

MRI 的物理学以及我们如何用它来揭示心灵的奥秘

Kathryn Mary Broadhouse*

阳光海岸大学（澳大利亚昆士兰阳光海岸），阳光海岸心智与神经科学汤普森研究所

少年审稿人



MATTHEW
FLINDERS
ANGLICAN
COLLEGE

年龄：14-15

我们解读、处理信息和调节情绪的能力是由我们大脑的结构和化学组成决定的。我们大脑的结构或生化构成的变化可以影响我们的心理健康、应对生活压力的方式、生产力，以及我们是否幸福。研究大脑和心理健康问题的科学家（神经科学家）试图了解大脑的结构和生化组成，在健康的人和有疾病的人之间有什么不同。为此，我们使用一种称为磁共振的技术（MRI）拍摄大脑内部，检查大脑的功能和结构。本文解释了 MRI 的物理特性以及我们如何使用它生成我们大脑的图像，并调查思维是如何运作的。

大脑：心灵之家

作为神经系统的中心，大脑能够理解周围环境中的信息。大脑解读信息，释放化学物质并发送电子信号（信息），使身体做出反应。然而，大脑不仅能调节我们的身体和动作，也是我们的心灵家园。它是思想所在的物理场所。

我们的思想不断控制着信息的流动——我们的记忆、思想、情感和想象力。这种信息流（图 1A）就像社交网络，只是信息不是在社交媒体上的好友之间发送，而是沿着神经元发送到大脑的不同部分。心灵的网

络依赖于大脑的基础结构和化学组成，才能成功运作。事实上，一个有效的思维网络让我们能够在认知上、情感上和社交上保持健康。

图 1

心灵的网络。
(A) 信息流，我们的情感和思想可以被认为是一种社交网络，但不是社交媒体上的朋友之间发送消息，而是沿着神经元将信息发送到大脑的不同部分。
(B) 在精神健康障碍中，例如抑郁和焦虑，我们经常看到思维网络的中断。这种中断可能会影响思维网络发送、接收或解读消息的方式。

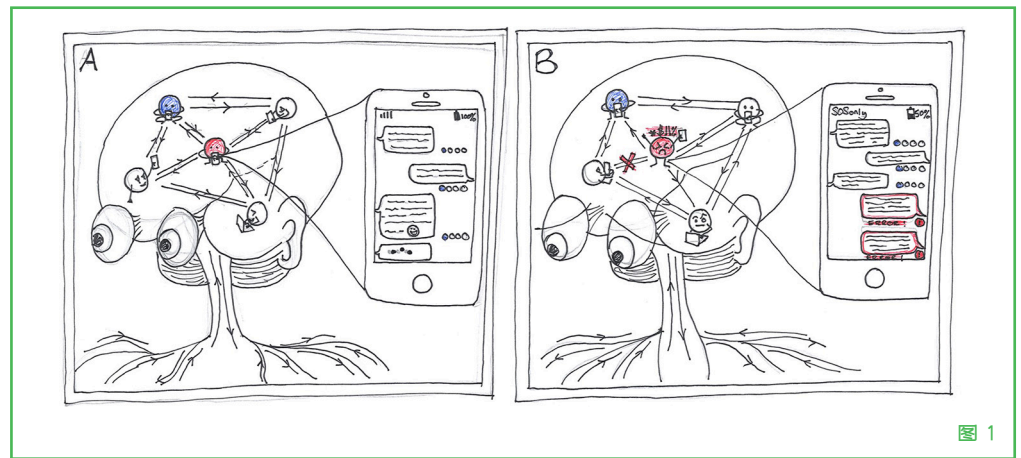


图 1

心理健康

这种“思维网络”，它发送信息的方式和基础结构决定了我们的心理健康。对于心理健康问题，例如抑郁和焦虑，我们经常看到网络出现中断（图 1B）。这种对我们大脑的基础结构和化学组成的改变，可以影响我们对生活压力的反应、我们的生产力和整体健康。神经科学家想要了解心理健康障碍以及我们如何能够保持心理健康，便开始研究这种“思维网络”。如果我们能够理解大脑的结构和化学组成有何影响，那么我们就可以开始了解大脑疾病。然而，为了能够研究思想及其网络，我们需要能够看到人们的大脑内部。为此，我们使用MRI技术。

MRI

磁共振成像。

磁共振成像：MRI

磁共振成像（MRI）使我们能够通过使用磁铁和无线电波以惊人的细节看到人体内部。用于对人体成像的第一台 MRI 扫描仪于 1977 年在纽约制造。从那时起，这种技术已经走过了漫长的道路，现在医生经常使用 MRI 来查看人体内部。这是因为 MRI 不涉及辐射（如 X 射线或 CT 扫描），并且世界各地都越来越多地开始使用 MRI 扫描仪。

磁共振成像中的“磁铁”

MRI 扫描仪基本上是一个巨大的磁铁。在称为特斯拉（T）的单元中测量磁体的强度。在医院和医学研究诊所使用的大多数 MRI 扫描仪都是 1.5T 或 3T。来比较一下吧，地球的磁场大约为 0.00006T。3T MRI 扫描仪的强度比地球的磁场强大约 6 万倍！

MRI 使用磁场和无线电波来测量身体不同组织中的水量，绘制水的位置，然后使用此信息生成详细图像。图像会非常详细，因为我们身体

的大约 65% 都由水组成，所以我们有大量信号可以测量。水分子 (H_2O) 由两个氢原子和一个氧原子组成。而其中的氢 (H) 原子便是致使水可以用来测量的原因，当我们进行 MRI 扫描时，它可以传达来自身体的信号。

如果我们更详细地研究氢，我们会看到它有一个含有单个正电荷的中心核，称为质子 (图 2A)。就像地球绕轴旋转，具有北极和南极磁极一样，每个旋转的氢质子就像一个微小的磁铁，在自己的轴上旋转。这种旋转运动被称为进动。在任何时候，我们体内的所有数十亿个氢质子都处于随机位置并在它们的轴上旋转。

图 2

氢质子以及它们在磁场中的表现。(A) 水由两个氢原子和一个氧原子组成。氢原子核 (以红色显示为 P^+) 包含一个正电荷 - 一个在其轴上旋转的质子，其作用就像一个微小的磁铁。(B) 在 MRI 扫描仪中，质子与 B_0 磁场对齐，一些“向上” (红色)，还有稍微少一些的“向下” (白色)。由所有氢质子产生的总磁场几乎相互抵消，只留下多出来的一小部分“向上”质子的磁场，而我们可以用 MRI 测量这个小磁场。(C) 当与质子的进动频率具有相同频率的 RF 波/脉冲打开时，“向上”质子吸收 RF 能量并从 B_0 场移开。

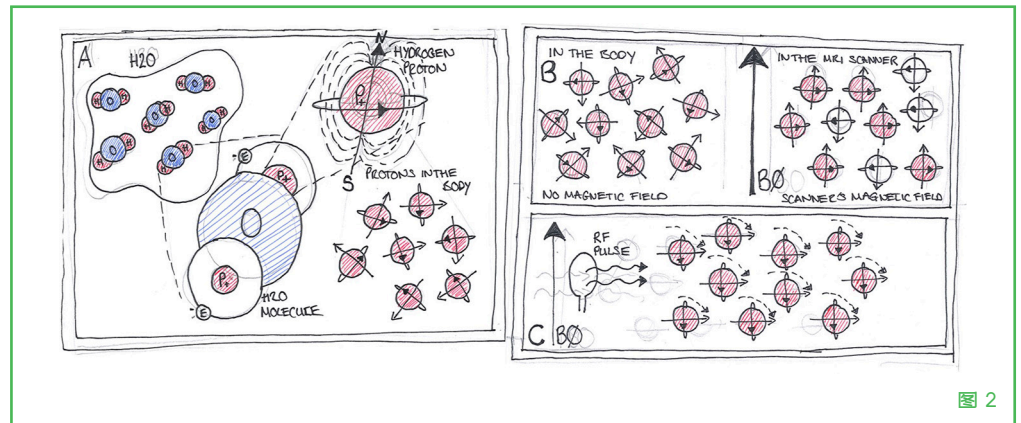


图 2

然而，当我们将人体放入非常强的磁场 (如 MRI 扫描仪) 时，这种随机性会发生变化。就像指南针指向地球的磁场一样，当这些随机旋转的氢质子被放置在 MRI 扫描仪中时，它们的轴将指向更强的磁场。我们称扫描仪磁场是 B_0 场。就像地球磁场中的指南针一样，指南针本身并没有物理移动，而是指针旋转指向了特定的方向。同样，当你进入 MRI 扫描仪时，氢质子在身体中不会物理移动，只是它们的轴的指向由于 B_0 场而发生了改变。一些“向上” (平行)，一些“向下” (反平行)，同时仍在自己的轴上旋转 (图 2B)。解释这些需要用到精彩的量子物理学定律，我们不会在这里进行讨论，但是“向上”的质子总是比“向下”的多一点点。所以从所有这些氢质子产生的总磁场上来看，“向上”和“向下”基本相互抵消，只剩下一小部分“向上”质子的磁场，是我们可以用 MRI 测量的。

B_0 场不仅影响氢质子的排列，还影响这些质子旋转的速度 (称为进动频率，质子在磁场中旋转的速率)。进动频率取决于磁场强度。磁场越强，它们旋转得越快。

我们如何检测磁场？

那么我们如何区分由我们身体中额外的“向上”氢质子引起的微小磁场与扫描仪的大量 B_0 场？我们使用一种称为射频 (RF) 的射频脉冲，

B_0

MRI 扫描仪的主磁场。

进动频率

(Precessional frequency)

质子在磁场中旋转的速率。

共振**(On resonance)**

具有相同的频率。

RF

射频脉冲，用于使共振质子远离 B0 场。

图 3

聚焦成像。

(A) 施加 B1 场，使其从身体到头部逐渐增加。然后头部的氢质子比脚部的氢质子旋转得更快。(B) 体内不同的组织，如白质，灰质和脑脊液 (CSF) 会释放出不同的能量。为了测量 RF 脉冲关闭时大脑中质子发出的能量，我们在头部周围放置一个线圈。(C) 这种技术可以提供许多不同的大脑图像，为我们提供信息：大脑是如何通过白质——大脑的信息高速公路——在结构上连接起来的 (右上)；处理信息的大脑灰质区域的体积 (中右)；大脑如何在功能上相互连接——大脑的不同区域如何通信和协同工作 (右下图)。

傅里叶变换**(Fourier transform)**

用于将线圈中的电流变为图像的数学计算。

干扰或翻转所有质子，同时不受扫描仪磁场的影响 (图 2C)。RF 脉冲的频率必须与旋转氢质子的频率相同，这样它们才可以交换能量，彼此共振。共振使质子能够从 RF 脉冲吸收足够的能量，使其轴远离 B0 场旋转，以便 MRI 扫描仪可以测量它。假设我们的指南针地球磁场中指向北方，如果我们在指南针旁边放置一个小磁棒，我们就可以使指针旋转指向东方。这类似于我们打开 RF 脉冲时质子的行为方式。

如果整个身体充满“向上”的氢质子都在 B0 中以相同的进动频率旋转，我们如何只针对大脑中的那些来检查心理健康呢？质子的进动频率取决于磁场强度。我们使用另一个磁场，B1，它在身体各处不同。在图 3A 所示的例子中，头部的氢质子将比胸部，胃部和脚部的氢质子旋转得更快。然后，我们将 RF 脉冲调谐到头部氢质子的进动频率。然后，RF 脉冲将仅与大脑中的质子共振。因此，只有大脑中的质子才能从 RF 脉冲中吸收能量并从 B0 场中翻转掉。如果我们对脚的成像感兴趣，我们显然可以调整我们的 RF 脉冲与身体其他部位的质子共振，比如脚。

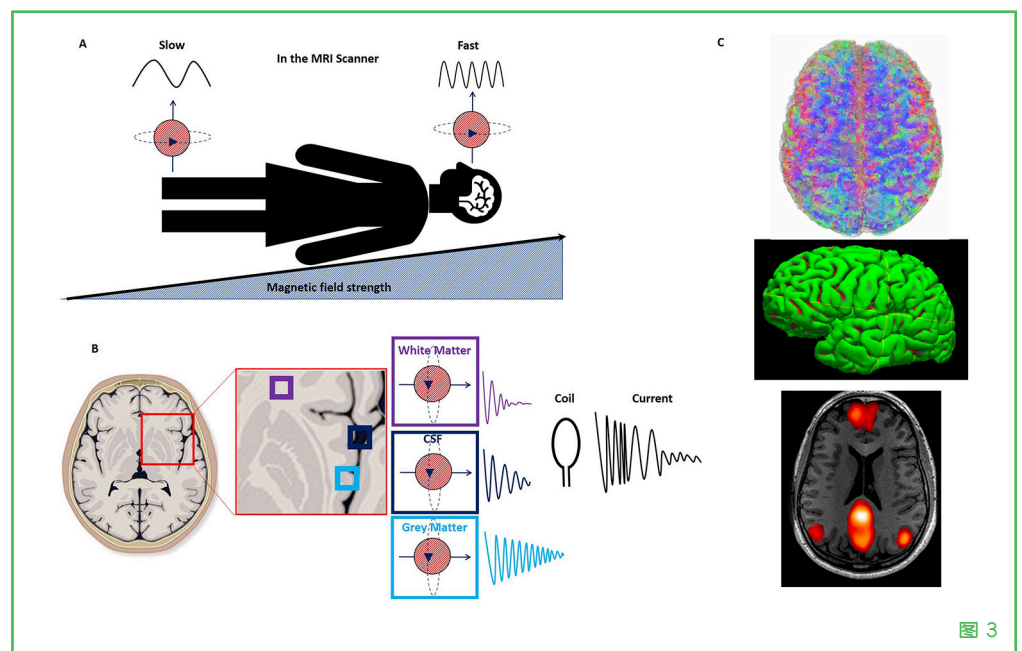


图 3

我们如何从这些旋转质子中获取图像？

那么我们如何从这些旋转的，翻转的氢质子中获取图像呢？当 RF 脉冲关闭时，质子向后翻转并沿主磁场 B0 重新排列。想想我们的指南针，当我们将小磁棒移开时，指针将从东向北旋转并再次与地球的磁场对齐。随着质子向后翻转并与 B0 重新对齐，它们会释放出能量。身体中的不同组织释放出不同的能量。为了测量这些能量，我们需要一些特殊设备 (称为线圈)，放置在我们试图成像的身体部位周围 (图 3B)。线圈充当天线并将释放的能量识别为电流。我们通过计算机，使用称为傅里叶变换的数学计算来转换电流。因为大脑不同组织中的质子，例如灰

质，白质和血液都释放出不同的能量，所以转化能量的结果便能呈现非常详细的大脑内部组织的图像。

结论

我们已经描述了如何使用 MRI 来生成和测量体内水分子的信号。但是，除了提供我们身体内部的图像之外，MRI 还可以用来回答关于大脑构成及其功能的许多不同问题。从 MRI 图像中，我们不仅可以研究大脑的结构和化学组成，还可以研究我们的大脑网络是如何连接的，以及大脑的不同区域之间如何相互通信（图 3C）。通过这种方式，神经科学家可以研究思维网络在健康和心理健康障碍方面的差异。通过了解精神健康疾病如何改变大脑，我们便可以治疗这些疾病。

线上发布: 2023 年 4 月 27 日

编辑: Daniel F. Hermens

科学导师: Amanda Clacy

引用: Broadhouse KM (2023) MRI 的物理学以及我们如何用它来揭示心灵的奥秘. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00023-zh

英文原文: 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

利益冲突声明: 作者声明，该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权: © 2019 © 2023 Broadhouse. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例，在注明原作者和版权所有人，及在标明本刊为原始出处的前提下，允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款，则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人

MATTHEW FLINDERS ANGLICAN COLLEGE, 年龄: 14 - 15

英国圣公会的年轻科学家们非常喜欢接受挑战，对科学、音乐和体育都很感兴趣。这群少年审稿人们非常享受成为 Frontiers for Young Minds 的一部分，并且很高兴能成为传播和发展科学的一份子。

作者

KATHRYN MARY BROADHOUSE

我在高中时就决定以后要学习科学，尤其是物理学，因为我对事物和宇宙的运作方式很感兴趣。在决定我的职业生涯时，对我来说做我喜欢，并且我认为有意义、对社会有帮助的事非常重要。因此，我决定致力于医学成像，用物理学知识研究和了解各种疾病。*kathryn.broadhouse@usc.edu.au

