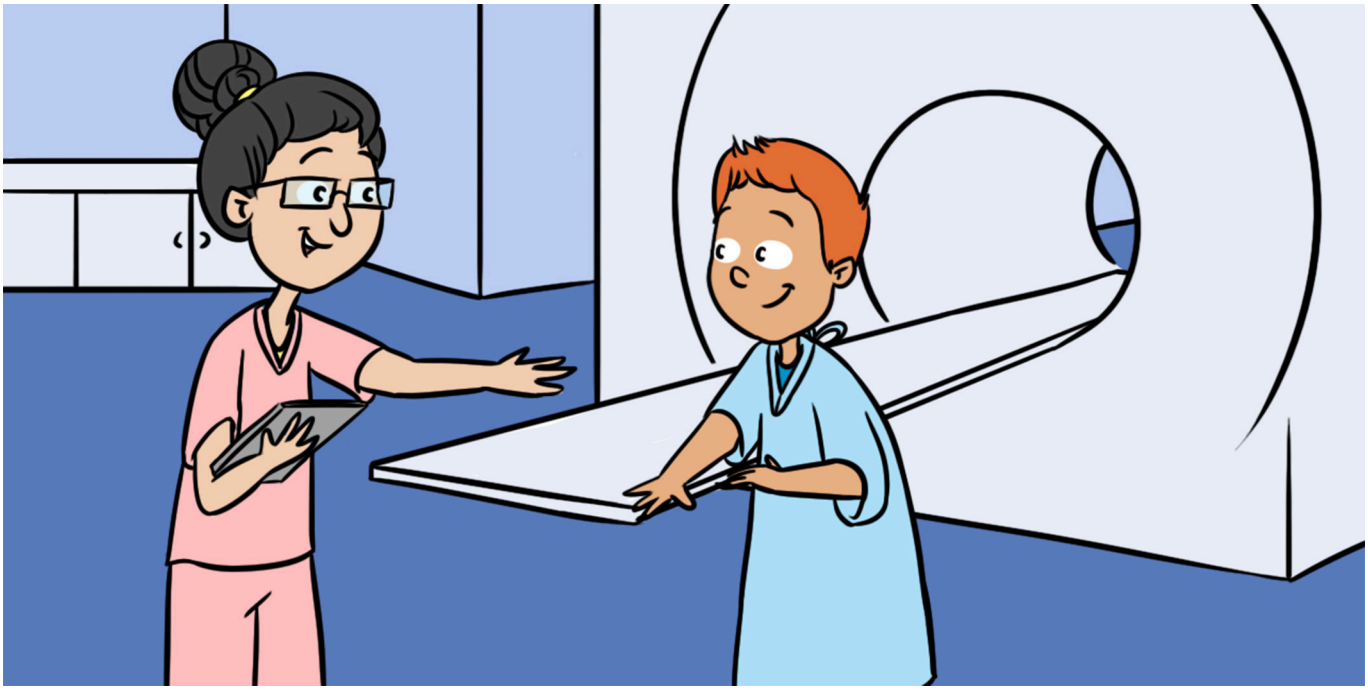
علم الأعصاب
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021
doi: 10.3389/frym.2019.00023-ar



الأسس الفيزيائية للتصوير بالرنين المغناطيسي وكيف نستخدم هذه التقنية لكشف أسرار العقل

Kathryn Mary Broadhouse *

Sunshine Coast Mind and Neuroscience Thompson Institute, University of the Sunshine Coast, Sunshine Coast, QLD, Australia

المراجعون الصغار:

MATTHEW FLINDERS ANGLICAN COLLEGE

العمر:14-15

تُحدد قدرتنا على تفسير ومعالجة المعلومات وضبط العواطف بواسطة بنية أدمغتنا والتركيب الكيميائي لها. يمكن للتغييرات التي تطرأ على بنية أدمغتنا أو تركيبها الكيميائي أن تؤثر على صحتنا العقلية، والطريقة التي نواجه بها ضغوط الحياة الطبيعية وإنتاجيتنا وسلامتنا بشكل عام. يسعى العلماء المهتمون بدراسة اضطرابات الصحة العقلية والدماغ (الذين يُطلق عليهم علماء الأعصاب) إلى فهم الاختلافات التي تظهر في بنية الدماغ وتركيبها البيوكيميائي في الصحة والمرض. للقيام بذلك، نستخدم تقنية تسمى التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) لأخذ صور من داخل الدماغ الحي، ولفحص وظيفته وبنيته. يشرح هذا المقال الأسس الفيزيائية للتصوير بالرنين المغناطيسي وكيف نستخدم هذه التقنية في إنشاء صور لأدمغتنا من أجل فحص كيفية عمل العقل.

الدماغ: موطن العقل

كمركز للجهاز العصبي، يستوعب الدماغ المعلومات من بيئتنا المحيطة. ويفسر الدماغ المعلومات ويطلق مواد كيميائية ويرسل إشارات كهربائية (رسائل عصبية) وكلاهما يحثّان الجسم

على الاستجابة. ومع ذلك، فإن أدمغتنا لا تنظم أجسادنا وحركاتنا فحسب، بل هي أيضًا مكان وجود عقولنا. فالدماغ هو الموطن المادي للعقل.

تتحكم عقولنا باستمرار في تدفق المعلومات؛ مثل ذكرياتنا، وأفكارنا، وعواطفنا وخيالنا. يمكن اعتبار تدفق المعلومات هذا (الشكل 1A) بمثابة شبكة اجتماعية، فبدلًا من إرسال الرسائل بين الأصدقاء على وسائل التواصل الاجتماعي، يتم إرسال المعلومات إلى أجزاء مختلفة من الدماغ على طول الخلايا العصبية. تعتمد شبكة العقل على البنية الأساسية والتركيب الكيميائي للدماغ لتعمل بنجاح. ففي الواقع، تسمح لنا شبكة العقل الناجحة والفعالة بأن نكون أصحاء من الناحية الإدراكية (قدرتنا على إجراء الأنشطة العقلية)، ومن الناحية العاطفية والاجتماعية.

الصحة العقلية

تحدد شبكة العقل، وبنيتها الأساسية والطريقة التي ترسل بها المعلومات صحتنا العقلية. ففي حالات اضطرابات الصحة العقلية، مثل الاكتئاب والقلق، غالبًا ما نلاحظ عطلًا في شبكة العقل (الشكل 1B). إذ يمكن أن تؤثر التغييرات التي تطرأ على البنية الأساسية أو التركيب الكيميائي لأدمغتنا على الطريقة التي يمكن أن نواجه بها الضغوط الطبيعية للحياة، وعلى إنتاجيتنا وسلامتنا بشكل عام. لذلك، يسعى علماء الأعصاب الذين يرغبون في فهم اضطرابات الصحة العقلية وكيف يمكننا جميعًا أن نظل نتمتع بصحة عقلية إلى فحص الشبكة العقلية. فإذا تمكنا من فهم كيف تؤدي بنية الدماغ والتركيب الكيميائي إلى أداء الوظائف بشكل صحي، فيمكننا البدء في فهم اضطرابات الدماغ. ومع ذلك، فلكي نتمكن من دراسة العقل وشبكته، سنحتاج أن نكون قادرين على النظر داخل أدمغة الناس. ولتخطي هذه العقبة، نستخدم تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي **(MRI)**.

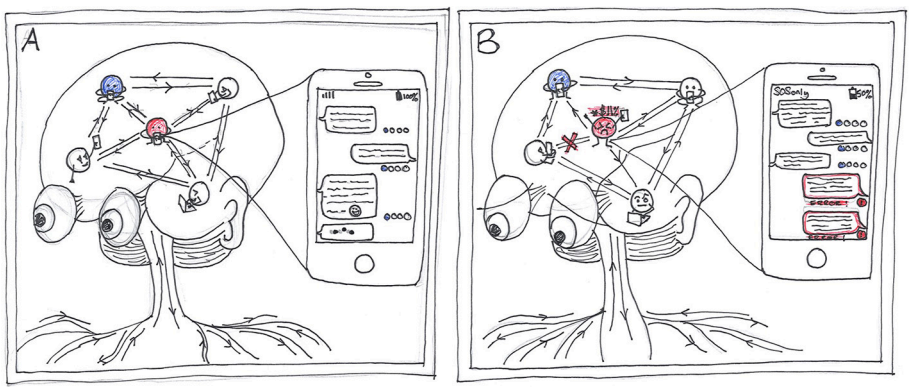
الاختصار

MRI

يُقصد به التصوير بالرنين المغناطيسي.

التصوير بالرنين المغناطيسي: MRI

يسمح التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) لنا برؤية ما بداخل جسم الإنسان بتفاصيل مذهلة، باستخدام مغانط وموجات الراديو. تم تصميم أول ماسح للتصوير بالرنين المغناطيسي استُخدم في تصوير الجسم البشري في نيويورك عام 1977. ومنذ ذلك الحين، قطعت التكنولوجيا شوطًا طويلاً وتقدمت تقدمًا مذهلًا. ويستخدم الأطباء الآن التصوير بالرنين المغناطيسي كثيرًا للنظر داخل جسم



شكل 1

شكل 1

شبكة العقل. **(A)** يمكن اعتبار تدفق المعلومات، وعواطفنا، وأفكارنا بمثابة شبكة اجتماعية حيث، بدلاً من إرسال الرسائل بين الأصدقاء على وسائل التواصل الاجتماعي، يتم إرسال المعلومات إلى أجزاء مختلفة من الدماغ على امتداد الخلايا العصبية. **(B)** في الاضطرابات العقلية، مثل الاكتئاب والقلق، غالبًا ما نلاحظ عطلًا في شبكة العقل. يمكن أن يؤثر هذا العطل على الطريقة التي بها ترسل أو تستقبل أو تفسر شبكة العقل الرسائل.

الإنسان. هذا لأن التصوير بالرنين المغناطيسي لا يحتوي على إشعاع (مثل الأشعة السينية أو الأشعة المقطعية) ولأن هناك المزيد والمزيد من أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي التي يتم تركيبها في جميع أنحاء العالم.

``المغناطيس'' المستخدم في التصوير بالرنين المغناطيسي

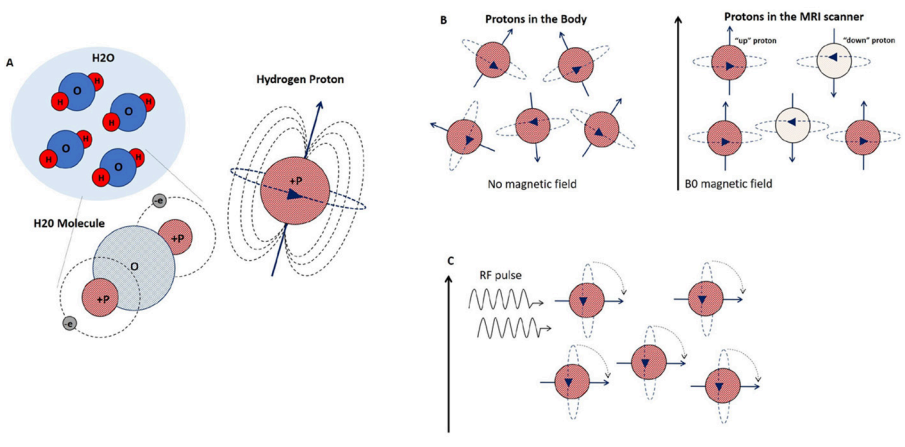
ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي هو عبارة في الأساس عن مغناطيس عملاق. ويجري قياس قوة المغناطيس بوحدة تُسمى تسلا (يُشار لها بالرمز T). تبلغ قوة المجال المغناطيسي لمعظم ماسحات التصوير بالرنين المغناطيسي المستخدمة في المستشفيات وعيادات البحث الطبي 1.5 أو 3 تسلا. مع وضع ذلك في المنظور السليم، يبلغ حجم المجال المغناطيسي للأرض حوالي 0.00006 تسلا. يعتبر ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي بقوة 3 تسلا أقوى بحوالي 60,000 مرة من المجال المغناطيسي للأرض!

يستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي المجالات المغناطيسية وموجات الراديو لقياس مقدار الماء في أنسجة الجسم المختلفة، وتعيين موقع الماء، ثم استخدام هذه المعلومات لإنشاء صورة تفصيلية. تكون الصور مفصلة للغاية لأن أجسامنا تتكون من حوالي 65% من الماء، لذلك لدينا الكثير من الإشارات لقياسها. يتألف جزيء الماء (H_2O) من ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين. ذرتا الهيدروجين (H) هما الجزء الذي يجعل الماء مهّما بالنسبة للتصوير بالرنين المغناطيسي، وهو الجزء الذي نستخدمه لقياس الإشارة الصادرة عن الجسم عندما نقوم بفحص التصوير بالرنين المغناطيسي.

إذا نظرنا إلى الهيدروجين بمزيد من التفصيل، فسنرى أنه يحتوي على نواة مركزية تحتوي على شحنة موجبة واحدة، تسمى بروتونًا (الشكل 2A). مثل الأرض التي تدور حول محورها بقطب مغناطيسي شمالي وجنوبي، يشبه كل بروتون يدور داخل ذرة الهيدروجين مغناطيسًا صغيرًا يدور حول محوره.

تُعرف حركة الدوران باسم الحركة المدارية. ففي أي لحظة من الزمن، تكون مليارات بروتونات الهيدروجين جميعها في أجسامنا في مواقع عشوائية وتدور على محاورها.

ومع ذلك، تتغير هذه العشوائية عندما نضع جسم الإنسان داخل مجال مغناطيسي قوي جدًا، مثل ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي. تمامًا مثل إبرة البوصلة التي تحاذي المجال المغناطيسي



شكل 2

بروتونات الهيدروجين وكيف تسلك في المجال المغناطيسي. **(A)** يتألف الماء من ذرتي هيدروجين وذرة أكسجين واحدة. تحتوي نواة الهيدروجين (الموضحة باللون الأحمر بالرمز +P) على شحنة موجبة واحدة – وهو بروتون يدور حول محوره، ويعمل كمغناطيس صغير. **(B)** في ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي، تصطف البروتونات في اتجاه المجال المغناطيسي B0، وبعضها ``يتجه لأعلى'' (باللون لأحمر)، وعدد قليل منها إلى حدٍ ما ``يتجه لأسفل'' (باللون الأبيض). في إجمالي المجال المغناطيسي المتولد من جميع بروتونات الهيدروجين، تلغي جميع بروتونات الهيدروجين بعضها البعض تقريبًا، لتترك فقط المجال المغناطيسي المتولد من نسبة صغيرة من البروتونات ``المتجهة لأعلى'' الإضافية، وهذا هو المجال المغناطيسي الصغير الذي يمكننا قياسه باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي. **(C)** عندما يتم تشغيل موجة/نبضة التردد الراديوي بتردد مماثل لتردد الحركة المدارية للبروتون، فإن البروتونات ``المتجهة لأعلى'' تنقلب بعيدًا عن مجال B0، لأنها تمتص طاقة التردد الراديوي.

للأرض، عندما يتم وضع بروتونات الهيدروجين التي تدور بشكل عشوائي داخل ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي، فإن محاورها تُعدل محاذاتها مع المجال المغناطيسي الأقوى للماسح. نسمي المجال المغناطيسي للماسحات بمجال **B0**. تمامًا مثل إبرة البوصلة في مجال الأرض، فإن البوصلة نفسها لا تتحرك فعليًا، بل تدور الإبرة لمحاذاة نفسها. وبالمثل، لا تتحرك بروتونات الهيدروجين فعليًا في جسمك عندما تدخل في ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي، بل تصطف محاورها فقط على طول اتجاه مجال B0. سوف يصطف بعضها ``لأعلى'' (موازيًا للمجال المغناطيسي) وبعضها الآخر يصطف ``لأسفل'' (مضادًا للتوازي)، بينما لا تزال تدور حول محاورها (الشكل 2B). نظرًا للقوانين الرائعة لفيزياء الكم، والتي لن نتطرق إليها هنا، سيكون دائمًا عدد البروتونات ``المتجهة لأعلى'' أكبر قليلاً من البروتونات ``المتجهة لأسفل''. إذا فكرت الآن في المجال المغناطيسي الكلي المتولد من جميع بروتونات الهيدروجين الخاصة بنا، فسنجد أن هذه المغانط الصغيرة تلغي بعضها البعض تقريبًا، ليتبقى فقط المجال المغناطيسي المتولد من نسبة صغيرة من البروتونات ``المتجهة لأعلى'' الإضافية، وهذا هو المجال المغناطيسي الصغير الذي يمكننا قياسه باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي.

B0
المجال المغناطيسي الأساسي لماسح التصوير بالرنين المغناطيسي.

لا يؤثر مجال B0 على اصطفاف بروتونات الهيدروجين فحسب، ولكن أيضًا على مدى سرعة دوران هذه البروتونات (يُطلق عليها **تردد الحركة المدارية**). يعتمد تردد الحركة المدارية على قوة المجال المغناطيسي. كلما زادت قوة المجال المغناطيسي، زادت سرعة دورانها. هاتان الفكرتان بشأن إعادة اصطفاف المحاور وتردد الحركة المدارية مهمتان عندما نستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي لقياس الإشارة الصادرة من جزيئات الهيدروجين.

تردد الحركة المدارية (PRECESSIONAL FREQUENCY)
معدل دوران البروتونات في مجال مغناطيسي.

كيف نكتشف المجال المغناطيسي؟

إذن، كيف نميز المجال المغناطيسي الصغير المتولد من بروتونات الهيدروجين ``المتجهة لأعلى'' الإضافية في أجسامنا عن المجال الضخم B0 للماسح؟ نستخدم شيئًا يسمى نبضة **التردد الراديوي (RF)** لتغيير موضع جميع البروتونات أو قلبها، في نفس الوقت، لتصبح خارج محاذاة المجال المغناطيسي لأجهزة التصوير (الشكل 2C). يجب أن يكون تردد النبضة الراديوية هو نفسه تردد بروتونات الهيدروجين المغزلية، حتى تتمكن من تبادل الطاقة، وتكون في حالة **رنين** مع بعضها بعض. يُمكِّن الرنين البروتونات من امتصاص طاقة كافية من نبضة التردد الراديوي لتدوير محاورها بعيدًا عن مجال B0، بحيث يمكن لماسح التصوير بالرنين المغناطيسي قياسها. إذا فكرنا مرة أخرى في أن البوصلة الخاصة بنا في المجال المغناطيسي للأرض وأنها تشير إلى القطب الشمالي، فيمكننا جعل الإبرة تدور للإشارة إلى الشرق إذا وضعنا قضيبًا مغناطيسيًا صغيرًا بجوار البوصلة. هذا مشابه لسلوك البروتونات عندما نقوم بتشغيل نبضة التردد الراديوي.

التردد الراديوي (RADIO FREQUENCY)
تُستخدم نبضة تردد الراديو في قلب اتجاه البروتونات المتوافقة بعيدًا عن المجال B0

بروتونات في حالة الرنين (ON RESONANCE)
يكون لها نفس تردد.

إذا كان الجسم كله مليئًا ببروتونات الهيدروجين ``المتجهة لأعلى'' التي تدور جميعها بنفس تردد الحركة الدورانية في المجال المغناطيسي B0، فكيف نستهدف فقط تلك الموجودة في الدماغ لفحص الصحة العقلية؟ نستفيد من حقيقة أن تردد الحركة المدارية للبروتونات يعتمد على قوة المجال المغناطيسي. ونضع مجالًا مغناطيسيًا آخر، وهو B1 الذي يختلف في جميع أنحاء الجسم. في المثال الموضح في الشكل 3A، ستدور بروتونات الهيدروجين حينئذ في الرأس أسرع من تلك الموجودة في الصدر والمعدة والقدمين. ثم نقوم بضبط نبضة التردد الراديوي على تردد الحركة المدارية لبروتونات الهيدروجين في الرأس. حينئذ سوف تتوافق نبضة التردد الراديوي فقط مع البروتونات الموجودة في الدماغ. لذلك، فإن البروتونات الموجودة في الدماغ فقط هي التي تمتص الطاقة من نبضة التردد الراديوي وتنقلب بعيدًا عن مجال B0. من الواضح أنه يمكننا ضبط نبضة التردد الراديوي

الخاصة بنا لتتوافق مع البروتونات في أجزاء أخرى من الجسم، مثل القدمين، إذا كنا مهتمين بتصوير القدمين!

كيف نحصل على صورة من هذه البروتونات ذات الحركة المغزلية؟

إذن كيف نحصل على صورة من بروتونات الهيدروجين التي تتحرك حركة مغزلية والمقلوبة في الدماغ؟ عند إيقاف تشغيل نبضة التردد الراديوي، تنقلب البروتونات مرة أخرى نحو المجال المغناطيسي الرئيسي، B0. إذا فكرنا في البوصلة مرة أخرى، فعندما نحرك القضيب المغناطيسي الصغير بعيدًا، ستدور الإبرة من الشرق إلى الشمال وتصطف باتجاه المجال المغناطيسي للأرض مرة أخرى. وعندما تنقلب البروتونات مرة أخرى وتعيد الاصطفاف مع المجال المغناطيسي B0، تنبعث منها طاقة.

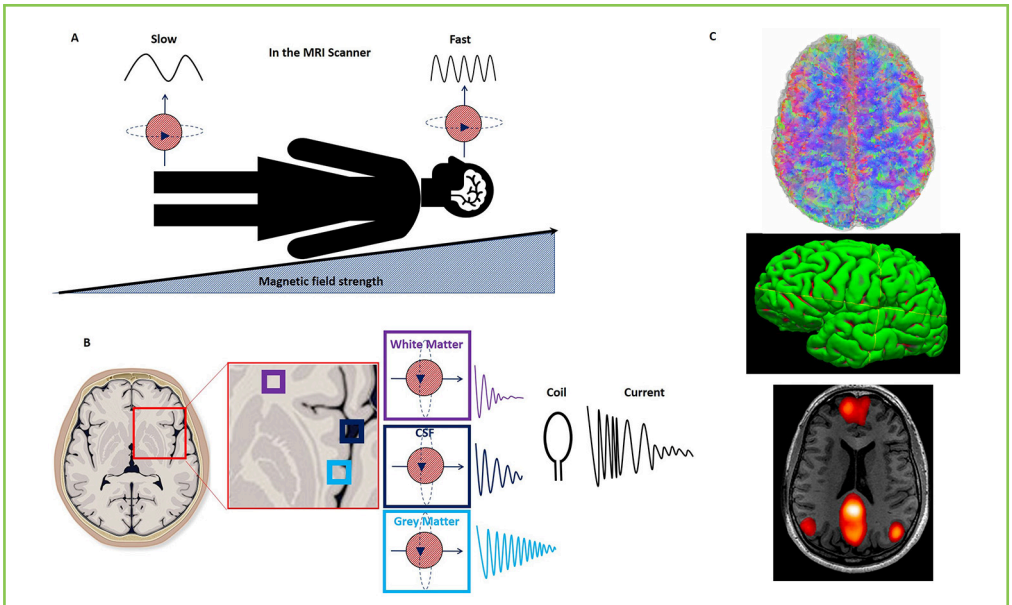
تنتج الأنسجة المختلفة في الجسم كميات مختلفة من الطاقة. لقياس هذه الطاقة المنبعثة، نحتاج إلى بعض المعدات الخاصة (تسمى ملفًا) التي يتم وضعها حول جزء الجسم الذي نقوم بتصويره (الشكل 3B). يعمل الملف باعتباره قرن استشعار ويكشف عن الطاقة الصادرة في شكل تيار كهربائي. يتم تحويل التيار الكهربائي، عبر جهاز حاسوب، باستخدام عملية حسابية رياضية يُطلق عليها عملية **تحويل فورييه**. نظرًا لأن البروتونات الموجودة في أنواع مختلفة من الأنسجة في الدماغ، مثل المادة الرمادية والمادة البيضاء والدم، تُصدر جميعها كميات مختلفة من الطاقة، فإن نتيجة الطاقة المحولة هي صورة مفصلة للغاية للأنسجة داخل الدماغ.

تحويل فورييه
(FOURIER TRANSFORM)

هي عملية حسابية رياضية تستخدم لتحويل التيار الكهربائي في الملف إلى صورة.

الخلاصة

لقد وصفنا الآن كيف نستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي لتوليد وقياس الإشارة من جزيئات الماء في الجسم. ولكن بالإضافة إلى توفير صور للجزء الداخلي من أجسامنا، يمكن أن يُستخدم



شكل 3

التركيز على التصوير الخاص بنا. **(A)** يتم تطبيق مجال B1، والذي يزداد في جميع أنحاء الجسم، من القدم إلى الرأس. حينئذ ستدور بروتونات الهيدروجين في الرأس أسرع من تلك الموجودة في القدمين. **(B)** تنتج الأنسجة المختلفة، مثل المادة البيضاء والمادة الرمادية والسائل النخاعي الدماغي (CSF) في الجسم كميات مختلفة من الطاقة. ولقياس الطاقة المنبعثة من البروتونات في الدماغ عند إيقاف تشغيل نبضة التردد الراديوي، نضع ملفًا حول الرأس. **(C)** يمكن أن توفر هذه التقنية العديد من الصور المختلفة للدماغ، مما يعطينا معلومات حول (أعلى اليمين): كيف يرتبط الدماغ هيكليًا عبر المادة البيضاء – المسارات السريعة لنقل المعلومات في الدماغ. (منتصف اليمين): حجم مناطق المادة الرمادية في الدماغ، حيث تتم معالجة المعلومات. (أسفل اليمين): كيف يتصل الدماغ وظيفيًا - كيف تتواصل مناطق الدماغ المختلفة مع بعضها البعض وتعمل معًا في تناغم.

التصوير بالرنين المغناطيسي في الإجابة عن العديد من الأسئلة المختلفة عن تركيب الدماغ وآلية عمله. فباستخدام صور التصوير بالرنين المغناطيسي، لا يمكننا فحص بنية الدماغ وتركيبها الكيميائي فحسب، ولكن أيضًا دراسة طريقة اتصال شبكة عقلنا وكيف تتواصل مناطق الدماغ المختلفة مع بعضها البعض (الشكل 3C). بهذه الطريقة يمكن لعلماء الأعصاب فحص كيف تختلف شبكة العقل في الاضطرابات الصحية والعقلية مقارنة بالحالة الطبيعية. وعن طريق فهم التغيرات التي تطرأ على الصحة العقلية للدماغ نتيجة المرض، يمكننا بدأ تطوير علاجات لهذه الاضطرابات.

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 25 أكتوبر 2021

حرره: Daniel F. Hermens, Sunshine Coast Mind and Neuroscience Thompson Institute, University of the Sunshine Coast, Australia

الاقتباس: Broadhouse KM (2021) الأسس الفيزيائية للتصوير بالرنين المغناطيسي وكيف نستخدم هذه التقنية لكشف أسرار العقل. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2019.00023-ar

مُترجَم ومقتبس من: Broadhouse KM (2019) The Physics of MRI and How We Use It to Reveal the Mysteries of the Mind. Front. Young Minds 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023

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

COPYRIGHT © 2019 © 2021 Broadhouse. 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

MATTHEW FLINDERS ANGLICAN COLLEGE, العمر: 14-15

المراجعون الصغار من مدرسة Matthew Flinders Anglican College هم علماء يافعون متحمسون يستمتعون بمواجهة التحديات. وهم مجموعة متعاونة من العقول الشابة، ولديهم اهتمامات مشتركة في العلوم والموسيقى والرياضة. تستمتع هذه المجموعة من المراجعين الصغار للغاية بكونها جزءًا من مبادرة Frontiers for Young Minds وهم متحمسون للمشاركة في كيفية توصيل العلم وصياغته.

المؤلف

KATHRYN MARY BROADHOUSE

قررت أنني أرغب في دراسة العلوم وبشكل أكثر تحديدًا الفيزياء في المدرسة الثانوية لأنني أحببت أن أتعلم كيف تعمل الأشياء والكون. عندما اتخذت قرار بشأن مسيرتي المهنية، كان من المهم جدًا بالنسبة لي أن أفعل ما أحبه، ولكن أيضًا أشعر أن عملي كان مفيدًا ويساعد المجتمع. لذلك قررت أن أتخصص في التصوير الطبي حيث يجمع هذا المجال بين الكثير من المبادئ الأساسية للفيزياء لاستكشاف وفهم الاضطرابات والأمراض. *kathryn.broadhouse@usc.edu.au

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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