**تحلیل استفاده از تصویربرداری با تشدید مغناطیسی و ذخیره سازی انرژی**

**سید سروش وکیلی قاهانی1\*، حسن قلمی باویل علیایی2 محمد توکلیان راد3**

1. *دکتری تخصصی مهندسی پزشکی بیوالکتریک، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران,*

*پست الکترونیک :* [*soroush.p.m@gmail.com*](mailto:soroush.p.m@gmail.com)

1. *استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، پست الکترونیک :* [*Olyaee@azad.ac.ir*](mailto:Olyaee@azad.ac.ir)
2. *دکتری تخصصی مهندسی پزشکی بیوالکتریک، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران*

*پست الکترونیک* :[*amir2010\_rad@yahoo.com*](mailto:amir2010_rad@yahoo.com)

|  |
| --- |
| **چكيده**  تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و پرکاربردترین روش‌های غیرتهاجمی تشخیص بیماری‌ها در پزشکی مدرن شناخته می‌شود و به دلیل توانایی بالای آن در ارائه تصاویر دقیق از بافت‌های نرم و عدم استفاده از تابش یونیزان، جایگاه ویژه‌ای در تشخیص بیماری‌های قلبی-عروقی، مغزی و اسکلتی دارد. با این حال، استفاده از این فناوری در بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی (CIED) مانند پیس‌میکرها و دفیبریلاتورهای قلبی با چالش‌هایی همراه است، زیرا میدان‌های مغناطیسی ایستا، متغیر گرادیانی و امواج فرکانس رادیویی (RF) ممکن است منجر به افزایش دمای لیدها، القای جریان‌های الکتریکی و تغییر عملکرد دستگاه شوند. همچنین پرسنل پزشکی نیز در معرض خطرات ناشی از مواجهه با میدان‌های مغناطیسی قوی قرار دارند که می‌تواند علائمی چون سرگیجه، تهوع و اختلالات عصبی-شناختی را ایجاد کند. اهداف این مقاله شامل بررسی ایمنی بیماران دارای CIED هنگام انجام MRI، ارزیابی مخاطرات پرسنل پزشکی و ارائه راهکارهای ایمنی عملی برای کاهش خطرات است. این مقاله به تحلیل چالش‌ها و راهکارهای موجود با تکیه بر یافته‌های دو مطالعه کلیدی پرداخته و بر ضرورت انجام تحقیقات گسترده‌تر در MRIهای با قدرت بالا تأکید می‌کند. |

**واژه‌هاي كليدي**: دستگاه‏های کاشتنی قلبی (CIED)، میدان‏های مغناطیسی ایستا و متغیر، ایمنی بیماران، سلامت پرسنل پزشکی، پروتکل‏های ایمنی.

**Analysis of the use of magnetic resonance imaging and energy storage**

|  |
| --- |
| **Abstract**  Magnetic Resonance Imaging (MRI) is recognized as one of the most advanced and widely used non-invasive methods for disease diagnosis in modern medicine. Due to its high capability to provide accurate images of soft tissues and its lack of ionizing radiation, it holds a special place in the diagnosis of cardiovascular, neurological, and musculoskeletal diseases. However, the use of this technology in patients with implantable cardiac devices (CIEDs) such as pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators presents challenges, as static magnetic fields, variable gradient fields, and radiofrequency (RF) waves may lead to increased temperatures in leads, induced electrical currents, and altered device functionality. Additionally, medical personnel are also at risk from exposure to strong magnetic fields, which can cause symptoms such as dizziness, nausea, and neurological-cognitive disturbances. The objectives of this article include examining the safety of patients with CIEDs during MRI, assessing the risks to medical personnel, and providing practical safety measures to mitigate these risks. This article analyzes the challenges and existing solutions based on the findings of two key studies and emphasizes the necessity for further research in high-field MRIs. |

**1. مقدمه**

تصویربرداری با تشدید مغناطیسی (MRI) یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های غیرتهاجمی در پزشکی است که تصاویر دقیقی از بافت‌های داخلی بدن ارائه می‌دهد. با وجود مزایای گسترده، ایمنی این فناوری به دلیل میدان‌های مغناطیسی قوی و امواج رادیویی نیازمند بررسی دقیق است. تحلیل ایمنی در MRI شامل ارزیابی خطرات احتمالی برای بیماران، کارکنان و تجهیزات پزشکی است. تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های تشخیصی در پزشکی مدرن شناخته می‌شود و به‌دلیل مزایای قابل‌توجه مانند ارائه تصاویر دقیق از بافت‌های نرم بدن و عدم استفاده از تابش یونیزان، به‌طور گسترده در تشخیص و پیگیری بسیاری از بیماری‌ها به کار می‌رود [7]. با این حال، توسعه و استفاده روزافزون از MRI چالش‌هایی را به همراه داشته است، به‌ویژه برای بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی الکترونیکی قلبی (CIED)، ازجمله پیس‌میکرها و دفیبریلاتورهای قلبی. این دستگاه‌ها در معرض میدان‌های مغناطیسی ایستا، میدان‌های گرادیانی متغیر و امواج فرکانس رادیویی MRI قرار می‌گیرند که می‌تواند خطراتی مانند القای جریان‌های الکتریکی، افزایش دما و خطای عملکرد دستگاه را به همراه داشته باشد [1].

تا سال ۲۰۰۸، انجام MRI برای بیمارانی که دارای CIED بودند، به‌طور کامل ممنوع بود، زیرا احتمال بروز عوارضی همچون آسیب حرارتی، جابجایی دستگاه، آریتمی قلبی و حتی مرگ وجود داشت [5]. با این حال، ظهور دستگاه‌های MRI مشروط باعث شد تا امکان انجام MRI با رعایت پروتکل‌های ایمنی ویژه فراهم شود. در کنار دستگاه‌های MRI مشروط، برخی بیماران همچنان از دستگاه‌های هیبریدی استفاده می‌کنند که ترکیبی از ژنراتور و لیدهای برندهای متفاوت هستند. این دستگاه‌ها به‌دلیل عدم انطباق استانداردها، نگرانی‌هایی را درخصوص ایمنی MRI ایجاد کرده‌اند [1].

مطالعات متعددی به بررسی ایمنی بیماران دارای CIED در محیط‌های MRI پرداخته‌اند. برای مثال، مطالعه میناسکیان[[1]](#footnote-1) و همکاران (2022) با بررسی بیماران دارای دستگاه‌های هیبریدی و غیرهیبریدی، نشان داد که انجام MRI در این بیماران، تحت شرایط نظارتی و پروتکل‌های دقیق، منجر به عوارض جدی نمی‌شود [7]. در این مطالعه، تفاوت معناداری در بروز عوارضی مانند آریتمی یا تغییرات عملکرد دستگاه مشاهده نشد.

علاوه بر ایمنی بیماران، یکی دیگر از موضوعات مهم، سلامت و ایمنی پرسنل پزشکی در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی MRI است. میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر می‌توانند باعث القای جریان‌های الکتریکی در بدن کارکنان شوند که علائمی نظیر سرگیجه، تهوع، اختلال تمرکز و خستگی را به همراه دارد [8]. مطالعه اسرائیل[[2]](#footnote-2) و همکاران (2021) نشان داد که در اتاق‌های حفاظتی MRI، میدان‌های مغناطیسی به‌طور قابل‌توجهی از حد مجاز برای افراد دارای ایمپلنت‌های فعال فراتر می‌رود و به پرسنل توصیه می‌شود مدت زمان حضور در این محیط‌ها را به حداقل برسانند [8].

با توجه به افزایش نیاز بیماران به انجام MRI و چالش‌های موجود در این زمینه، مطالعه حاضر با هدف بررسی ایمنی MRI در بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی و ارزیابی مخاطرات برای پرسنل پزشکی تدوین شده است. در این مقاله با مروری جامع بر مطالعات اخیر و نتایج دو مطالعه کلیدی، به تحلیل راهکارهای موجود برای کاهش خطرات و بهبود ایمنی در محیط‌های MRI پرداخته خواهد شد.

**۲. ایمنی بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی (CIED)**

دستگاه‌های کاشتنی قلبی (Cardiac Implantable Electronic Devices - CIED) شامل ضربان‌سازها (Pacemakers)، دفیبریلاتورهای قابل کاشت (Implantable Cardioverter Defibrillators - ICDs) و دستگاه‌های درمان مجدد ضربان قلب (Cardiac Resynchronization Therapy - CRTs) از پیشرفته‌ترین فناوری‌های پزشکی برای مدیریت بیماری‌های قلبی محسوب می‌شوند. این دستگاه‌ها نقش حیاتی در کنترل آریتمی‌ها، پیشگیری از ایست قلبی و بهبود عملکرد قلب ایفا می‌کنند و کیفیت زندگی بیماران را به طور چشمگیری ارتقا می‌بخشند.

با وجود مزایای انکارناپذیر این فناوری‌ها، ایمنی بیماران دارای CIED چالش‌های ویژه‌ای را به همراه دارد. عوامل محیطی، فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم و تداخلات الکترومغناطیسی (EMI) می‌توانند عملکرد صحیح این دستگاه‌ها را تهدید کنند. همچنین، جنبه‌های امنیت سایبری دستگاه‌های متصل و مدیریت عوارض جانبی بالینی از دیگر موضوعات مهم در این حوزه است. علاوه بر این، استفاده صحیح از این دستگاه‌ها و مراقبت‌های پس از کاشت، از جمله تنظیمات دقیق و پیگیری‌های منظم پزشکی، تأثیر بسزایی در بهبود ایمنی و اثربخشی درمان دارد.

این مقاله به بررسی جنبه‌های مختلف ایمنی بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی پرداخته و راهکارهایی برای کاهش خطرات و بهبود کیفیت مراقبت‌های پزشکی ارائه می‌دهد.

دستگاه‌های کاشتنی قلبی (CIED) شامل پیس‌میکرها و دفیبریلاتورهای قلبی هستند که برای حفظ عملکرد طبیعی قلب در بیماران مبتلا به آریتمی یا نارسایی قلب استفاده می‌شوند. با افزایش نیاز بیماران به انجام تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)، چالش‌های متعددی در زمینه ایمنی این دستگاه‌ها مطرح شده است.

دستگاه‌های CIED به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

* دستگاه‌های MRI مشروط (MRI-Conditional): این دستگاه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که تحت شرایط خاص، مانند محدودیت در قدرت میدان مغناطیسی (اغلب 5/1 تسلا)، می‌توانند در MRI استفاده شوند. تنظیمات دستگاه باید قبل از انجام MRI تغییر داده شود تا از بروز خطا جلوگیری گردد.
* دستگاه‌های غیرمشروط (Non-Conditional): این دستگاه‌ها فاقد گواهی ایمنی برای MRI هستند و ممکن است در معرض میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر دچار تغییر عملکرد شوند.

خطرات بالقوه برای بیماران دارای CIED هنگام انجام MRI شامل موارد زیر است:

* حرکت یا جابجایی دستگاه: میدان مغناطیسی ایستا می‌تواند بر اجزای فرومغناطیسی دستگاه‌ها تأثیر بگذارد و باعث حرکت یا جابجایی آن‌ها شود [7].
* افزایش دما و آسیب حرارتی: امواج فرکانس رادیویی (RF) در MRI ممکن است سبب افزایش دمای لیدهای فلزی دستگاه شده و آسیب حرارتی به بافت‌های اطراف وارد کند [1].
* القای جریان و تغییر عملکرد دستگاه: میدان‌های متغیر گرادیانی می‌توانند جریان‌های القایی در لیدهای دستگاه ایجاد کنند که منجر به تغییر در آستانه تحریک، خرابی عملکرد دستگاه یا بروز آریتمی شود [5].

مطالعات متعددی به بررسی ایمنی MRI در بیماران دارای CIED پرداخته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر است:

* مطالعه میناسکیان و همکاران

در این مطالعه، ایمنی MRI در بیماران دارای دستگاه‌های هیبریدی (ترکیبی از برندهای متفاوت در ژنراتور و لیدها) و دستگاه‌های غیرهیبریدی (یکپارچه) مقایسه شد. نتایج نشان داد:

- عوارض جانبی مانند آریتمی در هر دو گروه بسیار ناچیز بوده و از نظر آماری معنادار نبود.

- هیچ موردی از جابجایی دستگاه، خرابی ژنراتور یا لید و تغییر قابل‌توجه در ولتاژ یا آستانه تحریک مشاهده نشد [1].

* مطالعات مکمل

مطالعه کوهن[[3]](#footnote-3) و همکاران (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که MRI در دستگاه‌های غیرمشروط با رعایت پروتکل‌های دقیق و نظارت پزشکی قابل انجام است و عوارض جانبی بسیار محدود است [5].

مطالعه روسو[[4]](#footnote-4) و همکاران (۲۰۱۷): نتایج این پژوهش نیز تأیید کرد که MRI برای بیماران دارای CIED، حتی در دستگاه‌های غیرمشروط، با احتمال بروز خطرات پایین همراه است، به‌شرطی که تغییرات دستگاه به‌دقت پایش و کنترل شود[8].

این یافته‌ها به‌طور کلی نشان می‌دهند که MRI در بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی، تحت نظارت دقیق و رعایت پروتکل‌های ایمنی، به‌طور نسبی ایمن بوده و خطرات جدی به همراه ندارد. بااین‌حال، توجه به نوع دستگاه و شرایط بیمار ضروری است تا از بروز عوارض احتمالی جلوگیری شود.

**۳. ارزیابی مخاطرات مواجهه پرسنل پزشکی با میدان‌های MRI**

3-1. میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر

میدان‌های مغناطیسی در اتاق‌های تشدید مغناطیسی (MRI) به دو دسته ایستا (Static) و متغیر (Time-Varying) تقسیم می‌شوند که هرکدام اثرات خاصی بر بدن انسان دارند.

میدان‌های ایستا: میدان‌های مغناطیسی ایستا در MRI ناشی از آهن‌ربای دائمی یا الکترومغناطیس دستگاه است. این میدان‌ها ثابت بوده و تغییر نمی‌کنند، اما می‌توانند باعث ایجاد نیروهای مکانیکی بر روی اجسام فرومغناطیسی و القای جریان‌های الکتریکی در بدن شوند، به‌ویژه هنگام حرکت سریع در میدان‌های ناهمگن [7].

میدان‌های متغیر (گرادیانی و فرکانس رادیویی): میدان‌های متغیر، مانند میدان‌های گرادیانی و امواج فرکانس رادیویی (RF)، در طول فرآیند تصویربرداری تولید می‌شوند. این میدان‌ها قادرند جریان‌های الکتریکی را در بافت‌های بدن القا کنند که ممکن است منجر به تحریک اعصاب محیطی و عضلات شود [1].

3-1-1. خطرات ناشی از میدان‌های ایستا و متغیر

بر اساس مطالعات صورت‌گرفته، مواجهه با میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر در پرسنل MRI با مخاطرات زیر همراه است:

1. ایجاد جریان‌های الکتریکی در بدن:

حرکت پرسنل در میدان‌های ایستا باعث القای جریان‌های الکتریکی در بافت‌های بدن می‌شود که می‌تواند به تحریک غیرطبیعی عضلات و اعصاب منجر شود [5]. این پدیده به‌خصوص در میدان‌های گرادیانی قوی که به‌سرعت تغییر می‌کنند، خطرناک‌تر است.

2. علائم حسی مانند سرگیجه، تهوع و سردرد:

- طبق یافته‌های مطالعه اسرائیل و همکاران (۲۰۲۱)، حرکت سریع در میدان‌های مغناطیسی ناهمگن سبب القای جریان‌های درونی در بدن می‌شود که علائمی مانند سرگیجه، تهوع و سردرد را در پی دارد [8].

- میدان‌های ایستا با شدت‌های بالاتر از ۳ تسلا می‌توانند باعث بروز سرگیجه و اختلالات بینایی مانند ظهور نورهای کاذب (فوسفن) شوند [9].

مخاطرات برای افراد با ایمپلنت یا زنان باردار: میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر می‌توانند بر عملکرد ایمپلنت‌های پزشکی مانند پیس‌میکر و پمپ‌های انسولین اثر منفی بگذارند. همچنین طبق توصیه‌های بین‌المللی مانند ICNIRP، زنان باردار باید از حضور در میدان‌های مغناطیسی قوی خودداری کنند تا از آسیب به جنین جلوگیری شود [2].

یافته‌های مطالعه اسرائیل و همکاران: مطالعه اسرائیل و همکاران به بررسی شدت میدان‌های مغناطیسی در اتاق‌های MRI و اثرات آن بر پرسنل پرداخته است. نتایج این مطالعه شامل موارد زیر است:

* اندازه‌گیری شدت میدان‌های مغناطیسی: در اتاق‌های MRI با شدت 5/1 تسلا، میزان میدان‌های مغناطیسی ایستا در نزدیکی دهانه دستگاه تا ۳۵۱ میلی‌تسلا (mT) افزایش یافت که این میزان برای افراد دارای ایمپلنت خطرناک ارزیابی شد.
* تجاوز از حدود مجاز:

- مقدار 5/0 mT که حد مجاز برای اختلال در عملکرد ایمپلنت‌های فعال است، در تمامی نقاط اتاق حفاظتی تجاوز شد.

- مقدار ۳ mT برای خطر جذب و پرتاب اجسام فرومغناطیسی در نزدیکی دهانه دستگاه نیز فراتر از حد مجاز ثبت شد[8].

* توصیه‌ها: این مطالعه به پرسنل پزشکی توصیه کرد که:

- از حرکت سریع در میدان‌های ناهمگن اجتناب کنند.

- حضور خود را در مناطق نزدیک به دستگاه به حداقل برسانند.

3-2. مطالعات مرتبط در زمینه سلامت پرسنل

3-2-1. نتایج مطالعات

مطالعات مختلف به بررسی اثرات مواجهه پرسنل MRI با میدان‌های مغناطیسی پرداخته‌اند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر است:

مطالعه کرومهوت[[5]](#footnote-5) و همکاران: این مطالعه نشان داد که مواجهه طولانی‌مدت با میدان‌های مغناطیسی ایستا در محیط‌های MRI می‌تواند منجر به افزایش فشار خون در کارکنان شود. این اثر به‌ویژه در کارکنانی که به‌طور مداوم در معرض میدان‌های 5/1 تسلا یا بالاتر قرار دارند، مشهودتر بود [6].

مطالعه شینبان[[6]](#footnote-6) و همکاران: این پژوهش اثرات عصبی و شناختی میدان‌های مغناطیسی را بررسی کرد و نشان داد که مواجهه مداوم می‌تواند باعث اختلال تمرکز، خستگی مفرط و اختلالات بینایی-فضایی در کارکنان MRI شود [9].

3-2-2. اقدام‌های حفاظتی پیشنهادشده

با توجه به خطرات اشاره‌شده، اقدام‌های حفاظتی زیر برای پرسنل MRI پیشنهاد شده است:

1. استفاده از تجهیزات ایمنی:

* استفاده از پوشش‌های محافظ برای کاهش اثرات میدان‌های گرادیانی.
* استفاده از تجهیزات هشداردهنده برای اجسام فرومغناطیسی.

1. کاهش زمان حضور در اتاق MRI:

* به حداقل رساندن مدت‌زمان حضور پرسنل در مناطق نزدیک به دستگاه MRI
* تنظیم شیفت‌های کاری کوتاه‌تر برای کارکنانی که به‌طور مداوم در معرض میدان‌های مغناطیسی قرار دارند.

1. ارزیابی سلامت دوره‌ای برای پرسنل:

* انجام معاینات پزشکی منظم برای شناسایی زودهنگام علائم ناشی از مواجهه.
* بررسی سلامت کارکنان با توجه به فشار خون، عملکرد عصبی و علائم حسی.

**جدول ۱: مقایسه میدان‌های مغناطیسی ثبت‌شده در اتاق MRI با مقادیر مجاز**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **پارامتر** | **مقدار ثبت‌شده** | **حد مجاز** | **مخاطرات احتمالی** |
| میدان ایستا (دهانه دستگاه) | ۳۵۱ mT | ۳ mT | خطر پرتاب اجسام و تداخل ایمپلنت‌ها |
| میدان ایستا (نقاط دورتر) | ۵۰–۲۰۰ mT | 5/0 mT | اختلال عملکرد ایمپلنت‌ها |
| میدان متغیر گرادیانی | ۵۰–۳۰۰ μT | مطابق استاندارد | القای جریان و تحریک عصبی |

**۴. راهکارها و پروتکل‌های ایمنی**

به دلیل خطرات بالقوه میدان‌های مغناطیسی در محیط‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) برای بیماران و پرسنل، تدوین و اجرای پروتکل‌های ایمنی دقیق امری ضروری است. این راهکارها با هدف کاهش ریسک و افزایش ایمنی بیمار و پرسنل طراحی شده‌اند. در ادامه، راهکارهای مرتبط به‌صورت تفکیک‌شده برای بیماران و پرسنل ارائه شده است.

4-1. راهکارهای ایمنی برای بیماران

4-1-1. رعایت پروتکل‌های بین‌المللی مانند دستورالعمل Heart Rhythm Society

* دستورالعمل‌های Heart Rhythm Society (HRS) و انجمن بین‌المللی تصویربرداری قلبی بر رعایت اصول ایمنی در MRI برای بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی (CIED) تأکید دارند.
* طبق این دستورالعمل‌ها، باید پیش از MRI، نوع دستگاه MRI- (مشروط یا غیرمشروط) به‌دقت بررسی و تأیید شود[7].

4-1-2. تنظیمات دقیق دستگاه CIED قبل از MRI

* غیرفعال کردن حالت‌های حساس مانند "حالت تشخیص شوک" در دفیبریلاتورها (ICD)
* تغییر به حالت‌های غیرحساس مانند حالت VOO یا DOO در پیس‌میکرها برای جلوگیری از تداخلات ناشی از میدان‌های گرادیانی [1]
* استفاده از تجهیزات مدرن که از لیدهای مقاوم به حرارت و مواد غیرفرومغناطیس ساخته شده‌اند.

4-1-3. نظارت پزشک متخصص حین انجام MRI

* حضور متخصص الکتروفیزیولوژی و کاردیولوژی برای نظارت بر عملکرد دستگاه و وضعیت بیمار در طول MRI ضروری است [5].
* نظارت دقیق شامل:

- ارزیابی عملکرد دستگاه CIED قبل و بعد از MRI

- مانیتورینگ ضربان قلب و علائم حیاتی بیمار حین تصویربرداری

- مداخله فوری در صورت بروز هرگونه تغییر غیرمنتظره در عملکرد دستگاه

**جدول 2: اقدامات ایمنی پیشنهادی برای بیماران دارای CIED در MRI**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **مرحله** | **اقدام ایمنی** | **مسئول نظارت** |
| پیش از MRI | بررسی نوع دستگاه MRI-(مشروط یا غیرمشروط) | متخصص قلب و تکنسین MRI |
| پیش از MRI | غیرفعال‌سازی تنظیمات حساس دستگاه و تنظیمات ایمن | متخصص الکتروفیزیولوژی |
| حین MRI | نظارت مداوم بر علائم حیاتی و عملکرد دستگاه | پزشک متخصص و تکنسین |
| پس از MRI | بررسی مجدد عملکرد دستگاه و رفع هرگونه تغییر احتمالی | متخصص قلب |

4-2. راهکارهای ایمنی برای پرسنل پزشکی

4-2-1. محدود کردن زمان حضور در میدان‌های مغناطیسی قوی

* زمان حضور پرسنل در اتاق MRI باید به حداقل ممکن برسد. طبق استانداردهای ICNIRP، کارکنان نباید به‌صورت مداوم در نزدیکی دهانه دستگاه MRI که میدان‌های قوی تولید می‌کند، قرار بگیرند [8].
* استفاده از زمان‌بندی شیفت‌های کاری کوتاه‌تر برای کارکنانی که به‌طور مداوم در معرض میدان‌های MRI هستند، توصیه می‌شود [5].

4-2-2. حرکت آهسته در اتاق‌های MRI

* حرکت سریع در میدان‌های مغناطیسی ایستا باعث القای جریان‌های الکتریکی در بدن می‌شود که منجر به علائمی مانند سرگیجه، تهوع و سردرد می‌شود. طبق مطالعه اسرائیل و همکاران (۲۰۲۱)، حرکت آهسته و کنترل‌شده می‌تواند از بروز این علائم جلوگیری کند [2].

4-2-3. ممنوعیت ورود افراد دارای ایمپلنت‌های حساس

* پرسنل یا افرادی که دارای ایمپلنت‌های فعال مانند پیس‌میکرها، پمپ‌های انسولین یا ایمپلنت‌های حلزون گوش هستند، نباید وارد اتاق MRI شوند.
* نصب علائم هشداردهنده و سیستم‌های هشداردهی فرومغناطیسی در ورودی اتاق MRI ضروری است [6].

4-2-4. آموزش و آگاهی‌رسانی مداوم برای پرسنل پزشکی

* برگزاری دوره‌های آموزشی منظم در مورد:

- نحوه عملکرد MRI و خطرات میدان‌های مغناطیسی

- روش‌های کاهش مواجهه و استفاده از تجهیزات ایمنی

- شناسایی علائم اولیه ناشی از مواجهه مانند سرگیجه و خستگی مفرط [3].

* تدوین پروتکل‌های اضطراری برای مواجهه با حوادث غیرمنتظره مانند پرتاب اجسام فرومغناطیسی در میدان‌های قوی.

**جدول 3: راهکارهای ایمنی برای پرسنل پزشکی در محیط MRI**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **اقدام حفاظتی** | **توضیحات** | **مرجع توصیه‌کننده** |
| محدودیت زمانی حضور | به حداقل رساندن مدت زمان حضور در میدان‌های قوی | ICNIRP [2] |
| حرکت آهسته | جلوگیری از حرکت سریع در میدان‌های ناهمگن برای کاهش القای جریان در بدن | Israel et al. [5] |
| ممنوعیت برای افراد دارای ایمپلنت | نصب علائم هشداردهنده و استفاده از سیستم‌های هشدار فرومغناطیسی | ICNIRP, IEC [4] |
| آموزش مداوم | برگزاری دوره‌های آموزشی و تدوین پروتکل‌های اضطراری | Shinbane et al. [9] |

اجرای راهکارهای ایمنی دقیق برای بیماران و پرسنل در محیط‌های MRI از اهمیت بالایی برخوردار است. پروتکل‌های بین‌المللی مانند Heart Rhythm Society وICNIRP راهکارهایی کارآمد برای کاهش خطرات مرتبط با میدان‌های مغناطیسی ارائه داده‌اند. درعین‌حال، آموزش مستمر و آگاهی‌بخشی به پرسنل پزشکی در کنار نظارت دقیق بر وضعیت بیماران، می‌تواند میزان مواجهه و بروز عوارض را به حداقل برساند.

**5. بحث و تحلیل نتایج**

5-1. تحلیل یافته‌های دو مقاله اصلی و مطالعات تکمیلی

بررسی دو مقاله اصلی شامل مطالعه میناسکیان و همکاران و اسرائیل و همکاران در کنار مطالعات تکمیلی نشان می‌دهد که ایمنی بیماران و پرسنل در محیط‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) به عوامل متعددی از جمله نوع دستگاه کاشتنی قلبی (CIED)، قدرت میدان مغناطیسی و مواجهه مداوم پرسنل بستگی دارد.

یافته‌های میناسکیان و همکاران: مطالعه میناسکیان بر ایمنی بیماران دارای دستگاه‌های هیبریدی و غیرهیبریدی هنگام انجام MRI متمرکز شد. این مطالعه نشان داد که تفاوت معناداری بین دو گروه از نظر بروز عوارض جانبی مانند آریتمی، تغییرات حساسیت ولتاژ و خرابی عملکرد دستگاه وجود ندارد [7]. این نتایج نشان‌دهنده امکان ایمنی نسبی MRI در بیماران دارای CIED حتی در موارد دستگاه‌های غیرمشروط است، مشروط بر اینکه نظارت دقیق و پروتکل‌های ایمنی اجرا شوند.

یافته‌های اسرائیل و همکاران (۲۰۲۱): مطالعه اسرائیل بر اثرات میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر بر پرسنل MRI تأکید داشت. یافته‌ها نشان داد که میدان‌های قوی در نزدیکی دهانه دستگاه می‌توانند از حدود مجاز توصیه‌شده برای افراد دارای ایمپلنت‌ها تجاوز کنند و علائمی مانند سرگیجه، تهوع و اختلال تمرکز ایجاد نمایند [1]. این نتایج ضرورت کاهش زمان مواجهه و حرکت آهسته در میدان‌های ناهمگن را به‌عنوان راهکارهای عملی برای پرسنل مطرح کرد.

5-2. بررسی نقاط قوت و محدودیت‌های مطالعات گذشته

**5-2-1.** نقاطقوت

مطالعه جامع بر گروه‌های مختلف بیماران: مطالعه میناسکیان با در نظر گرفتن دستگاه‌های هیبریدی و غیرهیبریدی توانست به نگرانی‌های موجود در خصوص تفاوت عملکرد و ایمنی دستگاه‌ها در MRI پاسخ دهد.

بررسی دقیق میدان‌های مغناطیسی و اثرات آن بر پرسنل: مطالعه اسرائیل با ارائه اندازه‌گیری‌های کمی و بررسی دقیق میدان‌های ایستا و متغیر، به چالش‌های مرتبط با سلامت پرسنل توجه ویژه‌ای داشت.

**5-2-2.** محدودیت‌ها

1. تعداد محدود نمونه‌ها در مطالعات:

در مطالعه میناسکیان تعداد بیماران دارای دستگاه‌های هیبریدی (۲۴ نفر) بسیار کمتر از گروه غیرهیبریدی بود، که ممکن است در تعمیم نتایج تأثیرگذار باشد [7].

1. محدودیت قدرت میدان مغناطیسی (5/1 تسلا):

اکثر مطالعات گذشته بر MRI با قدرت 5/1 تسلا متمرکز بوده‌اند و داده‌های کافی برای MRI با قدرت‌های بالاتر (۳ تسلا و بالاتر) وجود ندارد [5].

1. عدم بررسی طولانی‌مدت اثرات:

مطالعات مربوط به پرسنل بیشتر بر اثرات کوتاه‌مدت متمرکز بوده و اثرات طولانی‌مدت مواجهه مداوم با میدان‌های مغناطیسی بررسی نشده است [8].

5-3. تأکید بر نیاز به مطالعات گسترده‌تر در دستگاه‌های MRI با قدرت بالا ۳T و بالاتر

با پیشرفت فناوری، استفاده از دستگاه‌های MRI با قدرت بالا مانند ۳ تسلا (۳T) و حتی ۷ تسلا در مراکز تحقیقاتی و پزشکی در حال افزایش است. این دستگاه‌ها میدان‌های مغناطیسی قوی‌تری تولید می‌کنند که می‌توانند اثرات متفاوت و بالقوه خطرناک‌تری بر بیماران و پرسنل داشته باشند.

1. خطرات احتمالی در دستگاه‌های ۳T و بالاتر:

* افزایش دمای لیدهای دستگاه‌های کاشتنی به‌دلیل شدت بالاتر امواج فرکانس رادیویی (RF)
* افزایش شدت القای جریان‌های الکتریکی در بافت‌ها و لیدهای فلزی
* تشدید علائم حسی مانند سرگیجه و فوسفن به‌دلیل میدان‌های ایستا و گرادیانی قوی‌تر [8]

1. نیاز به مطالعات تکمیلی:

* مطالعات آینده باید ایمنی دستگاه‌های CIED در میدان‌های ۳T و ۷T را بررسی کنند.
* تأثیرات طولانی‌مدت میدان‌های مغناطیسی قوی بر سلامت پرسنل MRI باید به‌طور سیستماتیک ارزیابی شود.

**جدول 4: مقایسه ویژگی‌ها و چالش‌های دستگاه‌های MRI با قدرت‌های مختلف**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ویژگی‌ها** | **MRI با قدرت ۱.۵ تسلا** | **MRI با قدرت ۳ تسلا** | **MRI با قدرت ۷ تسلا** |
| شدت میدان مغناطیسی | متوسط | بالا | بسیار بالا |
| خطر افزایش دما در لیدها | کم | متوسط | زیاد |
| القای جریان‌های الکتریکی | محدود | متوسط | بالا |
| علائم حسی (سرگیجه و فوسفن) | کمتر گزارش شده | افزایش یافته | به‌شدت افزایش یافته |
| میزان داده‌های مطالعاتی | زیاد | متوسط | بسیار محدود |

تحلیل نتایج نشان می‌دهد که با وجود ایمنی نسبی MRI برای بیماران دارای CIED و پرسنل، هنوز چالش‌هایی در مواجهه با میدان‌های مغناطیسی قوی وجود دارد. مطالعات گذشته محدودیت‌هایی ازجمله تعداد کم نمونه‌ها، عدم بررسی اثرات طولانی‌مدت و تمرکز بر دستگاه‌های 5/1 تسلا دارند. بنابراین، نیاز به تحقیقات گسترده‌تر برای ارزیابی ایمنی در دستگاه‌های MRI با قدرت بالا (۳T و بالاتر) ضروری است. نتایج این مطالعات می‌تواند به تدوین پروتکل‌های ایمنی به‌روزتر و جامع‌تر برای بیماران و پرسنل کمک کند.

**6. نتیجه‌گیری**

تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های تشخیصی در پزشکی مدرن، نقش کلیدی در تشخیص دقیق بیماری‌ها ایفا می‌کند. با این وجود، انجام MRI در بیماران دارای دستگاه‌های کاشتنی قلبی (CIED) و مواجهه مداوم پرسنل پزشکی با میدان‌های مغناطیسی قوی، چالش‌های جدی در زمینه ایمنی بیمار و پرسنل ایجاد کرده است.

6-1. ایمنی بیماران دارای CIED

مطالعات صورت‌گرفته، از جمله مطالعه میناسکیان و همکاران نشان می‌دهد که انجام MRI در بیماران دارای دستگاه‌های هیبریدی و غیرهیبریدی با نظارت دقیق و رعایت پروتکل‌های ایمنی امکان‌پذیر و نسبتاً ایمن است. یافته‌های این مطالعات حاکی از آن است که:

* خطرات ناشی از جابجایی دستگاه، افزایش دما و القای جریان‌های الکتریکی در صورت استفاده از دستگاه‌های MRI مشروط و تغییر تنظیمات مناسب به حداقل می‌رسد.
* نظارت پزشک متخصص و بررسی عملکرد دستگاه قبل و بعد از MRI برای اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه ضروری است [7].

6-2. ایمنی پرسنل پزشکی در محیط‌های MRI

مطالعاتی مانند اسرائیل و همکاران (۲۰۲۱) و پژوهش‌های مرتبط با مواجهه طولانی‌مدت نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی ایستا و متغیر می‌توانند خطرات زیر را برای پرسنل به همراه داشته باشند:

* بروز علائم حسی مانند سرگیجه، تهوع و سردرد ناشی از حرکت سریع در میدان‌های ناهمگن
* القای جریان‌های الکتریکی در بدن که می‌تواند باعث تحریک عضلات و اعصاب شود
* مخاطرات جدی برای پرسنل دارای ایمپلنت‌های حساس و زنان باردار

نیاز به مطالعات بیشتر

با توجه به افزایش استفاده از دستگاه‌های MRI با قدرت‌های بالاتر مانند ۳ تسلا و ۷ تسلا، مطالعات بیشتری برای بررسی اثرات این میدان‌های قوی بر بیماران و پرسنل ضروری است. به‌ویژه:

* ارزیابی اثرات طولانی‌مدت مواجهه پرسنل با میدان‌های مغناطیسی قوی
* بررسی عملکرد دستگاه‌های CIED در شرایط میدان‌های بالاتر

توسعه تکنولوژی‌های ایمن‌تر برای بیماران دارای ایمپلنت‌های حساس

**7. مراجع**

1. Cohen, J.D., Costa, H.S., Russo, R.J., Determining the risks of magnetic resonance imaging at 1.5 tesla for patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. Am J Cardiol, Vol. 110, No. 11, 2012, pp. 1631-1636.
2. ICNIRP Guidelines, Limits of exposure to static magnetic fields, 2009.
3. ICNIRP Guidelines, Exposure to time-varying magnetic fields, 2014.
4. IEC 60601-2-33, Medical electrical equipment for MRI safety, 2010.
5. Ahmed, F.Z., Morris, G.M., Allen, S., et al., Not all pacemakers are created equal: MRI conditional pacemaker and lead technology. J Cardiovasc Electrophysiol, Vol. 24, No. 9, 2013, pp. 1059-1065.
6. Kromhout, H. et al., ICNIRP Statement on diagnostic devices using non-ionizing radiation: Existing regulations and potential health risks, Health Phys., Vol. 113, No. 2, 2017, pp. 149- 150.
7. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, ACGIH, Cincinnati (OH), USA, 2008.
8. Russo, R.J., Determining the risks of clinically indicated nonthoracic magnetic resonance imaging at 1.5 T for patients with pacemakers and implantable cardioverter–defibrillators: rationale and design of the MagnaSafe Registry.Am Heart J, Vol. 165, No. 3, 2013, pp. 266-272.
9. Shinbane JS, Colletti PM, Shellock FG. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacemakers: era of “MR Conditional” designs. J Cardiovasc Magn Res.

1. Minaskeian [↑](#footnote-ref-1)
2. Israel [↑](#footnote-ref-2)
3. Cohen [↑](#footnote-ref-3)
4. Russo [↑](#footnote-ref-4)
5. Kromhout [↑](#footnote-ref-5)
6. Shinbane [↑](#footnote-ref-6)