射频与健康：我们在哪里？

作者：
佩林 • 安妮（PERRIN Anne），生物学博士，授权指导研究，拥有（文化与健康）哲学硕士学位。电磁风险顾问。

自 20 世纪 90 年代以来，移动电话和新的无线通信技术呈指数级发展。与此同时，人们开始担心射频（译者注：又称无线电频率）等电磁波可能对健康造成有害影响。在这个问题上，我们听到了一切及其对立面。对于卫生机构来说，这些电磁波的使用是值得注意的问题，但只要它们的使用受到管制，似乎并不构成问题。他们依靠对现有科学文献进行详细分析的集体专家报告来评估风险，这些规定是以科学证据为基础的。然而，一些新闻文章、电台和电视广播、视频和网站定期报道这种危险。据说射频会致癌，对儿童、生育和免疫等均有危险。5G 将成为一个新的威胁。所谓的“电敏感”或“电超敏感”（EHS）人的证词被转播。具体情况如何？有什么风险？如何评估和监管它们？本文以移动电话为例，对该课题进行了概述。

1. 我们周围的电磁波：它们是什么？

我们生活在**多种来源**的磁场和电磁场中，**不管是自然的，还是人造的**。太阳发出的光、紫外线（UV）和红外（IR）辐射以及地球磁场是地球上生命的决定因素。光、红外线和紫外线也可以人工产生。例如，无论是生物，还是房间里的散热器、被太阳加热的石头……所有温暖的物体都会发出红外线辐射。随

着配电网络的建立，辐射源已经多样化。环境中出现了**新的低频电场和磁场**（50 赫兹、60 赫兹及其谐波），其次是**射频**，其中只有很小一部分是自然产生的，来自宇宙[1]。一百多年来，众所周知，所有这些电磁辐射都与广泛的物理现象和效应有关。这些物理现象和效应根据所考虑的辐射的特征而有所不同。他们的应用范围很广，不仅应用于日常生活，而且还用于医疗、工业和军事目的（图 1）。

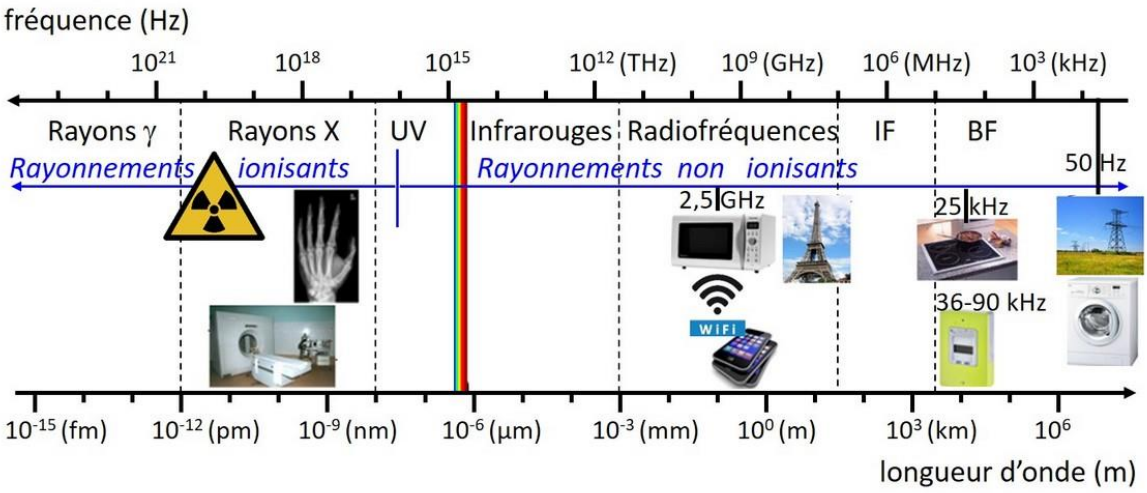

图 1. 频率范围的简化图和应用实例。UV：紫外线；IF：中频；LF：低频；千赫：10^3 赫兹；兆赫：10^6 赫兹；千兆赫：10^9 赫兹)

[资料来源：Perrin & Souques, © EDP-Sciences, 2018]

（译者注：Rayonnements ionisants 电离辐射；Rayonnements non ionisants 非电离辐射；frequence 频率；Rayons γ γ 射线；Rayons X X 射线；Infrarouges 红外线；Radiofrequences 射频）

波物理学建立在粒子（量子力学）和波（麦克斯韦方程）模型之上，二者是相互补充、相辅相成的。根据粒子模型，波携带不同能量的粒子，具体取决于频率（光子的能量）。电离辐射（X 射线，α 、β 、γ 射线，一些紫外线）和低频下的**非电离辐射**是有区别的：电离辐射可以从原子中撕裂电子并导致 DNA 断裂；非电离辐射的能量低于紫外线（见**“太阳紫外线对细胞的影响”**）。

非电离辐射与生物体的相互作用因频率而异。高达 100 kHz 的场和电流可以刺激可兴奋的组织（神经系统和肌肉）；高于 10 MHz 时，组织的吸收占主导地位，加热是基本机制。在所谓的中频，即 100 kHz 和 10 MHz 之间，存在

两者的混合（图 2）。

图 2. 非电离辐射警示标志 。
[资料来源：免版税 / Pixabay]

在本文中，我们感兴趣的是用于最常见无线通信的射频类型的非电离辐射，频率高于 10 MHz，被称为射频（RF）。 对于物理和技术方面，请参考焦点**“射频和无线通信”**；如想了解风险的概念并理解法规，请参考焦点**“射频的风险和法规”**。

1.1. 当无线电波到达人体时会发生什么？

电磁波既能被身体反射（在 GHz 附近大约反射 50% ），又能被生物组织吸收。电磁波的穿透深度和影响因频率而异。这种吸收取决于许多参数：温度、材料的物理化学特性（介电常数、电导率、密度）、暴露水平（入射功率）、信号类型等。

在射频范围内

频率越高，穿透人体的电磁波越少。对于 6 GHz 以上频率的电磁波，吸收仅限于皮肤。因此，人体水平暴露的量是不同的。**在 6 GHz 以下**，穿透深度可达几厘米。**比吸收速率（SAR）**是表示**单位质量单位时间内所吸收的能量值**

（**瓦特/千克，W/kg**）。由于电磁波的穿透率随频率而变化，因此在相同的入射功率下，吸收的能量值以及由此产生的 SAR 也随频率而变化。SAR 值是利用物理测量和数值模拟方法通过生物剂量法获得的。人体的最大吸收频率约为 80 MHz。**在 6 GHz 以上**，皮肤对电磁波的吸收越来越浅。暴露指标是**局部暴露的吸收功率密度（S_{ab}），单位为瓦特每平方米（W/m^2）**。然而，全身足够强烈的表面暴露可能最终导致更深的加热。因此，SAR 仍然是全身的指标（在 2020 年最新的 ICNIRP 建议中引入的考虑因素，请参阅焦点“**射频、风险和监管**”）。

1.2. 射频的热效应和临界阈值

长期以来，人们就已经知道射频与物质的相互作用会导致**加热**，这主要是由于水分子的搅动。含水率越高，温升越大。这被称为**阈值效应**，因为这种现象发生在一定量的能量被吸收之后，即在一定程度的暴露之后。这种效应应用于诸多场合：微波炉、外科手术、工业热粘合（防水帆布、百叶窗.....）。**哺乳动物**有一个温度调节系统，可以应对几摄氏度的变化。对于正常的体温调节生理过程，热量主要是通过组织血管化来消除的。当**超过这种适应能力**时，从临界阈值开始，就会出现潜在的有害热效应。对灵长类动物而言，首先观察到的影响是，完全暴露在辐射下出现行为紊乱，局部暴露会导致灼伤和白内障（因为眼睛血管化程度很低）。根据科学数据（动物实验）得出的临界 SAR 值为:

—“全身”暴露为 4 W/kg

—局部暴露为 100 W/kg（平均值，在 10 g 身体组织上）。

对于无线通信，暴露水平足够**低**，不会因电磁波而导致发热（请参见焦点“**一些先入为主的想法**”）。在一些规定中设定了不得超过的暴露限值，以保护人群（请参阅焦点“**射频风险和规定**”）。为了在实验室中研究无线电波的影响，需要根据研究目标（全身或局部暴露）确定要使用的条件和暴露系统，“近场”或“远场”的细微差别非常重要。

2. 从研究到风险评估——知识现状

2.1.如果效果已知，为什么要进行研究呢？

自 20 世纪 80 年代以来，研究一直集中在射频可能的**非热效应**上。这些影响不是由温度变化引起的，而是在低于临界阈值的低暴露水平下发生的。早在 1993 年，在美国进行的一项广为人知的审判就表达了对移动电话可能产生有害影响的担忧。一家制造商被指控对一名患有脑瘤的女性的死亡负责[2]。另一方面，20 多年来，电话天线的安装引发了关于当地居民健康风险的争论[3]。

移动电话是人们接触射频的主要来源，因为在通信过程中，移动电话靠近头部或身体，而且使用广泛。所产生的 SAR 值远**低于临界阈值**，但移动电话带来了新的辐射情况（请参见交焦点“**射频风险和法规**”）。就 SAR 值而言，手机的瞬时暴露量比天线产生的暴露量高数万倍。

鉴于这项技术的普及，即使健康风险很小，也受到了很认真的对待。由于这些原因，大多数研究关注的是相关频段的移动电话暴露。这项工作允许对风险和监管阈值的相关性进行定期评估。随着技术的不断发展，由此产生的个人**暴露条件**也在不断发展。这可能会引发新的问题、谣言或反对意见，就像目前 5G 到来时的情况一样。

2.2.为什么研究中使用的方法如此有争议？

研究类型	出版物数量
实验（生物、医学）	1341
流行病学*	311
其他期刊（剂量学、技术、法规、干扰、未分类项目……）	2864
社会学、心理学（风险沟通、感知、问卷调查……）	100

总数	4616
*其中 116 项涉及射频辐射与脑肿瘤之间的关联研究。	

表 1. 无线通信系统使用的无线电频率对生物和健康影响的研究。
[资料来源：© EMF Portal]

人们已经在培养细胞、动物模型和人体上进行了大量研究，目的是检查无线电波是否可以诱发、改变或加重生物和生理效应或疾病。还对一次性或在其整个生命期间（包括从妊娠期开始）暴露于射频辐射的动物进行了实验。表 1 总结了关于无线通信中使用的射频电磁波对生物和健康影响的研究数量，包括人文和社会科学方面的研究。

在实验室内

与其他毒理学研究一样，这些实验旨在比较在存在（或不存在）感兴趣的风险因素（在本例中为射频）时会发生什么。

有必要知道相关频带中的 **SAR 值**，或在较高频率下表面吸收的入射功率。控制包括 SAR 在内的暴露特性是这些研究中的主要难点。这比传统的毒理学要复杂得多。在传统的毒理学中，研究人员测试一种物质的不同剂量（例如，以每公斤给药的克数计算）。电磁波不能被称重——暴露**系统必须进行调整和量化**[4]。

例如，将电话放在老鼠身上、放在装有精子的盒子上或放在卵子上，把动物放在门坏了的微波炉前或放在电视机前，就像已经做过的那样，是最原始的错误之一。电磁波的存在与否应该是样本、动物或暴露的志愿者和对照组之间唯一不同的参数。因此，未暴露的对照组（称为“假冒者”）应放置在相同的条件下，但发射器关闭。在阅读科学文章时，很难发现该研究领域的**特定偏差**，因为它需要物理学、生物学和生物电磁学方面的专业知识。

在人群中

流行病学研究旨在发现疾病和暴露之间的联系。 流行病学研究有两种类型。**病例对照研究**，其中包括正在调查病因的疾病患者。暴露评估通常基于参与者的记忆。回忆偏差可能会扭曲结果，特别是在偏远地区，或者当受访者是

病人或死者的亲属时。相反，**队列研究**旨在比较或多或少暴露人群中随时间推移的病理演变或个体健康状况。同样，对受试者实际暴露于射频波的评估是微妙的，因为它还取决于所选择的指标（通信持续时间、电话定位、电话订阅等）。与生活方式相关或特定于个人的环境参数，可能在健康状况中发挥作用（干扰因素），因此也必须加以考虑 [5]。

基于人群的研究结果，其解释是复杂的。一般来说，这些研究没有明确某些亚组的小规模效应。对于电磁波的影响，与专门从事生物剂量学研究的物理学家进行合作，有助于最好地评估暴露水平。样本量越大，研究结果就越有说服力。

这方面的研究多吗？

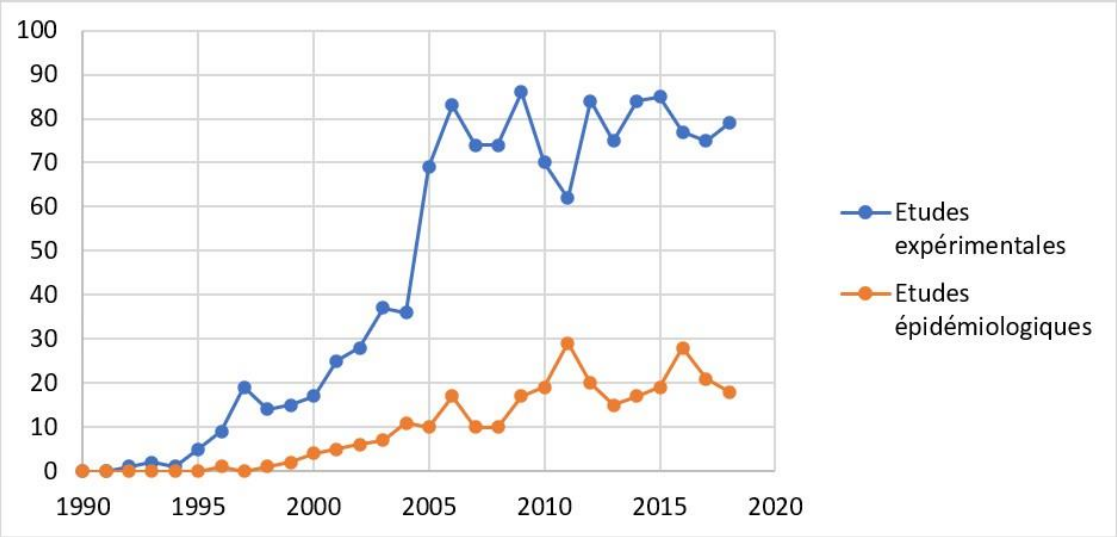

图 3. 1990 年至 2018 年每年的出版物数量（实验和流行病学研究）。
[资料来源：基于 EMF-Portal 数据库中可用信息的图表]
（译者注：etudes expérimetales 实验研究；etudes épidémiologiques 流行病学研究）

关于无线通信技术频率上的电磁波对生物和健康影响的研究活动，1990 年以来科学出版物数量的演变（图 3），说明了其重要性。

2.3.如何评估风险？

风险评估是基于全球公布的**所有科学数据**。为此，卫生机构或咨询机构汇集了来自不同背景的专家小组（生物学家、内科医生、流行病学家、物理学家等）。他们评估认知现状并编写**集体专家报告**。数据分析方法遵循报告中规定

的严格流程。在**媒体**中，定期会报道在一项研究中观察到但后来没有得到证实的风险，但**没有提供**与整体数据**相关的细节或背景**。即使真的发生反驳意见，也很少被报道[6]。此外，即使文章的内容是可疑的，总是有可能在科学期刊上，特别是在综合期刊或者那些不是专门研究生物电磁学的期刊上发表[7]。因此，最好参考集体专家报告和各机构的结论。

我们将回到几个具有高度媒体影响力的重要主题：IARC 分类和儿童暴露。另请阅读与本文有关的焦点：5G、“国家毒理学计划”（美国）和“电磁超敏反应”。

3. 癌症、流行病学和 IARC 分类

3.1.为什么要研究射频对癌症的潜在影响？

癌症起因的确定是**公共卫生健康**中的一个重要问题[8]。在影响癌症病理学发展的众多因素中（从开始到临床证据，有时是几年后），导致 **DNA 损伤**的机制起着重要的作用。射频所携带的能量不足以直接导致 DNA 分子断裂。目前还没有能够解释这种生物效应的机制。尽管如此，射频对遗传物质的完整性和致癌作用的可能有影响的问题，已经并仍然在广泛研究。另一方面，流行病学家一直在寻找癌症和射频之间的关联，特别是手机使用和脑瘤之间的关联。

3.2.IARC 射频分类

国际癌症研究机构（IARC，世界卫生组织（WHO）的癌症机构）进行的集体审查，只关注可能表明某种物质具有致癌性的研究。这可以是化学或自然物质、食物、物理媒介（电磁波……），或者是人类可能接触到的职业环境（如消防员）。IARC 明确**区分风险和危害**。该分类考虑了危险存在的证据水平，即对人类的致癌性，而没有量化取决于暴露条件的风险。因此，例如，石棉、酒精、冷盘和木屑可以归入同一类别。IARC[9]使用的分类标准汇总在表 2 中。

第 1 组	**人类致癌物（120）** 石棉、烟草、苯、酒精饮料、丙型肝炎病毒、木粉尘、柴油机废气、HPV（10 种）*、电离辐射、加工肉制

	品……
第 2A 组	**可能对人类有致癌作用（82）** 三氯乙烯、马拉硫磷、顺铂、草甘膦、HPV 68 型、热饮（＞65℃）、红肉……
第 2B 组	**可能的人类致癌物（311）（《可能的致癌物》）** 铅、氯仿、在某些电磁场中暴露、腌制的咸菜、二氧化钛、芦荟、台盼蓝……（2016 年之前的咖啡）
第 3 组	**不可归类的人类致癌物（500）** 咖啡、咖啡因、茶碱、胆固醇、某些碳纳米管、在某些电磁场中暴露、甲苯……
第 4 组	**可能对人类不致癌的物质（1）** 己内酰胺（自 2016 年以来删除的类别）

表 2. IARC 分类量表和分类物质的一些示例（截至 2019 年 9 月 23 日的药物数量）。[资料来源：根据 IARC(https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/)提供的数据创建的表格]

*HPV：人乳头瘤病毒

2011 年，IARC 根据手机使用情况将射频归类为“**可能致癌**”或对人类“**可能致癌**”[2B][10]。这主要是根据 **INTERPHONE**（译者注：对讲机）研究的结果[11]。迄今为止对该主题进行了最大的病例对照研究（来自 13 个国家的数据），包括 2708 例神经胶质瘤、2409 例脑膜瘤病例。根据患者的累计通话时长，将患者分为 10 组。在 10 年内通话时间最长的组中（>1640 小时；关联强度比值 OR 为 1.40（95% CI 1.03-1.89）），发现患神经胶质瘤脑瘤的风险增加。作者发现一些报告的通话时间（每天达 12 小时）难以置信。 此外，与暴露时间的增加没有正关联。作者得出的结论是：“总体而言，使用手机并**未**观察到神经胶质瘤或脑膜瘤的**风险增加**。有建议表明，在最高的暴露水平下，胶质瘤的风险增加，但偏差和错误妨碍了因果解释。长期密集使用手机可能产生的影响需要进一步研究。”

对听神经瘤来说，这些结果是类似的，但是基于很少数的病例。Hardell 等人的出版物[12]对分类也很重要，尽管它的范围有限且有局限性[13]。请注意，一项覆盖法国 4 个地区的病例对照研究（“Cerenat”）[14] 在 2014 年引起了媒体热潮 [15]。它有时被认为是对 INTERPHONE 影响的确认。事实上，除了重度使用手机的人患上了胶质瘤以外，没有观察到手机使用与脑瘤发生之间的关联。“重度用户”组对应于在每项研究中报告累计通讯时间最长的 10%的人。他们的比较是微妙的，因为，在 Cerenat 研究中累积通话时间超过 896 小时是 24 例，而 INTERPHONE 项目中，累积通话时间几乎是前者的两倍（> 1640 小时），且案例数量是前者的 4 倍（100 例）。在 1640 小时以内没有观察到风险增加的案例。还应记住，与 INTERPHONE 研究（2708 例胶质瘤病例）相比，Cerenat 研究（包括 253 例胶质瘤病例）的效力较低，并且存在许多偏差 [16]。另一方面，**队列研究也没有提供支持手机致癌作用的证据**，包括在丹麦进行的一项针对 358,403 人跟踪了 18 年的研究[17]。暴露是根据参与者的电话订阅评估的，没有具体说明对话的持续时间。另一个重要的队列研究是百万女性研究[18]，它是在 IARC 分类之后发布的。在英国对大约 800,000 名女性进行了为期 7 年的跟踪调查，结果表明手机使用与神经胶质瘤、脑膜瘤和 18 种其他类型癌症的发病率增加之间没有任何关联。

归根结底，IARC 的分类通常被理解为射频致癌性的证据。

然而，IARC 尚未发现射频可能是或是已证实的人类致癌物，这与集体审查的结论和 WHO 的立场一致[19]。

3.3.手机的使用增加了癌症的数量吗？

自 2004 年以来，特别是在 IARC 分类之后，研究人员一直在寻找脑肿瘤发病率（每 10 万名居民中每年的新病例数量）随时间的演变规律，及其与人群中移动电话使用之间的联系，特别是胶质瘤发病率。报告使用了来自 13 个国家或地区（美国、英国、中国、北欧国家、丹麦、新西兰、中国台湾、澳大利亚、日本、意大利、以色列、瑞典、芬兰）的癌症登记数据进行了**十多项研究**，产生了超过 25 种科学出版物[20]。这项研究试图判断，随着时间的推移，发病率能否观察到变化。通常，发病率的变化似乎与**筛查频率的变化和/或肿瘤筛查和分析方法的改进**有关[21]。无论如何，如果 IARC 分类起源的研究中报告的关联（相对风险）是真实的，则这些变化与预期的变化不一致，如其中一项研究结果图 4 所示[22]。

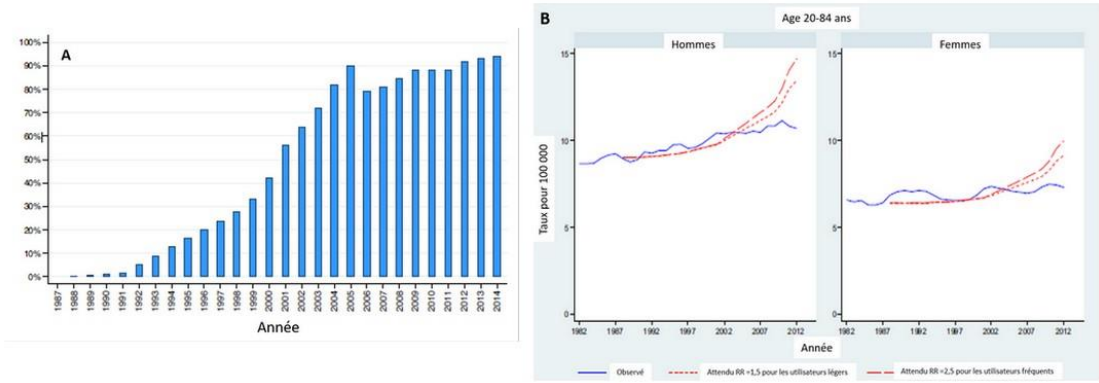

图 4. (A)1987 年至 2014 年研究人群中手机使用的演变；(B)与 IARC 分类后研究的理论预期曲线（红色）相比，澳大利亚胶质瘤发病率的演变。

[资料来源：Chapman S. 等人, 2016 /出版物: https://doi.org/10.1016/j.canep.2016.04.010]

（译者注：annee 年；Hommes 男士；Femmes 女士；Taux pour 100000 每 100000 人的发病率）

所有这些发病率的研究，都**没有证实**过去几十年中人群中脑肿瘤的发生率与手机使用之间存在**因果关系**。考虑到这些疾病的罕见性，以及相关亚群体在人群中是少数群体的事实，在经常和非常密集地使用手机的情况下，风险增加的假设即使可能，也很难验证或反驳。

4. 儿童暴露

图 5. 一群拿着手机的年轻人。

[资料来源：免版税 / Pixabay]

由于儿童仍在发育中，所以儿童被认为是一个潜在的更脆弱的群体（图5）。此外，他们很可能在很小的时候就使用无线通信工具，因此在他们的一生中会使用更长的时间。2011 年，荷兰卫生委员会认为无需担心，但需要进一步研究，尤其是长期研究[23]。在法国，法国国家卫生安全、食品、环境和工作局（ANSES）于 2016 年就该主题制作了一份专门报告[24]。根据专家的分析，现有数据并未显示**射频**对儿童的行为、听觉功能、致畸效应和发育、男性和女性生殖系统、致癌效应、免疫系统或全身毒性有**任何影响**。儿童头部的 SAR 暴露值可能因其形态而高于成人，但未超过暴露限值。该报告提到了对认知功能（记忆、学习等）和幸福感的“可能影响”（“有限证据”）。根据作者的说法，这些影响可能不是**由于暴露在电磁波中**，而是由于儿童**使用了连接设备**。一些报告的影响是有益的，另一些报告的影响则不是，但没有一个得到证实。因此，这个问题仍然悬而未决。此外，研究表明，年轻人“有问题地使用”（密集和不恰当）手机，与心理健康问题（抑郁、自杀念头、危险行为）之间存在关联。该机构建议他们合理使用手机，并劝阻 14 岁以下儿童使用移动通讯设备。然而，围绕该报告的交流，导致了双方在使用通讯工具和各种电磁波可能产生的影响之间产生一些混淆。国际非电离辐射保护委员会（ICNIRP）、世卫组织和欧洲机构尚未针对儿童发布任何具体建议。

顺便指出的是，法国国家科学研究院、医学研究院与技术研究院已经检查了儿童和青少年使用屏幕的情况，呼吁**对数字技术保持合理的警惕**[25]。

5. 知识状况评估

5.1.我们对风险了解多少？

2012 年，在对 2009 年至 2011 年间发表的 33 份报告进行分析后 [26]，时任比利时公共卫生科学研究所成员的毒理学家 Luc Verscheave 写道：“除‘BioInitiative’报告以外，所有报告都得出结论认为，**没有明确证据表明**暴露于无线通信应用的无线电频率会**对健康造成不利影响**。他们普遍对长期的生物效应持**谨慎**态度，不是因为有强烈迹象表明可能会发生这种效应，而只是因为迄今为止缺乏可用的数据来得出有意义的结论。”[27]

请注意，2013 年与 2009 年一样，ANSES 被邀请谨慎考虑“生物倡议”报告 [28]，因为“它在多个部分隐藏了利益冲突，没有对应于集体专业知识，章节质量参差不齐，并以激进分子的语体写就的。” [29]，这与其他分析一致

[30]。自 2012 年以来，法国（2013 年）、荷兰（2016 年）[31]瑞典（2018 年）[32]欧洲层面（2015 年）[33]澳大利亚（2017 年）[34]美国（2020 年，重点关注癌症）[35]等国家都编制了新的专家报告，但没有对认知现状带来任何实质性变化。似乎具有最高偏差风险的研究更经常报告相关影响，因此很难确定这些效应的来源。相反，具有良好暴露特征的那些研究，很少表明在非热暴露水平下具有显著影响。总是有一些被认为质量好的研究显示出生物学或生理学效应，有时甚至是有益的影响。在影响被一致的和可重复的结果证明之前，这些完全不同的结果被认为是有限的证据。迄今为止，来自世界各地的科学专家报告的结论是一致的。它们并不表明**射频存在已证实的健康风险**，它们也没有显示出一种生物学机制，显示**在监管范围内暴露**可能存在风险。

5.2.有没有正在进行的研究？

对该主题进行深入研究的时期现已结束。根据国家的不同，研究仍在或多或少地积极进行。在法国，ANSES 每年都会资助研究项目。**两项主要的流行病学研究**正在进行当中，研究时间超过 15 年。

COSMOS 研究：对 6 个欧洲国家的约 30 万人进行 20-30 年的跟踪调查，研究健康问题与手机或其他无线技术的使用之间可能存在的关联。

MOBI-KILDS 研究（14 个国家）：目的是评估儿童和年轻人（10-24 岁）的脑肿瘤与环境风险因素之间的潜在联系，包括移动通信的使用。

人们正在进行一项特别的努力来描述暴露的特征，这通常是这类研究的一个薄弱环节。**5G** 的到来应该会引发**新一波研究**，尤其是在 26 GHz 附近的毫米频段，与移动电话和 WiFi 已经使用的频率相比，这些频段的研究很少。此外，在 3.5GHz 附近进行的新研究似乎很少。

6. 带来应对要素

图 6. 以健康和射频为主题的法国杂志封面示例。

射频风险和无线通信问题，涉及从科学和技术到社会和政治的多个维度。这些技术在日常生活中的发展，已经并将继续对习惯和生活方式产生重大影响。这解释了围绕新无线通信技术争议的多个方面，其中与健康方面和技术使用相关的问题，和与环境和经济问题交织在一起。为了捍卫事业、出售服务或所谓的“反电磁波”保护，为了出名，反对新技术、满足选民的要求，进行一场斗争——关于所谓的电波的危险的大量错误信息，“假消息”甚至谣言都在传播。然而，媒体喜欢耸人听闻的新闻。**无论这些信息是经过科学验证的还是基于观点的**，他们通常会在同一层面上呈现**这些主题的所有类型的信息**，从而导致**混淆**（图 6）。在这种情况下，科学风险评估并非旨在解决争议或规定应该做什么。另一方面，科学提供了答案，使决策者能够采取适当的公共卫生措施。除此之外，使公民形成意见。而且，和其他健康环境问题一样，最困难的事情是整理信息。

7. 要记住的信息

关于健康风险，我们应该记住以下几点：

在**射频**范围内，迄今为止进行的科学工作结果**并未证明存在有害影响**，也

没有一种可信的生物机制，可以证明在监管限值以下存在风险。

唯一已知的射频效应是高暴露水平下的**热效应**，这是无线技术无法实现的。

关于**电磁场**的影响，WHO 认为“现在在该领域获得的科学知识比我们在大多数化学品上获得的科学知识都要**完整**”[36]。

在科学中，这完全是**概率**和**证明水平**的问题。不可能科学地证明不存在影响，因此无论风险因素如何，都永远不会证明不存在风险。

媒体和社交网络很容易根据孤立的研究或仓促的解释，甚至是纯粹和简单的指控，传递关于电磁波影响的令人震惊的证词和信息。

除了健康问题之外，从**整体**上考虑该主题，可以抓住所涉及的问题，并更好地理解信息。

为保持观点自由，需要**交叉参考信息来源**和提高**批判性思维**。

我要感谢 Catherine Yardin 和 Isabelle Lagroye 对生物学和健康方面的仔细审查和评论，以及 Allal Oubrehil 对无线通信技术方面的评论。

参考资料和说明

封面照片：[资料来源：Leon Brooks，公共领域，通过维基评论- Tim Parkinson, CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>, via Wikimedia Commons]

[1] EMF-portal, Natural radio frequency fields.

[2] Lawsuit claims cellular phones cause cancer, UPI archives, 3 January 1993.

[3] Borraz O., Devigne M., Salomon D., Controverses et mobilisations autour des antennes de téléphonie mobile, 2004, Rapport du centre de sociologie des organisations, 160 p.

[4] Kuster and Schönborn. 2000, Recommended minimal requirements and development guidelines for exposure setups of bio-experiments addressing the health risk concern of wireless communications Bioelectromagnetics, 21:508-514.

[5] Souques M., Notions de base sur l'épidémiologie, 2009, SPS n° 286, July 2009. On afis.org
[6] See the dossier "Science and the media" in Science et Pseudosciences n°323 of the Association pour l'Information scientifique.On afis.org https://www.afis.org/-323
[7] See the articles of H. Maisonneuve on afis.org/Herve-Maisonneuve
[8] Hill C., 2019, What do we know about the causes of cancer?
[9] https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/
[10] IARC Press Release, 31 May 2011 Full report published in 2013: IARC, 2013, Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 102. and IARC, 2013, Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 102.
[11] THE INTERPHONE Study GROUP et al. (2010) Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the Interphone international case-control study. International J. Epidemiology 39(3):675-694.
[12] Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. Int J Oncol 2011; 38: 1465-74.
[13] Ahlbom et al, Epidemiologic Evidence on Mobile Phones and Tumor Risk: A Review (Epidemiology 2009; 20: 639-652)
[14] Coureau & al, 2014, Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. Occup Environ Med, 71(7):514-22.
[15] Mobile phone and tumor, what is the link? - Deciphering a recently published epidemiological study on the effects of telephone radio frequencies on the brain, and a look back at the over-mediation that has agitated the web with Dr Gaëlle Coureau. 22 May 2014, University of Bordeaux. On https://www.u-bordeaux.fr/
[16] Mobile phones and brain cancers: double zero score for Bordeaux study, 23 May 2014. Journalism and public health - The blog of Jean-Yves Nau, journalist and medical doctor. On jeanyvesnau.com
[17] Frei P et al Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. BMJ 2011; 343: d6387. doi: 10.1136/bmj.d6387
[18] Benson VS et al Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. Int J Epidemiol 2013; 42: 792-802.
[19] Electromagnetic fields and public health: mobile phones, 8 October 2014
[20] These studies are listed in the EMF-Portal database, under Mobile communication, population studies, brain cancer. https://www.emf-portal.org/en/article/overview/mobile-communications-epidem/brain-cancer#level-2
[21] As an example, see reading note on the Australian publication released in late 2018: https://www.afis.org/Telephone-mobile-et-tumeurs-cerebrales-quoi-de-neuf
[22] Chapman S. & al., 2016, Has the incidence of brain cancer risen in Australia since the introduction of mobile phones 29 years ago? Cancer Epidemiology, 42:199-205
[23] HCB, 2011, Influence of radiofrequency telecommunication signals on children's brains.

[24] ANSES, report "Exposure to radio frequencies and children's health", June 2016. https://www.anses.fr/fr/search/site/rapport%20radiofr%C3%A9quences?searchphrase=1&mm=100&iso1=fr&iso2=en
[25] Academy of Sciences, New call "The child, the adolescent, the family and the screens", Press release of 9 April 2019. https://www.academie-sciences.fr/fr/Communiques-de-presse/enfant-adolescent-famille-ecran.html
[26] Verschaeve L., Evaluations of International Expert Group Reports on the Biological Effects of Radiofrequency Fields, Wireless Communications and Networks, 2012, Recent Advances, Dr. Ali Eksim (Ed.), ISBN:978-953-51-0189-5, InTech. (translation and citation, A. Perrin).
[27]https://cdn.intechopen.com/pdfs/31625/InTech-Evaluations_of_international_expert_group_reports_on_the_biological_effects_of_radiofrequency
[28] https://bioinitiative.org/
[29] Anses, update of the " Radiofrequencies and health " expertise, October 2013, http://www.anses.fr/sites/default/files/documents/AP2011sa0150Ra.pdf
[30] https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioinitiative
[31] Health council of Netherlands, 2016, Mobile phones and cancer, Part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies
[32] Scientific Council of Swedish Radiation Safety Authority (SSM), 2018, Recent Research on EMF and Health Risk, Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields
[33] SCENIHR, "Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)", March 2015. Summary sheet: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/docs/citizens_emf_fr.pdf
[34] Australian Radiation Protection Agency (ARPANSA), 2017, Technical Report "Radiofrequency Electromagnetic Energy and Health: Research Needs, TR178
[35] Food and drug Administration (USA), 2020, Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer. https://www.fda.gov/media/135043/download
[36] WHO, Electromagnetic fields - Summary of health effects https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/fr/index1.html

---

译者：刘鲁　　编审：楚增勇教授　　责任编辑：胡玉娇