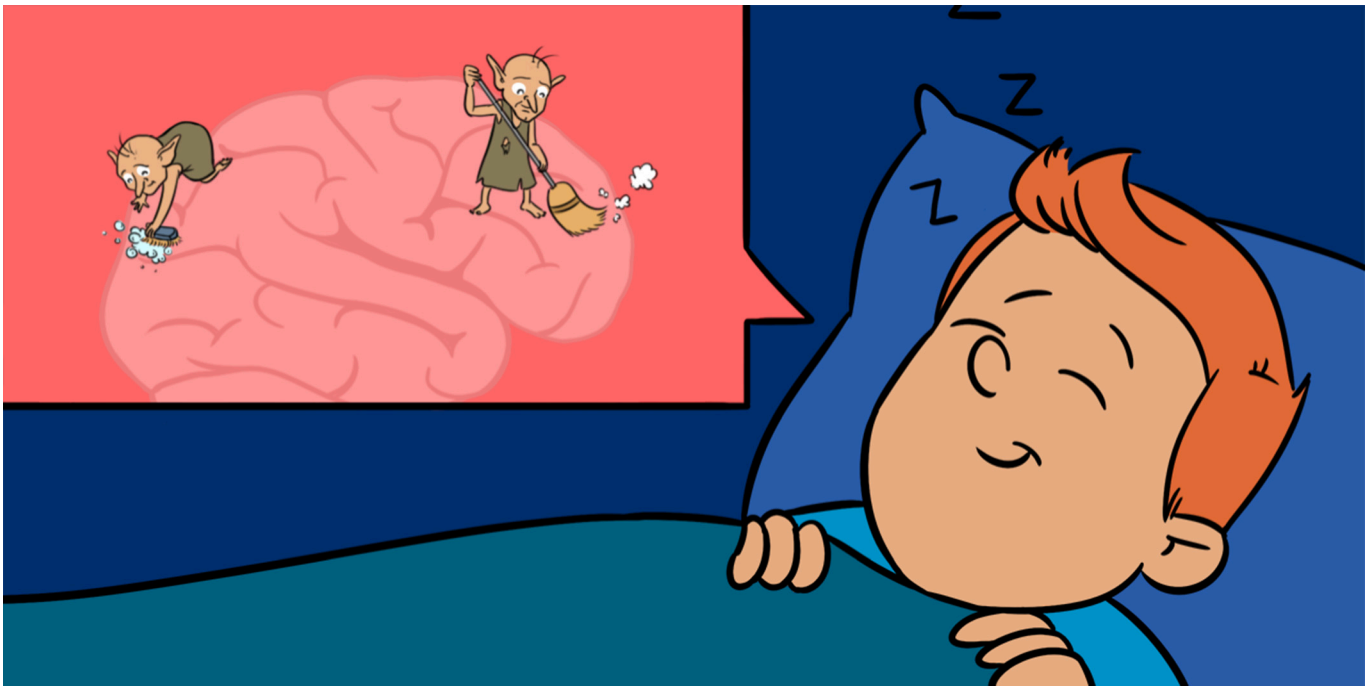
علم الأعصاب وعلم النفس
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024
doi: 10.3389/frym.2018.00023-ar



ماذا يحدث لأدمغتنا أثناء النوم؟

Ken A. Paller*
قسم علم النفس، جامعة نورث وسترن، إيفانستون، إلينوي، الولايات المتحدة

نقضي ثلث حياتنا في النوم، ولا تستطيع تجنب النوم (ويجب ألا تحاول ذلك!). يشعرنا النوم بحالة رائعة ولكن الأمر أكبر من ذلك. فالنوم ضروري أيضًا للتعلم، والجزء الأكبر المكوّن لذاتك مثل ذكرياتك وعاداتك قد يعتمد على ما يقوم به الدماغ أثناء النوم. يتناول هذا المقال بعض التجارب الجديدة حول هذا الموضوع وبعض النتائج المفاجئة. في كل يوم، تكتسب أنواع عديدة من المعلومات الجديدة، ويشمل ذلك الأشياء التي تقرأها وحدك أو تتعلمها في المدرسة وأخبار الأصدقاء وصورك أو أفكارك الإبداعية، بل وربما المكان الذي احتفظت فيه بذلك الكتاب الذي كنت تقرأه. وبعد ذلك، قد يصعب استرجاع الكثير من هذه الذكريات. ولكن النتائج العلمية الأخيرة تساعدنا في فهم نشاط الدماغ أثناء النوم ودوره في التذكّر.

لا يكون الدماغ خاملاً على الإطلاق أثناء النوم، ولا أحد يعرف السبب المحدد وراء ذلك. إذا ضبطت جهاز كمبيوتر على وضع السكون، فإنه يتوقف ببساطة ولا يقوم بأي نشاط، على عكس الدماغ. ومع ذلك عند الاستيقاظ، نجد أننا نعرف القليل جدًا عما كانت أدمغتنا تقوم به أثناء نومنا.

المراجعون الصغار

EXPLORA SCIENCE CENTER AND CHILDREN'S MUSEUM
العمر: 7–15

يستخدم علماء الأعصاب عدة طرق لمراقبة نشاط الدماغ. وقد توصلوا إلى العديد من التفسيرات لهذه الأحداث الغامضة داخل الدماغ النائم.

إليك شرح لذلك. تخيّل وجود كائن صغير يكون مشغولاً طوال الليل، تمامًا كالجنّي "دوبي" في عالم هاري بوتر. صوّرت الروائية "جي كي رولينغ" الجنّي المنزلي كعبد في منزل يملكه ساحر وكل ليلة ينظف بشكل خفي الفوضى التي تسبب فيها الساحر أثناء النهار. ولكن في حال "الجنّي المنزلي في الدماغ"، فإنه سيعمل على تقوية الذكريات المهمة والقضاء تمامًا على الذكريات غير المهمة. هل يمكنك تخيل مجموعة من الجنّ الأقزام المنزليين ينظمون الذكريات في دماغك بالطريقة نفسها؟ ربما يكون هذا هو السبب في أن الذكريات تكون على ما يرام في الصباح التالي. هذا خيال بالطبع ولا علاقة له بعلم الأعصاب، ولكن هناك تحدٍّ كبير يواجه الدماغ. فنحن نحتاج إلى الاحتفاظ بالذكريات المهمة، وحتى يحدث ذلك، علينا نسيان الذكريات غير المهمة. ولذلك، لا بد من شيء يشبه السحر للنجاح في تعلّم هذه الذكريات.

في كل يوم، يخزن الدماغ عدد غير محدود من الذكريات. ويمكن نسيان كل هذه الذكريات بعد وقت قصير. اختر يومًا في منتصف الأسبوع الماضي. كم عدد الذكريات التي يمكنك استرجاعها الآن مباشرةً حول ذلك اليوم؟ الأرجح أن أغلب ذكريات ذلك اليوم قد اختفت بالفعل.

ولكن ماذا لو أنك تريد التصدي لفقدان الذكريات ذلك؟ تعرف الحل بالفعل، وهو التدرّب على ما تعلمته. وهذا هو الشيء نفسه الذي يقوم به الممثلون عندما يتدربون على نصوصهم في سيناريو مسرحية.

عندما تريد تذكر شيء ما، استحضره ثم تمرّن عليه بشكل متكرر.

أحد التحديات الكبيرة في علم الأعصاب المعرفي هو شرح كيفية دخول المعلومات الجديدة في الدماغ. ندرس أيضًا في هذا المجال كيفية مساعدة التدريب والتكرار في هذا الأمر. هناك فوائد كبيرة للجهد الذي تبذله من أجل التذكّر. والسبب أن الشبكات الدماغية تتغيّر عند استخدامها، أي أنه عند تذكّر شيء ما، تقوى الذاكرة المرتبطة به.

ولكن ذلك ليس الطريقة الوحيدة لاختيار ذكريات محددة بهدف تقويتها، إذ يحدث الأمر نفسه أثناء النوم، غير أننا لا نحتاج إلى تكرار الذكريات والتدرب عليها أثناء النوم، بل تتم العملية بشكل طبيعي ونستيقظ دون أن نكون مدركين لحدوث ذلك.

أنصت للنغمة

ساعد اكتشاف علمي أخير على الربط بين الذاكرة والنوم، وتضمّن سلسلة من التجارب الصوتية. إذا عُزفت نغمة ناي هادئة أثناء تعلّم شخص لمعلومة معينة، يمكن الربط بين الصوت والمعلومة. وبعد ذلك أثناء النوم، يمكن تشغيل صوت الناي بمستوى هادئ جدًا إلى درجة لا توقظ الشخص، ولكن تذكّره بالمعلومة التي تعلمها. عند حدوث ذلك، تتغير الشبكات الدماغية المشاركة في عملية تذكّر المعلومة.

علماء الأعصاب (Neuroscientists)

علماء يدرسون الأدمغة والأجهزة العصبية.

علم الأعصاب المعرفي (Cognitive neuroscience)

قسم في علم الأعصاب متخصص في دراسة الوظائف العقلية.

الشبكات الدماغية (Brain networks)

مجموعة من خلايا الدماغ (العصبونات) يمكن أن تنشط معًا. وتشمل عملية التعلم تغيّرات في هذه الشبكات الدماغية. يستخدم علماء الأعصاب مصطلح "اللدونة العصبية" للإشارة إلى هذه التغيرات في طريقة ارتباط العصبونات في كل شبكة ببعضها.

كان أغلب العلماء المتخصصين في دراسة النوم يعتقدون أن حاسة السمع لا تعمل بدرجة جيدة جدًا أثناء النوم، ولكن هذا الرأي لم يكن صحيحًا إلى حد كبير. ففي عام 2009، اكتشفت أنا وطلابي أن الأصوات الهادئة يمكن استخدامها لدراسة تدرّب الذاكرة أثناء النوم [1]. واستنتجنا من ذلك أن الأصوات عملت كـ "أدوات تذكير بالذكريات" لأنها أدت إلى تغيّر في تخزين الذكريات الأخيرة.

وقد كرّر علماء من مختلف البلدان هذا النوع من التجارب عدة مرات [2]. يقوم الطلاب عادةً بدور أساسي، ففي تجربتنا، تعلّم الطلاب أولاً مكان ظهور 50 صورة على شاشة كمبيوتر. على سبيل المثال، كان يمكن أن يروا آلة ناي في الزاوية اليسرى العليا ودباسة في الزاوية اليمنى السفلى. وظهرت كل صورة مع صوت محدد. وهذه المعلومات المكتسبة لم تكن شيقة بقدر لعب لعبة فيديو ولكن الطلاب تعاونوا على كل حال وعرفوا كل الأماكن. وبعد ذلك، أخذ كل طالب قيلولة. وعندما استيقظوا، اختبرناهم لمعرفة ما يتذكرونه. كان عليهم استرجاع المكان المحدد الذي رأوا فيه كل صورة ووضعها فيه. وقيّمنا المكان الذي وضعوا فيه كل صورة على الشاشة. كلما اقتربوا من المكان الصحيح، كانت درجتهم أعلى في اختبار الذاكرة.

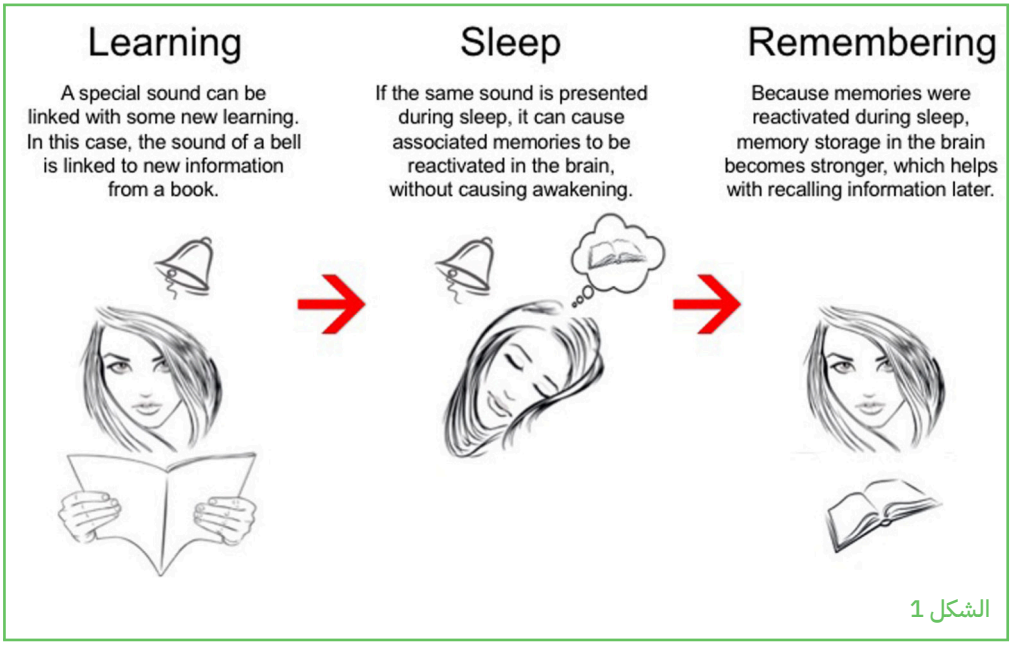
أثناء القيلولة ومع بعض الصور، أعيد تشغيل الأصوات المحددة التي صاحبتها في أول مرة. وكان الطلاب نائمين أثناء ذلك، ولم يكونوا واعين بأي أصوات تعزف.

قارنّا بين استرجاع تلك الصور (التي صاحبها تشغيل أصوات) والصور المتبقية (التي لم يصاحبها تشغيل أي صوت أثناء النوم). وكان الاسترجاع أفضل للصور التي شُغّلت أصوات معها أثناء النوم. بالتالي لا بد أن يكون حدث تغيّر في تخزين الذكريات في الدماغ أثناء تشغيل الأصوات (شاهد الفيديو 1). تسمح هذه التجربة العامة (انظر الشكل 1) لعلماء الأعصاب إذًا بقرصنة عالم الذكريات الغامض.

الفيديو 1

إعادة تنشيط الذاكرة المستهدفة: أُنتج مقطع الفيديو هذا بواسطة National Science Foundation وفريقها Science Nation.
http://www.nsf.gov/news/special_reports/science_nation/sleepmemory.jsp.

الفيديو 1



الشكل 1

قرصنة الذاكرة

يحسّن هذا البحث من فهمنا لكيفية تخزين الذكريات في الدماغ، وتطرح النتائج احتمالية عجيبة أيضًا، وهي أن الشخص قد يستطيع اختيار الذكريات التي يريد إعادة تنشيطها أثناء النوم في المنزل. فما السبب في ذلك؟ أحد الأسباب هي عدم الحصول على قسط كافٍ من النوم. وحتى عند النوم بما فيه الكفاية، فإنه قد لا يكون مثاليًا. ومن دون وعي، قد نكرر الأشياء التي نفضل نسيانها. هل يراودك أثناء النوم الكثير من الذكريات المزعجة؟ يمكنك تكرار ما تريد تذكره بدلاً من ذلك.

هناك العديد من الإمكانات لاستخدام النوم بهدف تحسين عملية التعلم. ففي عام 2015، ساعد الباحثون الطلاب في تعلّم لغة أجنبية باستخدام الطريقة الأساسية نفسها [3]. قضى الطلاب أولاً بعض الوقت في تعلم كلمات هولندية. ونُطق ببعض هذه الكلمات مرة أخرى لاحقًا في أثناء نوم الطلاب. وعندما استيقظوا، كانوا يعرفون معاني الكلمات التي نُطق بها أثناء نومهم على عكس الكلمات التي لم تُنطق أثناء نومهم. في دراسة مشابهة، عملنا على تحسين عملية تعلّم قواعد نحوية مهمة لتعلم لغة جديدة [4]. استطعنا كذلك تقوية مهارات موسيقية أثناء النوم [5]. وفي تلك الدراسة، تعلّم الطلاب أولاً أداء أغنيتين على لوحة مفاتيح. كانت التجربة مثل لعبة الفيديو "غيتار هيرو"، فعن طريق الدوائر المتحركة، تعلّم الطلاب الضغط على المفاتيح بالطريقة الصحيحة لأداء كل أغنية. ثم أخذ الطلاب قيلولة، وبعدها، تمكّنوا بشكل أفضل من عزف الأغنية التي شُغّلت بصوت هادئ أثناء نومهم.

نتعلم بعض المهارات والعادات بدون أن ندرك أننا نتعلمها. والمصطلح المتخصص لوصف هذا النوع من التعلم هو التعلم الضمني. ومثال عليه تلك العادة السيئة

الشكل 1

تشمل التجارب الموضحة هنا ثلاثة أجزاء في العادة. أولاً، يتعلم الأشخاص بعض المعلومات الجديدة. ويمكن أن تكون هذه المعلومات من كتاب أو تكون حول مكان الاحتفاظ بأشياء أو معنى كلمات أجنبية أو كيفية عزف مقطوعة موسيقية. ثانيًا أثناء النوم، قد يُعاد تنشيط تلك المعلومات بحيث تُخزن في الدماغ بكفاءة أكبر. على سبيل المثال، يمكن أن يعمل صوت الجرس على تذكير الدماغ النائم بمعلومات الكتاب إذا كان الجرس يرن أيضًا أثناء عملية التعلم الأولى. على النحو نفسه، يمكن أن تتواجد رائحة أثناء إتمام عملية التعلم ثم تُوفر مرة أخرى أثناء النوم. من خلال استخدام أدوات التذكير بالذكريات أثناء النوم، تزيد احتمالية تذكّر المعلومات تمامًا. في الجزء الثالث من التجربة، يخضع الطلاب لاختبار ذاكرة. ويكون التذكر أفضل للمعلومات التي أُعيد تنشيطها من خلال استخدام أدوات التذكير أثناء النوم. وتساعدنا هذه التجارب على فهم عملية التعلم الطبيعية. يبدو أنه أثناء النوم كل ليلة، تنشغل أدمغتنا بالتمرن على استرجاع الأشياء الجديدة التي تعلمناها. ومن المفيد بالطبع التدرّب على الذكريات أثناء الاستيقاظ. لا يتضح حاليًا السبب في الأهمية الكبيرة المحتملة لتدريب الذاكرة أثناء النوم على الرغم من أن الدماغ ينتج إشارات كهربائية مثيرة للاهتمام تعطي تلميحات لما يحدث بداخل الدماغ. وهذه الألغاز وغيرها ما زالت تنتظر حلها من جانب علماء الأعصاب في المستقبل.

التعلم الضمني (Implicit learning)

نوع من التعلم يحدث بدون أن يدرك الأشخاص ما تعلموه. وبعد هذا التعلم (تمامًا كما في حالة اكتساب المهارات أو العادات أو تعلّم طريقة القيام بالأشياء)، قد يفكر الأشخاص ويتصرفون بصورة مختلفة بدون أن يدركوا أن التعلّم الضمني أدى إلى تغيّر أفكارهم وتصرفاتهم.

المتمثلة في الجزّ على الأسنان أثناء النوم. إذا كنت تقوم بتلك العادة، فكيف يمكنك تعلّم التوقف عنها؟ قد يصعب التحكم فيما تفعله فقط أثناء النوم.

تنص فرضيتنا على أن تشغيل أصوات معينة أثناء النوم قد يساعد في حل هذه المشكلة. أولاً، يتعلم الأشخاص إرخاء الفك عند سماع "الصوت المهدّئ للأعصاب" خلال النهار. ويمكن أن يرشدهم الصوت نفسه بعد ذلك إلى إرخاء الفك أثناء النوم.

ولكن لا بد من اختبار مثل هذه الفرضيات الجديدة. لا نعرف حتى الآن ما إذا كانت ستنجح، غير أننا مستبشرون بفضل نتائج العديد من التجارب الأخرى. على سبيل المثال، ساعد أسلوب النوم في التعامل مع عادة أخرى، وذلك عندما استخدمناه لتعزيز التمرّن على الحد من التحيز [6].

لفهم تجربتنا، فكّر فيما يلي. نكوّن جميعًا تدريجيًا معتقدات عامة حول مجموعات من الناس نتيجة مشاهدة الأفلام والبرامج التلفزيونية وما شابهها، وهذا جزء طبيعي من التعلم. ويمكن أن نستمد هذه المعتقدات (التعميمات) بدون أن ندرك ذلك وحتى مع اعتراضنا على هذه المعتقدات. بعد ذلك، قد تؤثر هذه المعتقدات على أفكارنا وسلوكياتنا تجاه الأشخاص المنتمين إلى تلك المجموعات. إليك مثال محدد على ذلك: قبل مدة طويلة، كانت هناك صورة نمطية شائعة عن أن النساء لسن ذكيات بما فيه الكفاية ليصبحن عالمات. وكانت أدوار العلماء في الأفلام والبرامج التلفزيونية يؤديها في الغالب ممثلون كبار السن ببشرة بيضاء ورأس أصلع. والتعرّض لتلك الصورة النمطية يمكن أن يتسبب في الانحياز الاجتماعي اللاواعي. وهذا النوع من الانحياز تجاه مجموعة من الأشخاص يؤثر عادةً على طريقة تعاملنا مع الآخرين بدون أن نكون مدركين لهذا التأثير. ولكن تمامًا كأنواع التعلّم الأخرى، يمكن للتدريب تغيير هذه العادات المتحيزة. على سبيل المثال، فإن التعرّض المتكرر لعالمات رائعات يمكن أن يحد من الانحياز الذي قد تكتسبه من الإعلام. أثبتت تجربتنا أن استخدام أدوات التذكير بالذكريات أثناء النوم يمكن أن يعزز التدريب على الحد من بعض الانحيازات تجاه الأشخاص.

الانحياز الاجتماعي اللاواعي (Unconscious social bias)

نوع من تعلّم العادات نحصل فيه على أفكار عامة حول مجموعات من الأشخاص. ثم تؤثر هذه الانحيازات على طريقة تعاملنا مع الآخرين، التي تكون أحيانًا غير منصفة، وحتى مع عدم إدراكنا أن هذا النوع من التعلّم يتحكم في سلوكياتنا.

قد تؤدي الأبحاث أيضًا إلى طرق لتحقيق منافع مهمة أخرى باستخدام أدوات التذكير بالذكريات أثناء النوم. يمكن مثلاً أن يكون التعلم مفيدًا للغاية بعد معاناة شخص ما من تلف دماغي. فالمريض قد يحتاج إلى استرجاع القدرة على التكلم أو التحرك بشكل طبيعي. تهدف جلسات إعادة التأهيل إلى تسريع عملية التعلم في بعض الشبكات الدماغية. ويعتمد الاسترجاع على جودة تقدّم عملية التعلم هذه. من خلال بضع ساعات علاج في الأسبوع، يمكن أن يستغرق نجاح عملية إعادة التأهيل هذه القليل من الوقت. ويمكن أن يستخدم العلاج بمساعدة النوم الأصوات المرتبطة بالأفعال التي يحاول المريض تعلّمها. فتشغيل هذه الأصوات ليلاً يمكن أن يسرّع من عملية الاسترجاع لدى المريض. ونأمل أن توضح التجارب المستقبلية كيفية إنجاح ذلك.

هل يمكن أن تكون قرصنة الذاكرة مضرة؟

يمكن أن تحدث تبعات لاستخدام الطرق الجديدة لتعديل الذكريات. سلطت الضوء حتى الآن على طرق لمساعدة الناس، ولكن هل يمكن أن تضرهم هذه الطرق أيضًا؟

تخيّل المؤلف "ألدوس هكسلي" إلى أي مدى يمكن أن تسوء الأمور في روايته «عالم جديد شجاع» [7]. وفيها، كانت الدولة تسيطر على مواطنيها من خلال ما سماه هكسلي "الهيبنوبيديا". ومعناها تعليم الرضع والأطفال طرق تفكير معينة أثناء نومهم. وكان لكل فرد دور محدد في المجتمع، دور راقٍ أو متدنٍ. وكان الجميع مقتنعين بشراء الأشياء وبأن يتحولوا إلى مستهلكين نهمين. بسبب تدريبهم، بدا أن أفراد هذا العالم ليس بيديهم أي خيار سوى تولي مهامهم وقبول الوضع المعيّن لهم.

يجب علينا الحذر عند استخدام التكنولوجيا الجديدة. فما من أحد يريد لذكرياته أن تتبدل أثناء النوم بدون قبوله لذلك. يمكن أن يساء استخدام هذه الطريقة، على سبيل المثال، يمكن لصاحب فندق دنيء تشغيل رسائل للنزلاء أثناء نومهم. وقد يتلقى النزلاء إعلانات غير مرغوب فيها بدون أن يدركوا ذلك. ولذلك علينا الحذر حتى لا يساء استخدام طرق تغيير الذكريات أثناء النوم.

في التجارب التي وضحتها، كان الإجراء يتطلب بعض التدريب. وكان الأشخاص دائمًا يقظين أثناء هذا التدريب وأُخبروا بما تعلموه. من الطرق التي يمكن للشخص استخدامها لتجنب تغيرات الذاكرة غير المرغوب فيها أثناء النوم هو التدرب على رفض ما يتعلمونه في البداية.

أتاح لنا علم الأعصاب إمكانات جديدة لتوجيه الدماغ النائم حتى يعمل بصورة أفضل. من خلال إجراء المزيد من الأبحاث العلمية حول هذه الاتجاهات الجديدة وبالتالي تحسين فهمنا للدماغ النائم، يمكن تحقيق المزيد من الفوائد المختلفة. ونأمل أن تعطينا هذه الأبحاث المزيد من الأسباب لتقدير حاجتنا للنوم بدلاً من الاستياء منها.

إقرار

قدمت المؤسسة الوطنية للعلوم تمويلاً لبعض الأبحاث التي أدت إلى هذه النتائج. وأنا ممتن للمتعاونين معي في هذا البحث ولأصدقائي "مارسيا جرابويكي" و"جون كونيوس" و"ليزا مونوز" على مساعدتي في كتابته. يستند هذا المقال إلى مقال أخر نُشر في الأصل على LiveScience.com.

المراجع

1. Rudoy, J. D., Voss, J. L., Westerberg, C. E., and Paller, K. A. 2009. Strengthening individual memories by reactivating them during sleep. *Science* 326:1079. doi: 10.1126/science.1179013
2. Oudiette, D., and Paller, K. A. 2013. Upgrading the sleeping brain with targeted memory reactivation. *Trends Cogn. Sci.* 13:142–9. doi: 10.1016/j.tics.2013.01.006
3. Schreiner, T., and Rasch, B. 2015. Boosting vocabulary learning by verbal cueing during sleep. *Cereb. Cortex* doi: 10.1093/cercor/bhu139
4. Batterink, L. J., and Paller, K. A. 2017. Sleep-based memory processing facilitates grammatical generalization: Evidence from targeted memory reactivation. *Brain*

Lang. doi: 10.1016/j.bandl.2015.09.003

5. Antony, J. W., Gobel, E. W., O'Hare, J. K., Reber, P. J., and Paller, K. A. 2012. Cued memory reactivation during sleep influences skill learning. *Nat. Neurosci.* 15:1114–6. doi: 10.1038/nn.3152
6. Hu, X., Antony, J. W., Creery, J. D., Vargas, I. M., Bodenhausen, G. V., and Paller, K. A. 2015. Unlearning implicit social biases during sleep. *Science* 348:1013–5.doi: 10.1126/science.aaa3841
7. Huxley, A. 1932. *Brave New World.*

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024

المحرر: Kathleen Y. Haaland

مرشدو العلوم: John T. Elias

الاقتباس: Paller KA (2024) ماذا يحدث لأدمغتنا أثناء النوم؟ Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2018.00023-ar

مُترجَم ومقتبس من: Paller KA (2018) Do House-Elves Clean Your Brain While You Sleep? Front. Young Minds 6:23. doi: 10.3389/frym.2018.00023

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

حقوق الطبع والنشر © 2018 © 2024 Paller. 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 مقيدًا 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

EXPLORA SCIENCE CENTER AND CHILDREN'S MUSEUM, العمر: 7–15

نحن مجموعة مراجعين من محبي العلوم ونتعاون مع المعلّمين والموجهين في المتحف الذين يعملون في جامعة نيو مكسيكو. نحب التعرّف على الدماغ من خلال المقالات والأنشطة العملية والعروض التوضيحية. ونستمتع أيضًا بالقراءة حول الأبحاث الجديدة وطرح الأسئلة وتقديم اقتراحات لمساعدة العلماء على تبسيط فهم أعمالهم للجميع.

المؤلفون

KEN A. PALLER
أنا أستاذ في جامعة نورث وسترن الواقعة بجوار بحيرة ميشيغان في مدينة إيفانستون بولاية إلينوي في الولايات المتحدة. أحب التحديات المتمثلة في تصميم تجارب بإمكانها إفادتنا بإحصاءات حول الذاكرة وتجاربنا الواعية. من هواياتي المحببة العزف ضمن فرقة روك آند رول. أعتبر نفسي محظوظًا للغاية لأن مهام عملي اليومية تشمل دراسة آلية عمل العقل البشري. وآمل أن تسهم جهودنا الجماعية الهادفة إلى اكتساب معلومات جديدة في علم الأعصاب في تحسين حياة الأشخاص. kap@northwestern.edu*

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology