

MRIミトン使用による熱傷事例報告書

熱傷事例発生状況確認と対策について

2024年12月12日

メディカル・エイド株式会社

目次	1
1. 熱傷事例発生状況	2
1-1. MRI プロテクターミトンの使用状況	
1-2. 患者の熱傷状況	
2. 熱傷事例発生原因の推察	4
2-1. 高周波ループと誘導電流	
2-2. 今回の熱傷事例の推察	
2-3. 高周波電流ループの電流量による熱傷の影響	
2-4. 高周波電流の特性と今回の事例における熱傷発生の原因	
3. 各種理論解説	6
3-1. 高周波電流ループ形成とジュール熱発生	
3-2. MG ネット(銀繊維)とRFパルス	
3-3. MRI ミトンの使用における注意事項と熱傷リスク	
4. MRIミトンの熱傷事例のまとめ	10
4-1. 熱傷事例の発生背景	
4-2. 対策と予防策	
4-3. 病院実施された対策方法	
4-3. まとめ	

1. 熱傷事例発生状況

1-1. MRI プロテクターミトンの使用状況

2024年11月13日午前11時頃、広島大学病院画像診断部門MR検査室にて、ネイルアートを装着した患者様に対してMRIプロテクターミトン(以下、MRIミトン)を使用し、以下の条件で撮影を実施いたしました。



- **フィリップス社製 MR Ingenia Elition 3.0T を使用**

3.0TタイプのMRIは128MHzのRF波を照射し、1.5T(64MHz)のMRIと比較して周波数および出力が高いため、発熱のリスクがより高いとされています。



- **撮影部位とMRIミトンの位置**

腰椎撮影時、患者様は両手を下げた状態で、MRIミトンがRF照射部位に配置されていました。撮像部である腰椎とMRIミトンの位置が隣接しており、ガントリー内径とミトンの距離は約5~10cm程度と近接していたため、MRIから照射されるRF波がMRIミトンに強く照射されていた。

- **着用方法**

MRIミトンの袖口部分は、検査着や手袋の上からではなく、直接肌に装着されていました。

- **撮影時間**

撮像時間は合計30分間。

1-2. 患者の熱傷状況

● 熱傷箇所

写真1に示されている通り、熱傷はMRIミトンの袖口部分が皮膚に直接密着していた箇所(腕を置いていた下部)で確認されました。

【写真1】MRIミトンの紐で締め付けられていた袖口部分下部に熱傷が発現した



● 症状の発生部位

締め付けによる圧迫に加え、腕の自重でさらに圧がかかっていた袖口部分にあたる両腕の同じ位置に発赤が確認されました。

● 患者様の申告

撮像中、患者様は異常を知らせるためのバルーンスイッチを使用しませんでした。検査後に「手が熱くなった」と申告されました。MRIミトンが密着していた袖口部分の裏地にある2mmの導通試験用ホールを通じて導電材が皮膚に接触し、誘導電流が患者様の腕に流れた結果、ジュール熱により低温熱傷が発生したと推察されます。

● 病院の対応

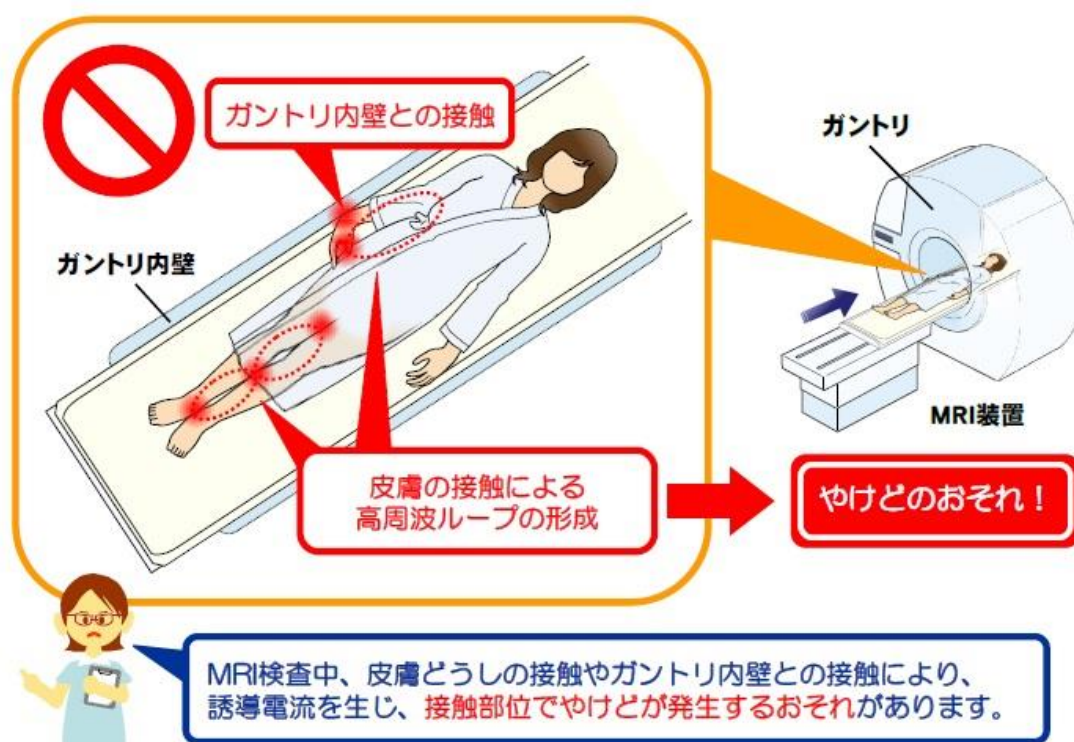
患者様は整形外科で洗浄および軟膏治療などの保存的治療を受け、治療費は病院側が全額負担しました。治療後、患者様からのクレームはありませんでした。また、弊社から治療費負担の申し出をいたしました。病院側にて辞退されました。

2. 熱傷事例発生原因の推察

2-1. 高周波ループと誘導電流

2011年9月、PMDA(医薬品医療機器総合機構)より、MRI検査時の高周波ループ形成による熱傷リスクについて注意喚起が発表されています。この注意喚起は、患者の安全を確保し、熱傷事故を防ぐための重要な情報として医療機関や関係者に周知されています。

【熱傷事例:PMDA 医療安全情報より】



ループが形成されると、高周波磁界がそのループを通過する際に起電力(高周波電流)が発生します。この高周波電流は、通過する磁界の量が多いほど大きくなります。その結果、誘導電流が抵抗の大きい皮膚を通過する際にジュール熱が発生し、熱傷が生じる可能性があります。

2-2. 今回の熱傷事例の推察

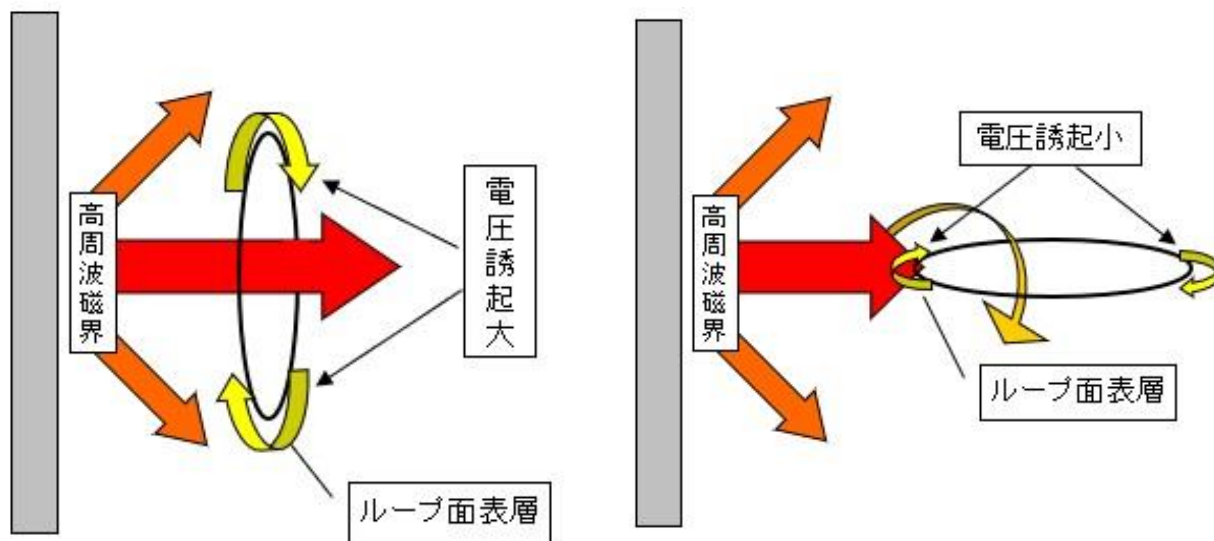
MRI装置のRF送信は、マグネット内部に配置されたバードケージ状のコイルから360度均一に送信され、最大出力は21.0kWに達します。この高出力のRF波がループ内に高周波電流を誘発したと推察されます。

腰椎撮影時、袖口部分のループにMRI装置から照射された128MHzのRFパルスの高周波磁界が通過し、これによりMRIミトンの銀繊維(以下、MGネット)に高周波電流が流れた可能性があります。この現象が熱傷発生の一因と考えられます。

2-3 高周波電流ループの電流量による熱傷の影響

弊社の MRI プロテクターは、RF パルスがループ面に正対しないよう設計されています。今回のケースでも、袖口部分のループ面は浅い角度で配置されており、通過する高周波磁界の量は比較的少なかったと考えられます。

その結果、大きな高周波電流は発生せず、もし大きな電流が流れていた場合に起こり得る瞬時の熱傷は回避されました。今回は発赤程度に留まったのは、この設計の効果によるものと推察されます。



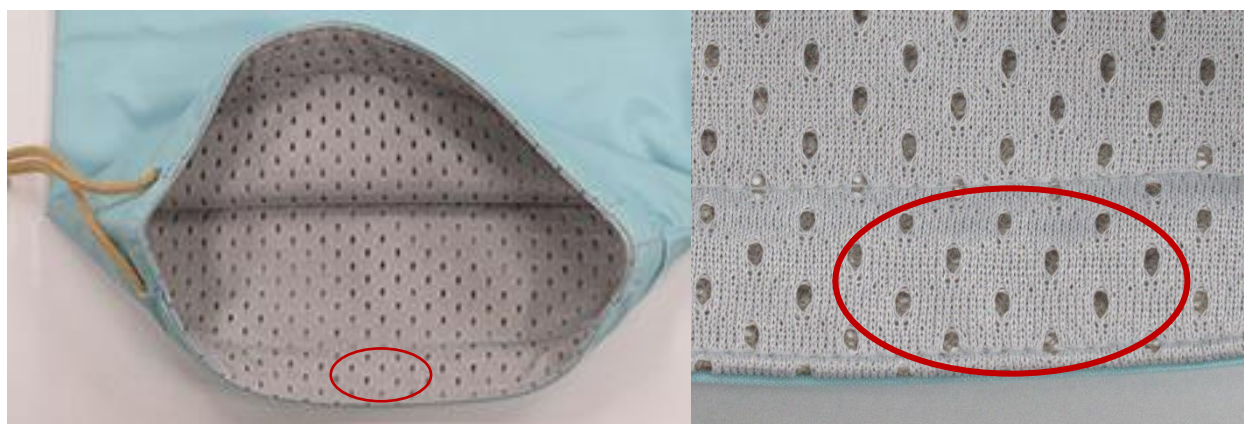
2-4. 高周波電流の特性と今回の事例における熱傷発生の原因

高周波電流はループの形成により発生し、抵抗値には依存しません。そのため、抵抗が大きい箇所ではジュール熱が発生しやすくなります。通常、MRI ミトンの MG ネット(銀繊維)は縫製によりしっかりと電氣的に接続されており、MG ネット自体の抵抗は約 $1\sim 2\Omega$ と非常に小さいため、電流が流れてもジュール熱の発生はほとんどありません。

しかし、以下の要因が重なった結果、皮膚に微弱な高周波電流が流れ、熱傷事例が発生しました。

● 袖口部分の皮膚への直接接触

MRI ミトンの裏地にある 2mm のホール(通気性と導電性のチェック用)を通して MG ネットが皮膚と接触し、導通が発生した。



- **皮膚の高い抵抗**

MG ネットの低い抵抗値に対して皮膚は抵抗値が非常に高いため、この抵抗差によって MG ネットを流れる高周波電流が皮膚を通過する際にジュール熱が発生しました。

- **長時間の照射**

腰椎撮影中に RF パルスが約 30 分間照射され、微弱な熱が蓄積された。

以上の要因が複合的に影響し、皮膚表面に発赤が見られる熱傷が発生したと推察されます。

3. 各種理論解説

3-1. 高周波電流ループ形成とジュール熱発生

高周波電流ループが形成され、ジュール熱が発生するメカニズムについて解説します。

- **RF パルスの照射とエネルギー吸収**

MRI 装置は、人体内部を撮像するために RF パルスを照射します。この RF パルスのエネルギーは人体に吸収され、熱エネルギーに変換されます。MRI 装置は SAR (比吸収率) の規定範囲内で動作しており、患者に安全性が確保されています。

- **高周波電流ループの形成**

RF パルスが照射されると、人体や機器に存在するループ構造が高周波磁界を受けます。高周波磁界がループを通過する際、ループ内に誘導電流が発生します。ループ面が高周波磁界の垂直方向に対して広いほど、より多くの高周波電流がループ表面に流れ、この現象を高周波電流ループと呼びます。

- **ジュール熱の発生**

ループを流れる高周波電流は、材質の抵抗値に比例してジュール熱が発生します。抵抗が高い部分では熱が集中しやすく、例えば皮膚のように抵抗値が高い箇所では、特にジュール熱が発生しやすくなります。このジュール熱が過剰になると、熱傷の原因となります。

ジュール熱の公式 (ジュールの法則)

$$Q = V \times I \times T = I^2 \times R \times T = V^2 / R \times T$$

(Q[J] : ジュール熱、V[V] : 電圧、I[A] : 電流、R[Ω] : 抵抗、T : 時間)

➤ 一様の磁界中では、抵抗に依存せずに電流が流れます。

$I = 2rH$ (半径 r の円の中心に磁界 H が集中した時、その円周を流れる電流を I とする)

➤ 遠方界条件で送信出力(W)の送信源から 1m の地点の電界強度は

$E = \sqrt{30(W)}/r$ となり、磁界 H に換算 ($H = E/120\pi$) すると、電界、磁界、電流は以下ようになります。

1.5T RF モジュール 21.0kW(最大値) : E=794V/m、H=2.1A/m、I=4.2A

3.0T RF モジュール 37.5kW(最大値) : E=1061V/m、H=2.8A/m、I=5.6A

- この磁界が半径 1(m)の円の中心に集中した時、円周を流れる電流 I を上式から計算し 1 秒間に発生するジュール熱 Q は次の式“ $Q = I^2 \times R \times T$ ”で求められ、ここで、R は抵抗、T は時間(秒)です。計算結果は以下の通りです。

1.5T RF モジュール : 17Ω の抵抗には 300J、2Ω の抵抗には 35J

3.0T RF モジュール : 17Ω の抵抗には 530J、2Ω の抵抗には 63J

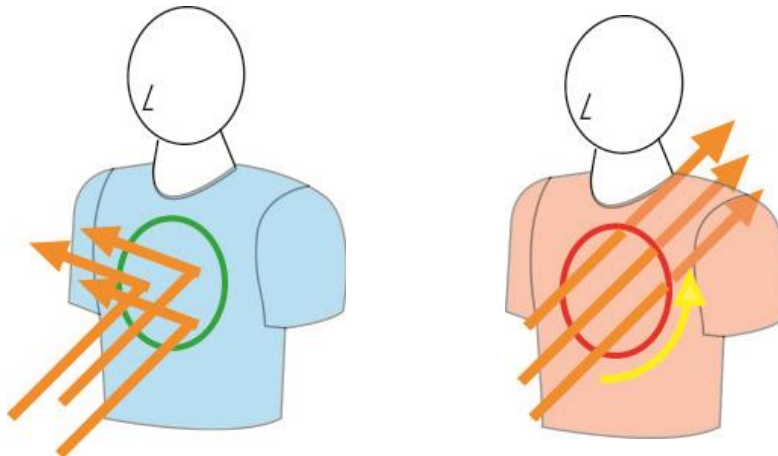
これにより、抵抗が大きいほどジュール熱の発熱量が増加することが分かります。

- 具体例として人体で両足がループを形成した場合、足の表面に高周波電流が流れます。この電流は足の内部には流れず、皮膚表面で発生するため、抵抗の高い箇所(くるぶしや膝の内側など皮膚同士が接触している部分)でジュール熱が集中し、大きな熱傷(高周波電流ループ熱傷)を引き起こす可能性があります。

高周波電流ループによる熱傷を防ぐためには、ループの形成を防ぎ、高周波電流の経路を遮断する対策が不可欠です。

3-2. MG ネット(銀繊維)とRFパルス

RF パルスが MG ネットに照射されると、MG ネット表面に渦電流が発生します。この渦電流は反対方向に RF パルスを照射することで、エネルギーを反射します。この現象は一般に「反射」と呼ばれます。MG ネットの抵抗値は非常に小さく(約 1Ω)、RF パルスの大部分のエネルギーを効率的に反射するため、MG ネット自体に流れる電流は小さく抑えられます。



- **ジュール熱の発生の抑制**

RF パルスの照射が続いても、MG ネットに流れる電流の大部分は反射により外部へ放射されるため、焦げや発火を引き起こすほどのジュール熱は発生しません。

- **ループ形成時のリスク**

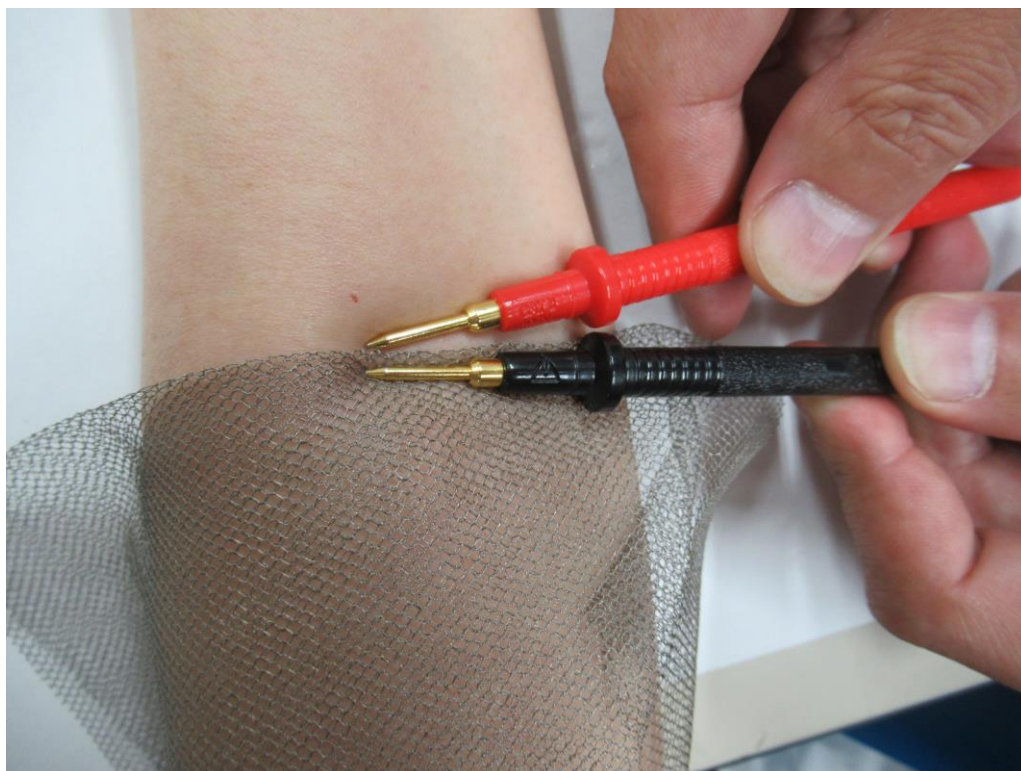
MG ネットが面状にループを形成し、そのループを高周波磁界が通過した場合、ルー

プの面積に比例して MG ネット表面に高周波電流が流れることがあります。この場合でも、MG ネット自体の抵抗値が小さい(約 1Ω) 場合は大きな発熱は発生しません。

- **皮膚接触と高抵抗値による発熱**

MG ネットと皮膚が接触した場合、今回の事例では裏地にあるホールを通じて皮膚が直接接触して問題が生じました。皮膚の抵抗値は非常に高く(約 $300k\Omega$ 、写真 2 参照)、この高抵抗部分に高周波電流が流れることで、ジュール熱が集中して発生します。この熱により、熱傷が生じたと考えられます。

【写真 2】 MG ネットと皮膚の間の抵抗測定値は約 $300K\omega$



- **通常の条件下での安全性**

高周波電流が流れても、MG ネット自体の抵抗値は非常に小さく(約 1Ω)、この範囲内では大きな発熱が起きることはありません。しかし、皮膚との接触では抵抗値が非常に高いため、ジュール熱が顕著に発生する可能性があります。

- **MRI プロテクターの設計特性**

MRI プロテクターは、MG ネットを防水性のある 66 ナイロン製の表地とポリエステル製の裏地で完全に覆う設計となっています。この絶縁構造により、通常は MG ネットから人体へ高周波電流が流れることはありません。また、MRI プロテクターは検査着の上から着用することが推奨されており、通常の使用では裏地のホールを通じて電流が皮膚に流れるリスクはありません。

3-3. MRI ミトンの使用における注意事項と熱傷リスク

- **高周波電流の発生と誘導電流が流れた経緯**

今回の熱傷事例では、形成されたループによって高周波電流が発生し、MG ネットに電流が流れた後、裏地のホールを通じて皮膚に誘導電流が伝わったと推察されます。

- **渦電流の発生と反射**

MRI ミトンに RF パルスが照射されると渦電流が発生しますが、大部分は反射されます。このため、MRI ミトンで覆われた人体には RF パルスが 100 分の 1 以下に減衰され、RF パルスに対して垂直方向のループが形成された場合でも、流れる電流が小さく抑えられます。その結果、ジュール熱による熱傷のリスクは大幅に軽減されます。

- **絶縁素材の役割**

MRI ミトンは表地と裏地に絶縁素材を使用しており、通電を抑える構造です。ただし、裏地には通気性や導電性チェックのための 2mm のホールが開いています。このため、紐で締め付けた袖口を素肌に密着させないなど、適切な使用方法が重要です。

- **使用時の注意点**

MRI ミトン使用時には紐で締め付けた袖口部分が皮膚に触れないようにすること、特に裏地のホールから皮膚が MG ネットに接触しないよう注意が必要です。

- **対策方法**

- 検査着の袖の上からミトンの袖口を紐で縛り、皮膚との接触を防ぐ。
- 検査着の袖が短い場合は、チューブ包帯(ストックネット)やサポーターなどを腕に装着して皮膚との接触を防ぐ。



- **補足**

- 高周波電流はループの表層に流れるため、袖口以外の部分でホールを通じて接触した場合でもジュール熱が発生するおそれはほとんどありません。
- 必須ではありませんが、ミトン装着時に使い捨て不織布やゴム手袋を併用することで、素肌の接触リスクを回避し、衛生面の向上にもつながります。

MRI ミトン は RF パルス を効果的に減衰し、熱傷リスクを低減するプロテクターです。ただし、適切な装着方法を徹底することが不可欠です。正しい使用法を遵守することで安全性を最大限に確保できます。

MRIプロテクター各種素材の抵抗値は以下の通りです

MG ネット(銀繊維)	約 1~2 Ω
表地(PU)	絶縁
裏地(ポリエステル)	絶縁

4. MRIミトンの熱傷事例のまとめ

4-1. 熱傷事例の発生背景

MRI ミトン は過去 6 年間にわたり熱傷事例はありませんでしたが、今回の事例は以下の複合的な要因が重なった結果と考えられます。

- **長時間の RF 波照射**
腰椎撮影のため、MRI ミトンに約 30 分間 RF 波が照射された。
- **3T MRI 装置の使用**
3T タイプの MRI は 1.5T タイプに比べ出力と周波数が高いのでジュール熱がより大きく発生するので、熱傷リスクが高い
- **ループ形成**
袖口部分がループ状になり、高周波磁界の通過によって電流が発生。ただし、ループ面が小さく大きな電流は流れなかった。
- **紐の締め付けと皮膚接触**
紐で締め付けられた袖口が直接皮膚に密着し、裏地のホールを通じて MG ネット(銀繊維)から誘導電流が皮膚に流れた。
- **皮膚の高抵抗によるジュール熱の発生**
MG ネットと皮膚の抵抗値の差(約 300k Ω)が原因でジュール熱が発生。
- **低温熱傷の発現**
発熱は過大ではなかったものの、長時間の検査により低温熱傷が発生。

4-2. 対策と予防策

再発防止のため、以下の対策を提案します。

- **袖口部分の保護**
MRI 検査の際に紐で締め付ける袖口が皮膚に触れないよう、検査着やサポーター、チューブ包帯(ストッキネット)を使用する。
- **使用マニュアルの周知**
正しい装着方法を徹底し、使用マニュアルを改訂・配布する

- **設計改良**

袖口部分の裏地に絶縁素材を追加し、裏地のホールと皮膚の接触を防ぐ改良を実施する。

4-3. 病院で実施された対応方法

広島大学病院では、以下の使用手順を含む MRI ミトンの運用手順書を作成し、使用を継続しています。

- **検査フロー**

- ①問診にてネイルアートの確認
- ②患者への説明
- ③ネイルアートの危険性説明
- ④MRI ミトンの装着方法の説明
- ⑤検査中の患者を監視
- ⑥検査終了後の患者の観察と手とネイルの確認

- **検査手順**

- ①事前準備→検査着に更衣し金属探知機でチェック→MRI 室入室
- ②ポジショニング→ゴム手袋着用→チューブ包帯を手首に装着
- ③MRI ミトンの袖口が皮膚に触れないよう装着→バルーンスイッチを MRI ミトンに装着し異常時の対応を説明
- ④MRI ミトンを適切に配置 → 検査開始 → 検査終了後に装備品を外す
- ⑤検査後の患者の観察と手及びネイルの確認→MRI ミトンを専用袋に収納

4-4. まとめ

今回の熱傷事例は、複数の要因が重なった特殊なケースであり、裏地の 2mm のホールによる通電は弊社の想定外でした。しかし、正しい装着方法を徹底することで再発防止可能です。

さらに、今後の改良として、袖口部分に絶縁素材を採用することで、2mm のホールと皮膚が接触する可能性を完全に排除いたします。

MRI ミトンはネイルアートや指輪を外せない患者様にとって、安全かつ安心して MRI 検査を受けられる製品です。今後は注意喚起を強化し、製品改良を進めることで、より安全な検査環境を提供してまいります。

ご質問等がございましたら、以下までお問い合わせください。

メディカル・エイド株式会社

商品管理部

電話:0725-53-3270

メール:syohin_kanri@medical-aid.co.jp