבות, אך תזכורת ארוכה מדי עלולה להעביר את המשימה לכיוון הכחדה. לגיל הכרונולוגי יש חשיבות, אך ראיות עדכניות מציעות שהחוזק התפקודי בזמן ההפעלה מסביר יותר מן הזמן שחלף לבדו.

עוצמה רגשית מוסיפה אינטראקציות ואינה נועלת זיכרון באופן פשוט. עוררות יכולה לחזק גיבוש, לצמצם קשב ולעודד חזרה, אך גם לשנות את ההקשר הגופני שבו תתרחש השליפה הבאה. חיות אינה דיוק, ומצוקה אינה הוכחה לפתיחות לשינוי. השאלה המדעית השימושית היא כיצד חוזק, גיל, חזרה ורגש מזיזים את תנאי התזכורת הדרושים לפתיחת פלסטיות, את הרכיבים שנעשים פעילים ואת ההסתברות שהראיה החדשה תשתלב במקום להישמר בנפרד.

המשתנים האלה גם פועלים באינטראקציה ואינם רק מצטברים. חזרה יכולה לחזק יחס ובה בעת להרחיב את ההקשרים השולפים אותו; עוררות חזקה יכולה לחזק רכיבים מסוימים ולפצל אחרים; גיל הזיכרון יכול להפחית פתיחות מולקולרית לשינוי ובה בעת להגביר שילוב סמנטי. מדד כללי יחיד של 'חוזק זיכרון' מסתיר את המסלולים. מחקרי גבול צריכים לציין אם חוזק פירושו ביצוע, ביטחון, דיוק אסוציאטיבי, הכללה או עמידות להפרעה.

עוגני ראיות

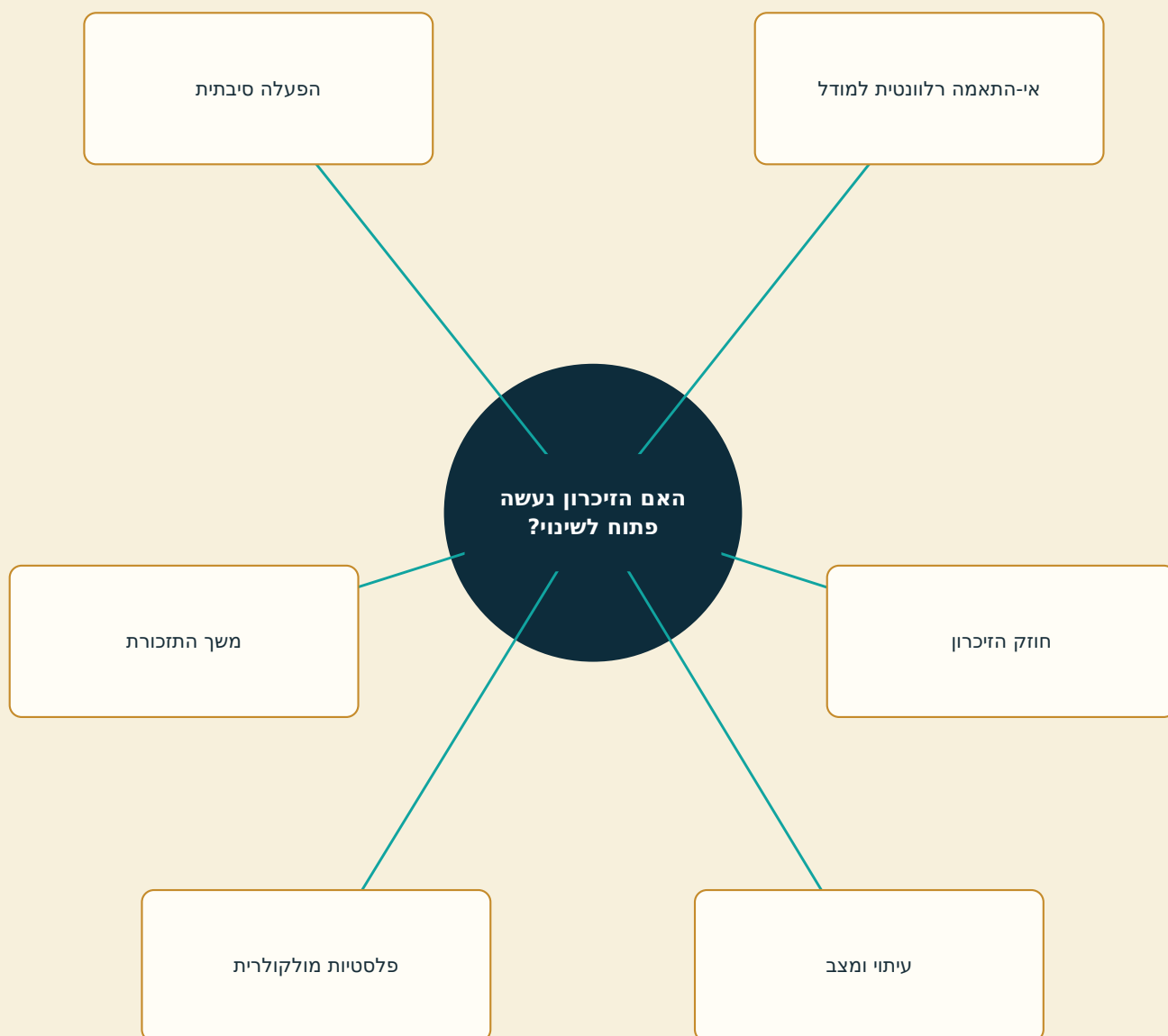
[5] Milekic et al. (2002), Neuron - Rat - Moderate evidence

[14] Wang et al. (2009), Nature Neuroscience - Rat - Strong evidence

[43] Yang et al. (2026), Philosophical Transactions of the Royal Society B - Healthy adults - Strong evidence

שער הפתיחות לשינוי

השליפה מגיעה אל השער; כמה משתנים קובעים אם ייפתח.



אין כיום סימן התנהגותי יחיד המוכיח שזיכרון אנושי עבר ערעור יציבות.

III

חלק III

שלושת גורלותיה של הסתירה

סתירה יכולה להשאיר את המודל הישן ללא שינוי, לעדכן אותו או להיות משויכת למקום אחר. אלה הסתברויות חופפות, לא שלושה תאים אוניברסליים.

אי-התאמה נמוכה - אישור או ייצוב מחדש

מעמד הראיות: נתמך היטב כתוצאה שכיחה, לא ככלל מוחלט.

כאשר החוויה דומה מאוד לציפייה, הייצוג הישן נשאר הסבר טוב לקלט. השליפה עשויה לחזק נגישות, לאשר מחדש את הקשר או ליצור התאמה קטנה בלבד בפרמטרים. גם פער קטן יכול להיות חשוב אם המערכת מייחסת לו ודאות גבוהה או אם הוא נוגע לתכונה אבחנתית, אך אי-התאמה נמוכה יוצרת לעיתים לחץ מועט לשינוי מבני.

התחום הזה חשוב מפני שמפגשים בטוחים חוזרים אינם בהכרח מתקנים. אם דבר אינו מפר מספיק את התחזית המאיימת, היעדר הפגיעה יכול להיות מוסבר כמזל, כהגנה מיוחדת או כמבחן חלקי. מצב שנראה בטוח מבחוץ עשוי ליצור מעט מאוד שגיאה הרלוונטית למודל.

כאשר החוויה שנצפתה קרובה לתחזית, המודל הפעיל שומר על יכולת הסבר גבוהה. המפגש יכול לחזק שטף שליפה, לאשר מחדש קשר או ליצור התאמה קטנה בפרמטר. הלחץ לשינוי מבני נמוך. אין פירוש הדבר ששגיאה קטנה תמיד חסרת השפעה: השמטה עדינה יכולה להיות אבחנתית מאוד כאשר משקלה גבוה, וסדרה של שגיאות קטנות יכולה להצטבר. את הגודל צריך להבין ביחס למה שהמודל תופס כמידע בעל ערך.

המקבילה הטיפולית היא מפגש בטוח שהמודל הישן מסוגל להסביר באופן שאינו מאיים עליו. אפשר לייחס את הבטיחות למזל, לדריכות, לתרופה, להגנת המטפל או לגרסה קלה במיוחד של המצב. התוצאה הנצפית חיובית, אך התחזית המאיימת נשארת תקפה בתנאים אחרים. לכן אזור של אי-התאמה נמוכה אינו פשוט 'לא קרה דבר'. זהו אזור שבו הראיה אינה יוצרת די לחץ, שיוך או משקל ודאות כדי לשנות את היחס החשוב.

גם אי-התאמה נמוכה יכולה להשפיע באמצעות חיזוק שטף השליפה או הביטחון. תזכורות חוזרות המאשרות בעקביות אותה תוצאה עשויות לייצב מחדש יחס בצורה נגישה יותר גם כאשר תוכנו כמעט אינו משתנה. לכן התוצאה הצפויה אינה תמיד קיפאון. ניסויים צריכים להבחין בין שינוי תוכן לבין חיזוק, תרגול והפחתת אי-ודאות, במיוחד כאשר עצם החשיפה החוזרת משנה ביצוע מאוחר.

עוגני ראיות

- [24] Sevenster et al. (2012), Neurobiology of Learning and Memory - Healthy adults - Strong evidence
- [27] Sevenster et al. (2014), Learning & Memory - Healthy adults - Strong evidence
- [39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

אי-התאמה הרלוונטית למודל - אפשרות לעדכון

מעמד הראיות: עיקרון כללי אפשרי הנשען על שושלות מחקר חזקות.

עדכון נעשה אפשרי כאשר הראיות סותרות באופן משמעותי תחזית פעילה, ועדיין מתפרשות כראיות על אותו מצב. השילוב הזה משאיר את האחריות הסיבתית בייצוג הישן ובו בזמן יוצר לחץ לשנות את הפרמטרים או את היחסים שבתוכם. מחקרי שגיאת חיזוי, ממצאים על הכחדה הדרגתית ומחקרי שילוב זיכרונות תומכים בחלקים מן התמונה.

המילה אפשרות חיונית. ערעור היציבות יכול להיכשל, הראיות עשויות לקבל משקל ודאות נמוך, או שקדם חזק יספוג את הסתירה בלי להשתנות. המערכת עשויה גם לעדכן רכיב אחד ולהבחין רכיב אחר. אין רמה נצפית יחידה של אי-התאמה שמבטיחה שינוי.

עדכון נעשה אפשרי כאשר האירוע סותר תחזית במידה שמחייבת למידה, ובו בזמן הייצוג הישן נשאר אחראי סיבתית לראיה. שתי הדרישות מושכות לכיוונים מנוגדים. שגיאה קטנה מדי מאפשרת אישור; מרחק הקשרי או סיבתי גדול מדי יכול לתמוך בהסבר חדש. לכן אי-ההתאמה השימושית אינה יעד של עצימות, אלא יחס בין סתירה, פתיחות לשינוי ושיוך.

גם בתוך האזור הזה עדכון הוא רק גורל אפשרי אחד. משקל ודאות נמוך יכול להפחית מערך האירוע; קדם חזק יכול לספוג אותו כרעש; רכיבים שונים יכולים להשתנות בכיוונים מנוגדים; ופעולה יכולה לעצור את החשיפה לפני שהראיות מצטברות. לכן ניסויים צריכים למדוד את היחס הישן ישירות, לאחר השהיה ובתנאים שהשתנו. הביטוי 'אפשרות לעדכון' שומר על גבול הראיות: שגיאה רלוונטית למודל יכולה לפתוח דרך לשינוי, אך אינה מחייבת את המערכת ללכת בה.

האתגר המעשי הוא להדגים רלוונטיות ולא להניח אותה. סתירה נחשבת נגד יחס ישן רק אם הלומד מתייחס לרמז, לתוצאה ולסיבה הנוכחיים כשייכים לאותו יחס. שיפוטי דמיון, מבחני הכללה והשוואת מודלים יכולים לאמוד את השיוך. הראיה החזקה ביותר תראה לאחר מכן שינוי מאוחר בתחזית המקורית בתנאים שבהם דיכוי פשוט או למידה חדשה התלויה בהקשר אמורים להיכשל.

עובדי ראיות

[12] Lee (2008), Nature Neuroscience - Rat - Strong evidence

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[42] Chen et al. (2025), Cognition - Healthy adults - Moderate evidence

כאשר הסתירה נשלחת למקום אחר

מעמד הראיות: נתמך היטב בלמידה תלוית-הקשר ובמודלים של סיבות חבויות.

סתירה יכולה להיות רחוקה מדי מבחינה הקשרית, פתאומית מדי או מוסברת בקלות על ידי סיבה אחרת, ולכן לא לשנות את הייצוג הישן. המערכת עשויה להסיק שהתנאים השתנו, שגורם אחר אחראי או שיש לאחסן את האירוע כאפיזודה נפרדת. כך נשמר ידע קודם מפני דריסה קטסטרופלית.

הפרדה אינה כישלון. בעולם משתנה לעיתים נכון לשמר שני מודלים. המחיר מופיע כאשר המודל החדש שולט בהתנהגות רק בהקשר שבו נלמד, בעוד שהישן חוזר במקומות אחרים. מחקרי סיבות חבויות, הפרדת דפוסים וחידוש תגובה חושפים את המתח בין עדכון לבין שימור מבנה.

סתירה גדולה יכולה להיות אינפורמטיבית דווקא מפני שאינה משנה את המודל הישן. אם האירוע שונה במקום, בגורם האחראי, בשלב הזמן, במצב הגוף או במבנה הסיבתי, הלומד עשוי להסיק שמצב אחר יצר אותו. הלמידה החדשה נשמרת עם הסיבה שהוסקה, בעוד שהיחס הישן נשאר שימושי לתנאים שבהם נרכש. זה אינו כישלון קוגניטיבי; זו הגנה מפני דריסה קטסטרופלית בעולם משתנה.

המחיר נעשה גלוי בהעברה. הייצוג החדש יכול להנחות התנהגות בחדר האימון אך להפסיד בתחרות השליפה במקום אחר. הצלחה טיפולית חדה יכולה לכן להתקיים לצד חידוש תגובה, לא מפני שההצלחה הייתה כוזבת אלא מפני שנקשרה לטווח צר של תנאים. מודלים של סיבות חבויות מנסחים את בעיית השיוך, והפרדת דפוסים בהיפוקמפוס מציעה נקודת מבט משלימה ברמת המעגלים. ARC חייב לכבד את שתיהן: סתירה יכולה ליצור הפרדה ולא עדכון גם כאשר ההתנהגות המיידית משתנה מאוד.

יש לבחון הפרדה כהשערה חיובית ולא להסיק אותה רק מהיעדר עדכון. ראיות אפשריות כוללות שמירת הלמידה הישנה לצד תגובה חדשה התלויה בהקשר, הבחנה עצבית בין האפיזודות, או העדפה מבוססת-מודל לכמה סיבות. לכל מדד יש הסברים חלופיים, אך התכנסות ביניהם תראה שהמערכת למדה מן הסתירה ובה בעת הגנה על היחס הישן מפני שינוי ישיר.

עוגני ראיות

- [46] Gershman et al. (2010), Psychological Review - Human/animal data models - Strong evidence
- [56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence
- [68] Bein et al. (2023), Neuroscience & Biobehavioral Reviews - Human and animal - Strong evidence

אי-ההתאמה המרבית אינה בהכרח יוצרת את העדכון המרבי

מעמד הראיות: נתמך היטב כטענת גבול מסויגת.

שגיאה פיזית גדולה יכולה למשוך קשב ולהגביר למידה, אך גם להחליש את השיוך למודל הישן. הכחדה הדרגתית עשויה לשמר את הסיבה הישנה המשוערת זמן מספיק כדי שהראיות החדשות ישנו את התוצאה הצפויה שלה, בעוד שהכחדה פתאומית עשויה להיראות כמצב עולם חדש. מחקר עדכני של קנדי ועמיתיו מוסיף לחץ נגד הצגת גודל השגיאה כמנה מונוטונית.

העיקרון חייב להישאר מסויג. שגיאות גדולות אכן יוצרות לעיתים עדכונים גדולים, במיוחד כאשר ההקשר והזהות הסיבתית נשארים יציבים. הטענה האחרת היא רק שגודל השגיאה אינו מספיק. העדכון תלוי בשאלה על מה השגיאה ואיזה ייצוג מקבל אחריות להסבירה.

התמיכה האמפירית המרכזית היא השוואתית ולא עקומת מנה-תגובה אוניברסלית. הכחדה הדרגתית יכולה לעיתים ליצור החלשה עמידה יותר מהשמטה פתאומית, באופן התואם לכך ששגיאות קטנות משמרות שיוך לסיבה הישנה ובה בעת מצטברות לשינוי. הכחדה חדה יכולה לסמן שלב חדש. בפרדיגמות אחרות הגבולות שונים, ולעיתים שגיאה גדולה כן מעדכנת ידע קודם. לכן הטענה הניתנת להגנה היא שלילית: אי-ההתאמה הפיזית המרבית אינה מבטיחה שינוי מרבי של הייצוג הישן.

שלוש הבחנות מגינות על הטענה מפני הפיכתה לסיסמה נוספת. שגיאה סובייקטיבית יכולה להיות שונה משגיאה פיזית. האחריות הסיבתית יכולה להשתנות כאשר הגודל נשאר קבוע. ותוצאת העניין צריכה להיות עדכון המודל הישן, לא רק ירידה מיידי בתגובה. מבחן קפדני משנה בנפרד את הסתירה ואת השיוך ההקשרי, ואז מודד שינוי מאוחר ביחס המקורי. אם העדכון יעלה באופן מונוטוני בכל התנאים האלה, הטענה הלא-לינארית תיחלש; אם השיוך ישנה את העקומה, מודל מנה פשוט ייכשל.

גורלות זיכרון מתחרים, לא עקומת מנה אוניברסלית

$$P(O=k | \mathbf{x}) = \frac{\exp[g_k(\mathbf{x})]}{\sum_j \exp[g_j(\mathbf{x})]}, \quad O \in \{L, U, N, P\}$$

O מציינ שינוי מועט L, עדכון U, למידה חדשה או מופרדת N, או שינוי בביצוע בלבד P. כל ציון g תלוי יחד בסתירה, בהקשר, בחזקת, בזמן ובמשקל הוודאות.

מודל הסברי של FLOW HIJACKED - חלופה הניתנת להפרכה להצגת גודל אי-ההתאמה כמשתנה יחיד ומספיק.

עובדי ראיות

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[51] Gershman et al. (2013), Frontiers in Behavioral Neuroscience - Rat - Strong evidence

[56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence

המוח אינו מעדכן סתירה. הוא מעדכן מודל שנחשב אחראי לסתירה.

מדוע אין עקומת U הפוך אוניברסלית

מעמד הראיות: אינו נתמך כחוק אוניברסלי.

התמונה המוצעת של שלושה אזורים מושכת, אך ספרויות שונות מציבות גדלים שונים על הציר האופקי. מחקרי גיבוש מחדש משנים אי-התאמה בתזכורת, מודלים של סיבות חבויות מעריכים שיוך מבני, ותיאוריית הפלסטיות הלא-מונוטונית עוסקת בהפעלה משותפת ובתחרות. הפעלה משותפת בינונית יכולה ליצור הבחנה בין ייצוגים ולא שילוב.

עקומת U הפוך יחידה תסתיר את ההבדלים האלה. הייצוג האחראי יותר הוא שדה הסתברות רב-ממדי שגבולותיו נעים עם חוזק הזיכרון, ההקשר, משקל הוודאות, העיתוי והרכיב הנמדד. אפשר להשתמש בעקומה הפשוטה כשאלת פתיחה, אך לא כמנגנון מוכרע.

עקומת U הפוך מושכת מפני שהיא דוחסת שלושה גורלות אפשריים לתמונה אחת, אך היא מערבבת צירים שונים. לשגיאת חיזוי יש תכנים רבים; ההקשר שולט בשיוך; חוזק הזיכרון מזיז את סף הפתיחות לשינוי; והפעלה משותפת בינונית יכולה ליצור הבחנה ולא שילוב לפי תאוריות של פלסטיות לא-מונוטונית. ציר אופקי יחיד אינו יכול לייצג את כל המשתנים האלה בלי להסתיר את המנגנון שהזיז את הגבול.

התמונה האחראית יותר היא שדה הסתברויות מותנה. בכל מצב משותף יש הסתברות שאינה אפס לכמה תוצאות: ייצוב מחדש עם מעט שינוי, עדכון למידה ישנה, למידה נפרדת או שינוי בביצוע. ההסתברויות היחסיות משתנות לפי המשימה והרכיב הנמדד. ARC יכול להשתמש בדימוי של מסדרון כדי לארגן את השדה, אך אסור להציגו כעקומה אוניברסלית שהותאמה לנתונים. מטרתו ליצור ניסויים שמעריכים גבולות נעים, לא לקשט מסקנה שהונחה מראש.

לכן ההרצאה אינה מציירת עקומה חלקה אחת דרך מחקרים הטרוגניים. משטח תגובה תקף ידרוש הגדרות משותפות לאי-התאמה סובייקטיבית, לשיוך לסיבה הישנה ולעדכון, וכן די תצפיות לאמידת האינטראקציות ביניהם. הראיות כיום מקוטעות מדי. התמונה המדעית המתאימה היא משפחה של משטחים תלויי-משימה, שעשויים לחלוק עקרונות בלי לחלוק ספים ואף בלי אותו סדר של תוצאות.

עובדי ראיות

- [38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence
 [66] Ritvo et al. (2019), Trends in Cognitive Sciences - Human and model - Strong evidence
 [67] McClay et al. (2022), eLife - Healthy adults - Moderate evidence

אי-התאמה אינה מנה

הגודל פועל דרך רלוונטיות, משקל ודאות, הקשר ושיוך סיבתי.

הפרדה / סיבה חדשה / למידה מקבילה

אפשרות לעדכון הייצוג הישן

שליפה / מעט עדכון

עלייה באי-ההתאמה ובשונות ההקשרית

התחומים חופפים וזזים עם חוזק הזיכרון, העיתוי והמשימה. זו אינה עקומת U הפוך מאומתת.

IV

חלק IV

מסדרון עדכון האטרקטור תחת לחץ

ARC שורד רק כסינתזה רב-ממדית והסתברותית של Flow Hijacked. ערכו הוא בחיבור פתיחות לשינוי, שיוך ותחרות למסגרת מסבירה אחת.

מדוע ARC שימושי

21

מעמד הראיות: סינתזה אפשרית של Flow Hijacked.

הספרות כוללת מושגים מקומיים חזקים, אך אין בה מסגרת נגישה אחת להחלטה המשותפת: האם ייצוג פעיל יעודכן, יישמר או יעקף באמצעות למידה נפרדת? ARC שימושי כאשר הוא מונע התייחסות לשגיאת חיזוי כמנה ומחייב לשאול אם המודל הישן עדיין אחראי לראיות החדשות.

ערכו ארגוני ומחולל השערות. הוא מחבר פתיחות מולקולרית לשינוי, שיוך חישובי, דמיון הקשרי, משקל ודאות וחוזק זיכרון לשאלה אחת הניתנת להפרכה. הוא אינו מחליף את התיאוריות המרכיבות אותו, ואינו מקבל אמת עצמאית רק משום שחיבר ביניהן.

התרומה האפשרית של ARC היא תיאום. מחקר הגיבוש מחדש שואל אם עקבה שהופעלה נעשית פתוחה לשינוי; מודלים של סיבות חבויות שואלים איזה מצב סמוי אחראי לראיה; גישות חיזוי שואלות כיצד שגיאה ומשקל ודאות משנים אמונה; ושפה דינמית שואלת על יציבות, תחרות ונגישות. השאלות נחקרות בדרך כלל במשימות ובאוצר מילים שונים. ARC ממקם אותן בתוך החלטה אחת: האם ראיה סותרת תשנה את הייצוג הפעיל, תשאיר אותו שלם או תתמוך במתחרה?

תיאום אינו גילוי בפני עצמו. ARC יקבל ערך מדעי רק אם המשתנים המשותפים ייצרו תחזיות מבדילות שמודלים פשוטים יותר מחמיצים. ערכו הציבורי מיידי יותר אך גם מוגבל: הוא מונע את האינטואיציה שיותר סתירה חייבת ליצור יותר שינוי, ושומר את השיוך הסיבתי גלוי. בשימוש נכון, המסדרון הוא שאלה ממושמעת. בשימוש שגוי, הוא הופך לשם חדש לכל התערבות שהצליחה. ההרצאה מאמצת את השימוש הראשון ודוחה את השני.

ARC מצדיק את מקומו רק אם הוא מחייב מדידה משותפת. מחקר המתפעל סתירה אך מתעלם מן השיוך הסיבתי לא איתר את המסדרון; גם מחקר המשנה הקשר בלי לבחון פתיחות לשינוי לא איתר אותו. המושג צריך לשפר תכנון ניסויי באמצעות חשיפת החוסרים האלה. אם הוא רק מעניק שם חדש לטענה שהפתעה מתונה מסייעת לעיתים ללמידה, אין לו ערך מדעי ויש לוותר עליו.

עובדי ראיות

[38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence

מה שבר את ARC המקורי

מעמד הראיות: הצורה הסקלרית המקורית - אינה נתמכת.

הניסוח הראשון של ARC רמז על מסדרון בין מעט מדי ליותר מדי שגיאת חיזוי. סקירה עוינת מצאה ארבע בעיות. שגיאת חיזוי היא רב-ממדית. ההקשר יכול להסיט את הלמידה באותה אי-התאמה פיזית. מערכות זיכרון שונות יכולות להציג גורלות שונים בעת ובעונה אחת. מודלים של פלסטיות לא-מונוטונית אינם ממפים בפשטות בין גודל הסתירה לבין שילוב.

לכן ARC אינו יכול להיות תחום קבוע על ציר אחד, מקום ממשי במוח או חלון קליני אוניברסלי. שימור הצורה הפשוטה היה הופך את המושג לאלגנטי אך שביר מדעית. הראיות מחייבות מסדרון שהגאומטריה שלו מותנית ושציריו מסומנים במפורש כמשתנים מסבירים.

המסדרון החד-ממדי המקורי נשבר בסקירה עוינת מפני שהבהירות שלו נשענה על משתנים שנעלמו מן התמונה. הוא התייחס לשגיאת חיזוי כסקלר, הניח שלזיכרון אחד יש גורל אחד ורמז על ספים תחתון ועליון קבועים. אך אותה סתירה פיזית יכולה להיות משויכת לסיבות שונות; מעגל אחד יכול לשלב בעוד שמעגל אחר מבחין; וחוזק הזיכרון או היסטוריית התזכורות יכולים להזיז את גבול הפתיחות לשינוי. התמונה הפשוטה לא הצליחה לומר איזו קואורדינטה יצרה את התוצאה.

מושג צריך להיות פחות אלגנטי כאשר הראיות דורשות זאת. ARC המתוקן מוותר על U הפוך אוניברסלי ומחליף אותו באזור תלוי-משימה בתוך מרחב הסבר רב-ממדי. המחיר הוא פשטות חזותית; הרווח הוא אפשרות להפרכה. אם סתירה, הקשר, משקל ודאות, חוזק וזהות הרכיב נמדדים בנפרד, המודל יכול להיכשל בדרכים ניתנות לזיהוי. מסדרון שגבולו זז אחרי כל תוצאה אינו מסביר דבר; מסדרון שגבולו נחזה לפני המבחן עשוי להיות שימושי.

הכישלון היה פורה מפני שהפריד בין גאומטריה למנגנון. מסדרון יכול לארגן אזור רב-משתני, אך אינו אומר איזה שער מולקולרי נפתח, איזו סיבה חבויה ניצחה או איזה רכיב השתנה. שאלות אלה דורשות תאוריות ומדדים עצמאיים. לכן ARC המתוקן כפוף למנגנונים שהוא מתאם: כאשר אחת התאוריות מספקת תחזית חדה יותר, יש להעדיף את שפתה על פני הסינתזה של Flow Hijacked.

עובדי ראיות

- [34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence
- [36] Stermerding et al. (2022), Scientific Reports - Healthy adults - Strong evidence
- [67] McClay et al. (2022), eLife - Healthy adults - Moderate evidence

ההגדרה המתוקנת של ARC

23

מעמד הראיות: מודל מסביר אפשרי ובר-הפרכה של Flow Hijacked.

מסדרון עדכון האטרקטור הוא אזור משוער ותלוי-משימה במרחב מצב מסביר רב-ממדי, שבו ייצוג קיים נשאר פעיל סיבתית, תנאי הפלסטיות הרלוונטיים מאפשרים שינוי, והראיות הסותרות אמינות וקשורות די הצורך להקשר כדי להיות משויכות לאותו ייצוג ולא לסיבה חבויה, להקשר או לזיכרון מתחרה נפרדים.

כל חלק במשפט מגביל את המושג. פעיל סיבתית מוציא זיכרון שרק הוזכר. תנאי פלסטיות מוציאים שליפה ללא ערעור יציבות. אמינות הראיות מכניסה משקל ודאות. הקשר מכניס שיוך. הסיבה החבויה החלופית שומרת את אפשרות הלמידה הנפרדת. ההגדרה נשארת סינתזה, לא מנגנון מאומת.

ההגדרה המתוקנת כוללת שלושה תנאים נחוצים אך לא מספיקים. הפעלה סיבתית פירושה שהייצוג הקיים אכן תורם לתחזית הנוכחית. יכולת לעבור עדכון פירושה ששערים ביולוגיים וחשוביים מאפשרים יותר מביטוי זמני. אחריות מתמשכת פירושה שהמערכת עדיין מתייחסת לאירוע הסותר כראיה על אותו ייצוג ולא על סיבה חבויה אחרת. כישלון של אחד התנאים מסיט את התוצאה מעדכון המודל הישן.

ההגדרה הסתברותית במכוון. היא אינה אומרת שמילוי התנאים מבטיח עדכון, או שכישלון של תנאי אחד יוצר חלופה יחידה. ייצוב מחדש, חיזוק, שינוי חלקי ברכיב, למידת הכחדה והשפעות ביצוע נשארים אפשריים. ARC מציין אזור שבו גורל מסוים נעשה סביר יותר, לא מסדרון אנטומי ולא רגע שמטפל יכול לראות ישירות. המעמד חייב ללוות כל שימוש ראשון: סינתזה מושגית של Flow Hijacked, לא מנגנון, מדד או הליך טיפולי מאומתים.

אזור של תנאים נחוצים, לא חלון מובטח לכתיבה מחדש

$$A_{ARC} = \{ \mathbf{x} : r(\mathbf{x}) \geq r_0, \ell(\mathbf{x}) \geq \ell_0, a_{old}(\mathbf{x}) \geq a_0 \}$$

r היא הפעלת היעד; ℓ היא פתיחות לשינוי המוסקת בניסוי; a -old הוא שיוך סיבתי לייצוג הישן. הספים תלויי משימה ואינם מדדים משותפים שעברו תיקוף.

השערה של FLOW HIJACKED - הקבוצה מנסחת את ההגדרה המתוקנת של ARC; היא אינה מנגנון מוחי מבוסס.

עוגני ראיות

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[46] Gershman et al. (2010), Psychological Review - Human/animal data models - Strong evidence

[66] Ritvo et al. (2019), Trends in Cognitive Sciences - Human and model - Strong evidence

ARC שואל אם הסתירה עדיין נוגעת למודל הישן ברגע שבו המודל מסוגל להשתנות.

הממדים הנדרשים

24

מעמד הראיות: פרשנות בעלת הנעה מתמטית; לא מערכת צירים מבוססת.

מצב ARC מינימלי צריך לכלול הפעלה סיבתית, שערי פתיחות לשינוי, וקטור של שגיאות חיזוי, האחריות המיוחסת לסיבה החבויה הישנה, דמיון הקשרי חיצוני ופנימי, משקל ודאות, חוזק הזיכרון וגילו, עיתוי, מצב אינטרוספטיבי ואפשרויות פעולה. המשתנים אינם חייבים להיות בלתי תלויים.

המסגרת מנבאת אינטראקציות. שגיאה בינונית בדמיון הקשרי גבוהה עשויה לקבל גורל אחר מאותה שגיאה במצב גופני הקשור לסכנה או לגמילה. זיכרון חזק עשוי לדרוש תזכורת אחרת. אפשרות להימנעות יכולה למנוע מפגש ממושך עם ראיות מתקנות. מרחב המצב הוא פיגום מחקרי לניסויים פקטוריאליים, לא ציון לאדם.

מודל עתידי של ARC דורש לכל הפחות משתנים לדרגת הפעלת היעד, פתיחות לשינוי, תוכן וגודל הסתירה, דמיון הקשרי או דמיון לסיבה חבויה, משקל ודאות, חוזק הזיכרון, משך התזכורת, זהות הרכיב וזמינות פעולה. המשתנים שייכים לרמות הסבר שונות. פתיחות לשינוי יכולה לערב תהליכים מולקולריים; שיוך סיבתי הוא חישובי; הקשר ופעולה הם התנהגותיים וסביבתיים. מותר לחבר ביניהם רק כאשר הרמה של כל משתנה נשארת גלויה.

גם פלט המודל צריך להיות ברבים. עליו להעריך הסתברויות לייצוב מחדש עם מעט שינוי, לעדכון הייצוג הישן, ללמידת סיבה חדשה ולשינוי בשליפה או בביצוע. התייחסות לעדכון כתוצאה היחידה תדחוף כל ממצא אפס או חזרה לקטגוריית שארית ותגן על התאוריה מפני כישלון. מודל מועיל ישווה את כל התוצאות על נתונים שלא שימשו להתאמה וישאל אם המצב המשותף מנבא גורל מאוחר טוב יותר ממודלים קיימים של גיבוש מחדש, הכחדה וסיבות חבויות.

תיאור המצב המזערי המוצע למבחני ARC

$$\mathbf{x} = (r, \delta, a_{\text{old}}, c, \pi, m, \tau, b)$$

הקואורדינטות מייצגות הפעלה, שגיאה רב-ממדית, שיוך לסיבה הישנה, דמיון הקשרי, משקל ודאות, חוזק זיכרון, עיתוי ומצב ביולוגי. הצעת מדידה של FLOW HIJACKED - ערכה תלוי ביכולת של מחקרים עתידיים לתפעל את הקואורדינטות בנפרד.

עובני ראיות

[29] Fernández et al. (2016), Neurobiology of Learning and Memory - Healthy adults - Moderate evidence

[37] Gerlicher et al. (2022), Scientific Reports - Healthy adults - Strong evidence

[43] Yang et al. (2026), Philosophical Transactions of the Royal Society B - Healthy adults - Strong evidence

אטרקטורים, אגנים והיסטרזיס - ביקורת ראיות

מעמד הראיות: מעמד מעורב: מתמטיקה מבוססת, תמיכה אמפירית חלקית ויישום ברמת Flow Hijacked ל-ARC.

דינמיקת אטרקטורים מספקת שפה פורמלית למצבים חוזרים, יציבות ותחרות. מחקר באוכלוסיות עצביות תומך בדינמיקה מטא-יציבה וחזרתית בכמה תחומים. הוא אינו מדגים ישירות שזיכרון אוטוביוגרפי מסוים מצוי באגן מדיד שהגאומטריה שלו משתנה בטיפול.

עומק אגן, הפרעה, היסטריזיס, נגישות וביפורקציה צריכים לשמש בשלוש רמות. הם יכולים לתאר מודלים פורמליים, להניע תחזיות ניסויות או לשמש מטפורות להתמדה ולשינוי פתאומי בחיים. ARC שייך לרמה השנייה והשלישית עד שמשתניו יוגדרו תפעולית ויקושרו לדינמיקה עצבית או התנהגותית הניתנת לשחזור.

דינמיקת אטרקטורים מבוססת אמפירית בכמה מערכות של אוכלוסיות עצביות ומבוססת מתמטית במודלים של רשתות חוזרות. דפוסים יציבים, שהייה מטא-יציבה, מעברים ותלות בהיסטוריה מספקים שפה לגיטימית לאופן שבו פעילות יכולה להתמיד או לעבור מצב. הקפיצה ההסקתית מתרחשת כאשר זיכרון אוטוביוגרפי, תסמין או מצב טיפולי מתוארים כאגן שנמדד בלי וקטור מצב תפעולי, משוואות דינמיות או ניסוי הפרעה.

לכן הרצאה 49 משתמשת בביקורת בת שלוש רמות. מצבים עצביים חוזרים שתועדו ברישום אוכלוסיות הם מנגנונים אמפיריים במשימות המסוימות שלהם. עומק אגן, היסטריזיס וביפורקציה בתוך משוואות מפורשות הם פרשנויות בעלות הנעה מתמטית. הנוף של ARC הוא מודל מסביר של Flow Hijacked, וכאשר אין לו משתנים פורמליים הוא גם מטפורה בחלקו. ההבחנות אינן מחלישות את העדשה הדינמית. הן הופכות אותה לשימושית בכך שהן מגדירות מה צריך למדוד לפני שאפשר לטעון לגאומטריה ולא רק לדמיון אותה.

משוואה כללית של דינמיקה במרחב מצבים

$$\frac{dx}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}, \mathbf{c}) + \boldsymbol{\eta}(t), \quad \mathbf{x}(t) \rightarrow \mathcal{B}_k$$

x הוא מצב המערכת; theta הם פרמטרים שנלמדו; c הוא ההקשר; eta היא הפרעה או רעש; B-k הוא אגן משיכה. הסימון אינו מזהה מעגל זיכרון מסוים.

פרשנות בעלת הנעה מתמטית - דינמיקת אטרקטורים היא מתמטיקה מבוססת; השימוש בה ב-ARC הסברי כל עוד לא הותאם ישירות לנתונים.

עובי ראיות

- [47] Fanselow (2010), Trends in Cognitive Sciences - Primarily rodent fear - Strong evidence
 [77] Osan et al. (2011), PLoS ONE - Simulated attractor network - Plausible evidence
 [78] Spalla et al. (2021), eLife - Simulated neural networks - Plausible evidence

כיצד אפשר להפריך את ARC

26

מעמד הראיות: השערה חדשה - תנאי ההפרכה מוגדרים.

ARC יאבד מערכו אם גודל אי-ההתאמה לבדו ינבא עדכון בלי תלות בהקשר, בפתיחות לשינוי ובתכונות הזיכרון; אם ראיות שונות מבחינה הקשרית ישנו באופן אמין את הייצוג הישן יותר מראיות תואמות; או אם שיוך לסיבה חבויה לא ינבא עדכון לעומת למידה נפרדת. הוא יכשל גם אם ממדיו לא יוסיפו כוח ניבוי מעבר למודלים קיימים של גיבוש מחדש וסיבות חבויות.

המבחן החזק ביותר הוא ניסוי פקטוריאלי רשום מראש שישנה באופן בלתי תלוי חוזק זיכרון, מבנה תזכורת, סוג סתירה, הקשר חיצוני וגופני, רמזי ודאות ואפשרויות פעולה. מדדים מאוחרים צריכים להבחין בין שינוי עקבה, למידה מתחרה ושינוי ביצוע. מושג שאינו שורד הבחנה כזאת צריך להשתנות או להינטש.

ההפרכה החזקה ביותר היא תוספתית. ARC צריך לאבד ערך מדעי אם משתניו אינם מנבאים עדכון מאוחר של המודל הישן מעבר למודלים פשוטים יותר. הוא נכשל גם אם אחריות הקשרית אינה משנה את הקשר בין סתירה לגורל, אם חוזק הזיכרון ופתיחותו לשינוי אינם מוסיפים מגבלה מסבירה, או אם אותו סיווג ARC ניתן בדיעבד לתוצאות שאינן מתיישבות זו עם זו. מסגרת המסוגלת לתאר כל תוצאה לאחר שהתרחשה לא יצרה תחזית מסוכנת.

תוכנית מכריעה תרשום מראש מודלים מתחרים מונוטוניים, בצורת U הפוך, של סיבות חבויות ורב-ממדיים; תשנה סתירה והקשר באופן אורתוגונלי; ותבחן כמה חוזקי זיכרון ורכיבי תגובה לאחר השהיה. מדדים עצביים או ייצוגיים צריכים לשאול אם הדפוס הקודם השתנה או שדפוס חדש נעשה נגיש לשליפה. את התוצאה יש להעריך במשתתפים או בניסויים שלא שימשו להתאמת המודל. אם מודלים קיימים מנבאים באותה רמה עם פחות הנחות, יש לנסח מחדש את ARC או לנטוש אותו ולא להגן עליו באמצעות מטפורה.

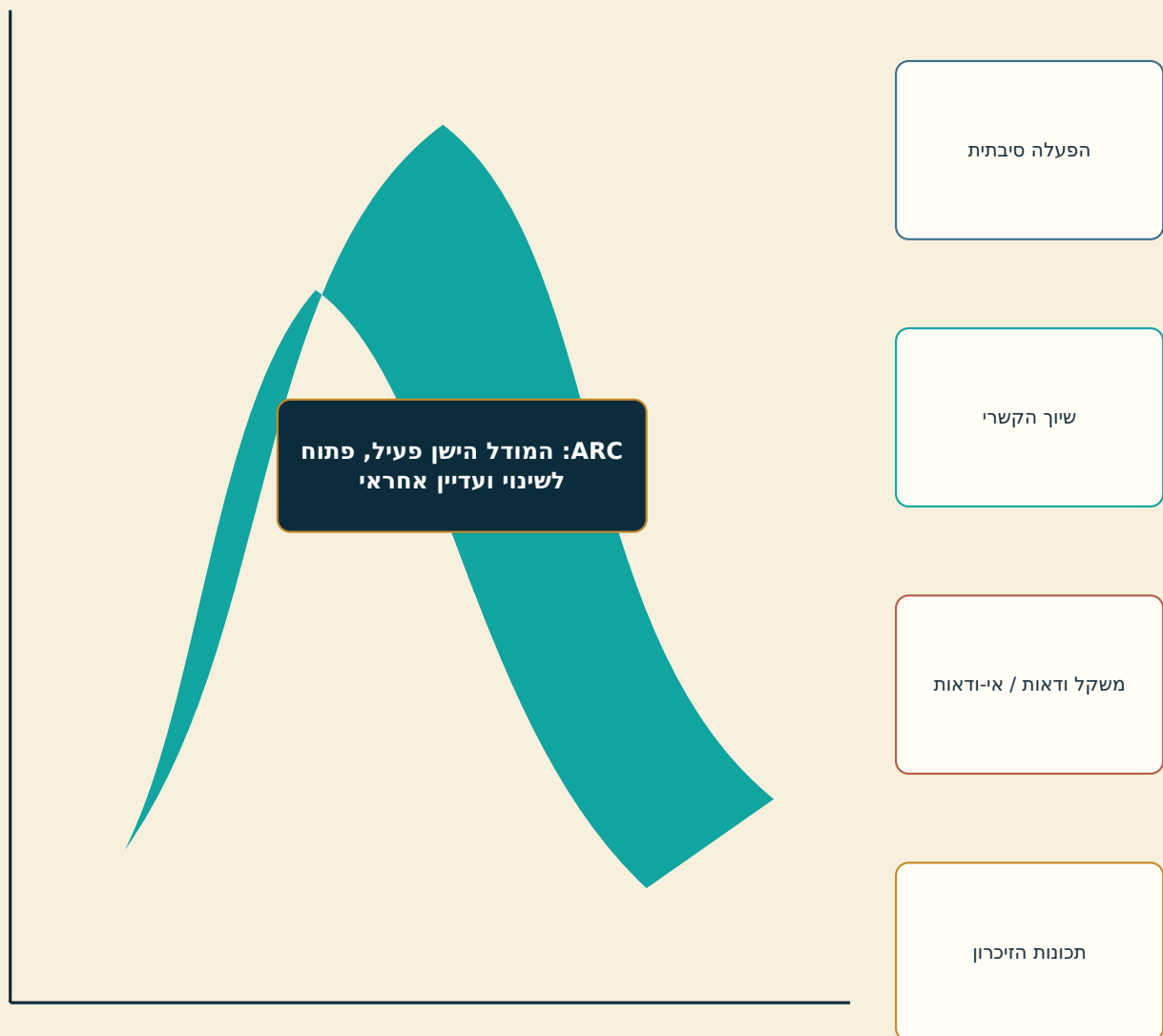
הפרכה דורשת גם התחייבות מראש. יש להגדיר לפני צפייה בתוצאות את התוצאה הרלוונטית, ההשהיה, רכיב היעד והחלופות. סימון בדיעבד של כל כישלון כמצב שהיה 'מחוץ למסדרון' יהפוך את ARC לחסין ולכן לריק מבחינה מדעית. תכנית אמינה צריכה לפרסם אומדני גבול עם אי-ודאות, לכלול תחזיות שנכשלו ולאפשר שמודלים פשוטים יותר של סיבות חבויות או למידה אסוציאטיבית יסבירו את כל השונות הנוספת.

עוגני ראיות

- [34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence
 [36] Stermerding et al. (2022), Scientific Reports - Healthy adults - Strong evidence
 [39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

מסדרון עדכון האטרקטור

אזור תלוי-משימה במרחב מצב מסביר - לא מקום במוח.



סינתזה של FLOW HIJACKED - אין מסדרון עצבי, סמן ביולוגי, ציון או פרוטוקול טיפולי מאומתים.



חלק V

כאשר החוויה החדשה נשמרת במקום אחר

התנהגות יכולה להשתפר בלי למחוק את הקשר הישן. הכחדה, הסקת סיבות חבויות, פילוח הקשרי והבחנה בין ייצוגים משמרים הסברים מתחרים.

גיבוש מחדש לעומת הכחדה

27

מעמד הראיות: הבחנה מבוססת; הגבול בין התהליכים קשה לזיהוי ניסויי.

גיבוש מחדש עוסק בעיבוד לאחר הפעלה של זיכרון קיים שנעשה פתוח לשינוי. הכחדה היא למידה שהתוצאה הצפויה אינה מופיעה עוד אחרי הרמז בתנאים הנוכחיים. זיכרון ההכחדה יכול לדכא תגובה בעוד שהאסוציאציה המקורית נשארת זמינה. משך התזכורת וכמות החשיפה ללא חיזוק יכולים להסיט משימה לעבר תהליך אחד או האחר.

ההבחנה אינה נקבעת רק לפי שעון. תזכורת קצרה עלולה שלא לערער יציבות, ומפגש ארוך עשוי לכלול גם עדכון וגם למידה מעכבת חדשה. טענה על תהליך דורשת ניסויים שבוחנים חזרת תגובה, תנאי גבול וניתוקים בין מערכות תגובה, ולא רק ירידה מיידית.

גיבוש מחדש והכחדה יכולים להתחיל מתזכורות דומות, אך הם טוענים דברים שונים על מה שנשמר. גיבוש מחדש נוגע לייצוב של ייצוג שהופעל לאחר שנפתח לשינוי, ולעיתים תוכנו או חוזקו משתנים. הכחדה יוצרת בדרך כלל למידה חדשה שלפיה הרמז אינו מנבא את התוצאה בתנאים הנוכחיים. האסוציאציה המקורית יכולה להישאר זמינה, ולכן תגובה עשויה לחזור לאחר החלפת הקשר, חלוף זמן או חשיפה מחודשת לתוצאה.

משך התזכורת ומבנה יכולים להטות את האיזון, אך אין כלל עיתוי קבוע החל על כל המשימות. אי-התאמה קצרה יכולה לשלוף ולערער יציבות; אי-חיזוק ממושך יכול לאמן הכחדה; ופרוצדורות ביניים עשויות להפעיל את שניהם. ירידה בהתנהגות לבדה אינה בוחרת בין ההסברים. נדרשות בקורות ללא תזכורת, בדיקות מאוחרות, מבחני חזרת פחד ובמידת האפשר ניתוקים מולקולריים או ייצוגיים. לעיתים המסקנה המדויקת ביותר היא קיום משותף: רכיב אחד מתעדכן ובמקום אחר נלמד יחס מעכב מתחרה.

שני התהליכים יכולים גם להתקיים באותו מפגש. ניסויי תזכורת מוקדמים עשויים לערער רכיבים מסוימים, בעוד שחשיפה ממושכת ללא חיזוק בונה למידה מעכבת או משנה את השיוך לסיבה חבויה. תווית בינארית לכל ההליך עלולה להטעות. נדרשים מדדים ברמת הניסוי ותפעולים פקטוריאליים כדי לזהות איזה רכיב נכנס לאיזה תהליך, ומבחני חזרת תגובה מאוחרים חיוניים משום שירידה מיידית מתאימה לשני ההסברים.

עוגני ראיות

[8] Suzuki et al. (2004), Journal of Neuroscience - Mouse - Strong evidence

[21] Monfils et al. (2009), Science - Rat - Strong evidence

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

הסקת סיבה חבויה - באיזה מצב אני נמצא?

מעמד הראיות: נתמך היטב ברמה החישובית וההתנהגותית.

אירועים נצפים נוצרים לעיתים מסיבות נסתרות: מרפאה בטוחה, רחוב מסוכן, שכרות, גמילה, קשר מסוים או שלב חדש בניסוי. מודלים של סיבות חבויות מתארים כיצד לומדים מקבצים תצפיות למצבים סמויים. אם הראיות החדשות משויכות לסיבה הישנה, הפרמטרים שלה יכולים להתעדכן. אם מוסקת סיבה חדשה, הלמידה נשמרת בנפרד.

המסגרת מסבירה מדוע שינוי פתאומי והחלפת הקשר יכולים להגן על הזיכרון הישן מפני עדכון. היא גם מספקת את המושג המבוסס הקרוב ביותר לרכיב השיוך של ARC. אין טעם להציג את שיוך שגיאת החיזוי כמושג חדש; המונחים של סיבה חבויה והקצאת אשראי מבנית כבר מתארים את החישוב.

לומדים אינם רק מעריכים אסוציאציות; הם מסיקים איזה מצב סמוי יצר את התצפיות. סיבה חבויה יכולה לייצג חדר, שלב בניסוי, מערכת יחסים, מצב של שכרות או אשכול רמזים שנוטה לחזור יחד. ראייה חדשה שמשויכת לסיבה הנוכחית מעדכנת את הפרמטרים שלה. ראייה שמשויכת לסיבה חדשה יוצרת למידה מקבילה. ההבחנה הפורמלית מסבירה כיצד שתי תחזיות שאינן מתיישבות זו עם זו יכולות להישמר באופן רציונלי.

השיוך תלוי בקרבה בזמן, בדמיון הקשרי, במערך הרמזים ובאמונות מוקדמות על מידת השינוי בסביבה. מעברים חדים מעודדים חלוקה; שינוי הדרגתי יכול להשאיר את הראיה בתוך הסיבה הישנה. אלה נטיות הסתברותיות ולא חוקים. הסקת סיבה חבויה היא המושג החישובי המבוסס הקרוב ביותר לתנאי האחריות של ARC. על Flow Hijacked להשתמש במונח הקיים ולבדוק אם פתיחות לשינוי מוסיפה כוח הסבר, במקום להציג הסקה מבנית כשער בעלות חדש.

שיוך בייסיאני לסיבה חבויה

$$P(z_t = k | \mathbf{x}_{1:t}) \propto P(\mathbf{x}_t | z_t = k) P(z_t = k | \mathbf{x}_{1:t-1})$$

z_t היא סיבה חבויה שמוסקת מן הנתונים. הראיה הנוכחית משולבת באמונה מוקדמת, זמנית והקשרית, לגבי הסיבה שנתרה פעילה. צורה חישובית מבוססת - היישום להכחדה ולגיבוש מחדש משפיע וניתן לבדיקה, אך הסיבה החבויה מוסקת ואינה נצפית ישירות.

עוגני ראיות

- [46] Gershman et al. (2010), Psychological Review - Human/animal data models - Strong evidence
- [50] Gershman et al. (2012), Learning & Behavior - Associative-learning datasets - Strong evidence
- [56] Gershman et al. (2017), eLife - Human and animal conditioning datasets - Strong evidence

הקשר הוא יותר מחדר

29

מעמד הראיות: נתמך היטב.

הקשר כולל מקום, זמן, חברה, כללי משימה, מצב פנימי, מצב תרופתי או שימוש בחומר, לחץ, שינה, כאב ואפשרויות הפעולה. כל אחד מהם יכול לסייע למערכת להחליט אם האירוע הנוכחי שייך למצב הישן. אותו חדר יכול לתפקד כהקשר אחר כאשר מצב הגוף או המשמעות החברתית משתנים.

ההגדרה הרחבה חשובה קלינית. אדם עשוי ללמוד ביטחון כשהוא רגוע, מלווה וללא אפשרות להימנע, ואז לפגוש את הרמז כשהוא מותש, לבד ויכול לברוח. דמיון פיזי אינו מבטיח רציפות חישובית. לכן שער ההקשר הוא תכונה משותפת של העולם, הגוף והפעולה.

הקשר כולל כל תכונה המסייעת להסיק איזה מודל צריך להנחות את המצב: מקום, זמן, אנשים, שפה, מצב פנימי, מצב תרופתי או חומרי, כלל משימה ופעולה זמינה. חלק מן התכונות הן רמזים מפורשים; אחרות משנות שליפה בלי להיכנס למודעות. לכן הקשר יכול להשתנות כאשר החדר הפיזי נשאר זהה, ואותו חדר יכול לתמוך בזיכרונות שונים במצבים גופניים או חברתיים שונים.

ההגדרה הרחבה מסבירה מדוע אי אפשר לבחון ניידות רק באמצעות מעבר מקום. אדם יכול להכליל למידה בין חדרים ולאבד אותה תחת עייפות, כאב, גמילה או מערך בין-אישי מוכר. מנגד, יציבות גופנית יכולה לאפשר ליחס חדש לעבור גם כאשר הסביבה משתנה. ניסויים צריכים לשנות ממדי הקשר בנפרד ולמדוד אילו צירופים משיבים תגובה ישנה. התייחסות להקשר כבעיית הסקה רב-ממדית מחברת למידה אסוציאטיבית, אינטרוספציה וחזרה בחיים בלי לטעון שהן מנגנון יחיד.

לכן יש למדוד דמיון הקשרי בכמה צירים. חפיפה פיזית, תפקיד חברתי, מצב פנימי, כללי משימה ופעולות זמינות יכולים להצביע לכיוונים שונים. אדם יכול להישאר באותו חדר בעוד שינוי בעוררות הגופנית או ביחסי הכוח מסמן מצב אחר; ולהפך, מדיניות ניידת יכולה לשרוד חדר חדש כאשר המבנה היחסי נשאר יציב. הצגת ההקשר כתווית יחידה מסתירה את הניתוקים האלה.

עובדי ראיות

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

[47] Fanselow (2010), Trends in Cognitive Sciences - Primarily rodent fear - Strong evidence

[58] Yoo et al. (2017), Translational Psychiatry - Rat - Moderate evidence

המזלג ההיפוקמפלי - שילוב או הפרדה

30

מעמד הראיות: נתמך היטב; מעגלים שונים יכולים להציג גורלות שונים.

ההיפוקמפוס יכול להשלים דפוס קודם מתוך רמזים חלקיים, לשלב אירועים קשורים במבנה משותף או להפריד חוויות חופפות כדי להפחית הפרעה. עבודות של שליכטינג, פבילה, צ'אנלס ואחרים מראות ששילוב והבחנה אינם תוצאות מוחיות כוללות הסותרות זו את זו. ייצוגים יכולים להתקרב באזור אחד ולהתרחק באזור אחר.

ההטרוגניות בין המעגלים מסבכת את המשפט 'הזיכרון התעדכן'. חוויה חדשה יכולה להשתלב ביחס סכמטי בעוד שפרטים אפיזודיים מופרדים, או שידע מפורש יתעדכן בעוד תגובת הגנה נמשכת. ARC חייב להיות ספציפי לרכיב ולמערכת.

ההיפוקמפוס תומך בכמה חישובים שיכולים למשוך זיכרון לכיוונים שונים. השלמת דפוס משחזרת ייצוג קודם מרמזים חלקיים. שילוב מחבר אפיזודות חופפות למבנה משותף. הפרדת דפוסים והבחנה ייצוגית מפחיתות הפרעה באמצעות הגדלת השוני בין אירועים דומים. הפעולות יכולות להתרחש בתת-אזורים שונים, בזמנים שונים ובהתאם לדרישות המשימה; הן אינן תוויות בלעדיות למוח כולו.

מחקרי הדמיה והתנהגות בבני אדם מראים ששגיאת חיזוי בזיכרון יכולה להסיט מצבים היפוקמפליים לכיוון קידוד, בעוד שחפיפה והפעלה מחדש משפיעות על השאלה אם מידע חדש ישולב או יעבור הבחנה. אירוע חדש יכול להצטרף לסכמה ברמה אחת ולשמור פרטים אפיזודיים נפרדים ברמה אחרת. ההטרוגניות מאתגרת ישירות שפה יחידה על 'הזיכרון'. ARC חייב לציין את רמת הייצוג ואת האזור, מפני שרכיב אחד יכול להתעדכן בעוד שרכיב אחר מופרד או מושלם ללא שינוי.

הצומת אינו נקבע מחפיפה בלבד. ידע קודם, סמיכות בזמן, חוזק השליפה ומידת ההפעלה המשותפת יכולים להטות לשילוב, להבחנה או להפרדת דפוסים. גם דמיון עצבי דורש פירוש זהיר: עלייה בדמיון יכולה לשקף תוכן משותף, וירידה יכולה לשקף הבחנה, קשב או רעש מדידה. מחקרים חזקים מצרפים לניתוח הייצוגי מבחני העברה והפרעה התנהגותיים כדי לברר מה השינוי העצבי עושה.

עוגני ראיות

[60] Bakker et al. (2008), Science - Healthy adults - Strong evidence

[63] Schlichting et al. (2015), Nature Communications - Healthy adults - Strong evidence

[68] Bein et al. (2023), Neuroscience & Biobehavioral Reviews - Human and animal - Strong evidence

הכללה והבחנה ייצוגית

31

מעמד הראיות: תופעות מבוססות; האיזון ביניהן תלוי במשימה.

הכללה מאפשרת ללמידה לעבור לרמזים ולהקשרים קשורים. הפרדת דפוסים מגינה על אפיזודות שונות מפני הפרעה. הבחנה ייצוגית יכולה להרחיק באופן פעיל זיכרונות חופפים כאשר התחרות ביניהם בינונית. מערכת זיכרון שימושית צריכה לפתור את שלוש הבעיות, לא למקסם דמיון או שונות.

לכן למידה מתקנת יכולה להיכשל בשני כיוונים מנוגדים. היא עשויה להיות ספציפית מדי מכדי לשלוט בהתנהגות מחוץ לאימון, או רחבה מדי עד שתטשטש הבדלים אמיתיים ותיצור הכללה לא בטוחה. העברה טובה דורשת דמיון מכויל: מבנה משותף מספיק לשליפה והבחנה מספקת לשמירת גבולות חשובים.

הכללה אינה ההפך מהבחנה. מערכת יכולה לחלץ יחס משותף שעובר בין דוגמאות ובה בעת לשמור פרטים ייחודיים המונעים הפרעה. השאלה אם התנהגות תוכלל תלויה בתכונה השולטת בתחזית ובייצוג שנשלף. דמיון רחב ברמת הערך יכול להתקיים לצד הבחנה עדינה של הקשר או זהות.

הדבר חשוב ללמידה מתקנת. אימון עם דוגמאות רבות יכול להרחיב את טווח הרמזים ששולפים בטיחות, אך שונות גדולה מדי עלולה למנוע הפעלה עקבית של מודל האיום המיועד. הכללה דורשת שונות מובנית: די משותף כדי לשמור על רלוונטיות למודל ודי גיוון כדי להפחית תלות במערך רמזים אחד. האיזון תלוי ברכיב ובשגיאה הנלמדים. ציון העברה יחיד אינו מגלה אם השינוי הרחב נבע משילוב, הפשטה, זיכרונות רבים או אסטרטגיית תגובה.

זיכרון מסתגל זקוק לשתי הפעולות. שילוב יתר יכול ליצור הפרעה והכללת איום רחבה מדי; הבחנה יתר יכולה לצמצם למידה מועילה עד שאינה עוברת למצבים אחרים. האיזון המתאים תלוי במטרות ובסטיסטיקה של הסביבה, לא בהעדפה אוניברסלית לדמיון. זו סיבה נוספת לכך ש-ARC אינו יכול לזהות שינוי מוצלח עם שילוב: מערכת יכולה להגן על דיוק באמצעות הפרדת זיכרונות ובה בעת להכליל את היחס הנכון בין מצבים רלוונטיים.

עובדי ראיות

- [61] Yassa et al. (2011), Trends in Neurosciences - Human and animal - Strong evidence
- [64] Favila et al. (2016), Nature Communications - Healthy adults - Strong evidence
- [65] Chanales et al. (2017), Current Biology - Healthy adults - Strong evidence

מדוע תגובות שעברו הכחדה חוזרות

מעמד הראיות: מבוסס.

חידוש תגובה הוא חזרת ההתנהגות כאשר ההקשר משתנה לאחר הכחדה. השבה מופיעה לאחר חשיפה לא מסומנת לתוצאה המקורית. החלמה ספונטנית מופיעה עם חלוף הזמן. גם רכישה מחדש מהירה יכולה לחשוף שהקשר המקורי נשאר זמין. יחד התופעות האלה מספקות ראיה חזקה נגד מחיקה שגרתית.

הן גם רמזים לתחרות על שליפה. למידת ההכחדה יכולה לשלוט בהתנהגות בהקשר שבו נלמדה, בעוד שהאסוציאציה הישנה חוזרת לשלוט כאשר רמזים זמניים, מרחביים או הקשורים לתוצאה מעדיפים אותה. חזרה אינה מוכיחה שלא חל שינוי. היא מראה שהתנאים השולטים בביטוי השתנו.

חידוש תגובה, השבה והחלמה ספונטנית חושפים דרכים שונות שבהן למידה ישנה חוזרת לשלוט. חידוש תגובה מופיע לאחר שינוי הקשר שמפחית שליפה של למידת ההכחדה. השבה מופיעה לאחר חשיפה לא מסומנת לתוצאה, לעיתים בהקשר המחזיר את הרלוונטיות שלה. החלמה ספונטנית מתפתחת עם הזמן כאשר ההקשר הזמני משתנה ולמידת ההכחדה החדשה מאבדת כוח שליפה יחסי. רכישה מחדש מהירה מראה שלמידה קודמת יכולה גם להאיץ למידה חוזרת.

אף אחת מן התופעות אינה מוכיחה שהכחדה מעולם לא שינתה את היחס המקורי. הן כן מראות שתגובה נמוכה בסיום האימון אינה ראיה מספקת למחיקה. מבחנים מתאימים משנים במכוון הקשר, זמן והיסטוריית תוצאות. גם בחיים, חזרה יכולה לחשוף תחרות בשליפה ולא זיוף או ביטול מלא. ההבחנה חשובה מדעית ומוסרית: הישנות מזהה תנאים שבהם למידה ישנה נעשית שוב נגישה, תוך השארת השאלה פתוחה מה באמת נלמד בתקופת הביניים.

לכן תופעות החזרה הן גששים אבחוניים ולא רק אכזבות. חידוש תגובה בוחן שליטה הקשרית; השבה בוחנת את השפעת החשיפה לתוצאה ללא רמז; וחזרה ספונטנית בוחנת מרחק בזמן. הופעתן תומכת בהתמדת למידה ישנה אך אינה מזהה היכן היא נשמרת. גם היעדרן אינו הוכחת מחיקה, אלא אם מבחנים רגישים דיים מראים שאין דרך סבירה לעורר התאוששות.

עובדי ראיות

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

[52] Vervliet et al. (2013), Annual Review of Clinical Psychology - Human and animal - Established evidence

[54] Dunsmoor et al. (2015), Neuron - Human and animal - Strong evidence

מדוע חוויה מתקנת פועלת כאן ונכשלת שם

מעמד הראיות: נתמך היטב כשליפה תלוית-הקשר; המנגנון משתנה.

חוויה מתקנת יכולה להיקודד בהצלחה ועדיין להיות קשה לשליפה בזמן לחץ, שכרות, גמילה, כאב, איום חברתי או צירוף רמזים מוכר. היא יכולה גם להיות מסווגת כחריגה: 'הייתי בטוח מפני שהמטפל היה שם', ולא 'התחזית הייתה שגויה'. לכן שיפור מידיי ושליטה בחיים הם תוצאות נפרדות.

ההבחנה פותחת את הבעיה המושגית השנייה של ההרצאה. מחקר הגיבוש מחדש שואל אם הלמידה הישנה השתנתה. החיים שואלים אם הלמידה שהשתנתה או הלמידה המתחרה ישלטו בחיזוי ובפעולה כאשר המצב ישתנה. הבעיה המאוחרת הזאת מובילה למושג ניידות העדכון בחלק VIII.

מפגש מתקן מקודד יחד עם התנאים שהופכים אותו למובן. אם בטיחות מופיעה רק עם אדם אחד, טקס אחד או מצב גופני אחד, התכונות האלה יכולות להפוך לחלק ממפתח השליפה. התחזית הישנה עשויה לחזור לשלט כאשר המפתח חסר. לכן התערבות יכולה ליצור שינוי אמיתי בתוך הפגישה ועדיין להיכשל לאחר תזוזה בתנאים. הכישלון אינו חייב להיות באחסון; הוא יכול להיות בנגישות ובשיור.

קידום העברה דורש יותר מחזרה על אותה הצלחה בדיוק. שונות בין הקשרים, רמזים ופעולות יכולה להרחיב שליפה, ורמזי שליפה מפורשים יכולים לסייע להחזיר את היחס החדש. האימון צריך לשמור את תחזית היעד פעילה במידה שמותירה את החוויה רלוונטית למודל; אחרת כל סביבה חדשה עלולה להילמד כחריג נפרד. אין מתכון אוניברסלי, במיוחד בין פחד, טראומה, הרגל והתמכרות. העיקרון הכללי הוא לבחון שינוי במקום שבו עליו לחיות, לא רק במקום שבו היה קל ליצור אותו.

תיאור קפדני צריך להבחין בין כישלון ברכישה לבין כישלון בשליפה. אם היחס המתקן לא נלמד, חיזוק וקשרי תלות ברורים יותר עשויים לעזור. אם הוא נלמד אך אינו נשלף במקום אחר, חשובים יותר תרגול בהקשרים מגוונים, שינוי במצב ורמזי שליפה. אם אפשרויות הפעולה שונות, עיצוב מחדש של הסביבה עשוי להיות חשוב יותר מתובנה נוספת. אותה חזרה נראית לעין יכולה אפוא לדרוש תגובות שונות מאוד.

עובדי ראיות

- [52] Vervliet et al. (2013), Annual Review of Clinical Psychology - Human and animal - Established evidence
- [53] Craske et al. (2014), Behaviour Research and Therapy - Anxiety treatment and laboratory fear - Strong evidence
- [57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence

ארבע דרכים שבהן התנהגות יכולה להשתנות

אותה ירידה נצפית יכולה לנבוע מתהליכי זיכרון שונים.

העקבה הישנה השתנתה

למידה מעכבת חדשה

סיבה חבויה / הקשר
חדשים

השליפה או הביצוע
השתנו

נדרשים מבחנים מאוחרים, שינויי הקשר ומדדים של מערכות תגובה כדי להבחין בין האפשרויות.

ההחלשה אמיתית; המנגנון נשאר הסקה עד שנבדקות החלופות.

VI

חלק VI

המוח החוזה, הגופני והפועל

שגיאת חיזוי קיימת רק ביחס למודל. משקל הוודאות קובע את השפעתה; מצב הגוף משנה את המודל; פעולה יכולה להפחית שגיאה בלי לעדכן אמונה.

שגיאת חיזוי היא יחסית למודל

34

מעמד הראיות: מבוסס במסגרות למידה והסקה.

שום תצפית אינה נושאת שגיאת חיזוי בפני עצמה. השגיאה היא ההפרש בין קלט לציפייה תחת מודל פעיל. אותה השמטה יכולה לומר שתוצאה פחות סבירה, שעיתויה השתנה, שההקשר אחר או שסיבה אחרת פעילה.

התלות במודל משנה את פירוש הגיבוש מחדש. המניפולציה המעבדתית קובעת את הסתירה הפיזית; הלומד קובע את הסתירה החישובית. לכן מדידת ציפייה, אמונה סיבתית והסקת הקשר אינפורמטיבית יותר מההנחה שכל המשתתפים קיבלו אותה שגיאה.

לתצפית אין שגיאת חיזוי בפני עצמה. השגיאה מוגדרת ביחס להתפלגות הצפויה של מודל: איזו תוצאה, באיזה זמן, תחת איזו סיבה ובאיזו אי-ודאות. היעדר אותו תגמול יכול להיות שגיאה גדולה אם התגמול היה כמעט ודאי, שגיאה קטנה אם ההשמטה הייתה שכיחה, או לא להיות שגיאה על המודל הישן אם הלומד מסיק הקשר חדש עוד לפני ההשמטה. לכן הבדל פיזי בין גירויים הוא קירוב לא אמין לסתירה החישובית.

היחסיות הופכת ציפייה סובייקטיבית לרלוונטית מדעית בלי להפוך אותה לחסינה מטעות. ניסויים יכולים למדוד ציפייה מפורשת, היסטורית למידה ובחירה, אך המודל היוצר הפעיל עשוי לכלול תחזיות סמויות או גופניות שהדיווח מחמיץ. נדרשים מדדים מתכנסים והשוואת מודלים פורמלית. עבור ARC, יחסיות למודל פירושה שאי אפשר לקבוע את קואורדינטות המסדרון מן התכנון הניסויי בלבד. המצב שהלומד הסיק ואי-הוודאות שלו חייבים להיכנס להסבר.

השוואת מודלים הופכת את היחסיות לניתנת לבדיקה. מודלים מועמדים יכולים לייחס שגיאות שונות לאותו ניסוי מפני שהם מייצגים מצבים, ערכים או סיבות שונים. אפשר להשוות את תחזיותיהם ברמת הניסוי לבחירה, לקצב למידה, לפיזיולוגיה או לאותות עצביים. התאמה יחידה אינה מכריעה, אך מודל המנבא גם עדכון וגם הפרדה בתנאים שלא שימשו לאימון אינפורמטיבי יותר ממודל שמכנה אירוע מפתיע רק לאחר שההתנהגות השתנתה.

עוגני ראיות

- [49] Daw et al. (2011), Neuron - Healthy adults - Strong evidence
- [55] Starkweather et al. (2017), Nature Neuroscience - Mouse - Strong evidence
- [69] Schultz et al. (1997), Science - Nonhuman primate - Established evidence

משקל ודאות - איזו שגיאה ראויה לשנות את המודל?

מעמד הראיות: נתמך היטב כחישוב; עקיף ביחס לערעור יציבות.

הסקה היררכית משקללת שגיאות לפי האמינות המוערכת שלהן. תצפית סותרת הנתפסת כרועשת, מקרית או לא אמינה עשויה לשנות מעט מאוד את האמונה. תצפית קטנה יותר הנתפסת כמדויקת יכולה להשפיע באופן לא פרופורציונלי. משקל הוודאות תלוי באיכות חושית, קשב, תנודתיות, ביטחון קודם ואמינות חברתית.

הדבר מסייע להסביר מדוע מידע מתקן יכול להיות מובן אינטלקטואלית בלי לארגן מחדש את החיזוי. המידע עשוי לקבל אמינות נמוכה לעומת קדם בעל ודאות גבוהה. עם זאת, שקלול ודאות לא הוכח כמפעיל המולקולרי של גיבוש מחדש. זהו גשר חישובי, לא תחליף למנגנוני פתיחות לשינוי.

משקל ודאות הוא האמינות הצפויה של אות או תחזית, ולעיתים מייצגים אותו כהופכי של השונות. שגיאה בעלת משקל גבוה משפיעה יותר מפני שהמערכת מתייחסת אליה כאבחנתית; שגיאה בעלת משקל נמוך נדחית כרעש או כתנודתיות. המשקל יכול לנבוע מאיכות חושית, קשב, ודאות מוקדמת, אמן חברתי או מצב גופני. הוא אינו זהה לביטחון שאדם מדווח לאחר האירוע ואינו כמות כימית יחידה.

משקל הוודאות מסבך את עקרון אי-ההתאמה בשני הכיוונים. סתירה קטנה אך אמינה מאוד יכולה להניע למידה משמעותית, בעוד שאירוע דרמטי שנתפס כחריג יכול להשאיר את הקדם כמעט ללא שינוי. בטיפול, אמינות ותחושת שליטה עשויות להיות חשובות כמו עצימות. לכן מודלים פורמליים צריכים להשתמש בשגיאה משוקללת ולבחון אם היא מנבאת עדכון מאוחר מעבר לסתירה הגולמית. המושג מבוסס היטב ברמה החישובית; המיפוי הספציפי שלו לגיבוש מחדש בבני אדם עדיין עקיף.

שגיאת חיזוי המשוקללת לפי דיוק

$$\tilde{\delta}_t = \Pi_t(\mathbf{y}_t - \hat{\mathbf{y}}_t), \quad \Pi_t = \Sigma_t^{-1}$$

Sigma היא אי-הוודאות הצפויה Pi-ו הוא הדיוק, כלומר ההופכי שלה. לכן שגיאות גולמיות שוות יכולות להשפיע בעוצמה שונה כאשר אמינות שונה.

עיקרון מידול מבוסס - תפקידו הישיר בגיבוש מחדש קשור תאורטית אך טרם הודגם באופן מכריע.

עובדי ראיות

[70] Friston (2010), Nature Reviews Neuroscience - N/A - Plausible evidence

[72] Mathys et al. (2014), Frontiers in Human Neuroscience - Human learning data models - Strong evidence

[76] Friston et al. (2017), Neural Computation - N/A - Plausible evidence

פריסטון - מצב, פרמטר, מבנה או פעולה

מעמד הראיות: קשר תיאורטי וחשובי; עקיף ביחס לגיבוש מחדש.

מסגרות של אנרגיה חופשית והסקה פעילה מבחינות בין כמה תגובות לקלט מפתיע. המערכת יכולה לעדכן אמונות על המצב הנוכחי, ללמוד פרמטרים בתוך אותו מודל, להסיק מבנה מודל אחר או לבחור פעולות שצפויות לשנות את הקלט החושי בעתיד. החלופות ממפות היטב אל שימור, עדכון, הסקת סיבה חבויה ושליטה התנהגותית.

הקשר ל-ARC חזק ביותר ברמת הארכיטקטורה המסבירה. ARC שואל מתי ראיות משויכות למודל קיים בתנאים המאפשרים שינוי. המסגרות של פריסטון מנסחות משקל ודאות, בחירת מדיניות ולמידת מבנה. הן אינן מדגימות מסדרון גיבוש מחדש, סמן לערעור יציבות או פרוטוקול קליני.

הסקה פעילה מבחינה בין כמה דרכים לפתור קלט מפתיע. הסקת מצב משנה את ההערכה של המצב הנוכחי ומשאירה את המודל שלם. למידת פרמטרים משנה יחסים בתוך המודל. למידת מבנה מוסיפה או מסירה סיבות חבויות. בחירת מדיניות משנה פעולה כך שתצפויות עתידיות יתאימו טוב יותר לתוצאות מועדפות. אלה חלופות פורמליות, ואפשר להשיג ירידה אחת בהפתעה באמצעות יותר מאחת מהן.

הקשר לעדכון זיכרון הוא ארכיטקטוני ולא הדגמה ניסויית ישירה. מחקר הגיבוש מחדש שואל אם יחס שנשמר נעשה פתוח לשינוי ומתייצב מחדש; הסקה פעילה שואלת כיצד אמונות ומדיניות פעולה מצמצמות אנרגיה חופשית צפויה תחת מודל יוצר. החפיפה נמצאת בשיוך, במשקל ודאות וברמות השינוי. עבודתו של פריסטון אינה מאמתת ARC, אינה מזהה סמן לערעור יציבות ואינה מוכיחה שפסיכותרפיה משנה מבנה מודל. היא מספקת אוצר מילים ממושמע לחלופות שעל ARC להבחין ביניהן.

אנרגיה חופשית וריאציונית

$$F[q] = \mathbb{E}_{q(s)}[\ln q(s) - \ln p(o, s)] \geq -\ln p(o)$$

$q(s)$ היא התפלגות מקורבת על מצבים חבויים; $p(o, s)$ הוא המודל הגנרטיבי של תצפיות ומצבים. מזעור F יכול לשנות הסקה, למידה, מבנה מודל או פעולה.

פורמליזם מבוסס של הסקה פעילה - המיפוי לערעור יציבות הזיכרון עקיף, ואסור להציגו כמנגנון של גיבוש מחדש.

עוגני ראיות

- [70] Friston (2010), Nature Reviews Neuroscience - N/A - Plausible evidence
- [74] Pezzulo et al. (2015), Progress in Neurobiology - N/A - Plausible evidence
- [76] Friston et al. (2017), Neural Computation - N/A - Plausible evidence

סת - הסקה אינטרוספטיבית וההקשר המורגש

מעמד הראיות: גשר תיאורטי הנתמך בראיות מתחום האינטרוספציה.

הגישה החיזונית של סת מדגישה שתפיסה היא הסקה המוגבלת על ידי אותות חושיים וציפיות קודמות. הסקה אינטרוספטיבית מרחיבה את ההיגיון לאותות הגוף המשתתפים ברגש ובתחושת העצמי. הביטוי 'הזיה מבוקרת' יכול להמחיש את האופי הבונה של התפיסה, בתנאי שאינו מוצג כפתולוגיה או ככתיבה מילולית של הזיכרון מחדש.

לשינוי זיכרון הקשר האחראי הוא שמצב הגוף מסייע להגדיר באיזה מצב המערכת מאמינה שהיא נמצאת. עוררות גבוהה, גמילה או כאב יכולים לשנות את הדמיון המורגש בין ההווה לאפיזודה קודמת, לשנות משקל ודאות ולהחזיר מדיניות הגנתית או תגמולית ישנה. עבודתו של סת אינה בוחנת ישירות גיבוש מחדש או ARC.

הסקה אינטרוספטיבית מתייחסת לאותות מן הגוף כחלק מן הראיות שמהן נבנים רגש וחוויה עצמית. דופק, נשימה, תחושה פנימית, כאב, עייפות וגמילה אינם מגיעים עם משמעות קבועה; הם מתפרשים באמצעות ציפיות מוקדמות ומודלים של המצב. הביטוי של סת 'הזיה מבוקרת' יכול להבהיר את האופי הבונה של תפיסה כאשר מסבירים אותו בזירות, אך אסור להשתמש בו כדי לרמוז לפתולוגיה, לדמיון פרוע או להמצאה בלתי מוגבלת של זיכרון.

עבור הרצאה 49, החיבור החזק ביותר הוא הקשרי. מצב הגוף מסייע לקבוע באיזה מצב האורגניזם מאמין שהוא נמצא ואיזו מדיניות פעולה נעשית נגישה. חדר חיצוני בטוח יכול להרגיש שונה מבטיחות קודמת כאשר עוררות או גמילה משתנות. הדבר יכול לשלוף למידה הגנתית או מתגמלת ישנה בלי לסתור שינוי קודם. עבודתו של סת אינה בוחנת ישירות גיבוש מחדש או ARC. היא מקשה להתעלם מתפקיד הגוף בשיוך ובניידות.

שגיאה אינטרוספטיבית והשקלול שלה לפי דיוק

$$\epsilon_{\text{int}} = y_{\text{body}} - \hat{y}_{\text{body}}, \quad \tilde{\epsilon}_{\text{int}} = \prod_{\text{int}} \epsilon_{\text{int}}$$

אותות הגוף שנצפו מושווים לאותות הגוף החזויים. השגיאה המשוקללת שלהם עשויה לתרום להקשר המורגש שבו נשלפים זיכרון או מדיניות פעולה.

גשר תיאורטי - נשען על הסקה אינטרוספטיבית, אך אינו ראייה ישירה לכך ששגיאה גופנית פותחת חלון לגיבוש מחדש.

עובדי ראיות

[71] Seth (2013), Trends in Cognitive Sciences - Human-focused - Plausible evidence

[73] Barrett et al. (2015), Nature Reviews Neuroscience - Human/animal neuroscience - Plausible evidence

[75] Seth et al. (2016), Philosophical Transactions of the Royal Society B - N/A - Plausible evidence

פעולה יכולה להסתיר שגיאת חיזוי

מעמד הראיות: נתמך היטב כעיקרון כללי של למידה.

אורגניזם אינו חייב לשנות אמונה כאשר הוא יכול לשנות את העולם שהוא דוגם. הימנעות מונעת מפגש עם תוצאות סותרות. התנהגויות ביטחון הופכות הישרדות לתואמת לאמונה שהסכנה הייתה קיימת. שימוש בחומר יכול לשנות במהירות אותות גופניים וכך לאשר לכאורה את מדיניות הפעולה שרק החומר מסוגל להשיב סבילות.

לכן הסקה פעילה מוסיפה ל-ARC את אפשרויות הפעולה. זמינות של בריחה, בדיקה, הסתרה או שימוש משנה אילו שגיאות נחוות וכיצד הן מוסברות. חוויה מתקנת דורשת לא רק תוצאה בלתי צפויה, אלא מגע מספיק איתה כדי שהתחזית הישנה תישאר אחראית.

אורגניזם אינו חייב לשנות תחזית כאשר הוא יכול לפעול כדי למנוע ראייה שסותרת אותה. הימנעות, חיפוש הרגעה, בדיקה חוזרת, שימוש בחומר ושליטה בסביבה יכולים להפחית שגיאה מיידית באמצעות שינוי הדברים שנדגמים. התחזית שורדת מפני שהעולם שנפגש תחת המדיניות נשאר מתאים לה. לכן מצוקה נמוכה לאחר הימנעות אינה ראייה לכך שאמונת האיום השתנתה.

דגימה פעילה הופכת עדכון זיכרון לבעיה של לולאה סגורה. אמונות בוחרות פעולות; פעולות בוחרות תצפיות; והתצפיות שנבחרו מעדכנות או משמרות אמונות. למידה מתקנת עשויה לדרוש תנאים בטוחים שבהם אדם יכול להישאר במגע עם ראייה הרלוונטית למודל בלי להיות מוצף או מאולץ. המשמעות הקלינית אינה הסרת יכולת הפעולה או איסור על הגנה. היא מדידה אם ההתנהגות אפשרה לבחון את התחזית הישנה והבחנה בין הקלה שנוצרה משליטה לבין למידה שנוצרה מסתירה.

הנקודה חשובה במיוחד בהימנעות. הימנעות מוצלחת מונעת את התוצאה המאיימת ויכולה לשמר את האמונה שההימנעות הייתה נחוצה, מפני שהתוצאה הנגד-עובדתית אינה נצפית. לכן תגובה יכולה להיראות יציבה למרות היעדר נזק חוזר. ניסויים וטיפולים המשנים את אפשרויות הפעולה יכולים לחשוף שגיאה סמויה, אך יש לשקול בזהירות את המחיר האתי והמעשי של הסרת הגנה.

עובדי ראיות

[74] Pezzulo et al. (2015), Progress in Neurobiology - N/A - Plausible evidence

[76] Friston et al. (2017), Neural Computation - N/A - Plausible evidence

[87] Everitt et al. (2016), Annual Review of Psychology - Human and animal addiction - Strong evidence

היכן הגשר החיזויי חייב לעצור

39

מעמד הראיות: מגבלה חשובה.

שפת העיבוד החיזויי יכולה לתאר מחדש כמעט כל ממצא לאחר מעשה. ערכה המדעי נובע מהתחייבויות פורמליות ומתחזיות מבדילות, לא מאוצר מילים אוניברסלי. מחקר שמראה שגיאת חיזוי אינו מוכיח בכך הסקה פעילה, ותיאור של מודל יוצר אינו מזהה ערעור יציבות סינפטי.

הרצאה 49 צריכה לסמן את סת ואת פריסטון כחיבורים תיאורטיים חזקים בעלי דגשים שונים: סת תורם הסקה גופנית והקשר מורגש; פריסטון תורם משקל ודאות, מדיניות פעולה ורמות של שינוי מודל. אין לכלול אותם באופן טקסי, ואין לצטט אותם כאימות ניסויי של ARC.

שפת העיבוד החיזויי יכולה לתאר כמעט כל תוצאה לאחר מעשה, וזו בדיוק הסיבה שהיא זקוקה לכללי עצירה. שגיאת חיזוי במשימת התניה אינה מוכיחה בפני עצמה הסקה פעילה. התאמה טובה יותר של מודל אינה מוכיחה שלייצוג עצבי יש הצורה שהוצעה. תיאור יוצר של תפיסה אינו מזהה את השער המולקולרי שמערער יציבות של זיכרון. תאוריות ברמות שונות יכולות להתיישב זו עם זו בלי להיות זהות.

הגשר חזק ביותר כאשר הוא יוצר הבחנות חדשות: הסקת מצב לעומת למידת פרמטרים, למידת פרמטרים לעומת למידת מבנה, ושינוי אמונה לעומת שליטה בשגיאה באמצעות פעולה. הוא נחלש כאשר מונחים כגון משקל ודאות או אנרגיה חופשית משמשים כהסבר אוניברסלי ללא מדדים תפעוליים. לכן ההרצאה מסמנת את סת ואת פריסטון כחיבורים תיאורטיים בעלי תרומות שונות. אף אחד מהם אינו קישוט, ואף אחד אינו ראיה ניסויית ל-ARC, לטיפול באמצעות גיבוש מחדש או למסדרון אטרקטור ממשי.

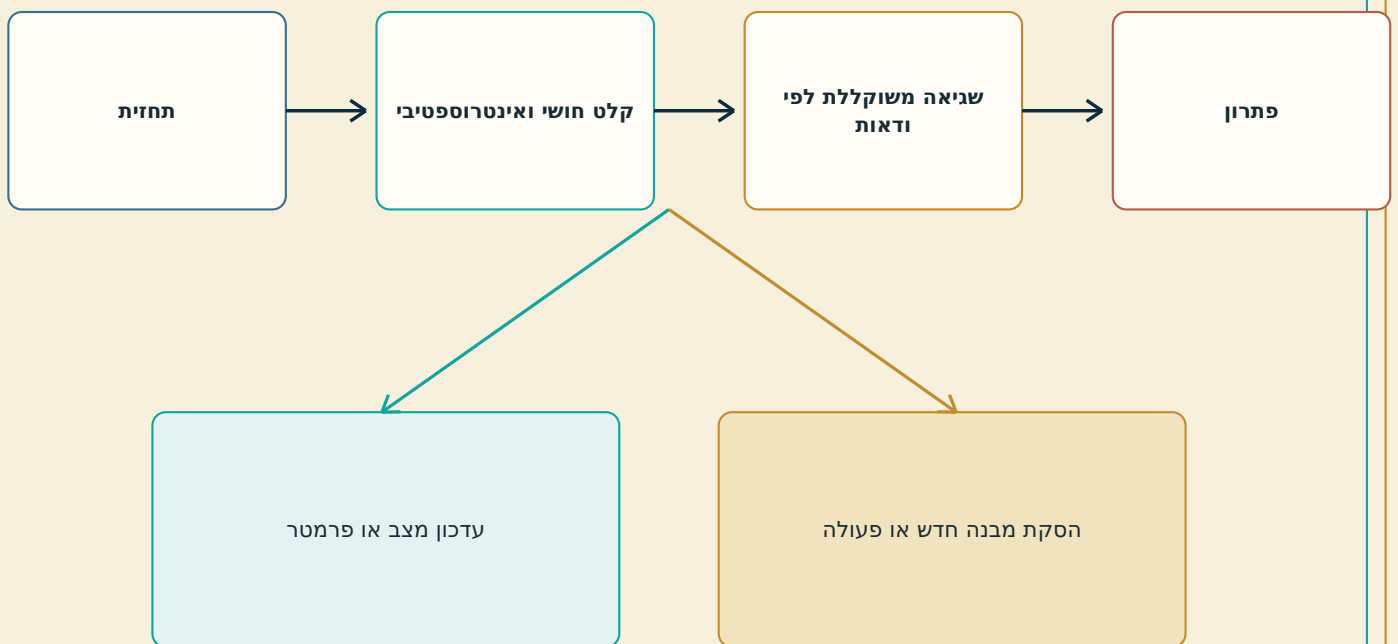
הגשר מועיל ביותר כאשר הוא יוצר תפעול מבדיל: שינוי משקל הוודאות תוך שמירת הסתירה, שינוי שליטה בפעולה תוך שמירת הקלט החושי, או שינוי שיוך סיבתי בלי לשנות את ההקשר הפיזי. הוא חלש ביותר כאשר כל תוצאה מתוארת בדיעבד כמזעור מוצלח של הפתעה. מסגרת היכולה להסביר עדכון, הפרדה, הימנעות וחוסר שינוי עדיין זקוקה לתחזיות מראש כדי להפוך לראיה לבעיית הזיכרון הזאת.

עוגני ראיות

- [38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence
 [70] Friston (2010), Nature Reviews Neuroscience - N/A - Plausible evidence
 [71] Seth (2013), Trends in Cognitive Sciences - Human-focused - Plausible evidence

ארבע דרכים שבהן מודל יוצר יכול לפתור שגיאה

תפיסה, למידה, מבנה ופעולה הם מסלולים מתחרים.



סת ופריסטון: גשרים תיאורטיים חזקים, ראיות עקיפות לגיבוש מחדש, ללא אימות של ARC.

VII

חלק VII

זיכרונות שונים, מגבלות שונות

פחד, אפיזודות, תגמולים והרגלים אינם חולקים כלל עדכון אחד. יש לשמור על ההבדלים במעגלים, במדדים, בזמנים ובמשמעות הקלינית.

פחד ולמידה הגנתית

40

מעמד הראיות: בסיס הראיות הסיבתי החזק ביותר לגיבוש מחדש; ברובו למידת איום בבעלי חיים ובמעבדה.

למידה הגנתית מותנית מאפשרת שליטה מדויקת ברמז, בתוצאה, בתזכורת ובהתערבות. הדבר איפשר מחקר מולקולרי מכריע באמיגדלה ומחקרי שליפה-הכחדה משפיעים. הוא גם מצמצם את המסקנה: קיפאון, בהלה ומוליכות עור הם רכיבי הגנה, לא חוויית פחד שלמה.

פחד אוטוביוגרפי אנושי כולל ידע סמנטי, דימויים, זיכרון גופני, משמעות חברתית והימנעות. שינוי במערכת תגובה מעבדתית אחת אינו מתיר להכליל למחיקת טראומה. פרדיגמות של למידה הגנתית הן מודלים מנגנוניים, לא גרסה ממוזערת של אדם שלם.

התניית פחד שולטת בספרות הגיבוש מחדש מפני שאפשר לשלוט ברמזים, בתוצאות ובעיתוי ולמדוד תגובות הגנתיות שוב ושוב. אך קיפאון, בהלה, מוליכות עור, ציפייה והימנעות דוגמים מערכות שונות. מניפולציה שמשנה מדד אחד אינה חייבת לשנות אחר, ותגובה הגנתית של בעל חיים אינה גרסה מוקטנת של זיכרון טראומטי. הפרדיגמה מבודדת מנגנונים; היא אינה משחזרת את התופעה האנושית המלאה.

גם למידה הגנתית היא מסתגלת. שימור יחס איום ישן תחת בטיחות לא ודאית יכול להיות יקר, אך מחיקתו לאחר חריג אחד עלולה להיות מסוכנת יותר. הכחדה והפרדת סיבות חבויות מאפשרות מעבר גמיש בין סביבות. לכן תרגום צריך לשאול איזו תחזית הגנתית היא היעד וכיצד נבחנת חזרה. טענה למחיקת פחד דורשת ראיה שהיחס המקורי השתנה בין הקשרים, לאורך זמן ולאחר השבה, ולא רק שהתגובה ירדה בתוך פגישה אחת.

אין להתייחס למדדי פחד כחלונות חלופיים לאותו מצב. ציפייה יכולה להתעדכן בעוד תגובת הבהלה נשארת; עוררות אוטונומית יכולה לרדת בעוד הימנעות נשמרת; ידע מילולי יכול לדווח על בטיחות בעוד הכללת האיום נמשכת. הפיצול בין מערכות התגובה חשוב מדעית. הוא מראה איזו תחזית או מדיניות השתנתה ומונע בחירה בדיעבד של המדד המרשים ביותר כהגדרת הזיכרון.

עובדי ראיות

[21] Monfils et al. (2009), Science - Rat - Strong evidence

[54] Dunsmoor et al. (2015), Neuron - Human and animal - Strong evidence

[94] Meijer et al. (2026), Science Advances - Healthy adults - Moderate-strong evidence

זיכרון אפיזודי והצהרתי

מעמד הראיות: נתמך היטב ביחס לשחזור ולשילוב; מנגנוני הגיבוש מחדש משתנים.

זיכרונות הצהרתיים יכולים לשלב פרטים מטעים, יחסים חדשים ומשמעויות מעודכנות לאחר שליפה. מחקרים אנושיים על עדכון אפיזודי, שילוב וזיכרון מקור מראים גמישות אמיתית. אולם השינויים יכולים לנבוע משחזור, הסקה, בלבול מקור או קישור אפיזודי חדש בלי לדרוש אותו תהליך מולקולרי כמו בגיבוש מחדש של פחד באמיגדלה.

לכן ההרצאה צריכה להבחין בין עדכון התנהגותי לבין זיהוי התהליך. סיפור שהשתנה יכול להיות משמעותי מאוד גם כשהמסלול הביולוגי אינו ברור. צניעות מדעית ביחס למנגנון אינה הופכת את השינוי הנחוזה לבלתי אמיתי.

עדכון זיכרון אפיזודי בבני אדם מראה שתזכורות יכולות לגרום לאירועים קודמים ליצור אינטראקציה עם מידע חדש. הופבאך ועמיתיה הראו שילוב תלוי-תזכורת ברשימה מוקדמת, ומחקרים מאוחרים יותר זיהו תפקידים לחפיפה, חיזוי וידע קודם. ההשפעות תומכות בשילוב, אך יכולות לשקף גם בלבול מקור או שינוי בארגון השליפה. הדיווח המאוחר אינו חלון ישיר אל העקבה שנשמרה.

זיכרון דקלרטיבי מוסיף ממדים שאינם קיימים בהתניה פשוטה: היזכרות מודעת, מבנה סמנטי, משמעות נרטיבית, ביטחון ומקור. אדם יכול לעדכן הבנה סיבתית ולשמור פרט חושי, או לשלב יחס ובה בעת להבחין בין אפיזודות. יש למדוד בנפרד חדירה, זיכרון מקור והעברה. בהקשר טיפולי, שינוי במשמעות הנרטיבית יכול להיות בעל חשיבות בלי להוכיח שרכיב רגשי או הרגלי עבר גיבוש מחדש. ההרצאה מתייחסת לשינויים האלה כאמיתיים וספציפיים לרכיב, ולא מדרגת מערכת אחת כזיכרון האמיתי.

עדכון אפיזודי רגיש במיוחד לבלבול מקור. פרטים חדשים יכולים להשתלב באירוע ישן, להיזכר כתוספת מאוחרת או להיות מיוחסים בטעות לאפיזודה המקורית. ציון זכירה כולל אינו מבחין בין הגורלות. לכן חיוניים שיפוטי מקור, סדר בזמן, ביטחון וניתוח חדירות, לצד בקורות להשפעת המבחן עצמו. יותר מידע שנזכר אינו בהכרח זיכרון שעודכן בדיוק רב יותר.

עובדי ראיות

[20] Hupbach et al. (2007), Learning & Memory - Healthy adults - Moderate evidence

[32] Sinclair et al. (2018), Learning & Memory - Healthy adults - Strong evidence

[40] Mirea et al. (2024), Journal of Cognitive Neuroscience - Online healthy adults - Strong evidence

זיכרונות תגמוליים הקשורים להתמכרות

מעמד הראיות: ראיות פרה-קליניות מבטיחות; תרגום קליני מוגבל והטרוגני.

למידה הקשורה להתמכרות יכולה לכלול ערך של רמז, ציפיית תוצאה, בולטות תמריצית, הרגלים, הקלה ממצבים גופניים מכאיבים, הקשר חברתי ורצפי פעולה. מניפולציות של גיבוש מחדש שינו חיפוש אחר חומר ותגובות לרמזים במודלים של בעלי חיים, וכמה מחקרים בבני אדם דיווחו על שינוי בכמיהה או בתגובתיות לרמז. נקודות הסיום והפרוטוקולים עדיין הטרוגניים.

אין 'זיכרון התמכרות' יחיד שנכתב מחדש. קשר לרמז יכול להיחלש בעוד הרגל, ציפיית גמילה או מדיניות חברתית נשארים. החלמה תלויה גם בתגמולים חלופיים, קשרים, ביטחון, שינה, משמעות ופעולה נגישה. עדכון זיכרון הוא תהליך אחד בתוך מערכת מסתגלת רחבה יותר.

למידה מתגמלת יכולה לקודד ערך צפוי, זהות תוצאה, בולטות תמריצית, הקלה ממצב מכאיב ורצפי פעולה. זיכרונות הקשורים להתמכרות מוסיפים חזרה נרחבת, מצבים פרמקולוגיים, גמילה, הקשר חברתי והרגלים. התערבויות לאחר הפעלה שינו תגובה לרמז וחיפוש במודלים של בעלי חיים, וכמה מחקרים בבני אדם דיווחו על שינוי בכמיהה או בזיכרון תגמול מזיק. התוצאות והפרוטוקולים עדיין הטרוגניים.

לכן הביטוי 'זיכרון התמכרות' יחיד מדי. קשר בין רמז לערך יכול להיחלש בעוד שציפייה לגמילה, הרגל או מדיניות חברתית נשארים. תגובה מעבדתית שהשתנתה יכולה להיכשל כאשר החומר, החברים, הכסף ודרך הפעולה המוכרת נעשים זמינים יחד. תרגום אחראי ממקם עדכון זיכרון בתוך אקולוגיית החלמה רחבה הכוללת תגמול חלופי, קשרים, שינה, משמעות ונגישות לפעולה. גיבוש מחדש הוא תהליך אפשרי אחד במערכת, לא מתג מחיקה להתמכרות.

התרגום מסתבך עוד בשל ההבדל בין זיכרון לרמז לבין האקולוגיה הרחבה של שימוש. רמז מעבדתי יכול לאבד מערכו בעוד לחץ, גמילה, הזדמנות חברתית או פעולה הרגלית ממשיכים להניע התנהגות. מנגד, ירידה בכמיהה במהלך מפגש יכולה להיות משמעותית בלי להוכיח שינוי בזיכרון סם. יש לבחון בחירה מאוחרת, השבה, שינוי הקשר והתנהגות בעולם, תוך שפה המעמידה את האדם תחילה והימנעות מהסבר חד-סיבתי לחזרה.

עוגני ראיות

[79] Lee et al. (2005), Neuron - Rat - Strong evidence

[82] Xue et al. (2012), Science - Rats and abstinent people with heroin use disorder - Moderate-strong evidence

[89] Das et al. (2019), Nature Communications - Hazardous drinkers - Moderate evidence

הרגלים ומדיניות פעולה

43

מעמד הראיות: מבוסס שקיים ניתוק בין ידע לבין שליטה בפעולה.

אדם יכול לדעת שהתוצאה השתנתה ועדיין לבצע פעולה שנלמדה יתר על המידה תחת רמזים מוכרים. שליטה הרגלית תלויה בהיסטוריית האימון, בהקשר, בלחץ ובחלופות הזמינות. לכן יש למדוד בנפרד ציפייה מפורשת ומדיניות פעולה.

הניתוק חשוב קלינית. תובנה יכולה להיות אמיתית בלי לשלוט מיד בהתנהגות. ולהפך, התנהגות יכולה להשתנות באמצעות חיכוך או ארגון סביבה מחדש בעוד שהציפייה הישנה נשארת. ARC אינו צריך לדחוס אמונה קוגניטיבית, ערך ומדיניות פעולה לאטרקטור אחד.

שליטה הרגלית מסבירה מדוע ידע מפורש ופעולה יכולים להיפרד. אדם יכול לדווח במדויק שתוצאה איבדה מערכה ועדיין לבצע תגובה שתורגלה עמוקות כאשר הרמז ודרך הפעולה חוזרים. מחקר הרגלים מבחין בין שליטה מכוונת-מטרה הרגישה לתוצאה לבין מדיניות הנתמכות בחזרה ובמבנה גירוי-תגובה, תוך הכרה בכך שהתנהגות ממשית משלבת לעיתים את שתיהן.

לכן עדכון זיכרון צריך למדוד מדיניות פעולה ולא רק ציפייה. שינוי אמונה על בטיחות, תגמול או תוצאה יכול להשאיר רצפים מוטוריים ואפשרויות סביבתיות ללא שינוי. מנגד, חיכוך, החלפה או עיצוב סביבה יכולים לשנות התנהגות בעוד שהציפייה הישנה נשארת. ARC אינו צריך לדחוס אמונה, ערך ומדיניות לאטרקטור אחד. מדרג ניידות העדכון צריך לשאול אם היחס החדש מנחה פעולה כאשר ההזדמנות המוכרת חוזרת, במיוחד תחת לחץ, דחיפות או ירידה בשליטה הניהולית.

שליטה הרגלית משנה גם את יעד ההתערבות. כאשר התנהגות מופעלת באמצעות רצף פעולות שנלמד, עדכון של אמונה מפורשת על התוצאה יכול להשאיר את הרצף זמין. הפחתת ערך, החלשת קשר הפעולה-תוצאה ומעידות פעולה יכולים לבחון אם ההתנהגות עדיין רגישה לתוצאה. בחיים עצמם, חיכוך, נגישות, שגרות ופעולות חלופיות עשויים לשנות תחרות בין מדיניות באופן אמין יותר מתובנה חזקה. זהו עיצוב התנהגותי, לא ראייה למחיקת זיכרון.

עובדי ראיות

[49] Daw et al. (2011), Neuron - Healthy adults - Strong evidence

[81] Torregrossa et al. (2011), Neurobiology of Learning and Memory - Human and animal addiction - Strong evidence

[87] Everitt et al. (2016), Annual Review of Psychology - Human and animal addiction - Strong evidence

טראומה ו-PTSD - המקום שבו האנלוגיה נעשית מסוכנת

מעמד הראיות: המנגנון הקליני עדיין אינו מוכרע.

PTSD יכול לכלול זיכרונות אפיזודיים פולשניים, איום מוכלל, הימנעות, אינטרוספציה משתנה, אמונות שליליות, פגיעה בשינה וניתוק חברתי. התכונות פועלות יחד אך אינן ניתנות לצמצום לאסוציאציה מותנית אחת. למידת איום במעבדה יכולה להאיר רכיבים בלי לשחזר את ההפרעה.

טענות שטיפול מוחק זיכרון טראומטי באמצעות גיבוש מחדש חורגות מן הראיות. טיפול יכול לשנות חיזוי, משמעות, הימנעות, הבחנה בין הקשרים ויכולת לשלוף ביטחון. כמה מנגנונים יכולים להתקיים יחד. המסר האנושי אינו שנמצא מתג עצבי נסתר, אלא שתגובות מתמידות יכולות להשתנות ביותר מדרך אחת.

PTSD יכול לכלול זיכרון אפיזודי פולשני, איום מוכלל, הימנעות, אינטרוספציה משתנה, אמונות שליליות, פגיעה בשינה וניתוק חברתי. התכונות מתקשרות זו לזו אך אינן ניתנות לצמצום לאסוציאציה מותנית אחת של רמז ותוצאה. פרדיגמות פחד במעבדה מאירות תהליכי למידה מסוימים; הן אינן משחזרות טראומה, פגיעה מוסרית, איום מתמשך או את המשמעות החברתית של מה שקרה.

לכן טענות קליניות צריכות לשמור על ריבוי מנגנונים. פסיכותרפיה יכולה לשנות תחזית, משמעות, הימנעות, הבחנה בין הקשרים, סבילות גופנית ויכולת לשלוף בטיחות. כמה תהליכים יכולים להתקיים יחד, ושיפור אינו דורש הוכחה לגיבוש מחדש. טענות שמפגש קצר מוחק זיכרון טראומטי או שעוצמה סובייקטיבית מזהה חלון גיבוש מחדש חורגות מן הראיות. המסר האנושי אינו שטראומה מסתירה מתג עצבי; הוא שתגובות מתמידות יכולות להשתנות ביותר מדרך נתמכת אחת.

זיכרונות טראומטיים אינם גירויים מותנים מן המעבדה שהוגדלו. הם עשויים לכלול אירועים חוזרים, משמעות מוסרית, מידע מקור מפוצל, איום מתמשך, הפרעת שינה ותוצאות חברתיות. גם PTSD הטרוגני, ושינוי בתסמינים אינו חייב לעקוב אחר תהליך זיכרון יחיד. שפת הגיבוש מחדש יכולה להנחות השערות, אך טענות טיפוליות דורשות מחקר קליני אקראי, ניטור נזק, תפקוד והשוואה לטיפול מבוסס, ולא רק סבירות מנגנונית.

עובדי ראיות

[80] Brunet et al. (2008), Journal of Psychiatric Research - Adults with chronic PTSD - Weak-moderate evidence

[88] Brunet et al. (2018), American Journal of Psychiatry - Adults with chronic PTSD - Moderate evidence

[91] Raut et al. (2022), Journal of Psychiatric Research - Adults with PTSD - Strong evidence

היכן ממצאי בעלי חיים ובני אדם מתפצלים

מעמד הראיות: פער תרגומי מבוסס.

מחקר בבעלי חיים יכול להתערב במבני מוח, לעכב סינתזת חלבונים ולשלוט באימון בדיוק רב. מחקר בבני אדם מסתמך על מדדים התנהגותיים ופיזיולוגיים עקיפים, התערבויות מוגבלות מבחינה אתית והיסטוריות למידה הטרוגניות. אין סמן אנושי ישיר לערעור יציבות.

הפער אינו מבטל את המנגנונים בבעלי חיים. הוא מגביל טענות על זיהוי התהליך בבני אדם. ירידה בבהלה, במוליכות עור, בכמיהה או בתסמינים יכולה לשקף שינוי עקבה, הכחדה, הקשר, בלבול מקור, שינוי תגובה או השפעה תרופתית לא-ספציפית. המחקר האנושי זקוק לבקורות מתכנסות הרגישות לתהליך.

מחקרים בבעלי חיים יכולים לשלוט בהיסטוריית הרכישה, בעיתוי התזכורת ובהקשר, להתערב במעגלים ובמסלולים מולקולריים מוגדרים ולבחון לאחר שיבושים שאינם אפשריים אתית בבני אדם. מחקר אנושי מקבל היסטוריות למידה לא ידועות, ייצוגים הטרוגניים ונקודות סיום עקיפות. תרופה או התערבות התנהגותית יכולה לשנות בהלה, מוליכות עור, דיווח או בחירה בלי לגלות אם עקבת אחסון עברה ערעור יציבות. ההבדל נוגע ליכולת התצפית, לא לרלוונטיות ביולוגית.

התרגום חזק ביותר כאשר הוא שומר על רמת הסיביות. מחקר בבעלי חיים מבסס שקיימים במערכות זיכרון של יונקים מנגנונים של פתיחות תלויה-שליפה וייצוב מחדש. מחקר בבני אדם בוחן אם מופיעות השפעות התנהגותיות מקבילות הרגישות לתנאי גבול. הוא אינו יכול לייבא את המסקנה המולקולרית ישירות. התכנסות של תלות בתזכורת, עיתוי, מדדים רבים ומבחינה חזרה מאוחרים מעלה ביטחון, וכישלונות רשומים מראש מגבילים אותו. הפער הוא תוצאה מדעית מרכזית, לא אי-נוחות שיש להחליק.

הפער אינו פסק דין נגד מחקר בבעלי חיים. ניסויים בבעלי חיים מאפשרים התערבות סיבתית ממוקדת באזור והיסטוריית למידה מבוקרת שאי אפשר לשחזר בבני אדם מבחינה אתית. מחקרים אנושיים מוסיפים שפה, ידע מפורש, הקשר מורכב ורלוונטיות קלינית אך מוותרים על גישה מנגנונית. התרגום חזק כאשר החישוב ברמת המשימה ותנאי הגבול נשמרים, לא כאשר מניחים שהתנהגות דומה מעידה על מנגנון עקבה זהה.

עוגני ראיות

[21] Monfils et al. (2009), Science - Rat - Strong evidence

[23] Schiller et al. (2010), Nature - Healthy adults - Moderate evidence

[34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence

מגבלת השחזור במחקר האנושי

46

מעמד הראיות: ראיות לא עקביות.

מונפילס ועמיתיה הראו אפקט של שליפה-הכחדה בחולדות, ושילר ועמיתיה דיווחו על החלשה ממושכת של פחד אנושי כאשר ההכחדה נעשתה בתוך חלון גיבוש מחדש משוער. מחקרי שחזור קרובים ורשומים של חלקיה, סטמרדינג, גרליכר ואחרים לא שיחזרו באופן אמין את ההגנה. ייתכן שהפרוטוקול רגיש מאוד לתנאים, אך האמינות עדיין לא הוכחה.

גם ממצאי פרופרנולול שנויים במחלוקת. מטא-אנליזות ומחקרים מסוימים מצביעים על תועלת פיזיולוגית או מאוגדת, בעוד שתוצאות תסמינים וניתוחים חוזרים נותרו במחלוקת. אין בסיס להצגת פרופרנולול כטיפול מבוסס בגיבוש מחדש של PTSD או להסיק פרוטוקול מההרצאה.

ספרות ההכחדה לאחר שליפה ממחישה את הבעיה. מחקרים משפיעים דיווחו על החלשה עמידה של פחד כאשר הכחדה באה לאחר שליפה בתוך חלון גיבוש מחדש מוצע. ניסיונות ישירים ורשומים מראש מאוחרים יותר הניבו תוצאות מעורבות או ממצאי אפס. הבדלים במבנה התזכורת, במודעות לתלות, בקריטריוני הוצאה, במדד התגובה ובגמישות אנליטית יכולים להסביר חלק מן ההטרוגניות, אך אינם מצדיקים בחירה רק בפרוטוקולים שהצליחו.

מחקרי פרופרנולול מציגים מגבלה מקבילה. אותות מטא-אנליטיים לתוצאות של זיכרון רגשי מתקיימים לצד ממצאי אפס בתסמיני PTSD, הטרוגניות ומחלוקות על הניתוח. לתרופה יש השפעות שמעבר לתהליך זיכרון יחיד, ותזכורת אינה מוכיחה ערעור יציבות. טענה אנושית אחראית צריכה לציין נקודת סיום, אוכלוסייה ופרוטוקול, לכלול אי-ודאות ולהימנע משפת טיפול כל עוד תועלת קלינית לא הוכחה. כישלון בשחזור אינו פסולת; הוא מזהה היכן המנגנון המוצע אינו נשלט באופן אמין.

שחזור צריך להתמקד בחבילת ההסקה ולא בערך p יחיד. חשובים התלות בתזכורת, רכיב היעד, העיתוי, התוצאה המאוחרת ומבחני החזרה. פרוטוקולים רב-אתריים יכולים לאמוד הטרוגניות בין מעבדות ואוכלוסיות, ודוחות רשומים מגינים על תוצאות אפסיות מהטיית פרסום. אם אפקט תלוי בספים אישיים שלא נמדדו ומופיעים בהסבר רק לאחר כישלון, הוא עדיין אינו עיקרון אמין להתערבות בבני אדם.

עוגני ראיות

[34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence

[36] Stemmerding et al. (2022), Scientific Reports - Healthy adults - Strong evidence

[90] Pigeon et al. (2022), Journal of Psychiatry & Neuroscience - Healthy and clinical human samples - Moderate evidence

מה ניתן לתרגם באחריות לפסיכותרפיה?

מעמד הראיות: עקרונות אפשריים; גיבוש מחדש אינו מנגנון טיפולי משותף מאומת.

טיפול יכול ליצור חוויות מתקנות כאשר ציפייה ישנה פעילה; לגוון הקשרים; להפחית הימנעות; לבחון הסברים המגנים על המודל הישן; ולתרגל שליפה במצבים מציאותיים. הפרקטיקות תואמות למידה מעכבת, שילוב זיכרון, עדכון חיזוי ומודלים של סיבות חבויות.

מה שלא ניתן לטעון הוא שמטפל פתח חלון גיבוש מחדש או מחק זיכרון פתוגני על סמך עוצמה סובייקטיבית או הקלה בתסמינים. ליין ועמיתיו מציעים סינתזה תיאורטית משפיעה, לא הוכחה שגיבוש מחדש הוא המנגנון המשותף של פסיכותרפיה. תועלת קלינית יכולה להיות אמיתית גם כאשר המנגנון מרובה ואינו ודאי.

התרגום הניתן להגנה ביותר הוא מערכת שאלות על למידה, לא פרוטוקול של גיבוש מחדש. איזו ציפייה פעילה עכשיו? האם החוויה מספקת ראייה אמורה על הציפייה הזאת? האם הסתירה נסבלת מספיק כדי לאפשר הישארות במגע ובעלת משקל מספיק כדי להיות חשובה? איזה רכיב השתנה, והאם אפשר לשלוף את השינוי בין הקשרים, מצבי גוף ופעולות? השאלות מתיישבות עם כמה מסורות טיפוליות ואינן מניחות אירוע מולקולרי סמוי יחיד.

מה שאינו ניתן לתרגום הוא ודאות שמטפל יכול לראות פתיחות לשינוי, לחשב מנה מיטבית של שגיאת חיזוי או להבטיח מחיקה. חוויה מתקנת צריכה להיות מותאמת, בטוחה ומבוססת אתית; הצפת אדם אינה דרישה מדעית ואינה אנושית. תפקוד מאוחר ובחיים חשוב יותר מתגובה דרמטית בתוך הפגישה. ההבטחה הקלינית האחראית צנועה אך משמעותית: עקרונות למידה יכולים לעזור לתכנן ולבחון שינוי, בעוד שהתהליך המדויק אצל אדם מסוים נשאר בדרך כלל לא ודאי.

תרגום אחראי מוצג כהנחיה לתכנון ולא כמנגנון ממותג. יש להבהיר את הציפייה הרלוונטית, ליצור הפרכה בטוחה ובעלת משמעות, לגוון הקשרים ומצבים גופניים כאשר מתאים, לתרגל פעולה חלופית ולבחון העברה מאוחרת. העקרונות חופפים לטיפולים מבוססים ואינם דורשים טענה לגיבוש מחדש. כאשר חל שינוי, אפשר לתאר מה נלמד והיכן הוא פועל בלי לקבוע שעקבה נכתבה מחדש ביולוגית.

עוגני ראיות

- [53] Craske et al. (2014), Behaviour Research and Therapy - Anxiety treatment and laboratory fear - Strong evidence
 [85] Lane et al. (2015), Behavioral and Brain Sciences - Clinical psychotherapy theory - Plausible evidence
 [93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

גורל הזיכרון לפי מערכת

עקרונות משותפים אינם מוחקים הבדלים מגננויים.

מערכת	מה נלמד	מדדים שכיחים	המגבלה המרכזית
פחד הגנתי	קשרי רמז-תוצאה מאיימת	בהלה, SCR, ציפיה	אינו טראומה אוטוביוגרפית
אפיזודי / הצהרתי	אירועים, יחסים ומשמעות	היזכרות, זיהוי, ייצוג	שחזור אינו עקבה אחת
תגמולי / התמכרות	ערך רמז, פעולה והקלה גופנית	כמיהה, בחירה, חיפוש	מערכות ומצבים רבים
הרגל / מדיניות	סדירויות בין גירוי לפעולה	התמדה בפעולה	שינוי אמונה לא תמיד משנה פעולה

אוצר מילים משותף מועיל רק כל עוד הראיות הספציפיות לכל מערכת נשארות גלויות.

VIII

חלק VIII

כאשר השינוי חייב לנוע

עדכון במפגש אחד אינו מספיק. הזיכרון, האמונה או מדיניות הפעולה שעודכנו צריכים להישאר משפיעים כאשר ההקשר, מצב הגוף, הרמזים ואפשרויות הפעולה משתנים.

הבעיה השנייה של שינוי זיכרון

48

מעמד הראיות: הבחנה הנתמכת היטב בין רכישה לבין העברה.

הבעיה הראשונה היא אם ייצוג ישן משתנה. הבעיה השנייה היא אם הלמידה שהשתנתה או הלמידה המתחרה ממשיכות להנחות התנהגות כאשר התנאים מתרחקים מאירוע הלמידה. ירידה בתוך מפגש יכולה להתקיים לצד חידוש תגובה, חזרה תלוית-מצב או כישלון מול אפשרויות פעולה חדשות.

לשדה יש מונחים עשירים להכללה, העברה, חידוש ותלות במצב. מה שנותר מפוצל מושגית הוא בעיית ההפעלה לאחר עדכון לאורך העולם, הגוף, הרמזים והפעולה. ניידות העדכון מוצעת כדי לארגן את הבעיה בלי לטעון למנגנון ביולוגי חדש.

הבעיה הראשונה שואלת אם ייצוג קיים השתנה. השנייה שואלת אם הלמידה שהשתנתה או הלמידה המתחרה ממשיכה להנחות התנהגות כאשר התנאים מתרחקים מאפיזודת העדכון. הבעיות בלתי תלויות מבחינה לוגית. עקבה יכולה להשתנות באופן משמעותי אך להישלף בצורה חלשה במקום אחר; זיכרון הכחדה נפרד יכול לעבור באופן רחב; והתנהגות יכולה להשתפר באמצעות מבנה סביבתי גם כאשר הייצוג הישן נשאר.

רוב הניסויים מדגישים רכישה מפני שקל יותר לשלוט בה. החיים מדגישים הפעלה. תחזית מעודכנת צריכה להתחרות בחדרים, בזמנים, במצבי גוף, בצירופי רמזים ובהזדמנויות פעולה חדשות. לכן ירידה בתוך פגישה היא נקודת סיום חלקית. הבעיה השנייה דורשת סוללת העברה שמרחיקה במכוון את הלומד מתנאי ההצלחה ומודדת כמה מערכות תגובה. ניידות העדכון מוצעת כדי לארגן את הסוללה, לא כדי להחליף מושגים מבוססים של הכללה, חידוש תגובה או תלות במצב.

ניידות מונעת גם השוואה מטעה בין התערבויות שנבדקו במרחקים שונים מתנאי הלמידה. הליך אחד יכול להיראות עדיף מפני שהוא נבחן באותו חדר ובאותו מצב, בעוד הליך אחר עומד במבחן העברה תובעני. הערכה הוגנת ממפה ביצוע לאורך מרחקים ונקודות זמן תואמים. הפרופיל יכול לחשוף הצטיינות צרה, תועלת מתונה ורחבה או גבול כישלון חד שממוצע טיפולי מסתיר.

עוגני ראיות

- [52] Vervliet et al. (2013), Annual Review of Clinical Psychology - Human and animal - Established evidence
 [57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence
 [93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

מדרג ניידות העדכון - הגדרה

49

מעמד הראיות: מודל מסביר אפשרי של Flow Hijacked / השערה חדשה.

מדרג ניידות העדכון הוא המידה שבה זיכרון, אמונה או מדיניות פעולה שעברו עדכון ממשיכים להנחות חיזוי והתנהגות כאשר ההקשר החיצוני, מצב הגוף, מערך הרמזים ואפשרויות הפעולה מתרחקים מן התנאים שבהם התרחש העדכון.

ניידות היא תכונה של היחס בין הלמידה לבין ההתרחקות, לא תכונה קבועה של אדם. אותו עדכון יכול לנוע היטב בין מקומות אך להיכשל בין מצבים גופניים. עדכון אחר יכול לשרוד עוררות אך להיכשל כאשר מסלול פעולה מוכר חוזר. המילה מדרג משאירה את הדפוסים החלקיים האלה גלויים.

הניידות מדורגת מפני שההתרחקות רב-ממדית ותלויה בכיוון. יחס מעודכן יכול לשרוד חדר חדש ולהיכשל תחת עוררות גופנית; העברה בין גרסאות של רמז יכולה להיות חזקה בעוד שהעברה לפעולה נשארת חלשה. לכן אותו אדם יכול להציג פרופיל ניידות שונה לזיכרונות שונים. התייחסות לניידות כציון הצלחה בינרי אחד תמחק את הדפוס שהמושג נועד לחשוף.

המבנה חל על היחס בין אפיזודת למידה לתנאים מאוחרים, לא על תכונה קבועה של אדם. יש למדוד אותו באמצעות דגימת התרחקות והערכת ההסתברות שהזיכרון, האמונה או המדיניות המעודכנים מנחים התנהגות. המונחים הקיימים נשארים חיוניים: הכללה מתארת תגובה לגירויים חדשים, העברה נוגעת לביצוע מעבר לאימון, וחידוש תגובה מתאר חזרה. החידוש המוצע הוא ארגונים המשותף בין הקשר חיצוני, גוף, רמזים ופעולה לאחר שינוי משמעותי.

זמינות העדכון לאורך מרחק מן התנאים המקוריים

$$\rho(\mathbf{d}) = P(C_{\text{rev}} = 1 \mid \mathbf{d})$$

$\mathbf{d}$ הוא המרחק מתנאי אירוע העדכון; C_{rev} שווה לאחת כאשר הלמידה המעודכנת, ולא מדיניות ישנה ומתחרה, שולטת בהתנהגות. ρ היא ההסתברות המותנית המתאימה.

מושג חדש של FLOW HIJACKED - מוצע כמשטח תוצאות שניתן למדוד, לא כסולם מתוקף או יעד טיפולי.

עובדי ראיות

- [52] Vervliet et al. (2013), Annual Review of Clinical Psychology - Human and animal - Established evidence
 [53] Craske et al. (2014), Behaviour Research and Therapy - Anxiety treatment and laboratory fear - Strong evidence
 [57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence

ARC שואל אם שינוי יכול להיווצר. ניידות העדכון שואלת אם השינוי יכול לנוע.

ארבעת ממדי ההתרחקות

50

מעמד הראיות: רכיבים מבוססי-ראיות; המבנה המאוחד אינו מאומת.

התרחקות חיצונית כוללת מקום, זמן והקשר חברתי. התרחקות אינטרוספטיבית כוללת לחץ, עוררות, גמילה, כאב, עייפות ומצב תרופתי או שימוש בחומר. התרחקות ברמז משנה את ההרכב החושי או את צירוף הטריגרים. התרחקות באפשרויות פעולה משנה אילו פעולות אפשריות, קלות או מתוגמלות.

הממדים פועלים זה בזה. הקשר חברתי יכול לשנות מצב גוף; מצב הגוף יכול לשנות בולטות של רמז; פעולה זמינה יכולה למנוע דגימה מתקנת. לכן פרופיל ניידות צריך להיות משטח תגובה ולא ציון יחיד. המושג מנבא אי-איזוטרופיה: ההעברה תהיה לעיתים חזקה יותר בכיוונים מסוימים מאחרים.

הקשר חיצוני כולל מקום, זמן ומערך חברתי. מצב גופני כולל עוררות, עייפות, כאב, גמילה ומצב תרופתי. מערך רמזים כולל אילו תכונות מופיעות יחד ואילו רמזי שליפה חסרים. אפשרויות פעולה כוללות את ההתנהגויות, החומרים, הטכנולוגיות, האנשים והדרכים הסביבתיות הזמינים בפועל. כל ממד יכול לשנות שיוך לסיבה חבויה ותחרות בשליפה.

הערכת ניידות משנה את הממדים האלה בלי להתייחס אליהם כשקולים. מרחק על ציר אחד יכול להיות חשוב רק בצירוף אחר: רמז מוכר יכול להיות ניתן לניהול לאחר שינה ולא כאשר האדם מותש ולבד. לכן המסגרת מנבאת אינטראקציות ולא דעיכה רדיאלית אחת מאפיזודת העדכון. היא גם נשארת ממוקדת-אדם. פרופיל ניידות מתאר תנאים שבהם למידה מנחה התנהגות; הוא אינו מדרג את כוחו, כנותו או ערכו של האדם.

וקטור מרחק למבחני ניידות

$$\mathbf{d} = (d_{\text{context}}, d_{\text{body}}, d_{\text{time}}, d_{\text{action}}), \quad \rho = \rho(\mathbf{d})$$

ארבע הקואורדינטות מודדות שינוי בהקשר החיצוני, במצב הגוף, במיקום בזמן ובארכיטקטורת הפעולות הזמינות. צפויות אינטראקציות בין הממדים.

הצעת מדידה של FLOW HIJACKED - הממדים מסנתזים ספרות קיימת על הקשר, אינטרוספציה, שימור ומדיניות פעולה.

עובני ראיות

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

[58] Yoo et al. (2017), Translational Psychiatry - Rat - Moderate evidence

[75] Seth et al. (2016), Philosophical Transactions of the Royal Society B - N/A - Plausible evidence

מה באמת חדש?

51

מעמד הראיות: חדשנות זמנית לאחר ביקורת סמנטית.

החידוש אינו שההקשר חשוב, שהלמידה מכלילה באופן חלקי או שתגובה יכולה להתחדש. אלה מבוססים. התוספת המוצעת היא להתייחס לניידות כתכונה מדורגת של עדכון במרחב משותף של הקשר חיצוני, מצב גופני, רמז ופעולה, ולהבחין בין רכישת השינוי לבין שליטתו המאוחרת לאחר התרחקות.

יש לנטוש את המושג אם ימצא מונח מבוסס שכבר ממלא את כל התפקיד הזה. יש למזג אותו למונחים קיימים אם אינו מוסיף תחזית. מתן שם מוצדק רק אם הוא משפר הבחנה, מדידה והסבר אנושי.

ביקורת החידוש מצאה תקדימים משמעותיים לכל מרכיב. הכללה, העברה, חידוש תגובה, למידה תלוית-מצב, למידה מעכבת, תוקף אקולוגי, הסקת סיבה חבויה ותחרות בשליפה כבר מתארים חלקים חשובים מן הבעיה. ניידות העדכון אינה יכולה לטעון שגילתה שלמידה תלויה בהקשר. החידוש הניתן להגנה נמצא בהתייחסות להפעלת השינוי לאחר שנוצר כפרופיל מדורג ורב-ממדי הכולל יחד גוף ואפשרויות פעולה.

החידוש מועיל רק אם הוא משנה מדידה. שתי התערבויות בעלות השפעה מיידית שווה צריכות להיות מושוות לאורך התרחקות שיטתית, והמסגרת צריכה לנבא היכן תוצאותיהן ייפרדו. ממדי הגוף והפעולה חייבים להוסיף מידע מעבר להכללה רגילה של גירוי והקשר. אם מודל העברה סטנדרטי מתאר את הנתונים באותה הצלחה, המונח החדש מיותר. מתן שם יוצר חובה לגבור על המושגים שהוא מארגן, לא רשות להתעלם מהם.

לכן טענת החידוש מותנית ונוגעת לתשתית. ניידות העדכון מציעה מרחב מבחן משותף שבו ההקשר, מצב הגוף, תצורת הרמז ואפשרויות הפעולה מוזנים יחד או בנפרד לאחר הלמידה. הצלחתה תימדד בניבוי נוסף, לא בתועלת רטורית. אם מודלים קיימים של הכללה או תלות-מצב משחזרים את אותו משטח באותה פשטות, יש להטמיע את השם החדש במסורות האלה.

עובדי ראיות

[57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence

[58] Yoo et al. (2017), Translational Psychiatry - Rat - Moderate evidence

[93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

תחזיות ותנאי הפרכה

52

מעמד הראיות: השערה חדשה עם מבחנים מוגדרים.

התערבויות היוצרות אותו שינוי מיידי אמורות להציג פרופילי העברה שונים. אימון במגוון הקשרים ומצבים גופניים עשוי לשפר ניידות בלי להגדיל ירידה בתוך המפגש. שינויים אינטרוספטיביים ובאפשרויות פעולה אמורים להסביר שונות מעבר להקשר הפיזי לבדו. צריך להיות אפשר לשחזר ניידות כמשטח רב-ממדי.

המבנה נכשל אם שינוי מיידי מנבא במלואו תוצאות מאוחרות, אם מצב גוף ואפשרויות פעולה אינם מוסיפים דבר מעבר למדדי הכללה רגילים, אם לא מופיע מדרג יציב בסוללות העברה רשומות מראש, או אם המושג אינו מבדיל בין התערבויות בעלות רכישה שווה אך התמדה שונה.

התחזית המרכזית היא אינטראקציה: שינוי מיידי לא יקבע במלואו התנהגות מאוחרת, ואובדן השליטה של הלמידה המעודכנת יהיה תלוי בכיוון ובצירוף של ההתרחקות. התערבויות שמגוונות הקשרים אך אינן משנות מצב גופני צריכות להראות ניידות חיצונית טובה יותר מניידות אינטרוספטיבית. התערבויות שמשנות אמונה בלי לתרגל פעולה צריכות לעבור פחות כאשר אפשרויות מוכרות חוזרות. אפשר לרשום את התחזיות מראש.

יש לדחות את המושג או לספוג אותו לתוך מינוח קיים אם ציון רכישה יחיד מנבא את כל המבחנים המאוחרים, אם משתני גוף ואפשרויות פעולה אינם מוסיפים מידע, או אם אי אפשר לשחזר פרופיל יציב בין סוללות חוזרות. הפרכה דורשת גם מהימנות מדידה: מדרגים לכאורה יכולים להיות רעש, קושי לא שווה או רגרסיה לממוצע. תוכנית אמינה תשווה מודלים היררכיים של ניידות לבסיסי הכללה פשוטים בנתונים מוחזקים ותדווח ממדים אפסיים במקום לכפות דפוס שלם.

מודל ניידות המתאים לרישום מוקדם

$$\text{logit } P(Y=1) = \beta_0 + \beta^T \mathbf{d} + \mathbf{d}^T \Gamma \mathbf{d}$$

γ מציין שליטה של הלמידה המעודכנת במבחן מאוחר. β מעריך השפעות עיקריות של המרחק; Γ מעריך אי-לינאריות ואינטראקציות היוצרות צוקים או רכסים.

מודל מבחן של FLOW HIJACKED - מוצע כדי לחשוף את מדרג הניידות לכישלון אמפירי ברור.

עובני ראיות

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence

[67] McClay et al. (2022), eLife - Healthy adults - Moderate evidence

פרשנות חומלת לחזרתה של תגובה

53

מעמד הראיות: משמעות פרשנית של Flow Hijacked - לא אבחנה לאדם יחיד.

חזרתה של תגובה ישנה בזמן לחץ, גמילה, בידוד או מערך רמזים מוכר אינה מוכיחה שהלמידה הקודמת הייתה כוזבת או שהאדם נכשל. היא עשויה לשקף תחרות על שליפה או גבול ניידות: הלמידה המעודכנת לא שלטה בהתנהגות במרחק הזה מן התנאים שבהם נוצרה.

הפרשנות מסירה אשמה בלי להסיר סוכנות. היא מכוונת תשומת לב לממדים שבהם השינוי עדיין לא נע ולסביבות שיכולות לתמוך בשליפה ובפעולה בטוחות יותר. היא נשארת הסבר אפשרי אחד מבין כמה, ואין להחיל אותה על אדם יחיד בלי הערכה.

חזרת פחד, כמיהה או דפוס פעולה ישן מתפרשת לעיתים באופן כולל: הטיפול נכשל, האדם לא השתנה באמת או שהעצמי הישן היה האמיתי. תיאור של ניידות מציע הסבר צר יותר. למידה שהנחתה מצב אחד יכולה להפסיד בתחרות השליפה לאחר שינוי בגוף, במערך הרמזים או בפעולה הזמינה. החזרה היא מידע על תנאי השליטה, לא מדד מלא למה שנלמד או לזהותו של האדם.

חמלה כאן מתיישבת עם דיוק ואחריות. היא אינה מכחישה נזק, ממעיטה סיכון או מבטיחה שלמידה ישנה אינה מסוכנת. היא שואלת איזה ממד השתנה ואיזו תמיכה או איזו חזרה יהפכו את המדיניות המעודכנת לנגישה שוב. כך הבושה הופכת לשאלה הניתנת לבדיקה בלי להפוך את החיים לציון. הישנות יכולה לדרוש הגנה ותיקון מידיים ובה בעת להיות מובנת כאירוע תלוי-מצב ולא כפסק דין קבוע.

חמלה גם משפרת חקירה סיבתית. בושה דוחסת חזרה מורכבת לשיפוט זהות כולל ועלולה להסתיר את התנאים שהשתנו. ניתוח תפקודי שואל אילו רמזים נכחו, איזה מצב צמצם בחירה, איזו פעולה נעשתה קלה ואיזו תמיכה חסרה. הדבר אינו מצדיק פגיעה ואינו מסיר אחריות. הוא הופך אחריות לברת-פעולה באמצעות חיבור התיקון לתנאים הניתנים לשינוי ולא לגינוי האדם כולו.

עובדי ראיות

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

[52] Vervliet et al. (2013), Annual Review of Clinical Psychology - Human and animal - Established evidence

[87] Everitt et al. (2016), Annual Review of Psychology - Human and animal addiction - Strong evidence

ARC וניידות העדכון חייבים להישאר נפרדים

מעמד הראיות: ארכיטקטורה מושגית של Flow Hijacked.

ARC עוסק ביצירה: האם ראיות סותרות יכולות לשנות את הייצוג הישן במהלך אפיזודה מסוימת? ניידות העדכון עוסקת בהפעלה: האם הלמידה המעודכנת תמשיך להנחות התנהגות מאוחר יותר ובמקום אחר? כשל ARC יוצר ייצוב מחדש ללא שינוי או למידה נפרדת. כשל ניידות מופיע לאחר שינוי משמעותי, אך בתנאים שבהם מדיניות ישנה או מתחרה חוזרת לשלוט.

שילוב המושגים יפחית את הדיוק של שניהם. ההבחנה יוצרת תוכנית מחקר דו-שלבית: תחילה לזהות אם התרחש עדכון ובאיזה תהליך; לאחר מכן למפות את התנאים שבהם השפעתו נשארת נגישה להתנהגות.

ARC עוסק ביצירה בתוך אפיזודה מסוימת: האם ראייה יכולה לשנות ייצוג קיים במקום רק לאחר אותו או ליצור מתחרה? ניידות העדכון עוסקת בהפעלה מאוחרת: באילו תנאים שהתרחקו מן הלמידה ממשיך השינוי לשלוט בתחזית ובפעולה? כישלון ARC פירושו שעדכון משמעותי של המודל הישן אולי לא התרחש. כישלון ניידות מתחיל לאחר שינוי בעל משמעות אך חושף גבולות בשליפה או בשליטה.

הפרדת המושגים מונעת הצלה מעגלית. אם התנהגות חוזרת, ARC אינו יכול לטעון אוטומטית שהעדכון התרחש אך חסרה לו ניידות, כל עוד היצירה לא נמדדה בנפרד. מנגד, כשל העברה צר אינו מוכיח שהשינוי המוקדם היה רק הכחדה או ביצוע. הארכיטקטורה הדו-שלבית יוצרת תוכנית מחקר חזקה יותר: לזהות מה השתנה ובאמצעות איזה תהליך, ואז למפות היכן השינוי מנחה התנהגות. כל שלב יכול להיכשל בלי להגדיר מחדש את האחר.

ההפרדה מבהירה גם תוצאות אפסיות. עדכון יכול להתרחש בתנאי ARC סבירים אך לא לנוע, מצב המאתגר ניידות בלי לשלול פתיחות לשינוי. ולהפך, למידה חדשה העוברת היטב יכולה להיווצר בלי ראייה שהייצוג הישן איבד יציבות; הדבר תומך בניידות של מתחרה ולא ב-ARC. הצלבת שני המושגים בתכנון אחד מונעת שימוש בהצלחה בציר אחד כהוכחה בדיעבד לציר האחר.

עוגני ראיות

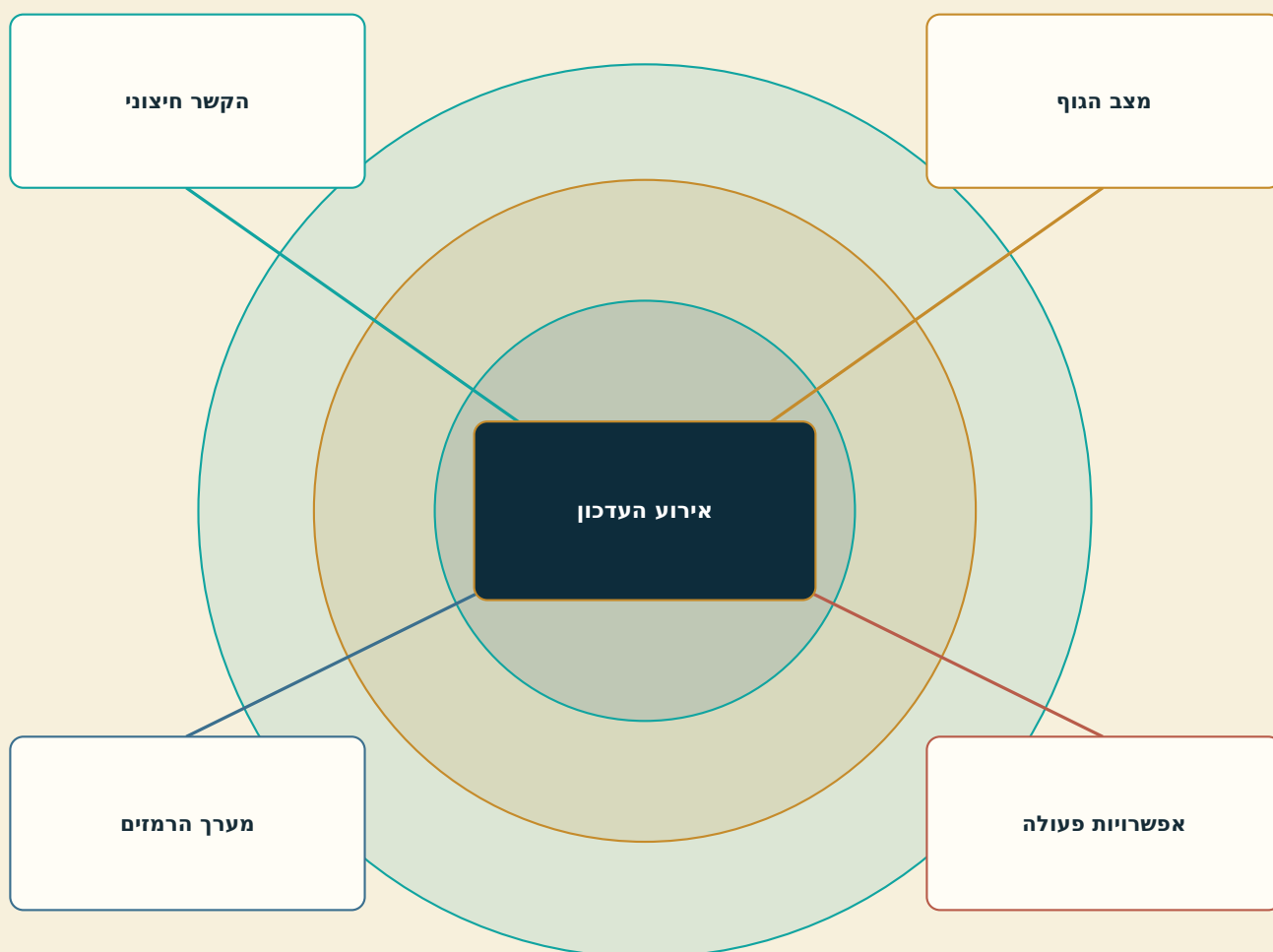
[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence

[93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

מדרג ניידות העדכון

עד כמה רחוק הלמידה המעודכנת ממשיכה להנחות התנהגות?



הניידות יכולה להשתנות לפי כיוון; היא אינה ציון הצלחה בינארי אחד.

השערה חדשה של FLOW HIJACKED - הראיות תומכות ברכיבים, עדיין לא במבנה המאוחד.



אפילוג

שינוי ללא נירו-הייפ

המדע חזק דווקא כאשר מגבלותיו נשארות גלויות. זיכרון יכול להשתנות, למידה ישנה יכולה להישאר, וחזרה של אדם לתגובה ישנה אינה פסק דין מוסרי.

מה הראיות מבססות

55

מעמד הראיות: מבוסס / נתמך היטב.

זיכרונות מגובשים יכולים להיעשות פתוחים לשינוי לאחר הפעלה מחדש בתנאים מסוימים ולהזדקק לייצוב פעיל. שליפה אינה מספיקה. שגיאת חיזוי תורמת לעיתים קרובות לערעור יציבות ולעדכון. חוזק הזיכרון, מבנה התזכורת, העיתוי וההקשר משנים את התוצאה. הכחדה יוצרת בדרך כלל למידה חדשה ותלוית-הקשר במקום למחוק את הקשר הישן.

שיוך הקשרי, סיבות חבויות, שילוב, הפרדה ומערכות תגובה מתחרות מסבירים מדוע אותה חוויה יכולה לקבל גורלות שונים בזיכרון. עדכון התנהגותי בבני אדם אמיתי, אך אין סמן ישיר לערעור יציבות ואין פרוטוקול קליני אוניברסלי ואמין לגיבוש מחדש.

התחום מבסס שזיכרונות מגובשים יכולים לחזור למצב התלוי בפתיחות לשינוי לאחר הפעלה מחדש העומדת בתנאים; שלייצוב הפעיל יש דרישות מולקולריות ניתנות לזיהוי במערכות של בעלי חיים; ושמבנה התזכורת משפיע על גורל הזיכרון המאוחר. הוא מבסס גם שהכחדה משמרת בדרך כלל למידה ישנה, שהקשר שולט בשליפה ובחזרה, ושזיכרון אנושי יכול לשלב מידע חדש לאחר תזכורת. הממצאים מתכנסים בלי לדרוש מנגנון אוניברסלי אחד.

מבוסס אינו פירושו שלם. הראיות חזקות ביותר בזיכרונות מבוקרים של בעלי חיים ובמשימות מעבדה אנושיות מסוימות. הן אינן מספקות סמן אנושי ישיר לערעור יציבות, פונקציית אי-התאמה אוניברסלית או מבחן קליני המראה שזיכרון אוטוביוגרפי מסוים נכתב מחדש. לכן יסוד ההרצאה הוא פלסטיות מותנית: זיכרון יכול להשתנות לאחר שליפה, אך את הדרך מביטוי לעדכון יש להדגים ברמה הרלוונטית.

הליבה המבוססת צרה יותר מן הסיפור הפופולרי וחזקה דווקא משום כך. זיכרונות מגובשים יכולים לאחר שליפה העומדת בתנאים להיכנס מחדש לתהליך פעיל ורגיש להתערבות; אי-התאמה תורמת לעיתים קרובות; הכחדה משאירה בדרך כלל למידה ישנה מתחרה; וההקשר שולט בעוצמה בביטוי. הטענות האלה שורדות שונות טוב יותר מכל מתכון תזכורת אוניברסלי. ההרצאה נבנית מהן החוצה ומסמנת כל הסקה נוספת.

עובדי ראיות

[3] Nader et al. (2000), Nature - Rat - Strong evidence

[24] Sevenster et al. (2012), Neurobiology of Learning and Memory - Healthy adults - Strong evidence

[44] Bouton (2002), Biological Psychiatry - Primarily animal associative learning - Established evidence

מה חזק אך מסויג

56

מעמד הראיות: טענות גבול הנתמכות היטב.

אי-ההתאמה המרבית אינה בהכרח יוצרת את העדכון המרבי של הייצוג הישן. דמיון הקשרי ושיוך סיבתי משפיעים על השאלה אם ראיות מעדכנות למידה ישנה או תומכות בייצוג חדש. מצב גופני יכול לשלוט בשליפה ובחזרה. למידה מתקנת צריכה להישאר ניתנת לשליפה מחוץ לאפיזודה שבה נרכשה כדי להשפיע על החיים.

אף טענה אינה מבססת עקומה או מנגנון אוניברסליים. יחד הן מצדיקות ארכיטקטורה מותנית: שינוי זיכרון תלוי באינטראקציות בין פתיחות לשינוי, ראיות, מודלים, הקשר, גוף ופעולה.

שגיאת חיזוי היא מועמדת חזקה לשער, אך התוכן שלה, משקל הוודאות שלה והיחס שלה ללמידה קודמת משתנים. דמיון הקשרי משפיע מאוד על שליפה ועל שיוך מבני, אך להקשר יש ממדים רבים. חוזק זיכרון הוא תנאי גבול חוזר, אך הוא מתקשר עם מבנה התזכורת ואינו מצטמצם לגיל כרונולוגי. שינוי הדרגתי יכול לעודד עדכון של המודל הישן בפרדיגמות מסוימות, אך לא הוכח אופטימום אוניברסלי של שגיאת ביניים.

עיבוד חיזוי, הסקה פעילה ואינטרוספציה מציעים חיבורים מסבירים חזקים, במיוחד ליחסיות למודל, להקשר גופני ולפעולה. הקשר שלהם לגיבוש מחדש מולקולרי עקיף. עקרונות למידה קליניים יכולים להנחות חוויה מתקנת והעברה, אך אי אפשר לייחס יעילות לגיבוש מחדש בלי ראייה רגישה לתהליך. 'חזק אך מסויג' אינו זהירות סגנונית. זו קטגוריה ששומרת התכנסות שימושית ובה בעת משאירה גלוי את הניסוי שיכול להפוך את המסקנה.

חוזק מסויג אינו חוסר החלטיות. פירושו שהאפקט המרכזי אמין בעוד שכיחותו, מנגנונו או גבולותיו אינם מוכרעים. ממצאים אנושיים על שליפה-הכחדה ועל פרופרנולול מתאימים לקטגוריה במידה לא אחידה: פרוטוקולים מסוימים יוצרים החלשה עמידה, אחרים נכשלים בשחזור קרוב, ואין סמן ישיר לפתיחות לשינוי המכריע ביניהם. התגובה המדעית המועילה היא למדל הטרוגניות ולשפר מדידה, לא למצב את המחלוקת לכדי ודאות.

עובדי ראיות

[23] Schiller et al. (2010), Nature - Healthy adults - Moderate evidence

[34] Chalkia et al. (2020), Cortex - Healthy adults - Strong evidence

[90] Pigeon et al. (2022), Journal of Psychiatry & Neuroscience - Healthy and clinical human samples - Moderate evidence

טענות שאסור להרצאה לטעון

57

מעמד הראיות: אין נתמכות או נסתרות.

הרצאה 49 אינה יכולה לטעון שכל שליפה כותבת זיכרון מחדש, שגיבוש מחדש מוחק באופן אמין זיכרונות פחד, טראומה או התמכרות, שלשגיאת חיזוי יש מנה מיטבית אוניברסלית, או שירידה בתגובה מוכיחה שינוי עקבה. אסור להציג פרופרנולול כטיפול מבוסס בגיבוש מחדש של PTSD.

ARC אינו מקום עצבי, סמן, ציון או פרוטוקול טיפולי. ניידות העדכון אינה מבנה מאומת. סת ופריסטון לא הדגימו אף אחד מן המושגים. חזרת תגובה אינה מוכיחה ששינוי קודם היה כוזב, ומערכת זיכרון מעבדתית אחת אינה מייצגת את כל הזיכרון האנושי.

הרצאה 49 אינה יכולה לטעון שכל שליפה כותבת זיכרון מחדש, שעוצמה רגשית מזהה פתיחות לשינוי, שלשגיאת חיזוי יש מנה מיטבית אחת, או שירידה בתגובה מוכיחה שינוי עקבה. היא אינה יכולה לתאר הכחדה כמחיקה רגילה, להציג פרופרנולול כטיפול מבוסס בגיבוש מחדש של PTSD, או לראות בפסיכותרפיה מוצלחת ראיה למנגנון זיכרון משותף אחד. הטענות נסתרות על ידי ממצאים מכריעים או חורגות מישירות הראיות.

הקווים האדומים המושגים חשובים באותה מידה. ARC אינו מקום במוח, סמן, ציון או פרוטוקול. ניידות העדכון אינה תכונה מאומתת או מדד קליני. סת ופריסטון לא גילו אף אחד מן המבנים. שפת אטרקטור, אגן ומסדרון חייבת לשמור על מעמדה כפרשנות פורמלית, מודל של Flow Hijacked או מטפורה, כל עוד לא נמדדה דינמיקה עצבית תפעולית. אפס נזיר-הייפ פירוש שאלגנטיות מסבירה אינה מחליפה זיהוי תהליך.

הקווים האדומים חלים באותה מידה על שפה מסחרית ועל שפה המבקשת לעזור. הבטחת מחיקה קבועה עלולה להגביר אשמה כאשר תסמינים חוזרים; טענה לחלון עצבי מדויק יוצרת דחיפות כוזבת; והצגת עוצמה רגשית כהוכחה לכתיבה מחדש עלולה לתגמל ערעור ללא תועלת. תקווה אינה דורשת טענות כאלה. היא יכולה להישען על האפשרות הנתמכת יותר שלמידה חדשה, תמיכה סביבתית ושליפה חוזרת משנות את מה שנעשה נגיש.

עובדי ראיות

[31] Elsey et al. (2018), Psychological Bulletin - Human - Strong evidence

[91] Raut et al. (2022), Journal of Psychiatric Research - Adults with PTSD - Strong evidence

[93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

תוכנית המחקר

58

מעמד הראיות: חזית מחקר / תוכנית ניתנת לבדיקה.

הדור הבא של המחקרים צריך לשנות באופן בלתי תלוי את סוג הסתירה, הדמיון ההקשרי, חוזק הזיכרון, משך התזכורת, רמזי ודאות, מצב הגוף והפעולה הזמינה. עליו למדוד שיוך לסיבות חבויות ולהשתמש במבחנים מאוחרים בין הקשרים ומערכות תגובה. הניסויים צריכים להבחין בין שינוי, למידה מעכבת, הפרדת ייצוגים ושינוי ביצוע.

ARC יקבל ערך רק אם משתניו ינבאו עדכון של המודל הישן מעבר להסברים קיימים. ניידות העדכון תקבל ערך רק אם העברה בין מצבים גופניים ואפשרויות פעולה תחשוף מידע יציב מעבר למדדי הכללה רגילים. יש לרשום מראש את שני המושגים, להשוותם למודלים פשוטים יותר ולנטוש אותם כאשר הם נכשלים.

הדור הבא של המחקרים צריך להצליב משתנים שנבחנו בדרך כלל בנפרד. אפשר לשנות באופן פקטוריאלי חוזק זיכרון, שלמות תזכורת, תוכן סתירה, דמיון הקשרי, רמזי ודאות, מצב גוף ואפשרויות פעולה. התוצאות צריכות לכלול ביטוי מיידי, שימור מאוחר, חידוש תגובה, השבה, זיכרון מקור, מדיניות פעולה ושינוי ייצוגי. התכנון חייב לאפשר לייצוב עם מעט שינוי, לעדכון המודל הישן, ללמידה נפרדת ולשינוי ביצוע להתחרות כהסברים.

השוואת מודלים חיונית. תחזיות הנגזרות מ-ARC צריכות להיבחן מול מודלים של רסקורלה-וגנר, הקשר זמני, סיבות חבויות, פלסטיות לא-מונוטונית והכחדה רגילה. מודלי ניידות צריכים להיות מושווים לחשבונות סטנדרטיים של הכללה והעברה. רישום מראש צריך להגדיר חלופות מונוטוניות ולא-לינאריות לפני ראיית הנתונים, וניבוי על נתונים מוחזקים צריך לקבוע אם המורכבות הנוספת מצדיקה את מחירה. שני המושגים של Flow Hijacked מצליחים רק אם הם מסתכנים בהשוואה ושורדים אותה.

תכנית המחקר צריכה להיות מצטברת ופתוחה. פרוטוקולים, גירויים, קוד, החלטות הוצאה ותוצאות אפסיות צריכים להיות ניתנים לשימוש חוזר; סוללות תוצאה צריכות לשמור מדדים משותפים ולאפשר תוספות תלויות-משימה. מחקר בין מינים צריך ליישר חישובים ולא רק התנהגות נראית. ובעיקר, צוותים עצמאיים צריכים להיות מסוגלים לבחון ARC וניידות בלי לאמץ את שפת Flow Hijacked, מפני שמושג מועיל חייב לשרוד מחוץ למערכת שנתנה לו שם.

עובדי ראיות

[38] Milton et al. (2023), Brain Research Bulletin - Cross-species - Strong evidence

[39] Kennedy et al. (2024), eLife - Rat - Strong evidence

[94] Meijer et al. (2026), Science Advances - Healthy adults - Moderate-strong evidence

משפט סיום - השינוי חייב לנוע

59

מעמד הראיות: סינתזה של Flow Hijacked.

הסיפור המדעי אינו שהזיכרון הוא חומר רך שאפשר לעצב כרצוננו. היזכרות מציבה מערכת מסתגלת בצומת. לפעמים התחזית הישנה עדיין שימושית. לפעמים היא נעשית פתוחה לעדכון. לפעמים העולם נתפס כשונה דיו כדי להצדיק מודל אחר. ולפעמים מתרחש שינוי משמעותי, אך הוא עדיין אינו מצליח להנחות התנהגות רחוק מן המקום שבו נלמד.

מדע חומל מחזיק את כל האפשרויות האלה בלי להפוך חזרה של תגובה לכישלון אישי. שינוי אינו רק השאלה אם אפשר לעדכן מודל ישן. השאלה היא אם העדכון יישאר נגיש בין המצבים, ההקשרים והאפשרויות של חיים אנושיים.

ההרצאה התחילה בסתירה אחת ובשלושה עתידים אפשריים. הייצוג הישן יכול להישאר כמעט ללא שינוי, הוא יכול להתעדכן, או שלמידה חדשה יכולה לקבל אחריות על האירוע. הראיות אינן דוחסות את הגורלות לכלל אחד. הן מציגות פלסטיות מווסתת: שליפה פותחת בעיה, ערעור יציבות מותנה, שגיאה יחסית למודל, ההקשר שולט בשיוך ומערכות זיכרון רבות יכולות להשתנות בדרכים שונות בעת ובעונה אחת.

הטענה האחרונה מוסיפה אמת מידה שנייה. שינוי נעשה משמעותי בחיים כאשר הוא נשאר נגיש לאחר תנועה בין הקשר, גוף, רמזים ופעולה. הדבר אינו דורש חסינות קבועה מחזרה ואינו הופך הישנות לכישלון מוסרי. הוא דורש מדידה מעבר לחדר שבו נוצרה ההצלחה. ARC שואל אם מודל ישן יכול להשתנות. ניידות העדכון שואלת אם התוצאה יכולה לנוע. יחד הם יוצרים ארכיטקטורה מחקרית ולא הבטחה: עדכון בלי נזיר-הייפ, אי-ודאות בלי כניעה וחמלה בלי פישוט.

הקריטריון המסכם התנהגותי ואנושי בכוונה. מודל מעודכן נעשה בעל משמעות כאשר הוא זמין ברגעים שבעבר צמצמו בחירה, לאורך שונות המספיקה לתמוך בחיים ולא רק בהדגמה אחת. שום ניסוי אינו מבטיח מראש את הטווח הזה. המדע כן יכול למפות היכן השינוי מחזיק, היכן הוא נכשל ואילו תמיכות מרחיבות אותו. מפה כזאת מכבדת הן את התמדה של למידה ישנה והן את ממשותה של אפשרות חדשה.

עובדי ראיות

- [53] Craske et al. (2014), Behaviour Research and Therapy - Anxiety treatment and laboratory fear - Strong evidence
 [57] Rajagopal et al. (2025), Nature Communications - Rodent/human fear data constraints - Moderate evidence
 [93] Milton (2023), Translational Psychiatry - Human and animal; addiction/fear/trauma - Strong evidence

שינוי אינו רק השאלה אם אפשר לעדכן מודל. השאלה היא אם העדכון יכול לנוע.

מקורות - תיק מחקר הכולל 94 פרסומים

תיק המחקר מאורגן לצורך עקיבות, איתור סתירות ושומרת השושלת המושגית - לא לפי יוקרה. כאשר גודל המדגם לא אומת ברמת המאמר הוא מסומן כחסר, במקום להשלים נתון משוער.

1. Misanin, J. R., Miller, R. R., & Lewis, D. J. (1968). Retrograde amnesia produced by electroconvulsive shock after reactivation of a consolidated memory trace. *Science*, 160, 554-555. doi:10.1126/science.160.3827.554
2. Przybylski, J., & Sara, S. J. (1997). Reconsolidation of memory after its reactivation. *Behavioural Brain Research*, 84, 241-246. doi:10.1016/S0166-4328(96)00153-2
3. Nader, K., Schafe, G. E., & LeDoux, J. E. (2000). Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. *Nature*, 406, 722-726. doi:10.1038/35021052
4. Sara, S. J. (2000). Retrieval and reconsolidation: toward a neurobiology of remembering. *Learning & Memory*, 7, 73-84. doi:10.1101/lm.7.2.73
5. Milekic, M. H., & Alberini, C. M. (2002). Temporally graded requirement for protein synthesis following memory reactivation. *Neuron*, 36, 521-525. doi:10.1016/S0896-6273(02)00976-5
6. Debiec, J., LeDoux, J. E., & Nader, K. (2002). Cellular and systems reconsolidation in the hippocampus. *Neuron*, 36, 527-538. doi:10.1016/S0896-6273(02)01001-2
7. Debiec, J., & LeDoux, J. E. (2004). Disruption of reconsolidation but not consolidation of auditory fear conditioning by noradrenergic blockade in the amygdala. *Neuroscience*, 129, 267-272. doi:10.1016/j.neuroscience.2004.08.018
8. Suzuki, A., et al. (2004). Memory reconsolidation and extinction have distinct temporal and biochemical signatures. *Journal of Neuroscience*, 24, 4787-4795. doi:10.1523/JNEUROSCI.5491-03.2004
9. Pedreira, M. E., Pérez-Cuesta, L. M., & Maldonado, H. (2004). Mismatch between what is expected and what actually occurs triggers memory reconsolidation or extinction. *Learning & Memory*, 11, 579-585. doi:10.1101/lm.76904
10. Ben Mamou, C., Gamache, K., & Nader, K. (2006). NMDA receptors are critical for unleashing consolidated auditory fear memories. *Nature Neuroscience*, 9, 1237-1239. doi:10.1038/nn1778
11. Tronson, N. C., & Taylor, J. R. (2007). Molecular mechanisms of memory reconsolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 262-275. doi:10.1038/nrn2090
12. Lee, J. L. C. (2008). Memory reconsolidation mediates the strengthening of memories by additional learning. *Nature Neuroscience*, 11, 1264-1266. doi:10.1038/nn.2205
13. Nader, K., & Hardt, O. (2009). A single standard for memory: the case for reconsolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 224-234. doi:10.1038/nrn2590
14. Wang, S.-H., de Oliveira Alvares, L., & Nader, K. (2009). Cellular and systems mechanisms of memory strength as a constraint on auditory fear reconsolidation. *Nature Neuroscience*, 12, 905-912. doi:10.1038/nn.2350
15. Hardt, O., Einarsson, E. O., & Nader, K. (2010). A bridge over troubled water: reconsolidation as a link between cognitive and neuroscientific memory research traditions. *Annual Review of Psychology*, 61, 141-167. doi:10.1146/annurev.psych.093008.100455
16. Rao-Ruiz, P., et al. (2011). Retrieval-specific endocytosis of GluA2-AMPA receptors underlies adaptive reconsolidation of contextual fear. *Nature Neuroscience*, 14, 1302-1308. doi:10.1038/nn.2907
17. Dudai, Y. (2012). The restless engram: consolidations never end. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 227-247. doi:10.1146/annurev-neuro-062111-150500
18. Alberini, C. M., & LeDoux, J. E. (2013). Memory reconsolidation. *Current Biology*, 23, R746-R750. doi:10.1016/j.cub.2013.06.046
19. Carneiro, C. F. D., et al. (2023). A meta-analysis of protein synthesis inhibition in learning and memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 146, 105042. doi:10.1016/j.neubiorev.2023.105042
20. Hubbach, A., Gomez, R., Hardt, O., & Nadel, L. (2007). Reconsolidation of episodic memories: a subtle reminder triggers integration of new information. *Learning & Memory*, 14, 47-53. doi:10.1101/lm.365707
21. Monfils, M.-H., Cowansage, K. K., Klann, E., & LeDoux, J. E. (2009). Extinction-reconsolidation boundaries: key to persistent attenuation of fear memories. *Science*, 324, 951-955. doi:10.1126/science.1167975
22. Kindt, M., Soeter, M., & Vervliet, B. (2009). Beyond extinction: erasing human fear responses and preventing the return of fear. *Nature Neuroscience*, 12, 256-258. doi:10.1038/nn.2271
23. Schiller, D., et al. (2010). Preventing the return of fear in humans using reconsolidation update mechanisms. *Nature*, 463, 49-53. doi:10.1038/nature08637
24. Sevenster, D., Beckers, T., & Kindt, M. (2012). Retrieval per se is not sufficient to trigger reconsolidation of human fear memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 97, 338-345. doi:10.1016/j.nlm.2012.01.009
25. Sevenster, D., Beckers, T., & Kindt, M. (2013). Prediction error governs pharmacologically induced amnesia for learned fear. *Science*, 339, 830-833. doi:10.1126/science.1231357
26. Díaz-Mataix, L., Ruiz Martinez, R. C., Schafe, G. E., LeDoux, J. E., & Doyère, V. (2013). Detection of a temporal error triggers reconsolidation of amygdala-dependent memories. *Current Biology*, 23, 467-472. doi:10.1016/j.cub.2013.01.053
27. Sevenster, D., Beckers, T., & Kindt, M. (2014). Prediction error demarcates the transition from retrieval, to reconsolidation, to new learning. *Learning & Memory*, 21, 580-584. doi:10.1101/lm.035493.114
28. Exton-McGuinness, M. T. J., Lee, J. L. C., & Reichelt, A. C. (2015). Updating memories-The role of prediction errors in memory reconsolidation. *Behavioural Brain Research*, 278, 375-384. doi:10.1016/j.bbr.2014.10.011

29. Fernández, R. S., Bavassi, L., Forcato, C., & Pedreira, M. E. (2016). The dynamic nature of the reconsolidation process and its boundary conditions: evidence based on human tests. *Neurobiology of Learning and Memory*, 130, 202-212. doi:10.1016/j.nlm.2016.03.001
30. Fernández, R. S., Boccia, M. M., & Pedreira, M. E. (2016). The fate of memory: reconsolidation and the case of prediction error. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 423-441. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.06.004
31. Elsej, J. W. B., Van Ast, V. A., & Kindt, M. (2018). Human memory reconsolidation: a guiding framework and critical review of the evidence. *Psychological Bulletin*, 144, 797-848. doi:10.1037/bul0000152
32. Sinclair, A. H., & Barense, M. D. (2018). Surprise and destabilize: prediction error influences episodic memory reconsolidation. *Learning & Memory*, 25, 369-381. doi:10.1101/lm.046912.117
33. Sinclair, A. H., & Barense, M. D. (2019). Prediction error and memory reactivation: how incomplete reminders drive reconsolidation. *Trends in Neurosciences*, 42, 727-739. doi:10.1016/j.tins.2019.08.007
34. Chalkia, A., et al. (2020). No persistent attenuation of fear memories in humans: a registered replication of the reactivation-extinction effect. *Cortex*, 129, 496-509. doi:10.1016/j.cortex.2020.04.017
35. Sinclair, A. H., Manalili, G. M., Brunec, I. K., Adcock, R. A., & Barense, M. D. (2021). Prediction errors disrupt hippocampal representations and update episodic memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, e2117625118. doi:10.1073/pnas.2117625118
36. Stermerding, L. E., Stibbe, D., van Ast, V. A., & Kindt, M. (2022). Demarcating the boundary conditions of memory reconsolidation: an unsuccessful replication. *Scientific Reports*, 12, 2285. doi:10.1038/s41598-022-06119-5
37. Gerlicher, A. M. V., Verweij, S. A., & Kindt, M. (2022). Better, worse, or different than expected: on the role of value and identity prediction errors in fear memory reactivation. *Scientific Reports*, 12, 5862. doi:10.1038/s41598-022-09720-w
38. Milton, A. L., Das, R. K., & Merlo, E. (2023). The challenge of memory destabilisation: from prediction error to prior learning history. *Brain Research Bulletin*, 194, 235-245. doi:10.1016/j.brainresbull.2023.01.010
39. Kennedy, A. C., et al. (2024). Prediction error determines whether fear extinction updates the old memory or creates a new memory. *eLife*, 13, RP95849. doi:10.7554/eLife.95849
40. Mirea, D. M., et al. (2024). How prior knowledge shapes episodic memory updating: large-scale evidence for individual differences in mnemonic prediction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 36, 2415-2434. doi:10.1162/jocn_a_02231
41. Mahmoodi, A., et al. (2024). The hippocampus and dorsomedial prefrontal cortex support causal inference and association updating. *Neuron*, 112, 3924-3938.e8. doi:10.1016/j.neuron.2024.09.001
42. Chen, J., et al. (2025). Prediction error drives episodic memory updating under boundary-sensitive conditions. *Cognition*, 262, 106224. doi:10.1016/j.cognition.2025.106224
43. Yang, Y., et al. (2026). Memory strength at reactivation governs prediction-error-driven episodic updating across time. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 381, 20250244. doi:10.1098/rstb.2025.0244
44. Bouton, M. E. (2002). Context, ambiguity, and unlearning: sources of relapse after behavioral extinction. *Biological Psychiatry*, 52, 976-986. doi:10.1016/S0006-3223(02)01546-9
45. Phelps, E. A., Delgado, M. R., Nearing, K. I., & LeDoux, J. E. (2004). Extinction learning in humans: role of the amygdala and vmPFC. *Neuron*, 43, 897-905. doi:10.1016/j.neuron.2004.08.042
46. Gershman, S. J., Blei, D. M., & Niv, Y. (2010). Context, learning, and extinction. *Psychological Review*, 117, 197-209. doi:10.1037/a0017808
47. Fanselow, M. S. (2010). From contextual fear to a dynamic view of memory systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 7-15. doi:10.1016/j.tics.2009.10.008
48. Sederberg, P. B., Gershman, S. J., Polyn, S. M., & Norman, K. A. (2011). Human memory reconsolidation can be explained using the temporal context model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 455-468. doi:10.3758/s13423-011-0086-9
49. Daw, N. D., Gershman, S. J., Seymour, B., Dayan, P., & Dolan, R. J. (2011). Model-based influences on humans' choices and striatal prediction errors. *Neuron*, 69, 1204-1215. doi:10.1016/j.neuron.2011.02.027
50. Gershman, S. J., & Niv, Y. (2012). Exploring a latent cause theory of classical conditioning. *Learning & Behavior*, 40, 255-268. doi:10.3758/s13420-012-0080-8
51. Gershman, S. J., Jones, C. E., Norman, K. A., Monfils, M.-H., & Niv, Y. (2013). Gradual extinction prevents the return of fear: implications for the discovery of state. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 164. doi:10.3389/fnbeh.2013.00164
52. Vervliet, B., Craske, M. G., & Hermans, D. (2013). Fear extinction and relapse: state of the art. *Annual Review of Clinical Psychology*, 9, 215-248. doi:10.1146/annurev-clinpsy-050212-185542
53. Craske, M. G., Treanor, M., Conway, C. C., Zbozinek, T., & Vervliet, B. (2014). Maximizing exposure therapy: an inhibitory learning approach. *Behaviour Research and Therapy*, 58, 10-23. doi:10.1016/j.brat.2014.04.006
54. Dunsmoor, J. E., Niv, Y., Daw, N., & Phelps, E. A. (2015). Rethinking extinction. *Neuron*, 88, 47-63. doi:10.1016/j.neuron.2015.09.028
55. Starkweather, C. K., Babayan, B. M., Uchida, N., & Gershman, S. J. (2017). Dopamine reward prediction errors reflect hidden-state inference across time. *Nature Neuroscience*, 20, 581-589. doi:10.1038/nn.4520
56. Gershman, S. J., Monfils, M.-H., Norman, K. A., & Niv, Y. (2017). The computational nature of memory modification. *eLife*, 6, e23763. doi:10.7554/eLife.23763
57. Rajagopal, S. K., et al. (2025). A neurally constrained computational model of context-dependent fear extinction and renewal. *Nature Communications*, 16, 3867. doi:10.1038/s41467-025-59036-4
58. Yoo, S. W., et al. (2017). Hippocampal encoding of interoceptive context during fear conditioning and extinction. *Translational Psychiatry*, 7, e991. doi:10.1038/tp.2016.254

59. Shohamy, D., & Wagner, A. D. (2008). Integrating memories in the human brain: hippocampal-midbrain encoding of overlapping events. *Neuron*, 60, 378-389. doi:10.1016/j.neuron.2008.09.023
60. Bakker, A., Kirwan, C. B., Miller, M., & Stark, C. E. L. (2008). Pattern separation in the human hippocampal CA3 and dentate gyrus. *Science*, 319, 1640-1642. doi:10.1126/science.1152882
61. Yassa, M. A., & Stark, C. E. L. (2011). Pattern separation in the hippocampus. *Trends in Neurosciences*, 34, 515-525. doi:10.1016/j.tins.2011.06.006
62. Zeithamova, D., Dominick, A. L., & Preston, A. R. (2012). Hippocampal and ventral medial prefrontal activation during retrieval-mediated learning supports novel inference. *Neuron*, 75, 168-179. doi:10.1016/j.neuron.2012.05.010
63. Schlichting, M. L., Mumford, J. A., & Preston, A. R. (2015). Learning-related representational changes reveal dissociable integration and separation signatures in the hippocampus and prefrontal cortex. *Nature Communications*, 6, 8151. doi:10.1038/ncomms9151
64. Favila, S. E., Chanale, A. J. H., & Kuhl, B. A. (2016). Experience-dependent hippocampal pattern differentiation prevents interference during subsequent learning. *Nature Communications*, 7, 11066. doi:10.1038/ncomms11066
65. Chanale, A. J. H., Oza, A., Favila, S. E., & Kuhl, B. A. (2017). Overlap among spatial memories triggers repulsion of hippocampal representations. *Current Biology*, 27, 2307-2317.e5. doi:10.1016/j.cub.2017.06.057
66. Ritvo, V. J. H., Turk-Browne, N. B., & Norman, K. A. (2019). Nonmonotonic plasticity: how memory retrieval drives learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 23, 726-742. doi:10.1016/j.tics.2019.06.007
67. McClay, M., et al. (2022). Neural evidence for the nonmonotonic plasticity hypothesis in the human hippocampus. *eLife*, 11, e68344. doi:10.7554/eLife.68344
68. Bein, O., Duncan, K., & Davachi, L. (2023). Mnemonic prediction errors bias hippocampal states toward encoding and memory updating. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 151, 105368. doi:10.1016/j.neubiorev.2023.105368
69. Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275, 1593-1599. doi:10.1126/science.275.5306.1593
70. Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 127-138. doi:10.1038/nrn2787
71. Seth, A. K. (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 565-573. doi:10.1016/j.tics.2013.09.007
72. Mathys, C. D., et al. (2014). Uncertainty in perception and the Hierarchical Gaussian Filter. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 825. doi:10.3389/fnhum.2014.00825
73. Barrett, L. F., & Simmons, W. K. (2015). Interoceptive predictions in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 419-429. doi:10.1038/nrn3950
74. Pezzulo, G., Rigoli, F., & Friston, K. (2015). Active inference, homeostatic regulation and adaptive behavioural control. *Progress in Neurobiology*, 134, 17-35. doi:10.1016/j.pneurobio.2015.09.001
75. Seth, A. K., & Friston, K. J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 20160007. doi:10.1098/rstb.2016.0007
76. Friston, K. J., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P., & Pezzulo, G. (2017). Active inference: a process theory. *Neural Computation*, 29, 1-49. doi:10.1162/NECO_a_00912
77. Osan, R., Tort, A. B. L., & Amaral, O. B. (2011). A mismatch-based model for memory reconsolidation and extinction in attractor networks. *PLoS ONE*, 6, e23113. doi:10.1371/journal.pone.0023113
78. Spalla, D., Cornacchia, I. M., & Treves, A. (2021). Continuous attractors for dynamic memories. *eLife*, 10, e69499. doi:10.7554/eLife.69499
79. Lee, J. L. C., Di Ciano, P., Thomas, K. L., & Everitt, B. J. (2005). Disrupting reconsolidation of drug memories reduces cocaine-seeking behavior. *Neuron*, 47, 795-801. doi:10.1016/j.neuron.2005.08.007
80. Brunet, A., et al. (2008). Effect of post-retrieval propranolol on psychophysiologic responding during subsequent script-driven traumatic imagery in PTSD. *Journal of Psychiatric Research*, 42, 503-506. doi:10.1016/j.jpsychires.2007.05.006
81. Torregrossa, M. M., Corlett, P. R., & Taylor, J. R. (2011). Aberrant learning and memory in addiction. *Neurobiology of Learning and Memory*, 96, 609-623. doi:10.1016/j.nlm.2011.02.014
82. Xue, Y.-X., et al. (2012). A memory retrieval-extinction procedure to prevent drug craving and relapse. *Science*, 336, 241-245. doi:10.1126/science.1215070
83. Das, R. K., Lawn, W., & Kamboj, S. K. (2015). Rewriting the valuation and salience of alcohol-related stimuli via memory reconsolidation. *Translational Psychiatry*, 5, e645. doi:10.1038/tp.2015.132
84. Luo, Y.-X., et al. (2015). A novel UCS-memory retrieval-extinction procedure to inhibit relapse to drug seeking. *Nature Communications*, 6, 7675. doi:10.1038/ncomms8675
85. Lane, R. D., Ryan, L., Nadel, L., & Greenberg, L. (2015). Memory reconsolidation, emotional arousal, and the process of change in psychotherapy. *Behavioral and Brain Sciences*, 38, e1. doi:10.1017/S0140525X14000041
86. Soeter, M., & Kindt, M. (2015). An abrupt transformation of phobic behavior after a post-retrieval amnesic agent. *Biological Psychiatry*, 78, 880-886. doi:10.1016/j.biopsych.2015.04.006
87. Everitt, B. J., & Robbins, T. W. (2016). Drug addiction: updating actions to habits to compulsions ten years on. *Annual Review of Psychology*, 67, 23-50. doi:10.1146/annurev-psych-122414-033457
88. Brunet, A., et al. (2018). Reduction of PTSD symptoms with pre-reactivation propranolol: a randomized controlled trial. *American Journal of Psychiatry*, 175, 427-433. doi:10.1176/appi.ajp.2017.17050481

89. Das, R. K., Gale, G., Hennessy, V., & Kamboj, S. K. (2019). A prediction-error driven retrieval procedure for destabilizing and rewriting maladaptive reward memories. *Nature Communications*, 10, 5027. doi:10.1038/s41467-019-13162-w
90. Pigeon, S., et al. (2022). Impairing memory reconsolidation with propranolol in healthy and clinical samples: a meta-analysis. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 47, E109-E122. doi:10.1503/jpn.210057
91. Raut, S. B., Canales, J. J., Ravindran, M., & Eri, R. (2022). Propranolol in post-traumatic stress disorder: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Psychiatric Research*, 150, 190-202. doi:10.1016/j.jpsychires.2022.03.045
92. Steenen, S. A., van Wijk, A. J., van der Heijden, G. J. M. G., & van Westrhenen, R. (2022). Reanalysis: no convincing effect of propranolol on memory reconsolidation outcomes. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 47, E312-E314. doi:10.1503/jpn.220072-1
93. Milton, A. L. (2023). Harnessing memory reconsolidation to treat maladaptive memories: strengths, limits and translational priorities. *Translational Psychiatry*, 13, 302. doi:10.1038/s41398-023-02666-1
94. Meijer, G. T., et al. (2026). Causal contributions of the human amygdala and hippocampus to threat learning and extinction. *Science Advances*, 12, aea8233. doi:10.1126/sciadv.aea8233