

## المخ يشبه العضلات... كلما استخدمته صار أقوى

**Jesse C. Niebaum<sup>1</sup> and Silvia A. Bunge<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>معهد هيلين ويلز لعلم الأعصاب، جامعة كاليفورنيا في بيركلي، بيركلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية  
<sup>2</sup>قسم علم النفس، جامعة كاليفورنيا في بيركلي، بيركلي، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية

### المراجعون الصغار:

**LUCA**  
العمر: 13

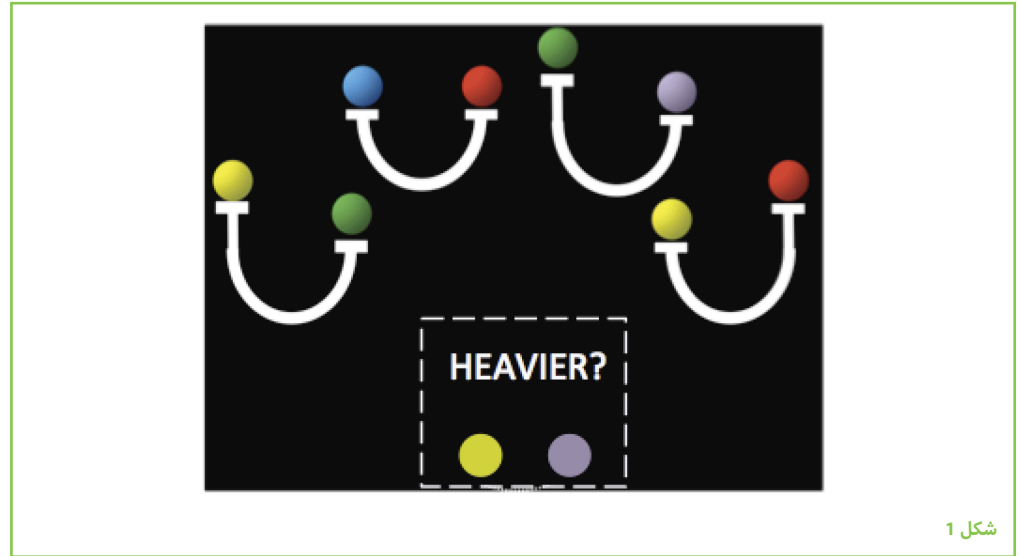


انظر إلى اللغز في الشكل 1، والذي يوضح أوزان كرات ملونة بألوان مختلفة. هل يمكنك أن تحدد أي الكرتين أثقل وزناً من الأخرى: الصفراء أم الأرجوانية؟ وضعت الكرات جميعها على ميزان أبيض لنرى أيها أثقل وزناً. الكرة الخضراء أثقل من الكرة الصفراء، والأرجوانية أثقل وزناً من الكرة الخضراء. إذن، لا بد وأن تكون الكرة الأرجوانية أثقل من الكرة الصفراء!

لحل هذا اللغز؛ لا بد وأن يستخدم المرء مهاراته في الاستنتاج. وعليه، فالاستنتاج يتيح لك إمكانية مقارنة الأشياء ببعضها، مثل ما يحدث عندما تقرر أي حذاء أفضل من الآخر لترتيبه أثناء لعب كرة السلة، أو القيام بالمقارنات المجردة مثل تحديد ما إذا كانت الكرة الأرجوانية أثقل وزناً أم الصفراء خلال حل اللغز السابق. تمكنك المهارات الاستنتاجية القوية من تعلم الأشياء الجديدة بسهولة أكثر، سواء كانت هذه الأشياء في المدرسة أو متعلقة بهواياتك المفضلة. إذ تساعدك على: (1) فهم المعلومات الجديدة من خلال ربطها بالمعلومات التي تعرفها بالفعل، (2) فهم المغزى من قصة أو مشكلة ما وكيفية تطبيقها في سياق مختلف؛ و(3) ملاحظة الأمر عندما يبدو غير مفهوم أو غير منطقي أو منافياً لشيء آخر سمعته من قبل [1]. تظهر الدراسات أن الأطفال الذين يمتلكون مهارات استنتاج عالية يحصلون على درجات أفضل في المدرسة، كما أنه يمكنهم التعامل مع الوظائف الأكثر اتساقاً بطابع التحدي عندما يكبرون.

## شكل 1

يعد هذا المثال نموذجًا لأحد الأفعال القائمة على الاستنتاج والتي نطلب من الأشخاص حلها أثناء قياس نشاط مخهم.



هناك العديد من الأجزاء المختلفة في المخ والتي يستخدمها الإنسان حينما يفكر تفكيرًا منطقيًا. ويعتبر التصوير باستخدام الرنين المغناطيسي (MRI) إحدى الطرق التي يستخدمها الباحثون لرصد عمل الأجزاء المختلفة من المخ.

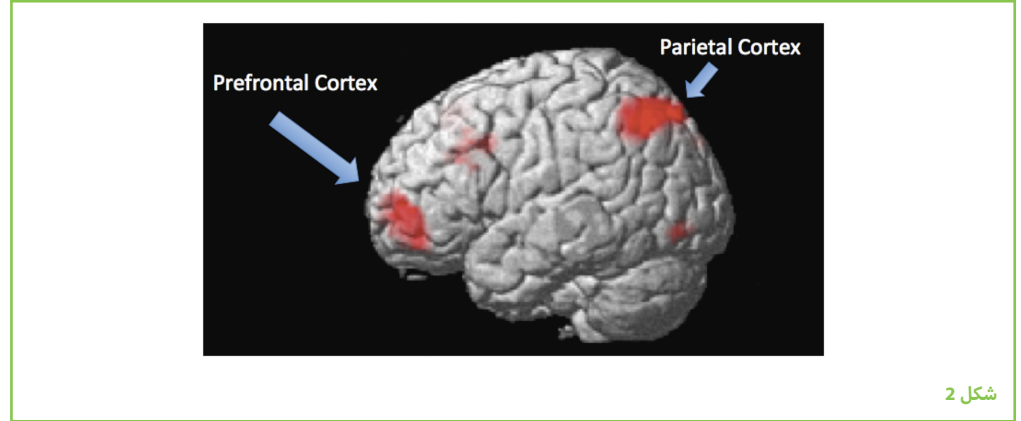
وفي هذا الفحص، يستلقي المشاركون داخل أنبوب محاط بمغناطيس كبير أثناء التصوير بالرنين المغناطيسي. وهناك العديد من الطرق المثيرة للاهتمام التي يمكن استخدام التصوير بالرنين المغناطيسي بها لمراقبة عمل المخ (لمزيد من المعلومات حول هذا الأمر، يمكنك مراجعة مقال AcademicKids عبر الإنترنت حول تصوير المخ [2]). ويعد التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) إحدى الطرق التي تُستخدم لرصد تدفق الدم إلى مناطق المخ المختلفة. وتحتاج هذه المناطق النشطة في المخ؛ مثل تلك التي تعمل عند حل مسألة استنتاجية، إلى العناصر الغذائية التي يحملها الدم موصولاً إليها إلى هذه المناطق. ويعني تدفق المزيد من الدم إلى جزء محدد من المخ أن هذا الجزء يؤدي عملاً شاقًا. لذلك، يساعدنا التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI) على رصد الأداء الوظيفي للمخ. وإذا استخدمنا التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي لقياس مستوى تدفق الدم أثناء حلك للجزء السابق، لوجدنا أن العديد من أجزاء المخ تنشط في آنٍ واحد.

ويظهر الشكل 2 منطقتين في المخ تنشطان أثناء قيام الشخص بحل المسائل الصعبة، وهما القشرة الجبهية الأمامية التي تقع في الجزء الأمامي من المخ، والفص الجداري الذي يقع بالقرب من الجزء الخلفي له [3]. وعندما تحاول حل لغز الكرات الملونة المذكور أعلاه، يساعدك الفص الجداري أولاً على فهم أن الصورة المشار إليها أعلاه تعطيك أوزان الكرات المختلفة كي تتمكن من مقارنتها. ثم تساعدك القشرة الجبهية الأمامية على تكوين علاقات بين هذه الكرات. تتنبه القشرة الجبهية الأمامية إلى كون الكرة الأرجوانية أثقل من الكرة الخضراء، وإلى كون الكرة الخضراء أثقل من الكرة الصفراء، ومن ثم تستنتج وجوب أن تكون الكرة الأرجوانية أثقل من الكرة الصفراء. هذا، على الأقل، ما نعتقد أننا تعلمناه حول كيفية إسهام القشرة الجبهية الأمامية والفص الجداري في عملية التفكير الاستنتاجي من خلال أبحاثنا التي استخدمنا فيها تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي [4].

تتحسن كفاءة أجزاء المخ هذه في أداء وظيفتها كلما كبر الإنسان في العمر؛ لأن المخ البشري يتمتع بقدرة مذهلة على التغيير والتكيف وعلى أن يصبح أقوى، خاصة في مرحلة الطفولة؛ وتظل هذه القدرة قائمة حتى مع تقدمه في العمر. وتستطيع الكثير من العوامل التأثير في كيفية نمو مخك

## شكل 2

هذه الصورة ملتقطة من دراسة أجريت حول قيام المخ بعملية الاستنتاج باستخدام تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI). تظهر أجزاء المخ التي زاد تدفق الدم إليها أثناء حل لغز صعب مقارنة بأخر سهل باللون الأحمر.



شكل 2

وتغيره. وعليه، يمكن للبيئة المحيطة بك، مثل المنزل والمدرسة والأشياء التي تختار أن تفعلها، أن تشكل طريقة نمو هذه الأجزاء المهمة في مخك، وتطورها [5].

في أروقة مختبر "الوحدات البنائية الإدراكية" بجامعة كاليفورنيا ببيركلي، أردنا فحص ما إذا كان بمقدور أحد البرامج التدريبية المعدة خصيصًا لتدريب الأجزاء الخاصة بعملية الاستنتاج في المخ على تحسين التفكير الاستنتاجي. حيث قامت إحدى طالبات الدراسات العليا، تدعى أليسون ماكي، وفريقها من الباحثين المساعدين بالسماح لمجموعة من الأطفال تتراوح أعمارهم بين 7 و10 أعوام بممارسة بعض الألعاب المختارة من متجر محلي للألعاب لمدة ساعة يوميًا بواقع مرتين في الأسبوع على مدار 8 أسابيع، بإجمالي عدد ساعات بلغ 16 ساعة. وخلال هذه المدة، مارس الأطفال ألعاب الطاولة والكوتشينة والألغاز والألعاب الإلكترونية. لم يكن الهدف من وراء هذا البحث هو تحسين قدرة الأطفال على ممارسة لعبة محددة، ولكن لمعرفة كيفية ممارسة الأطفال للعديد من الألعاب المختلفة.

قسمت الباحثة الأطفال إلى مجموعتين، حيث لعبت المجموعة الأولى من الأطفال ألعابًا نعتقد أنها تنشط مهاراتهم الاستنتاجية مثل لعبة SET الموضحة في الشكل 3A، في حين لعبت المجموعة الأخرى ألعابًا تقوم على اتخاذ القرار بسرعة، مثل لعبة Blink الموضحة في الشكل 3B. ثم قارنا نتائج البرنامج التدريبي الخاص بمهارات التفكير الاستنتاجي بنتائج التدريب الخاص بمهارات السرعة؛ حيث أردنا معرفة ما إذا كانت ممارسة أنواع مختلفة من الألعاب من شأنها أن تعزز مهارات مختلفة أم لا.

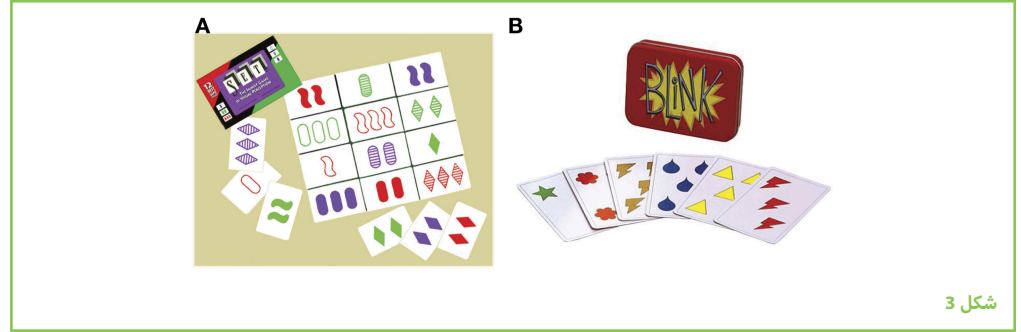
وقبل الأسابيع الثمانية التي قضاها الأطفال في اللعب، قمنا بقياس أداء الأطفال المشاركين في البرنامجين التدريبيين في اختبارات القدرات العقلية. ثم قسنا هذه القدرات مرة أخرى بعد مرور أسابيع التدريب الثمانية لنرى ما إذا كان أداء الأطفال قد تحسن في هذه الاختبارات، أم لا.

تحسن أداء الأطفال الذين مارسوا ألعابًا مثل SET كثيرًا في اختبار المهارات الاستنتاجية، كما تعززت ذاكرتهم العاملة المكانية، فضلًا عن تحسن أحد قياسات معدلات السرعة لديهم. بينما أظهر الأطفال الذين لعبوا ألعابًا مثل Blink نمطًا مختلفًا، حيث تحسنت سرعتهم بشكل كبير في قياسات معدلات السرعة، ولكن لم يكن هناك أي تحسن في مهارات التفكير الاستنتاجي [6]. وتظهر هذه النتائج أن لعب أنواع مختلفة من الألعاب يمكنه أن ينمي مهارات عقلية مختلفة.

يا لها من نتائج مثيرة حقًا! ولكن عملنا لم ينته بعد، إذ إن هذه الدراسة قد اشتملت على عدد قليل من الأطفال. ولذا، نريد أن نجري نفس هذه التجربة مرة أخرى على مجموعة أكبر من الأطفال لتؤكد

## شكل 3

هذه نماذج من الألعاب التي لعبها الأطفال في مجموعة التدريب الأولى [6]. A. لعبة تقوم على الاستنتاج تسمى SET. B. لعبة تقوم على اتخاذ القرار بسرعة تسمى Blink. اشتملت هاتان اللعبتان على أشكال وألوان وأرقام. في لعبة SET، عليك أن تستخدم مهارات الاستنتاجية لمقارنة البطاقات المختلفة من خلال استخدام الألوان والأرقام والأشكال، بينما لا تحتاج في لعبة Blink إلا إلى مقارنة شيء واحد: اللون أو الرقم أو الشكل، علماً بأنه يمكن شراء هذه الألعاب وغيرها من الألعاب الرائعة من متاجر الألعاب، أو لعبها على الإنترنت.



شكل 3

من أننا سنحصل على نفس النتائج. وتعرف هذه العملية باسم تكرار النتائج، وهي جزء مهم جداً في أي اكتشاف علمي.

وهناك سبب آخر، وهو أننا لا زلنا لا نعلم ما إذا كانت الألعاب القائمة على المهارات الاستنتاجية قادرة على تحسين أداء الأطفال المدرسي أم لا، وهذا هو الهدف الذي يعمل مختبرنا على التحقق منه الآن من خلال دراسة تجرى على الأطفال الذين يتعلمون لعب الشطرنج؛ وهي واحدة من أقدم وأفضل الألعاب التي تتطلب مهارة الاستنتاج.

وبعد أن تبين أن التدريب يمكنه أن يحسن المهارات الاستنتاجية لدى المرء، أردنا اختبار ما إذا كانت هذه التدريبات القائمة على الاستنتاج يمكنها أن تؤدي إلى إحداث تغييرات في المخ أم لا، وكيفية حدوث هذه التغييرات (إن وجدت).

للإجابة عن هذا السؤال، وظفنا مجموعتين من الشباب البالغين الذين يرغبون في الالتحاق بكلية الحقوق في المستقبل. تنتمي هاتان المجموعتان إلى نفس الحقبة العمرية (في المتوسط 21 عاماً)، وتتشابه مهاراتهم الاستنتاجية، مع وجود فارق وحيد، وهو أن إحدى المجموعتين قامت بالتسجيل في فصل تحضيري لمدة 3 أشهر لإعدادهم لاختبار القبول في كلية الحقوق (LSAT)، بينما لم يسجل الفريق الآخر في هذا الفصل.

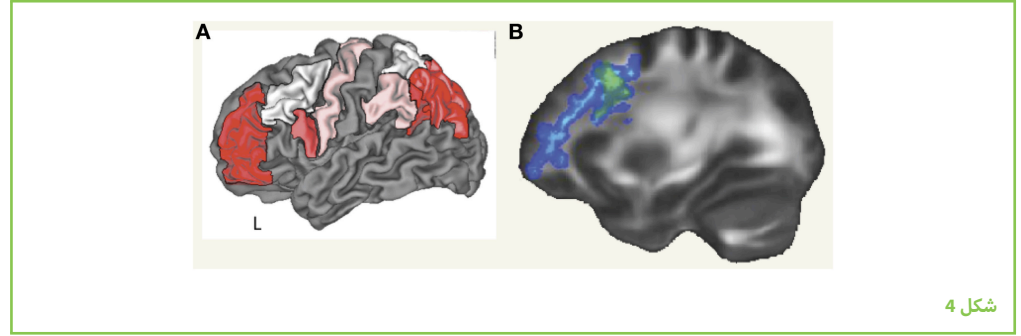
يشتمل اختبار القبول في كلية الحقوق على العديد من المسائل المنطقية والاستنتاجية، ولذلك تتمحور فصول الإعداد لهذا الاختبار حول تعلم كيفية حل هذه المسائل الاستنتاجية. وقد أمضى الطلاب في هذا الفصل 70% من إجمالي 100 ساعة دراسية - أي 70 ساعة - في التدريب على المهارات الاستنتاجية. أما الـ 30 ساعة المتبقية، فقد أمضوها في القراءة والفهم والإجابة عن الأسئلة المتعلقة بالموضوعات المكلفين بقراءتها. مثل الطلاب في هذا الفصل مجموعتنا التجريبية، بينما مثل طلاب المجموعة الأخرى الذين لم يسجلوا في هذا الفصل المجموعة الضابطة. وقد ضمنا المجموعة الضابطة إلى التجربة للتأكد من أن أي تغيير يطرأ على المجموعة التجريبية له علاقة بالمشاركة في فصل الإعداد لاختبار القبول في كلية الحقوق.

حصلت المجموعة التجريبية على نتائج أقل بنسبة بسيطة من المتوسط في الاختبار قبل بدء الفصل التحضيري. ولكن بعد التدريب، تحسّن مستواهم في قسم التفكير الاستنتاجي في الاختبار كثيراً، حتى إنه تجاوز المستوى المتوسط. وبسبب التدريب الذي تلقاه هؤلاء الطلاب على المهارات الاستنتاجية، فإنهم قد حظوا بفرصة أكبر للالتحاق بكلية حقوق مرموقة. أما الثلاثون ساعة الأخرى التي قضاهم الطلاب في ممارسة القراءة والفهم، فوجدنا أنها لم تلعب أي دور في تحسين الدرجات التي حصلوها في قسم القراءة، وهو ما قد يرجع إلى أن القراءة والفهم من المهارات التي يتدرب



## شكل 4

تظهر هذه الصور بعض التغييرات التي رصدناها في المخ بعد فترة الإعداد لاختبار القبول في كلية الحقوق (LSAT) الذي استمر 3 أشهر. A. تظهر مناطق المخ التي شهدت أكبر التغييرات فيما يتعلق بالاتصالات بعد التدريب باللونين الأحمر والوردي. وتظهر القشرة الجبهية الامامية والفص الجداري، وهما منطقتان مهمتان في عملية الاستنتاج، باللون الأحمر الساطع كونهما أكثر المناطق تعرضًا للتغيير في النشاط بعد الإعداد لاختبار LSAT. B. تُظهر الصورة الملتقطة بتقنية تصوير الانتشار الموتر (DTI)، المشار إليها باللونين الأزرق والأخضر، أن المادة البيضاء تتغير بعد ثلاثة أشهر من التدريب على مهارات الاستنتاج.



شكل 4

الطلاب عليها كثيرًا بالفعل في الكلية. وحيث إن مهارات هؤلاء الطلاب الاستنتاجية قد تحسنت، فيمكننا القول إن الطلاب لا يتدربون على هذه المهارة كثيرًا في الفصول التي يتلقونها في الكلية.

وقد استخدمنا أيضًا التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (fMRI)، وهي الطريقة التي تُستخدم لرؤية كيفية قيام المخ بوظيفته، لنرى ما حدث لكل فرد من أفراد المجموعتين؛ التجريبية والضابطة، قبل فترة الإعداد التي استمرت 3 أشهر، وبعدها. وقد قمنا بقياس نشاط المخ لدى كل طالب من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي الذي استمر لمدة 6 دقائق، بينما كانوا يستلقون داخل آلة التصوير.

أظهرت النتائج الواردة في الشكل 4A أن القشرة الجبهية الامامية والفص الجداري (تمتص هاتان المنطقتان في المخ بأهمية خاصة في عملية الاستنتاج السليم)، قد توصلتا مع بعضهما تواصلًا وثيقًا بعد فترة الثلاثة أشهر لدى أفراد المجموعة التجريبية، وهو ما لم يحدث بين أفراد المجموعة الضابطة. وتظهر هذه النتائج أن الاستعداد لاختبار القبول في كلية الحقوق قد ساعد على تقوية شبكة المخ وترابطه؛ الأمر الذي يدعم عملية الاستنتاج [7].

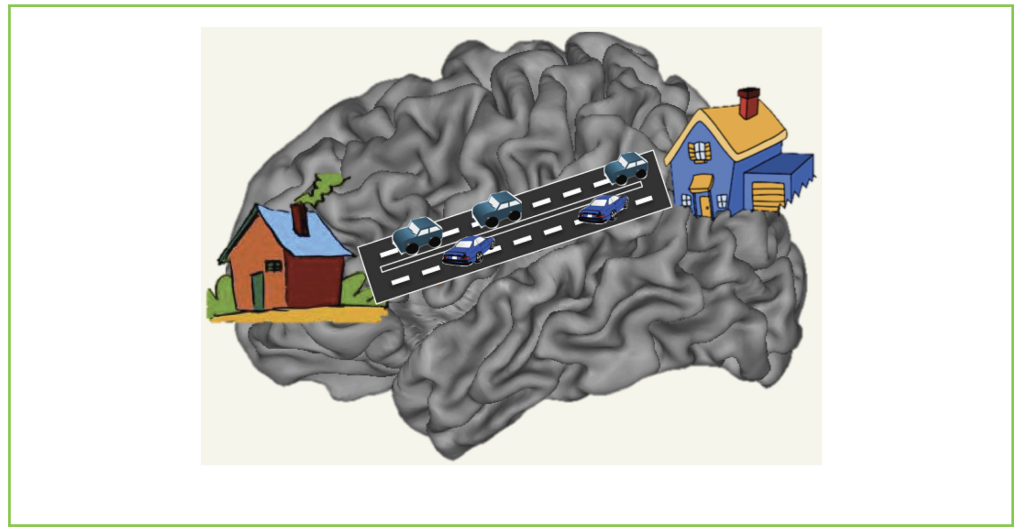
وبينما كان المشاركون في التجربة داخل ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي، استخدمنا أيضًا تقنية تصوير الانتشار الموتر (DTI)، وهي طريقة تصوير بالرنين المغناطيسي تساعد على رصد ومراقبة المادة البيضاء داخل المخ. تشبه المادة البيضاء الشوارع والطرق السريعة بين الخلايا العصبية، وهي تساعد مناطق المخ المختلفة على التواصل مع بعضها البعض. وينتقل الماء على امتداد المخ عبر مسارات المادة البيضاء، كما أنه بمقدورنا قياس المسارات التي يسلكها الماء عبر المخ من خلال تصوير المخ بتقنية تصوير الانتشار الموتر. أردنا اختبار ما إذا كان التدريب على المهارات الاستنتاجية لمدة 3 أشهر من شأنه أن يؤدي إلى إحداث تغييرات في قياسات تصوير الانتشار الموتر، وهو ما يعني أن المادة البيضاء ذاتها قد طرأت عليها تغييرات. وكما هو مبين في الشكل 4B، اكتشفنا باستخدام تقنية تصوير الانتشار الموتر وجود تغييرات تطرأ على المادة البيضاء الموجودة في القشرة الجبهية الامامية والفص الجداري لدى أفراد المجموعة التجريبية مقارنة بأفراد المجموعة الضابطة [8]. ونعتقد بأن هذه المادة البيضاء التي تربط المناطق المختلفة المهمة المعنية بعملية الاستنتاج تتحول من طريق غير ممهد إلى طريق سريع ضخم به مسارات أكبر، ورسائل تسير بسرعات أعلى.

وتشير هذه النتائج إلى أهمية تدريب المخ وممارسة المهارات الاستنتاجية. فاعتياد حل الألغاز والألعاب الصعبة يمكنه أن يحسن من وظائف المخ، بل وربما يساعدك في حل المشكلات الصعبة التي تواجهك داخل المدرسة وخارجها. ويمكنك أن تحسن مهاراتك في أي شيء من خلال التدريب والممارسة؛ مثل الشطرنج والتزلج على اللوح أو تعلم لغة مختلفة، علمًا بأنه إذا توقفت عن ممارسة شيء ما لفترة قصيرة ثم أردت أن تستأنفه، فإنك ستبدأ من نقطة قريبة من المكان الذي توقفت عنده. ولكن إذا توقفت عن الممارسة لمدة طويلة، فإنك لن تتمتع بنفس القدر من المهارة فيها

مثلما كنت تمارسها باستمرار. وتماقًا على غرار عضلات الجسم، يحتاج المخ إلى التدريب بانتظام للحفاظ عليه قويًا، ولإبقاء أدائه في أعلى المستويات.

تعد هذه الورقة البحثية بمثابة تذكير جيد لك بأن كل شيء تفعله يؤثر على المخ، سواء للأفضل أو للأسوأ؛ ف قضاء وقت قليل أمام التلفاز أو ممارسة لعبتك الإلكترونية المفضلة بين الحين والآخر أمر جيد، ولكن ينبغي عليك تدريب مخك وجسدك بالعديد من الطرق المختلفة، سواء داخل المنزل أو خارجه؛ إن كنت بمفردك أو مع الأصدقاء.

وحيث إن هذه الأجزاء من المخ التي تساعد على تنمية المهارات الاستنتاجية تتطور في مرحلة الطفولة وخلال فترة المراهقة، فقد يكون من الضروري أن تعمل على تدريب مخك خلال هذه الفترة التي تنمو فيها [9].



## المراجع

1. Cattell. 1987. *Raymond Bernard. Intelligence: Its Structure, Growth and Action: Its Structure, Growth and Action*. Amsterdam: Elsevier.
2. Wendelken, Carter, and Bunge, S. A. 2010. Transitive inference: distinct contributions of rostrolateral prefrontal cortex and the hippocampus. *J. Cogn. Neurosci.* 22:837–847. doi: 10.1162/jocn.2009.21226
3. Greenough, William, T., Black, J. E., and Wallace, C. S. 1987. Experience and brain development. *Child Dev.* 58:539–559. doi: 10.2307/1130197
4. Brain Imaging. 2014. *Academic Kids Encyclopedia*. Available from: [http://academickids.com/encyclopedia/index.php/brain\\_imaging](http://academickids.com/encyclopedia/index.php/brain_imaging)
5. Ferrer, E., O'Hare, E. D., and Bunge, S. A. 2009. Fluid reasoning and the developing brain. *Front. Neurosci.* 3:46. doi: 10.3389/neuro.01.003.2009
6. Mackey, A. P., Hill, S. S., Stone, S. I., and Bunge, S. A. 2011. Differential effects of reasoning and speed training in children. *Dev. Sci.* 14:582–590. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01005.x
7. Mackey, A. P., Whitaker, K. J., and Bunge, S. A. 2012. Experience-dependent plasticity in white matter microstructure: reasoning training alters structural connectivity. *Front. Neuroanat.* 6:32. doi: 10.3389/ fnana.2012.00032

8. Hensch, and Takao, K. 2005. Critical period plasticity in local cortical circuits. *Nat. Rev. Neurosci.* 6:877–888. doi: 10.1038/nrn1787
9. Mackey, A. P., Miller Singley, A. T., and Bunge, S. A. 2013. Intensive reasoning training alters patterns of brain connectivity at rest. *J. Neurosci.* 33:4796–4803. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4141-12.2013

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 16 مايو 2022

حرره: Robert T Knight

مرشدو العلوم: Takao K. Hensch

الاقتباس: Niebaum JC and Bunge SA (2022) المخ يشبه العضلات... كلما استخدمته صار أقوى. *Front. Young Minds* doi: 10.3389/frym.2014.00005-ar

Niebaum, J. C., and Bunge, S. A. (2014). Your brain is like a muscle: use it and make it strong. *Front. Young Minds.* 2:5. doi: 10.3389/frym.2014.00005

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

**COPYRIGHT** © 2014 © 2022 Niebaum and Bunge. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيّدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

## المراجعون الصغار

### LUCA، العمر: 13

ولدت في إيطاليا، ونشأت وترعرعت في اليابان، وأعيش الآن في الولايات المتحدة الأمريكية. وحيث إنني الأخ الأكبر لثلاثة إخوة، فإن الناس يصفونني بالشخص ذي الطبع الهادئ. أستمتع بالسباحة والركض والقراءة والعزف على الساكسفون، وأتطلع للالتحاق بالمدرسة الثانوية هذا العام!

### المؤلفون

### JESSE C. NIEBAUM

ينصب اهتمامي على دراسة وفهم كيف يمكن لعلم الأعصاب أن يحسن من عملية التعليم والاستنتاج وكيف يمكن للتجارب المختلفة أن تغير المخ. وعندما لا أكون في المختبر، فإنني عادةً ما أمارس الرقص أو أشرب القهوة مع الأصدقاء أو أحضر حفلًا موسيقيًا أو أشارك في إحدى الرحلات.



**SILVIA A. BUNGE**

تدير سيلفيا إيه بونج مختبر "الوحدات البنائية الإدراكية" في جامعة كاليفورنيا في بركلي، حيث يدرس فريقها آلية المخ التي تساعدنا على اتباع القوانين والتفكير في المشكلات الصعبة واتخاذ القرارات السليمة. يعمل المختبر على دراسة الأطفال من جميع الفئات العمرية، بدءاً من مرحلة ما قبل المدرسة، بالإضافة إلى الشباب البالغين.

جامعة الملك عبد الله  
للعلوم والتقنية  
King Abdullah University of  
Science and Technology



النسخة العربية مقدمة من  
Arabic version provided by