

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**REALIZACIÓN DE UN PROTOCOLO DE SEDACIÓN INTRAVENOSA PARA  
ESTUDIOS DE IMAGEN EN ADULTOS EN EL CENTRO NACIONAL DE  
RESONANCIA MAGNÉTICA**

Trabajo final de investigación sometido a la consideración de la Comisión del  
Programa de Estudios de Posgrado en Anestesiología y Recuperación  
para optar al grado y título de Especialista en Anestesiología y Recuperación

NATALIA ALVARADO EUGARRIOS  
AUTORA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica  
2020

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a la memoria de mi abuelo Manuel Alvarado, apasionado por la lectura y las humanidades. Ha sido inspiración para continuar estudiando a pesar de la adversidad y mantener un constante crecimiento como médico y ser humano. A él le dedico esta meta alcanzada.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutora, lectores y profesores, por acompañarme y guiarme durante este proceso de formación. Seguidamente a mi familia; mi mamá, papá y hermana, quienes con su esfuerzo han permitido que culmine mis estudios de posgrado satisfactoriamente.

Agradezco también a mis compañeros, quienes en el camino se han vuelto parte de mi familia, su apoyo y amistad han hecho de este proceso de formación, una experiencia memorable.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Anestesiología y Recuperación de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Anestesiología y Recuperación

---

**Decano del Sistema de Estudios de Posgrado**



---

Dra. Mayra Vaca  
Tutor



---

Dr. Javier Sevilla  
Lector



---

Dra. Adriana Gamboa  
Lectora

**Maria Morera  
Gonzalez**

Firmado digitalmente por  
Maria Morera Gonzalez  
Fecha: 2020.10.27 14:06:17  
-06'00'

---

Dra. Marielos Morera Gonzalez

**Coordinadora del Programa de Posgrado en Anestesiología y Recuperación**



---

Natalia Alvarado Eugarríos  
Sustentante

# CARTA DE REVISIÓN

San José, 04 de setiembre de 2020

Señores  
Sistema de Estudios de Posgrado  
Posgrado de Anestesiología y Recuperación  
Universidad de Costa Rica

Estimados señores:

Por este medio, yo, Ana María Acosta Barrientos, mayor, soltera, filóloga, miembro de la Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL), carné nro. 100, vecina de San José, portadora de cédula de identidad nro. 1-1380-0827, hago constar que:

1. He revisado el trabajo final de investigación denominado **“Realización de un protocolo de sedación intravenosa para estudios de imagen en adultos en el centro nacional de resonancia magnética”** para optar al grado y título de Especialista en Anestesiología y Recuperación.
2. El proyecto de graduación es sustentado por la Dra. Natalia Alvarado Eugarríos, portadora de la cédula 1-1447-0667.
3. Revisé el texto en lo relativo a la ortografía y puntuación, riqueza, propiedad y precisión léxicas, adecuación morfosintáctica, construcción de los párrafos, uso de conectores y cohesión, así como lo correspondiente al formato de estilo y citación APA (6ta. edición), así como el Manual de Procedimientos de la Universidad.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad, se suscribe atentamente,

  
Ana María Acosta Barrientos  
**Filóloga/ Carné nro.100**

cc. Dra. Vaca  
cc. Archivo Personal

## Tabla de contenido

|   |      |
|---|------|
| Dedicatoria y agradecimientos .....   | ii   |
| Carta de aprobación.....  | iii  |
| Carta revisión por filóloga .....   | iv   |
| Resumen.....  | vii  |
| Índice de tablas.....   | viii |
| Índice de figuras .....   | viii |
| Licencia de publicación .....   | ix   |
| Capítulo I. Introductorio .....   | 1    |
| Justificación del tema.....   | 1    |
| Pregunta de investigación o hipótesis .....   | 2    |
| Objetivos específicos .....   | 2    |
| Metodología.....  | 3    |
| Capítulo II. Marco Teórico.....   | 4    |
| 2.1 Introducción.....   | 4    |
| 2.2 Estado actual de la sedación para resonancia magnética .....                    | 5    |
| 2.3 Tipificación del paciente que requiere sedación para resonancia magnética ..... | 8    |
| 2.3.1 Tipos de sedación .....   | 8    |
| 2.4 Claustrofobia.....  | 9    |
| 2.5 Autismo .....   | 11   |
| 2.6 Discapacidad intelectual .....  | 12   |
| 2.7 Demencia .....  | 13   |
| 2.9 Sedación fuera de quirófano .....   | 14   |
| 2.9.1 Implicaciones abordaje pacientes fuera de quirófano .....                     | 14   |
| 2.10.1 Diseño maquina resonancia magnética.....                                     | 15   |
| 2.10.3 Aspectos de seguridad .....  | 17   |
| 2.11 Problemas del campo magnético.....   | 17   |
| 2.11.1 Campo magnético estático .....   | 17   |
| 2.11. 2 Campo magnético variable dependiente del tiempo – campos de gradiente ....  | 20   |
| 2.11.3 Ruido .....  | 21   |
| 2.11.4 Calentamiento por radiofrecuencia.....                                       | 21   |
| 2. 11. 5 Escape de Helio .....  | 21   |
| 2. 12 Medios de contraste: Gadolinio .....  | 22   |

|  |    |
|--|----|
| 2. 13 Paciente obstétrica.....   | 22 |
| 2.14 Dispositivos médicos.....   | 24 |
| 2. 15 Manejo de riesgos .....  | 28 |
| Consideraciones para definir un protocolo sedación para resonancia magnética ..... | 29 |
| Manejo farmacológico .....   | 31 |
| 4 Manejo emergencia .....  | 38 |
| 5 Manejo posterior a la sedación .....   | 42 |
| Capítulo III. Discusión.....   | 44 |
| Recomendaciones .....  | 44 |
| Capítulo IV. Protocolo .....   | 47 |
| Consideraciones seguridad .....  | 47 |
| Riesgos .....  | 48 |
| Indicaciones para sedación.....  | 49 |
| Consideraciones específicas seguridad anestésica.....                              | 50 |
| Monitorización y equipo médico .....   | 53 |
| Problemas relacionados.....  | 54 |
| Cuidado post anestésico .....  | 55 |
| Manejo emergencias .....   | 55 |
| Propuesta de trabajo.....  | 56 |
| Capítulo V. Conclusiones.....  | 57 |
| Referencias bibliográficas .....   | 60 |

## RESUMEN

La resonancia magnética ha venido a tomar un papel preponderante en cuanto a estudios diagnósticos de rutina para diversas especialidades. Si bien es un estudio que brinda imágenes de alta calidad, este requiere que el paciente colabore con una posición específica por periodos de tiempo prolongados. Algunos pacientes, sobretodo adultos con claustrofobia, o con alguna discapacidad intelectual requerirán de sedación profunda para completar el estudio.

De ahí la importancia de la participación del anestesiólogo en la provisión de una sedación siguiendo estándares de calidad en la atención. La sedación en resonancia magnética presenta consideraciones especiales, lo que le imprimen mayor grado de dificultad. Corresponde a un área con restricciones inherentes al campo electromagnético, lo cual condiciona la monitorización y manejo de estos pacientes con equipo compatible con resonancia magnética.

Por lo anterior, es que se proponen lineamientos y recomendaciones, con la intención de homogenizar el manejo para estudios de resonancia magnética que requieran de sedación.

A partir de lo anterior se pretende establecer un protocolo de sedación para estudios de resonancia magnética en población adulta en el Centro Nacional de Resonancia Magnética. Para lo anterior, se realizará una revisión bibliográfica actualizada en revistas médicas indexadas, en las siguientes plataformas: Pubmed, ScienceDirect, ClinicalKey, y Scielo. Además de revisión de protocolos de manejo ya establecidos en otras instituciones respecto a sedación para resonancia magnética.

La particularidad propia del ambiente de resonancia magnética hace de la sedación en este recinto un procedimiento de sumo cuidado. A su vez, justamente por las potenciales complicaciones respiratorias y cardiovasculares, debe ser realizado por un anestesiólogo previamente entrenado en consideraciones de seguridad respecto a resonancia magnética. La propuesta de protocolo de este trabajo genera una guía de revisión rápida para el anestesiólogo que asista al Centro Nacional de Resonancia Magnética.

### **Índice de tablas**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Pacientes suspendidos. Periodo enero -junio, 2019 .....                         | 6  |
| Tabla 2. Pacientes que requirieron sedación Periodo enero-junio, 2019.....               | 6  |
| Tabla 3. Estudios de resonancia magnética con sedación Periodo enero-junio,<br>2019..... | 8  |
| Tabla 4. Terminología para dispositivos medicos en resonancia magnética .....            | 20 |

### **Índice de figuras**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Algoritmo manejo reacciones adversas a medio de contraste.....   | 42 |
| Figura 2. Flujograma de trabajo para sedación en resonancia magnética..... | 56 |



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Natalia Alvarado Eugarríos, con cédula de identidad 1-1447-0667, en mi condición de autor del TFG titulado Realización de un protocolo de sedación intravenosa para estudios de imagen en adultos en el Centro Nacional de Resonancia Magnética.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Natalia Alvarado Eugarríos

Número de Carné: A80295 Número de cédula: 1-1447-0667

Correo Electrónico: nataliaalveu@gmail.com

Fecha: 4 de setiembre de 2020 Número de teléfono: 8708-2902

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Dra. Mayra Vaca Rojas

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## Capítulo I. Introductorio

### Justificación del tema

Dentro de la labor del anestesiólogo, quizás uno de los procedimientos que más reto supone, es la sedación. No solo por la complejidad creciente de los pacientes, sino que ésta se debe administrar fuera del quirófano <sup>1,2</sup>.

Con la especialización de la medicina, cada vez son más los procedimientos de radiología intervencionista y otras especialidades, que requieren de la participación de un anestesiólogo. Por lo que se debe estar al tanto de los retos implicados en la sedación para estos procedimientos y con ello ofrecerle al paciente un adecuado estándar de seguridad <sup>1,3,4</sup>.

Desde la creación del Centro Nacional de Resonancia Magnética en el 2011, paulatinamente se ha ido incrementado el número y complejidad de estudios efectuados por día. Por lo que surge la necesidad de protocolizar la sedación por parte de los anestesiólogos para la ejecución de estos estudios.

Completar un estudio de imagen utilizando resonancia magnética conlleva ciertas particularidades. Los estudios de resonancia magnética están basados en las interacciones entre un campo magnético, que permite obtener imágenes de alta calidad y contraste. Sin embargo, objetos ferromagnéticos sufrirán fuerzas de atracción y torque dentro del campo, que podrían causar incidentes para el personal y paciente. Lo anterior implica diversas consideraciones de seguridad, que el anestesiólogo debe de tener presente, a la hora de manejar un paciente en este ambiente <sup>5,6,7</sup>.

Por lo tanto, una revisión exhaustiva del tema y el posterior planteamiento de un protocolo de sedación segura, vendrá a suplir una necesidad evidenciada en el requerimiento cada vez mayor de un anestesiólogo para estos estudios de imagen <sup>8,3,9</sup>.

Dicho protocolo permite la familiarización del anestesiólogo con los requerimientos y metas para completar un estudio de imagen satisfactorio. En consecuencia, generar una mayor participación del profesional para este

procedimiento en particular y mejorar el nivel de satisfacción del paciente durante este estudio<sup>9,10</sup>.

### **Pregunta de investigación o hipótesis**

Con la creación de un protocolo sobre manejo anestésico para sedaciones en un servicio de resonancia magnética, se mejorará la calidad y seguridad, de dicho acto anestésico.

Propuesta de objetivo general: Establecer un protocolo de sedación para estudios de resonancia magnética en población adulta en el Centro Nacional de Resonancia Magnética.

### **Objetivos específicos**

- I. Resumir la evidencia actual en el manejo anestésico del paciente, que requiere sedación para un estudio resonancia magnética.
- II. Determinar el grupo poblacional que requiere de sedación, para la toma de imagen con resonancia magnética.
- III. Identificar las consideraciones técnicas del equipo y lineamientos de seguridad para el manejo anestésico.
- IV. Definir el manejo anestésico óptimo para un estudio de resonancia magnética bajo sedación, en cuanto a aspectos de farmacología, vía aérea y monitorización.

## **Metodología**

Se realizará una revisión bibliográfica en revistas médicas indexadas, en las siguientes plataformas: Pubmed, ScienceDirect, ClinicalKey, y Scielo. La evidencia científica utilizada en esta revisión será en relación con las publicaciones generadas entre el año 2012 al 2019, en inglés y español. Los parámetros de búsqueda utilizados: sedación fuera del quirófano, guías de sedación para sedación para resonancia magnética, sedación y seguridad, anestesia para resonancia magnética, propofol y ketamina, dexmedetomidina para resonancia magnética.

Además, se analizarán protocolos de sedación ya establecidos en otras instituciones, para con ello comparar su factibilidad para nuestra práctica médica: tomando en consideración el equipo e infraestructura disponible en el Centro Nacional de Resonancia Magnética. La finalidad de esta revisión, es protocolizar una práctica de sedación segura para resonancia magnética, y adecuándolo al entorno laboral con que se cuenta actualmente.

## Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 Introducción

Con el crecimiento y desarrollo médico, diversas especialidades han ido requiriendo de la participación de anestesia en procedimientos varios, cada vez más especializados. A su vez, esto ha requerido la presencia del anesthesiólogo fuera de sala de operaciones, generando nuevos retos, al tener que interaccionar con lugares no diseñados específicamente para proveer anestesia.

El desafío está en mantener un estándar de cuidado, tratando de reducir las posibles complicaciones y adaptarse a los nuevos requerimientos de proveer sedación o anestesia fuera del ambiente de sala de operaciones. En muchos casos, esto requerirá del aprendizaje de las implicaciones técnicas del nuevo entorno de trabajo.

Tal es el caso que ocurre con la resonancia magnética. El recinto donde se encuentre un escáner de resonancia magnética deberá cumplir con ciertas medidas de seguridad para evitar incidentes. Se deben contemplar aspectos físicos propios de esta tecnología como es la acción del campo magnético y su interacción con objetos ferromagnéticos. A su vez, esto explica las limitantes que se pueden encontrar al momento de monitorizar y proveer de sedación al paciente, teniendo siempre presente la utilización de equipo compatible con resonancia magnética.

En Costa Rica, el 15 de abril del 2011, se inauguró el Centro Nacional de Imágenes por Resonancia Magnética adscrito al Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia como parte del sistema de seguridad social nacional. En su momento, la adquisición de un escáner de 1.5 Teslas, abrió paso a la posibilidad de proveer a los asegurados con estudios diagnósticos de alta calidad, con gran detalle estructural anatómico.

Con el advenimiento de esta nueva tecnología, se suscitó la necesidad de proveer de sedación en un nuevo ámbito. Lo anterior debido al incrementar el número de casos realizados por día, también se incrementó la diversidad de

pacientes con diagnósticos varios que ameritaban de sedación para poder completar el estudio.

Cuando se analiza la literatura, un porcentaje no despreciable de pacientes adultos requerirá de sedación. Al tomar en consideración las limitaciones y consideraciones de seguridad para poder dar una sedación en este ambiente, es prudente el establecimiento de protocolos de manejo para homogenizar el proceso y establecer mejores estándares de atención.

## **2.2 Estado actual de la sedación para resonancia magnética**

Se analizaron todos los estudios de resonancia magnética realizados entre enero y junio 2019, en el Centro Nacional de Imágenes de Resonancia Magnética adscrito al Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia.

Los criterios de exclusión tomados en cuenta fueron los siguientes:

- a. Población pediátrica (menores de 13 años).

Criterios inclusión:

- a. Todo paciente a quien se le realizó estudio de resonancia magnética periodo de enero a junio 2019.
- b. Todo paciente que requirió sedación para completar estudio de resonancia magnética.

Del total de la muestra de 10 922 pacientes, luego de aplicar los criterios de exclusión, se redujo a una muestra de 8583 pacientes. De esta muestra de 8583 pacientes, 394 pacientes cumplían criterios de inclusión. A su vez, aproximadamente 162 pacientes fueron suspendidos por diversos motivos que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Pacientes suspendidos. Periodo enero -junio, 2019**

| <b>Motivo suspensión</b>  | <b>Número de pacientes</b> |
|---------------------------|----------------------------|
| Requiere sedación         | 50                         |
| Claustrofobia             | 14                         |
| Sin pruebas función renal | 6                          |
| Material ferromagnético   | 38                         |
| Artefacto imagen          | 4                          |
| Otros                     | 22                         |
| No especificado           | 28                         |
| <b>Total</b>              | <b>162</b>                 |

De la muestra analizada, a estos 162 pacientes no se les logró realizar el estudio de resonancia magnética. Dentro de las principales causas de suspensión se encontró que 50 pacientes requerían de una adecuada sedación para completar el estudio. Además, otros 14 pacientes debido a claustrofobia, no pudieron completar el estudio. Pacientes quienes podrían haberse beneficiado de sedación.

Hubo otras situaciones que motivaron la suspensión del estudio, pero fueron independientes a la necesidad de sedación o sedación inadecuada. Dentro de estas, se pueden señalar pacientes con algún dispositivo médico no compatible con resonancia magnética como ortodoncia o presencia de válvula protésica no compatible.

**Tabla 2. Pacientes que requirieron sedación Periodo enero-junio, 2019**

| <b>Fármaco</b>         | <b>Número de pacientes</b> |
|------------------------|----------------------------|
| Hidrato de cloral      | 386                        |
| Midazolam              | 5                          |
| Diazepam               | 1                          |
| No indica medicamentos | 2                          |
| <b>Total</b>           | <b>394</b>                 |

Al revisar la tabla 2, se puede deducir que en su mayoría fueron pacientes sedados con hidrato de cloral. Sin embargo, cuando se analizan los datos, de los 386 pacientes sedados con hidrato de cloral, al menos en 23 ocasiones hubo que repetir la dosificación y a 20 pacientes se les tuvo que suspender el estudio debido a sedación inadecuada con hidrato de cloral. Se desconocen datos sobre la calidad de la imagen obtenida.

El propósito de analizar estos datos, en primera instancia era identificar en nuestra institución, cuáles pacientes requerían de sedación para lograr concluir un estudio de resonancia magnética de manera satisfactoria. De la muestra analizada, un total de 394 pacientes requirieron sedación, 386 pacientes (97%) por vía oral y 6 pacientes (1.5%) intravenosa. De este grupo 35.8 % fueron hombres (hombres n=141) y 64.2 % mujeres (mujeres n=253).

La media de edad para el grupo que requirió sedación fue de 49,83 años, un rango (13-87 años). Se desconoce si hubo necesidad de repetir la secuencia del estudio en este grupo de pacientes analizados.

Se observó que la sedación era más frecuentemente utilizada en mujeres (64.2%). En general, requirió de sedación en mayor proporción para estudios de resonancia magnética de cerebro y columna cervical y lumbar, como se muestra en la tabla 3 adjunta.

**Tabla 3. Estudios de resonancia magnética con sedación Periodo enero-junio, 2019**

| <b>Estudio RM</b>          | <b>Número de pacientes</b> |
|----------------------------|----------------------------|
| Cerebro                    | 196                        |
| Extremidades y cadera      | 26                         |
| Mama                       | 3                          |
| Colangiografía             | 2                          |
| Abdomen superior trifásico | 3                          |
| Columna cervical y lumbar  | 164                        |

### **2.3 Tipificación del paciente que requiere sedación para resonancia magnética**

Para una adecuada selección de los pacientes que requerirán de sedación para completar un estudio de resonancia magnética, se deberán tomar en consideración situaciones varias que los colocan como candidatos a la misma. Existen condiciones médicas específicas que el anestesiólogo debe reconocer para atender a esta población de la manera más adecuada. De ahí que se exponen algunas de las condiciones médicas más frecuentemente encontradas en la literatura que asocian la necesidad de sedación para lograr un estudio de imagen satisfactorio.

#### **2.3.1 Tipos de sedación**

Conviene revisar los conceptos sobre el continuum de los niveles de sedación propuesto por la Asociación Americana de Anestesiólogos<sup>10</sup>:

##### *Sedación mínima o ansiolisis*

Corresponde a un estado inducido por un fármaco, en el cual los pacientes responden a órdenes verbales. Puede haber alteración de funciones cognitivas y de coordinación física, sin embargo, no hay afectación de los reflejos protectores de vía aérea, y tanto la función ventilatoria como cardiovascular están conservadas.

### *Sedación moderada o consciente*

Es un estado de depresión de la conciencia inducida por fármaco durante el cual los pacientes responden intencionalmente a un estímulo con o sin una estimulación táctil. Se mantiene la ventilación espontánea y no hay deterioro de la función cardiovascular.

### *Sedación profunda*

Es una depresión de la conciencia inducida por fármaco. El paciente no puede despertar fácilmente, pero responde luego de estímulos intencionales repetidos. Puede haber deterioro de la función ventilatoria, y puede requerir asistencia para mantener patencia de la vía aérea y ventilación a presión positiva. La función cardiovascular se mantiene.

### *Anestesia general*

Es una depresión de la conciencia inducida por fármaco. Aquí el paciente no se despierta, incluso ante estimulación dolorosa. En general, en este punto se pierde la ventilación espontánea, y los pacientes requieren de asistencia para mantener patencia de la vía aérea y se requiere de ventilación a presión positiva por depresión de la función neuromuscular. La función cardiovascular puede verse afectada.

## **2.4 Claustrofobia**

La realización de un estudio de resonancia magnética, implica un procedimiento que podría generar ansiedad en el paciente. La ansiedad en este tipo de estudio puede estar en relación a varios factores, miedo al personal de salud, expectativa ante el potencial diagnóstico, trastorno mental, claustrofobia, entre otras. Además, es un estudio en el cual la sensación de confinamiento y el ruido pueden ser intolerables para algunos pacientes <sup>11,12</sup> .

Es usual que una de las indicaciones para sedar un paciente para este tipo de estudios sea por claustrofobia. El porcentaje de pacientes que requiera de sedación para resonancia magnética por claustrofobia varía entre diversos estudios.

Se estima que alrededor de 2 millones de estudios por resonancia magnética no se logran culminar por claustrofobia. Este corresponde a trastorno de ansiedad específicamente relacionado al miedo a espacios cerrados, el cual genera una sensación de restricción o sofocación<sup>12</sup>. La importancia de lograr una adecuada sedación en el contexto de un paciente claustrofóbico, redundará en mayor satisfacción del paciente y mejor calidad de la imagen obtenida con un paciente inmóvil.

Existe heterogeneidad significativa en la estadística reportada en la literatura en torno a eventos claustrofóbicos que implican terminación de un estudio de resonancia magnética<sup>12</sup>.

En una revisión sistemática de 18 estudios, se resumió la evidencia en relación con la prevalencia de eventos claustrofóbicos durante un estudio de imagen. De los resultados obtenidos, se observó una prevalencia tan baja como un rango de 0.47-5.29%, en proporción a la muestra analizada 1.18% (95% CI 0.79-1.65). Es decir que de cada 100 estudios de resonancia magnética se podría esperar 1 reacción claustrofóbica. Esto varía de lo reportado por Lang y colaboradores, donde encontraron una prevalencia tan alta como 2.43% con un equipo de resonancia magnética abierto <sup>12,13</sup>.

Se ha relacionado el concepto de un equipo de resonancia abierta con mayor confort y reducción de la ansiedad, al eliminar la sensación de confinamiento. Sin embargo, el tiempo del estudio como tal se prolonga, incluso puede ser duplicado. Esto puede redundar en mayor inquietud y discomfort en el paciente, imposibilitando la adecuada toma de la imagen <sup>12</sup>.

Otra consideración es que cada estudio es distinto y tiene sus requerimientos particulares. En la revisión realizada por Munn y cols., encontraron que la tasa más alta de terminación del estudio estuvo asociado a estudios de cardio-resonancia

magnética de estrés, seguido por estudios de cabeza y cuello. Dada la heterogeneidad de los estudios que revisaron, no logran establecer factores determinantes en que suceda o no un evento claustrofóbico que implique la cancelación del estudio. No obstante, sirve de guía, en el entendido que, dependiendo del diagnóstico previo del paciente y la duración propuesta para finalizar el estudio, uno puede prever factores que potencialmente lleven a la no conclusión de un estudio de imagen <sup>12</sup>.

Hay abordajes destinados a aminorar el estrés, el miedo y mejorar la experiencia como tal. En una revisión de 21 estudios cuyo enfoque giraba en torno a intervenciones propuestas para este fin, se analizaron varias estrategias: diseño del resonador, estrategias cognitivo conductuales, posicionamiento en prono, información previa al estudio, aromaterapia y entrenamiento al equipo médico.

Todas las intervenciones tuvieron un efecto positivo. Lo que parece no tener efecto alguno es proveer de información previo al estudio. Limitaciones importantes de esta revisión, impiden generar una conclusión certera sobre cuál es la mejor intervención para el abordaje de estos pacientes. Dependerá de las capacidades de centro médico, protocolos ya establecidos y del entrenamiento del personal al abordar estos pacientes <sup>11</sup>.

## **2.5 Autismo**

El autismo corresponde a un desorden conductual complejo, con inicio en la infancia temprana, caracterizado por déficits en la comunicación e interacción social, aunado a comportamientos estereotipados y patrones de interés restrictivos <sup>14</sup>. Los estudios de resonancia magnética en este grupo de pacientes pueden resultar en todo un desafío. Hay diversos aspectos a analizar en estos pacientes, que hacen más retador lograr un estudio de imagen por resonancia magnética satisfactorio.

Lo primero a analizar es que el ruido que genera el resonador. En un paciente dentro del espectro, con hipersensibilidad a estímulos sensitivos, esto puede ser razón única para impedir la realización del estudio de imagen. Además, el resonador

como tal, el recinto donde se encuentra y el personal, implican una nueva experiencia para el paciente, que le puede generar mucha ansiedad.<sup>15</sup>

Existen también discapacidades del habla-lenguaje que imposibilitan la adecuada comunicación para lograr entendimiento del procedimiento. Es importante recalcar, que dentro del espectro autista se incluye un amplio rango en relación a severidad de los síntomas del individuo y su “funcionabilidad”. Aquellos con una discapacidad intelectual (IQ<70) y/o “baja funcionabilidad” representan el grupo de pacientes con mayor desafío para lograr un estudio completo<sup>15</sup>.

Sin duda, el incluir a estos pacientes, sobre todo para estudios de neuroimagen implica mayor planeamiento y en muchas ocasiones requiere de sedación. Smith y cols desarrollaron un protocolo libre sedación para el abordaje un grupo de 19 pacientes, nueve participantes IQ<85 y 10 participantes con IQ >85. Dicho protocolo, incorporaba varias fases de entrenamiento previo al estudio con la idea de familiarizar al paciente con el procedimiento. De los 19 participantes, solo 1 no concluyó la hora del estudio. De este grupo, 3 participantes requirieron más de un intento y 1 participante hasta 4 intentos para lograr finalizar el estudio. Cabe recalcar que en este estudio no se incluyó un brazo con pacientes sin entrenamiento previo, lo cual evidentemente limita las conclusiones del mismo.<sup>15</sup>

Se ha descrito previamente, el reto de manejar un adulto no cooperador en el ambiente preoperatorio. Este se ve incrementado si hay resistencia física hacia el personal médico. Situación similar se puede presentar previamente a un estudio de resonancia magnética. En cuyo caso, en ciertos pacientes dentro del espectro, lograr un acceso intravenoso o colocar medicamento intranasal puede ser imposible. Además, se debe mantener siempre la integridad y el respeto hacia el paciente<sup>16</sup>.

## **2.6 Discapacidad intelectual**

Corresponde a un desorden generalizado caracterizado por disfunción cognitiva que imposibilita al paciente a entender el propósito de un procedimiento médico o

estudio a realizar. Puede que el mismo desencadene un comportamiento combativo o agresivo. De ahí que en este grupo población sea de particular importancia lograr una sedación adecuada, incluso previo al ingreso de paciente al escáner para disminuir la ansiedad y el estrés que puede suscitar para el paciente un estudio como este, y por periodos prolongados de tiempo.

## **2.7 Demencia**

La demencia corresponde a un síndrome, caracterizado por un proceso neurodegenerativo, que conlleva a un deterioro cognitivo significativo. Eventualmente, hay deterioro en la memoria, de funciones ejecutivas y alteraciones del comportamiento que implican un mayor grado de dificultad a la hora de realizar un estudio de imagen con resonancia magnética. Demencia como tal, puede ser el resultado de diversas patologías, que al final engloban como denominador común cambios en el comportamiento y deterioro cognitivo <sup>17</sup>.

En un estudio cualitativo transversal se evaluó por medio de entrevistas, la experiencia durante procedimientos de imagen. Dentro de los hallazgos se puntualizó como experiencia negativa debido a errores en comunicación, falta de protocolos dirigidos a este grupo de pacientes y utilización de técnicas restrictivas, como el uso de amarras <sup>17</sup>.

Se evaluaron por medio de entrevista a los cuidadores, pacientes con demencia y técnicos en imagen. Incluyeron a todos aquellos que previamente habían participado en alguna forma, durante la toma de un estudio de imagen. De los resultados obtenidos, para los pacientes el encontrarse en un sitio desconocido, separado de sus cuidadores y el no entender la situación, asociado a deficiencias visuales y/o auditivas por envejecimiento, les generó mucha angustia y frustración <sup>17</sup>.

Además, es usual en estos pacientes encontrar dolor, sobre todo en relación a artritis. Por lo cual, seguir instrucciones sobre una posición específica y por un

tiempo prolongado para lograr un estudio de imagen es difícil de cumplir. Otro aspecto a recalcar de este estudio, es que pesar de que un paciente con demencia se puede ver físicamente bien, esto lleva a que se obvie su habilidad cognitiva. Lo anterior se vio reflejado en la interacción del paciente con el tecnólogo a la hora de la toma de imagen, donde al no acatar el paciente las indicaciones para la resonancia se terminaban colocando amarras <sup>17</sup>.

El reconocimiento de la enfermedad y la planificación previa al momento de manejar estos pacientes, según sus necesidades, incidirá en una mejor atención hacia el paciente. Sin duda un estudio de imagen por resonancia magnética requiere de cooperación del paciente para generar imágenes adecuadas, no obstante, habrá que tomar en consideración un grupo de pacientes adultos, los cuales se verán beneficiados de sedación para lograr finalizar el estudio, sin transgredir la integridad física y emocional del paciente.

## **2.9 Sedación fuera de quirófano**

### **2.9.1 Implicaciones abordaje pacientes fuera de quirófano**

Cada vez más procedimientos requieren de sedación y en muchas ocasiones estos suceden fuera del ámbito de sala de operación. Ante esta situación, es vital que el anestesiólogo se familiarice con las limitaciones y potenciales riesgos que puede encontrar. Lo anterior con la idea, de ofrecerle al paciente una sedación segura y de calidad, a la luz de las recomendaciones más actuales <sup>5,19</sup>.

En primer lugar, para el anestesiólogo, este resulta un ámbito laboral no cotidiano, donde en muchas ocasiones no se encuentra acompañamiento de otro colega experto para resolución de problemas ante una emergencia; por ejemplo, una vía aérea difícil. Con el auge de la medicina, también se participa cada vez más de procedimientos novedosos, y con pacientes mayor morbilidad asociada. Lo cual, hace de la sedación como tal un procedimiento complejo y de cuidado <sup>3,5,19</sup>.

Debe existir familiaridad con los fármacos utilizados, por lo que es usual

encontrar bibliografía que sustenta la importancia de un anestesiólogo encargado de la sedación, para asegurar un estándar de cuidado y seguridad. Como lo señala la Declaración de Helsinki entorno a la seguridad del paciente, es un derecho de este, esperar una atención segura, y justamente el anestesiólogo juega un papel preponderante en la seguridad perioperatoria. <sup>18</sup>

Durante una sedación, existe un riesgo inherente al proceso, que es la apnea. Justamente ante este escenario, es que se reconoce el mismo, como uno de los eventos adversos más frecuentes. De ahí, la importancia de tener un experto en vía aérea encargado de la sedación. Al ser la sedación un proceso dinámico, el anestesiólogo deberá estar preparado para resolver cualquier emergencia que se suscite durante el procedimiento. Razón mayor, por la cual debe ser un anestesiólogo formado, quien administre la sedación, sobre todo para los procedimientos del presente trabajo. <sup>19</sup>

## **2.10 Consideraciones técnicas del equipo para resonancia magnética.**

### **2.10.1 Diseño maquina resonancia magnética**

En un equipo de resonancia magnética intervienen tres tipos de bobinas y campos magnéticos que en conjunto permiten generar una imagen. El imán principal, produce un campo magnético estático. Existe otra bobina encargada de generar un campo de radiofrecuencia y por último, para la obtención de la imagen están las bobinas de gradiente. Existen consideraciones de seguridad específicas a cada una de estas bobinas, que se explicaran en el presente capítulo. <sup>20</sup>

### **2.10.2 Aspectos físicos para la obtención de imágenes**

El átomo está conformado por protones y neutrones, con excepción del átomo

de hidrógeno que está compuesto únicamente de un protón. Dentro del núcleo atómico se encuentran protones que tienen carga positiva, y continuamente rotan sobre un eje. Esta rotación le confiere un momento cinético denominado *spin* y que a su vez, explica el que se genere un campo electromagnético.<sup>20</sup>

La resonancia magnética se basa en interacciones entre campo magnético estático generado por el resonador y los campos magnéticos que surgen de propiamente del núcleo atómico. Ante un campo magnético externo los núcleos se alinean a cierto ángulo del campo, paralelo o casi opuesto. A su vez, el núcleo también presenta un movimiento de precesión, alrededor de la dirección del campo magnético a una frecuencia proporcional a la fuerza del campo<sup>8,21</sup>.

Esta tecnología se fundamenta en explotar esas pequeñas diferencias de energía, donde al aplicar un campo magnético externo a la frecuencia de precesión, núcleos adicionales pueden cambiar su estado de energía de paralelo a antiparalelo. Conforme los núcleos regresan a su estado original, hay liberación de energía a la misma frecuencia, que es detectada por la bobina receptora del resonador<sup>8,20</sup>.

Las imágenes se generan al perturbar el campo magnético estático de 1.5 Teslas, permitiendo así lograr localización espacial de la señal recibida al introducir variaciones en la frecuencia de precesión<sup>8,20</sup>. Es debido a las propiedades físicas y químicas propias de los tejidos, que su núcleo puede colocarse en su estado de energía más baja (paralelo) a diferentes frecuencias, por tanto, generando diferentes niveles de radiofrecuencia<sup>22</sup>.

Existen dos mecanismos de relajación con diferentes constantes de tiempo. En una imagen ponderada en T1, la grasa aparece brillante (alta señal) y el agua oscura. Viceversa ocurre en T2. Los medios de contraste administrados también alteran la relajación del núcleo de hidrogeno, y de ahí su utilidad para resaltar estructuras<sup>8</sup>.

Generalmente, los equipos para resonancia magnética tienen un campo de 0.5 a 3 Teslas. Tiene un diseño cilíndrico, con un campo magnético estático que es mantenido por un solenoide superconductor inmerso el helio líquido como

refrigerante. Este campo magnético se cuantifica en Tesla, no obstante, los valores más pequeños asociados a límites de seguridad alrededor del escáner, usualmente se describen en G gauss, donde  $1\text{ T} = 10\,000\text{ G}$  <sup>8</sup>.

Existen diseños alternativos que se clasifican en abiertos. Estos sistemas son particularmente útiles para procedimientos intervencionistas. Proveen la ventaja de poder generar imágenes continuas, sin embargo, al utilizar campos de menor fuerza, la calidad de la imagen se ve disminuida<sup>8</sup>.

### **2.10.3 Aspectos de seguridad**

Los aspectos de seguridad a considerar entorno al campo magnético estático estarán en relación a efectos biológicos como lesiones térmicas, objetos de uso diario pueden convertirse en proyectiles. De ahí la importancia de verificar también, la compatibilidad con dispositivos médicos implantables y con equipo de monitorización <sup>20</sup>.

La comprensión de los mecanismos físicos que explican estos riesgos, así como el establecimiento de una guía de trabajo y recomendaciones de seguridad, tendrán un valor significativo a la hora de trabajar con estos dispositivos.

Una situación particular de dar sedación o anestesia en este ambiente de resonancia magnética, es que, en caso de utilizar una infusión, en ocasiones no hay visualización directa de la vía periférica, conexiones y bombas. Puede que no se escuchen las alarmas. Además, dependiendo de la distancia en que se coloque la bomba, puede que se requirieran extensiones, lo que aumenta el riesgo de fugas o que la bomba cense excesiva resistencia y cese la infusión <sup>23</sup>.

## **2.11 Problemas del campo magnético**

### **2.11.1 Campo magnético estático**

El imán principal, es lo más característico del equipo y es a su vez, la principal fuente de riesgo por el campo electromagnético que genera, generalmente de 1.5-

3.0 T. Este campo es de 30000 a 60000 veces más fuerte que el campo magnético generado por la Tierra. Esto lleva a la sobre el ingreso de objetos ferromagnéticos al recinto donde se encuentra el escáner <sup>20</sup>.

En general el comportamiento de los objetos dependerá del material que los conforme y si este es afectado o no por fuerzas traslacionales y de torque. Es decir, que obedece a la susceptibilidad del material a volverse “magnetizado” ante en respuesta a un campo magnético externo. Todo aquel objeto ferromagnético que se encuentre en un perímetro de 30 G, sufrirá una fuerza de atracción y torque hacia el imán. Esto da paso, a que objetos ferromagnéticos se vuelvan peligrosos proyectiles, que pueden dañar severamente al personal y paciente. Ejemplos de materiales ferromagnéticos serían el cobalto, níquel y hierro <sup>8,20</sup>.

Otros objetos, como marcapasos y desfibriladores pueden ser inactivados, reprogramados, o pueden sufrir desplazamiento ante el campo magnético al que es expuesto. Para evitar estos incidentes, se recomienda evitar el perímetro de 5 G alrededor del escáner, y a su vez siempre indagar sobre dispositivos implantables, al ser esta contraindicación para realizar un estudio de imagen por resonancia magnética<sup>8</sup>.

En general, los problemas asociados a interacción con objetos metálicos se pueden dividir en categorías: ambiental, adornos, implantables y no intencionales<sup>24</sup>.

- Ambientales: objetos con materiales ferromagnéticos que pueden convertirse en proyectiles de estar cerca con el escáner. Ejemplos incluyen: sillas, cilindros de oxígeno, equipo de limpieza, entre otros. Estos sufren aceleración a velocidades altas, siendo causantes de daño potencial a pacientes y personal <sup>24</sup>.
- Dispositivos implantables: grupo en constante crecimiento, que deben ser identificados previamente y establecer si corresponde a un objeto compatible con resonancia magnética. Para esto existe terminología, que se explica a continuación <sup>24</sup>.
- No intencionales: incluye objetos metálicos como esquirlas, u otros residuos que actúan como cuerpo extraño metálico, que en su mayoría

se sospechan por historia ocupacional. Tal es el ejemplo de pacientes soldadores, herreros, militares entre otros. Estos ejemplos se deberán valorar individualmente, dependiendo de su localización, proximidad con órganos vitales y urgencia de la indicación del estudio<sup>24</sup>.

- Adornos: joyería, pasadores, broches, entre otros. Previo al ingreso de personal y pacientes, se deberá tener un protocolo para revisión y remoción de objetos ferromagnéticos<sup>24</sup>.

La Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), ha elaborado diferentes pruebas estandarizadas para clasificar los materiales y dispositivos médicos y quirúrgicos, y así poder establecer parámetros de seguridad en el ambiente de resonancia magnética <sup>25</sup>.

Dentro de esta labor, si brinda no solo una demarcacion en cuanto a terminologia sino tambien iconos visuales estandarizados para rotulación y reconocimiento. Esto ha contribuido a establecer pautas de seguridad, previo al ingreso a la sala de resonancia magnética <sup>26</sup>.

**Tabla 4. Terminología para dispositivos médicos en resonancia magnética**

| Terminología                                   | Descripción  | Icono  |
|--|--|--|
| <b>MR Safe</b><br>(Seguro para RM)             | Elementos no conductores, no metálicos y no magnéticos   |   |
| <b>MR Conditional</b><br>(Condicional para RM) | No posee peligros conocidos en una sala de RM especificada en condiciones de uso específicas. Previo a su ingreso a la sala se deberán revisar las recomendaciones del fabricante. |   |
| <b>MR Unsafe</b><br>(No seguro para RM)        | Presenta peligros conocidos en todas las salas de resonancia magnética   |  |

**Fuente:** ASTM F2503-13, Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, [www.astm.org](http://www.astm.org)

### **2.11. 2 Campo magnético variable dependiente del tiempo – campos de gradiente**

Durante la adquisición de la imagen, se manipulan campos magnéticos dinámicos más pequeños, que pueden inducir una corriente que estimule nervios periféricos y musculo, ocasionar dolor o disconfort inclusive. En este sentido, la programación de escáneres para uso médico, toma esta consideración y se aplican

limites a la manipulación de estos campos para evitar consecuencias extremas, como lo sería una fibrilación ventricular<sup>8</sup>.

Otras consideraciones entorno a la interacción de los tejidos con el campo magnético incluyen la sensación de vértigo y náusea por estimulación del sistema vestibular, cuyo mecanismo no está bien dilucidado<sup>20</sup>.

### **2.11.3 Ruido**

Las bobinas de gradiente están encargadas de producir los cambios de gradiente en el campo. El cambio generado al modificar los gradientes en el campo, genera un ruido importante, más allá del nivel seguridad de 85 dB (decibeles). Esto potencialmente podría ocasionar daño auditivo, al paciente y personal. De ahí la importancia de uso de protección auditiva, independientemente de si es paciente está bajo sedación o no<sup>8</sup>.

### **2.11.4 Calentamiento por radiofrecuencia**

Las bobinas de radiofrecuencia producen un campo que deposita energía en el cuerpo en forma de calor. En tejidos conductores el calentamiento surge por resistencia a la corriente. El calentamiento por radiofrecuencia crea un riesgo de lesiones térmicas por un material conductor que se encuentre en contacto con la piel del paciente. Por esto, se debe evitar dejar cualquier material conductor, como por ejemplo electrodos a la hora de realizar un estudio de imagen. También, se genera el problema del calentamiento agudo en implantes metálicos, que pueden generar un daño serio al tejido<sup>8,20,24</sup>.

### **2. 11. 5 Escape de Helio**

Para mantener el campo magnético de un imán superconductor, se debe mantener refrigerado, usualmente con helio líquido a una temperatura cercana al cero absoluto. En caso de tener que apagar el equipo por una emergencia, se logra

generando fuga de helio o un quench. El helio líquido se expande a gas y este debe ser liberado rápidamente fuera del recinto. Esto puede generar gran cantidad de calor, daño al equipo, asfixia y presurización positiva dentro de la sala. Todo lo anterior puede ocasionar daño importante y/o muerte. Dentro del diseño se agrega una tubería para este fin y sensores de equiparación de presión para advertir al personal en caso de quench<sup>8,24</sup>.

## **2. 12 Medios de contraste: Gadolinio**

Puede haber depósito en tejidos y ocasionar fibrosis sistémica nefrogénica en pacientes con función renal deteriorada. También se contraindica su utilización en pacientes embarazadas. Será de consideración la valoración previa de la función renal del paciente y a su vez indagar por reacciones alérgicas<sup>24</sup>.

## **2. 13 Paciente obstétrica**

Ha sido de mucha utilidad en este grupo de pacientes para obtención de imágenes detalladas sin el riesgo de la radiación ionizante. Sobre todo en situaciones donde es importante para el diagnóstico y posterior manejo quirúrgico como en casos de placenta acreta. No obstante, existen ciertos aspectos en relación a la seguridad para el producto y la paciente que es importante recalcar. Existe consideración entorno al uso de gadolinio en esta población debido a que cruza placenta. Se han descrito algunos riesgos teóricos para el feto dentro de los que se incluyen efectos teratogénicos por el campo magnético estático, por radiofrecuencia y por el uso de medio de contraste como gadolinio <sup>27</sup>.

En la literatura más reciente, no se ha documentado que estos riesgos teóricos resulten en daño al feto, aunque faltan estudios prospectivos y longitudinales para concretar dicha afirmación. Algunos estudios han asociado que los campos magnéticos pueden afectar la migración, diferenciación y proliferación celular, pero esto ha sido difícil de demostrar in vivo. También, se ha hecho la asociación de que

la hipertermia materna puede resultar en anomalías congénitas y abortos. Lo anterior lleva a la consideración sobre el calentamiento de tejidos que puede resultar de los pulsos de radiofrecuencia durante un estudio de imagen de resonancia magnética<sup>27</sup>.

La ACOG (American College of Obstetrics and Gynecology) y la ACR (American College of Radiology) aconsejan que si bien, la resonancia magnética no se ha asociado a un riesgo definitivo, se deberá usar prudentemente y solo cuando de su utilización se espere un resultado que ayude al abordaje clínico de la paciente. A su vez, el uso de gadolinio deberá ser limitado solo cuando significativamente favorezca el diagnóstico y con ello mejore el desenlace materno-fetal<sup>27</sup>.

De igual forma, en caso de utilización en el contexto de lactancia materna, esta no debe ser interrumpida. Esto debido a que se ha observado que el gadolinio se tiene una unión pobre a las proteínas de la leche y se excreta menos del 0.04% de la dosis inyectada en la leche materna. Además, a la fecha no hay estudios que hayan documentado efectos adversos de continuar lactancia luego de una inyección con gadolinio. La ACOG recomienda su ininterrupción u ofrecer a la madre un periodo de 12-24 hrs de espera para reiniciar la misma<sup>27</sup>.

Existen limitaciones importantes en esta población al momento de revisar literatura. En primer lugar, en su mayoría los estudios disponibles son retrospectivos y de poca duración. En segundo lugar, algunos estudios disponibles han excluido embarazos previos a las 21 semanas, por lo que se limitan las conclusiones que podrían resultar de los riesgos teóricos ya mencionados<sup>27</sup>.

El ruido es una consideración propia de este tipo de estudio de imagen, que ronda los 80 – 110 dB. El potencial daño fetal de la audición se ha propuesto. Si bien, los tejidos maternos y el líquido amniótico atenúan, el grado de atenuación se desconoce. De momento se considera la pérdida o daño en la audición neonatal un riesgo teórico que requiere de más estudios para establecer una asociación directa. Este riesgo teórico, principalmente se considera en el segundo y tercer trimestre donde se produce el desarrollo del aparato auditivo<sup>27</sup>.

Como bien se conoce, el proceso de organogénesis sucede en el primer

trimestre, por lo que el riesgo potencial de insulto y pérdida fetal se asocia a este trimestre en particular. De ahí que se considere de mayor riesgo potencial un estudio de resonancia magnética en este trimestre en particular. No hay guías que establezcan que es un estudio libre de riesgo, pero tampoco se contraindica en tanto el beneficio de su realización supere el riesgo teórico <sup>27</sup>.

## **2.14 Dispositivos médicos**

### **Stent coronario**

Existe confusión para manejar este grupo de pacientes. En general, la mayoría de los *stents* coronarios no son hechos de materiales ferromagnéticos, sino de aleaciones como el nitinol (níquel + titanio) y acero inoxidable 319. Además, conviene revisar la rotulación del fabricante (MRI safe/MRI conditional). No se han reportado eventos adversos en pacientes con estos dispositivos que se hayan realizado un estudio de resonancia magnética <sup>25, 28</sup>.

El problema radica en que hay que tener la rotulación sobre si es compatible o no con resonancia magnética previo a la realización de un estudio en un paciente con *stent* coronario. Hay ciertas recomendaciones que se deben seguir; se deben escanear en una resonador de 1.5 Tesla, con un tiempo máximo de 15 minutos por secuencia <sup>25, 28</sup>.

### **Válvulas protésicas**

Son fabricados de distintos materiales. Las biológicas están compuestas por materiales no metálicos (tejido porcino o pericardio bovino) pero podrían contener pequeñas cantidades de metal dependiendo de su diseño. Las válvulas mecánicas están compuestas por diversos materiales metálicos incluyendo aleaciones de titanio, MP35N, carbón pirolítico, acero inoxidable, aleaciones de cobalto como Elgiloy, entre otras <sup>28</sup>.

En estudios previos se ha logrado determinar que es poco probable que ocurra dehiscencia valvular durante exposición a campo magnético estático de hasta 4.7

Teslas. También se ha investigado en relación al incremento de temperatura el cual es poco, en un rango de 0 a 0.8 grados Celsius. Además, se considera que a pesar de que existe el riesgo teórico de interacción electromagnética con la parte metálica de la válvula que podría evitar que abra o cierra, sin embargo, no se ha demostrado experimentalmente ni reportado en la literatura como un evento clínico demostrado.<sup>28</sup>

En general, todos los pacientes con válvulas protésicas, anuloplastias y *stent* coronarios (medicados o no) pueden realizarse un estudio de resonancia magnética con seguridad. La evidencia actual soporta la realización de estudios de imagen en este grupo de pacientes, si bien la calidad de la imagen puede variar, en la mayoría de los centros con experiencia se considera con validez diagnóstica <sup>29</sup>.

### **Filtros vena cava inferior**

En su mayoría están fabricados de materiales no ferromagnéticos o en su defecto materiales ferromagnéticos débiles, por lo que se consideran seguros (MR safe). Como parte del proceso de cicatrización, se cree que estos filtros se incorporan a la pared vascular alrededor de la cuarta a sexta semana post implantación. Es poco probable que estos dispositivos se desplacen como resultado de la exposición al campo magnético estático de resonadores de hasta 1.5 Tesla <sup>28</sup>.

### **Coils embolización**

Actualmente, se fabrican de platino u otras aleaciones, de igual forma se consideran materiales no ferromagnéticos o ferromagnéticos débiles. Se han encontrado que coils de embolización hechos de nitinol, platino o iridio son seguros para pacientes que se realicen un estudio de resonancia magnética en un escáner de 3 Teslas o menos. No se han reportado eventos adversos. De consideración serán aquellos hechos de acero inoxidable, que inevitablemente generarán un artefacto local lo cual puede limitar la adecuada valoración de la región de interés a examinar<sup>28</sup>.

### **Marcapasos y Desfibrilador cardioversor implantable**

Estos dispositivos contienen metales con diversas cualidades ferromagnéticas, además de sistemas eléctricos complejos y varios electrodos implantados al miocardio. Hay consideraciones entorno al funcionamiento de estos dispositivos durante un estudio de resonancia magnética. Esto puede llevar a complicaciones clínicas ante cambios en el umbral del marcapaso/desfibrilación, disfunción o daño del sistema, arritmias hasta muerte<sup>28</sup>.

Debido a la controversia en torno a consideraciones de seguridad en este grupo de pacientes, se debe considerar la presencia de un dispositivo de estos una contraindicación relativa para la realización de un estudio de resonancia magnética. Estos pacientes deberían recibir otro estudio diagnóstico de ser posible y la resonancia ser considerada únicamente donde el beneficio potencial claramente supera el riesgo incrementado de someter al paciente a este estudio. A su vez, de realizarse debería ser en un centro especializado con experiencia en electrofisiología y tener un plan de vigilancia posterior al estudio para detectar efectos adversos<sup>28</sup>.

Así entonces, la recomendación es que se sugiere evitar un estudio de resonancia magnética en pacientes con marcapasos o desfibrilador, a menos que exista una indicación clínica fuerte, cuyo beneficio supere el riesgo. Lo anterior, sobretodo en pacientes dependientes de marcapaso. Si se va a realizar, el médico a cargo deberá determinar si es necesario reprogramar el marcapaso/ICD previo al examen. Además deberán utilizarse parámetros conservadores para tomar la imagen, para minimizar el riesgo<sup>28</sup>.

### **Clip aneurisma**

Se debe verificar previamente su material de fabricación y compatibilidad, ya que algunos pueden ser hechos de materiales ferromagnéticos en cuyo caso se contraindica la toma de imagen por resonancia magnética. En caso de ser compatible, el estudio debe realizarse en un escáner de 1.5 Tesla, para disminuir la cantidad de artefactos que puede generarse en un escáner de 3 Tesla<sup>30</sup>.

### **Expansor de tejido – implante mamario**

En general, estos se utilizan luego de una mastectomía con el fin de una reconstrucción mamaria posterior, para corrección de una deformidad o como parte de corrección estética. Estos pueden tener un componente metálico que genere artefactos o una potencial lesión. Por lo cual se recomienda identificar previo al estudio por los problemas que podrían suscitarse <sup>30</sup>.

### **Implante coclear**

Algunos utilizan un imán de samario-cobalto en conjunción con otro imán externo y una bobina de radiofrecuencia. Otros tipos son activados electrónicamente. En estos pacientes se contraindica estudios de resonancia magnética, por la posibilidad de daño del implante o el paciente <sup>30</sup>.

### **Estimulador cerebral profundo (DBS)**

Este ha sido utilizado comúnmente en pacientes con enfermedad de Parkinson. La consideración con este tipo de dispositivo electrónicamente activado daña por calentamiento del material conductor en el tejido cerebral que puede llevar a parálisis, coma y muerte. Puede realizarse un estudio de imagen del cerebro con una bobina en la cabeza y con el dispositivo apagado. Este dispositivo se considera MR condicional, es decir, que podrá hacerse el estudio siguiendo ciertas especificaciones, y deberá revisarse la rotulación del fabricante <sup>30</sup>.

### **Derivación ventricular**

Se considera MRI condicional, por lo cual se deberán revisar las especificaciones, previo a la realización del estudio de imagen <sup>30</sup>.

### **Estimulador nervio vago**

Es un dispositivo implantable, programable con un generador de pulso que

produce un patrón preciso de estimulación sobre el nervio vago. No se deben realizar estudios de resonancia magnética en aquellos pacientes que tengan sospecha de ruptura de un cable del sistema. Lo anterior, por el riesgo incrementado de quemadura. Además, el dispositivo se deberá apagar previo al estudio<sup>30</sup>.

## **2. 15 Manejo de riesgos**

La seguridad dentro de la sala de resonancia magnética se establece mediante la mitigación de riesgos. Esto está a cargo del personal, quienes en conjunto deberán responsabilizarse del cumplimiento de las medidas. Dentro de las cuales, está examinar tanto a pacientes como personal, por objetos ferromagnéticos previo al ingreso a la sala de resonancia magnética <sup>24</sup>.

Un estándar de cuidado, es designar un director médico, un oficial de seguridad y un experto en seguridad para garantizar la misma en el recinto. De manera respectiva, existe un médico encargado del cumplimiento de las guías, un tecnólogo encargado de la operación segura del equipo y un ingeniero con conocimiento en tácticas de mitigación de riesgo dentro de la sala de resonancia magnética<sup>24</sup>.

### **Zonas de acceso**

La sala de resonancia magnética se demarca en zonas, para establecer restricciones específicas, dependiendo del riesgo en torno a cercanía al escáner.

#### *Zona I*

Es un área de acceso al público en general. Es donde generalmente se encuentra la recepción y el área de espera. Es una antesala a la zona II donde se realiza el primer tamizaje por objetos ferromagnéticos. No hay restricciones en esta área <sup>24</sup>.

#### *Zona II*

En esta zona se restringe el acceso al recinto, se realiza la primera valoración del paciente lo cual incluye historia clínica, se le entrega una bata segura (MRI

seguro), y se pasa por un detector de objetos ferromagnéticos. En esta área de “tamizaje” se debe recolectar información sobre objetos implantes metálicos, o cuerpos extraños. Verificar a su vez la compatibilidad y seguridad para resonancia magnética. Previo al ingreso a zona III y IV, todo personal, pacientes y equipo médico deberá ser examinado, para determinar la seguridad para su ingreso <sup>24</sup>.

### *Zona III*

El área adyacente al escáner, donde se encuentran las consolas, monitores y personal clínico se denomina zona III. En este punto, la entrada se encuentra restringida, aquí solo se permite el ingreso del personal certificado, imagenólogo y paciente. Esta área es la última barrera contra un incidente o lesión debido a interacción con el campo magnético estático de objetos ferromagnéticos. Es este punto, donde debe existir un segundo detector de objetos ferromagnéticos y a su vez, la entrada al recinto donde se encuentra el escáner debe estar normalmente cerrado. <sup>24</sup>

### *Zona IV*

El sitio donde se encuentra el escáner como tal, este debe tener una demarcación clara de la línea de 5 Gauss, área donde se requiere equipo MRI seguro o condicional para evitar incidentes <sup>24</sup>.

## **Consideraciones para definir un protocolo sedación para resonancia magnética**

### **Monitorización**

El equipo a utilizar debe ser considerado seguro dentro del ámbito del equipo de resonancia magnética. La mayoría del equipo moderno es telemétrico, lo cual elimina la necesidad de conexiones eléctricas entre el paciente y el monitor. La Asociación de Anestesiólogos recomienda que los monitores sean colocados fuera del recinto, en un cuarto de control <sup>8</sup>.

En relación con los pulsioxímetros, se recomienda que estos sean de fibra óptica, seguros para ambiente de resonancia magnética <sup>8</sup>.

El registro del electrocardiograma, también es susceptible a interferencia, que puede resultar en espigas y cambios en onda T y segmento ST. Esto complica la interpretación del ECG, para lograr documentar cambios morfológicos y/o arritmias.

Los efectos de las corrientes de inducción sobre los electrodos pueden ser reducidas utilizando electrodos de alta impedancia, y colocados en un triangulo angosto en el pecho del paciente, para asegurar una señal de alta amplitud. La medición de la presión arterial podría realizarse si las conexiones ferrosas son reemplazadas por nilón<sup>8</sup>.

La utilización de monitoreo electroencefalográfico para detectar adecuada profundidad anestésica no se recomienda durante un estudio de resonancia magnética debido a que actualmente, no hay monitores compatibles con resonancia magnética.

### **Manejo vía aérea**

Es usual que conforme se profundice una sedación, se pierda patencia de la vía aérea, resultando en ronquidos y subsecuentes vibraciones que inducen movimiento mínimo de la cabeza. Dada la sensibilidad del escáner al movimiento, esto puede ocasionar artefactos que encarecen la calidad de la imagen <sup>31</sup>.

En un estudio retrospectivo, se analizaron nueve pacientes oncológicos, a quienes de manera repetitiva se les realizaban estudios de resonancia magnética, bajo sedación profunda o anestesia general con diversos dispositivos de vía aérea. Se evaluó la calidad de la imagen obtenida en correlación con el dispositivo de vía aérea utilizado. También se evaluó la calidad de la imagen obtenida sin un dispositivo de vía aérea <sup>31</sup>.

Los motivos para dar una sedación a este grupo de pacientes fueron variados, siendo los principales debido a corta edad del paciente y claustrofobia. Dentro de su hipótesis, establecieron que aquellos con un dispositivo supraglótico obtendrían la mejor calidad de imagen. Al compararlo con los resultados, obtuvieron que la

calidad de la imagen mejoraba significativamente <sup>31</sup>.

Otra consideración fue grado de susceptibilidad al campo magnético de los dispositivos supraglóticos, ya que esto a su vez puede generar artefactos en la imagen. En un estudio de simulación previo, encontraron abundantes artefactos con la LMA ProSeal™ y moderados con LMA clásica™, LMA Unique™ y LMA Supreme™. No se encontraron artefactos con el uso de rAmbu Disposable Pharyngeal Mask™ o iGel™ al tomar la imagen en un resonador de 1.5 T <sup>31,32</sup>.

En este estudio *in vitro*, lograron correlacionar los artefactos encontrados con la presencia un resorte de metal de material ferromagnético en el balón piloto. A diferencia del resto, la LMA Proseal™ tiene un reforzamiento de acero inoxidable en su interior que la hacen incompatible para un estudio de resonancia magnética por los artefactos que genera en un estudio de cabeza y cuello <sup>31,32</sup>.

Aunque ha habido estudios sobre la superioridad de la mascarilla laríngea iGel™ sobre otros dispositivos supra glóticos para resonancia magnética, estos no han sido concluyentes. Ucisik-Keser *et ál.* en su experiencia clínica reportan que, para toma de imágenes por resonancia magnética de cabeza, las mascarillas iGel™ resulta complicado lograr un adecuado posicionamiento con las bobinas de la cabeza. En su estudio, la LMA clásica™ y LMA Unique™, fueron los dispositivos supraglóticos que mejor se lograron acoplar a la hora del posicionamiento de la cabeza para el estudio <sup>31</sup>.

### **Manejo farmacológico**

En el ámbito de la sedación para procedimientos ambulatorios, ya sean diagnósticos o terapéuticos, se han estudiado diversos fármacos. El común denominador, es el lograr establecer cuál fármaco presenta las características más apropiadas que permita una sedación segura, confortable y con el menor compromiso hemodinámico para el paciente <sup>33</sup>.

Para hablar de un fármaco ideal, se deberían contemplar factores como: inicio de acción rápido, recuperación rápida y de fácil titulación. Idealmente con un efecto hipnótico y amnésico, predecible, es decir una respuesta dosis dependiente desde

el punto de vista farmacodinámico. Al ser en su mayoría procedimientos ambulatorios, la recuperación del paciente debería ser lo suficientemente rápida como para permitir el egreso del paciente el mismo día del procedimiento, con efectos residuales mínimos o nulos <sup>33</sup>.

Lo anterior implica, la escogencia de un fármaco de rápido aclaramiento y una  $t_{1/2keo}$  corta. Este último concepto, quizá sea el de mayor importancia al considerar fármacos para sedación en el contexto de un paciente ambulatorio. Cabe mencionar que cuando se analiza la farmacocinética de un medicamento administrado vía intravenosa, existirá un retraso entre la concentración plasmática alcanzada y la respuesta clínica observada, a esto se le conoce como histéresis<sup>34</sup>.

De ahí que, cuando se analizan los modelos de compartimentos, para que el fármaco alcance el equilibrio entre el compartimento central ( $V_1$ ) y el sitio efecto ( $V_e$ ), existirá un tiempo determinado por una constante. Esta constante de equilibrio o velocidad se representa como la  $KeO$ . Este último parámetro es de suma importancia clínica, ya que cuando se analiza la  $t_{1/2 KeO}$ , se estaría considerando el tiempo en que la concentración en el sitio efecto (biofase) alcanza el 50% de la concentración plasmática<sup>34</sup>.

A sabiendas de lo anterior, se puede deducir que a menor  $KeO$  mayor  $T_{1/2 KeO}$  y por tanto, mayor histeresis. En otras palabras, menor  $T_{1/2 KeO}$  implica menor tiempo entre la administración y el inicio del efecto farmacológico. Por tanto, el parámetro de  $T_{1/2 KeO}$ , será una guía importante para la escogencia del fármaco a utilizar en una sedación <sup>34</sup>.

Otro concepto a incorporar luego de la administración de un fármaco intravenoso, es el *t-peak*, que se refiere al tiempo en establecerse la máxima concentración en el sitio efecto después de un bolo intravenoso <sup>34</sup>.

## **Fármacos**

### *Midazolam*

Posee un inicio de acción relativamente rápido al igual que su aclaramiento, con un amplio margen de seguridad hemodinámica. Presenta una  $T_{1/2}$  KeO relativamente larga (4 min). Debe tenerse en consideración que si se administra un nuevo bolo, antes de haber pasado el *t-peak*, con dosis repetidas se puede caer en complicaciones como hipoventilación, hipoxia e hipotensión<sup>33</sup>.

### *Propofol*

Corresponde a uno de los fármacos de mayor utilización en sedación. Posee un inicio y terminación del efecto rápido. Puede ser titulado manualmente o con dispositivos como la tecnología TCI (infusión controlada por objetivo). Tiene una  $T_{1/2}$  KeO de 2.77 min (3 min apróx), luego de infusiones cortas. Tiene características que lo hacen un sedante ideal, como la poca resaca, su fácil titulación y su rápida recuperación. No obstante, su ventana terapéutica estrecha, implica que fácilmente se puede llegar a ocasionar depresión respiratoria e hipotensión a dosis cercanas a las necesarias para sedación. Para este medicamento, la dosis para ocasionar un índice biespectral de 50 o menos, se acercan a las necesarias para ocasionar depresión respiratoria. Otro aspecto a tomar en consideración es el dolor que puede causar al ser administrado vía intravenosa.<sup>33</sup>

### *Ketamina*

Como monoterapia, se ha asociado a disconfort para el paciente, debido a sus efectos secundarios como lo son las alucinaciones y su recuperación prolongada. Sin embargo, como terapia combinada con propofol, ha tenido un uso más aceptado, sobretodo en el servicio de emergencias<sup>33</sup>.

### *Dexmedetomidina*

Se ha encontrado que ofrece mayor satisfacción y confort al paciente, sin asociar

reacciones paradójicas como las observadas con midazolam. Tiene efectos hemodinámicos significativos con la infusión rápida, y estos a su vez, pueden continuarse luego de suspendida su infusión. Sin embargo, ofrece otras ventajas como menor depresión ventilatoria y un efecto analgésico moderado<sup>33</sup>.

#### *Remifentanil*

Posee una  $T_{1/2}$  KeO de 1.3 min, con un rápido inicio de efecto. En general, se utiliza en combinación con sedantes hipnóticos. Se recomienda su utilización con bomba de TCI, ya que cuando es administrado en conjunto con propofol, utilizando esta tecnología se ha encontrado menor incidencia de apnea y depresión respiratoria<sup>33,34</sup>.

#### *Remimazolam*

Corresponde a una benzodiazepina, que presenta una farmacocinética de primer orden, esto quiere decir que es independiente del peso y aclaramiento del paciente. Tiene un rápido inicio de acción, su efecto puede revertirse con flumazenil y parece tener menos efectos hemodinámicos. Lo cual lo hace un fármaco con potencial para utilización en sedación para procedimientos ambulatorios<sup>33,34</sup>.

#### *Etomidato*

Es un fármaco que se ha asociado a un perfil más estable desde el punto de vista hemodinámico y respiratorio. Tiene un inicio de acción rápido más su recuperación presenta variabilidad en la población. A pesar de ello, su potencial afectación adrenal y su alta incidencia de náuseas y vómitos, lo hacen menos llamativo para sedación ambulatoria<sup>33</sup>.

### **Estudios comparativos**

En un estudio doble ciego prospectivo aleatorizado, se evaluaron un total de 30

pacientes claustrofóbicos, a los cuales se les asignó como sedante propofol o dexmedetomidina en infusión controlada por objetivo (TCI) durante un estudio de resonancia magnética. El objetivo final del estudio, era evaluar cuál fármaco lograba una reducción adecuada de la ansiedad del paciente para completar el estudio<sup>35</sup>.

Se establecieron dos grupos: al grupo A, se les inició una infusión de propofol al 1% mediante TCI, siguiendo el modelo farmacocinético de Schneider. Iniciaron a una tasa de 1.5 mcg/kg hasta alcanzar estado de equilibrio y luego se tituló con incrementos de 0.1 mcg/kg hasta lograr una sedación en la escala Ramsay de 3<sup>35</sup>.

Al segundo grupo, se les administró una dosis carga de dexmedetomidina a 1 mcg/kg durante 10 min, seguido de una infusión a una tasa de 0.2 mcg/kg/hr hasta alcanzar una sedación en la escala Ramsay de 3. Al alcanzar un estado adecuado de sedación, se procedía con el estudio de resonancia magnética<sup>35</sup>.

Se tomaron los tiempos desde que se iniciaba la infusión hasta lograr estado sedación Ramsay 3. Además, al finalizar el estudio, se evaluaban en la unidad de cuidado postanestésico. Posteriormente, se les realizaba un *test* sobre su nivel de ansiedad previo y durante el procedimiento, así como el grado de satisfacción. Las imágenes obtenidas eran luego analizadas por un radiólogo experimentado sin conocer el protocolo de sedación utilizado para su obtención.

De los resultados obtenidos en este estudio, se puede recalcar que, para ambos protocolos, hubo una reducción significativa de los niveles de ansiedad de los pacientes. Se encontraron que para dexmedetomidina, el NNH (number needed to harm) fue 8 en relación a hipotensión y 15 para bradicardia. Esto quiere decir que, por cada 8 pacientes sedados con dexmedetomidina, 1 presentará un episodio de hipotensión<sup>35</sup>.

No se pudo establecer diferencia en torno a la calidad de la imagen obtenida con los dos protocolos de sedación. Principalmente, debido al tamaño de la muestra es que no se pueden hacer conclusiones fehacientes. Sin embargo, con propofol la calidad de las imágenes fueron de buenas a excelentes, superior a lo obtenido con dexmedetomidina<sup>35</sup>.

A pesar de que este estudio no fue dirigido hacia evaluar efectos adversos, sí

encontraron mayor cantidad de los mismos en el grupo de pacientes asignados a dexmedetomidina, específicamente bradicardia e hipotensión. Además, se requiere de mayor tiempo para lograr una sedación que permita realizar el estudio, a diferencia del propofol. Por las características de este estudio y sus limitaciones, los resultados no tienen peso estadístico que las soporte, pero ayuda a orientar sobre la escogencia de fármacos<sup>35</sup>.

En otro estudio experimental, se evaluó la eficacia y seguridad de la combinación de dexmedetomidina con ketamina en comparación con midazolam, para la sedación de pacientes neurocríticos que requerían de un estudio de resonancia magnética. Se consideraba una sedación exitosa cuando el paciente lograba completar todas las secuencias del estudio<sup>36</sup>.

Se incluyeron 72 pacientes en este estudio, que a su vez se dividieron en dos grupos, según el fármaco a analizar. Los 36 pacientes del grupo de midazolam recibieron de 2 a 3 mg al llegar al recinto de resonancia magnética. Los otros 36 pacientes del grupo de dexmedetomidina-ketamina, recibieron una dosis de 35 mcg y 35 mg respectivamente, previo al traslado desde la unidad de cuidado neurocrítico. Ya en el resonador, recibieron dosis adicionales a lo planteado en el protocolo para el grupo *dex-ket*, y según criterio del clínico a cargo en el grupo de midazolam<sup>36</sup>.

De los resultados obtenidos en este estudio, ambos grupos lograron concluir el estudio de forma exitosa, casi en su totalidad. El tiempo de estudio, fue ligeramente más corto en el grupo de dexmedetomidina-ketamina ([100.0 min (IQR, 87.0–111.5 min) grupo Midazolam vs. 53.5 min (IQR, 45.0– 60.5 min) en el grupo Dex-Ket;  $P < 0.001$ ]. En cuanto a complicaciones, el grupo de dexmedetomidina tuvo menos episodios de desaturación, hipotensión y broncoaspiración.<sup>36</sup>

Dentro de las limitaciones del estudio, hubo diferente metodología en los procedimientos con la sedación en los grupos. No obstante, lograron establecer un punto de comparación entre en relación a la sedación en ambos grupos. En síntesis, en el grupo de dexmedetomidina-ketamina, se observó una menor duración del

estudio y menor incidencia de complicaciones. Situación muy favorable al momento de manejar paciente neurocrítico<sup>36</sup>.

Al iniciar una sedación con fármacos intravenosos, la tecnología de infusión controlada por objetivo (TCI) ofrece ciertos beneficios. Permite mantener una a nivel plasmático concentraciones más estables, y a su vez garantizar una concentración de sitio efecto. No obstante, se genera la interrogante sobre su seguridad dentro del ambiente de resonancia magnética<sup>37</sup>.

Las bombas de TCI contienen un microprocesador con modelos farmacocinéticos programados para determinados fármacos. Así el usuario solo selecciona el fármaco, el modelo a utilizar, los datos del paciente (peso y edad) y la concentración objetivo a utilizar (plasma o sitio efecto). La bomba estima el bolo y la tasa de infusión subsecuente<sup>23</sup>.

Una de las interrogantes, es la afectación que puede generar el campo de radiofrecuencia al interferir con la función de los componentes electrónicos de los dispositivos y generar así disfunción de las bombas. Otro aspecto a considerar es el campo magnético estático, que sobre objetos con componentes ferromagnéticos puede ejercer fuerzas que pueden ocasionar, que estos insumos se vuelvan proyectiles. Este riesgo se incrementa conforme se acerque al escáner<sup>37</sup>.

Se puede generar también afectación sobre la calidad de la imagen, ya que los componentes magnéticos de la bomba de infusión pueden causar distorsión del campo magnético y con ello pérdida de la señal. La mayoría de las bombas no se pueden acercar más allá de la línea de 50 Gauss de campo magnético.<sup>37</sup>

En otro estudio se analizó el riesgo proyectil, la calidad de la imagen y la precisión de la entrega de medicamentos, en una bomba de TCI diseñada para el ambiente de resonancia magnética. La bomba de infusión MRidium 3860™ se evaluó a 900 Gauss en un escáner de 3 teslas y a 539 Gauss en un escáner de 1.5 Teslas.<sup>39</sup>

Se evaluó la calidad de la imagen utilizando cuatro secuencias diferentes en fantasmas en presencia y ausencia de la bomba de infusión. Las imágenes obtenidas se evaluaron para establecer si había artefactos que alteraran la calidad de la

imagen. Para los cuales la calidad de la imagen no se afectó en ninguno de los dos escáneres, 1.5 y 3 Teslas.<sup>39</sup>

En cuanto a la precisión en la entrega de medicamento, la presencia de campo magnético si causó afectación, no obstante, se mantuvo dentro del límite de 5% de desviación aceptable. Para las alarmas de terminación de infusión o aire, no hubo alteración con el campo magnético. Lo anterior no aplicó para la alarma de batería baja. En conclusión, con este estudio, lograron establecer una función efectiva y segura de esta bomba en específico, a umbrales más altos de campo magnético.<sup>39</sup>

#### **4 Manejo emergencia**

Uno de las consideraciones más importantes es el campo magnético estático. Este disminuye conforme se aleja del imán superconductor a una relación de aproximadamente  $1/\text{distancia}^3$ . Los resonadores modernos poseen un escudo con la intención de incrementar la caída del campo. Sin embargo, siempre se demarca una línea de 5 Gauss para informar al personal sobre la extensión y fuerza del campo<sup>24</sup>.

#### **Emergencias ambientales**

##### *Quench*

Como ya se analizó, los imanes superconductores del equipo de resonancia magnética se enfrían con helio líquido. La liberación de este líquido a la atmósfera se denomina “*quenching*”. Esta liberación de forma no intencional puede ser catastrófica. Puede haber riesgo de fuego, y en caso de que se ventilara el gas dentro del recinto puede haber riesgo de asfixia<sup>1</sup>.

El paciente debe ser retirado rápidamente de la zona IV y a su vez, toda fuente de ignición cerca del escáner.

### *Fuego*

También referido como código rojo, aquí se deberán utilizar extintores MRI seguros (MRI-safe) por parte del personal del centro, previamente entrenado para su uso. Además se deberá restringir el ingreso de bomberos a zona III o IV hasta en tanto se verifiquen las condiciones seguras para su ingreso. Por tanto, es primordial tener personal en el recinto entrenado para manejar una situación de fuego<sup>1</sup>.

### *Proyectiles*

Se han descrito fatalidades involucrando equipos de resonancia magnética, pero estos han sido casos excepcionales. En general, una de las mayores preocupaciones cuando se habla de percances relacionados al escáner, es el riesgo de que un objeto sea transformado en proyectil, por acción de del campo electromagnético<sup>1</sup>.

## **Emergencias médicas**

### *Paro cardiorespiratorio*

En el caso de falla respiratoria o cardíaca dentro de la zona IV, el personal debe en primera instancia sacar al paciente de la zona IV. Se debe iniciar soporte vital básico rápidamente en una zona segura cercana a la zona IV para demorar lo menos posible el inicio de resucitación. Se debe activar código azul dentro del recinto para dar continuidad a la resucitación. Todo el equipo de código azul deberá estar localizado fuera de la zona de 5 Gauss, para mantener un ambiente seguro<sup>1</sup>.

### *Reacción alérgica*

Para estudios de resonancia magnética, es de uso frecuente la utilización de medios de contraste, dentro de estos el gadolinio es distintivo por sus propiedades paramagnéticas. Para este, la prevalencia de reacciones adversas es inferior que otros medios de contraste yodados utilizados para tomografía axial y radiografías.

Se estima que la tasa de reacciones adversas posterior a la inyección de medio de contraste es baja, entre 0.07 a 0.8% para gadolinio. En general es más frecuente observar reacciones leves, como mareo y cefalea que no requieren de intervención médica. La incidencia de reacciones alérgicas severas es alrededor 1 por 10 000 pacientes, y son potencialmente mortales. Esto implica que, si bien es raro, ante el evento de una reacción anafiláctica severa (hipersensibilidad inmediata), con compromiso cardiovascular y respiratorio, se deben tener las consideraciones y herramientas para su manejo <sup>39,40</sup>.

Una reacción adversa aguda se define como aquella que sucede en los siguientes 60 minutos luego de una inyección del medio de contraste. Para establecer una reacción de hipersensibilidad inmediata sería en los primeros 20 minutos de colocado el medicamento. Se considera que estas reacciones pueden estar mediadas por un mecanismo dependiente de Ig E. Sin embargo, en otros casos se ha asociado la alta osmolaridad de la estructura de gadolinio, con activación directa de la vía de complemento y con ello formación de bradicininas que resultan en degranulación de mastocitos y basófilos, liberando histamina y otros mediadores <sup>40,42</sup>.

En un reporte de caso, un paciente masculino caucásico de 45 años, sin comorbilidades se programó para un estudio de resonancia magnética con gadolinio, sin alergias conocidas. Luego de administrado el bolo, presentó tos, disnea, vómitos y desaturación. El paciente presentó paro cardiorrespiratorio, se inició reanimación cardiopulmonar avanzada, se aseguró vía aérea y se administró hidrocortisona. Luego de 8 minutos presentó ritmo desfibrilable y a los 18 minutos tuvo retorno circulación espontánea <sup>39</sup>.

En las primeras horas de manejo en la unidad de cuidado intensivo el paciente presentó broncoespasmo, urticaria difusa y *shock* cardiogénico. Luego de 24 h de estancia en la unidad se pasó a salón y se egresó al cuarto día del evento, sin disfunción neurológica ni cardiovascular. <sup>39</sup>

Las reacciones de hipersensibilidad que implican mediación de inmunoglobulina E asociado a gadolinio se han asociado a respuestas más severas en pacientes con

historia previa de hipersensibilidad. La falla cardiaca en el contexto de anafilaxia podría explicarse por la vasodilatación sistémica, disminución de retorno venoso y compromiso del gasto, que en síntesis podría inducir hipoperfusión coronaria y daño miocárdico, sobretodo en pacientes con enfermedad coronaria preexistente <sup>39</sup>.

## **Tratamiento**

Uno de los aspectos más importantes, es poder identificar, y tratar rápidamente, lo que incluye mantener una vía aérea segura, oxígeno suplementario, fluidos y vigilancia hemodinámica. En caso de anafilaxia, el medicamento de elección será epinefrina (1:1000) intramuscular. Por su acción  $\beta$  agonista que favorece la reversión de la broncoconstricción, ejerce un efecto inotrópico y cronotrópico positivo y puede incrementar el AMP cíclico intracelular y con ello inhibir la liberación de mediadores implicados en la inflamación <sup>40</sup>.

En el caso de una paciente obstétrica no será de elección epinefrina por su afectación sobre la circulación uterina y potencial daño al feto. Efedrina deberá utilizarse en su lugar. Se deberá a su vez, tener cuidado en pacientes con coronariopatía por su mayor susceptibilidad a isquemia miocárdica. En pacientes asmáticos podría plantearse la utilización de isoprotenerol de estar disponible, en combinación con dosis más conservadoras de epinefrina <sup>40</sup>.

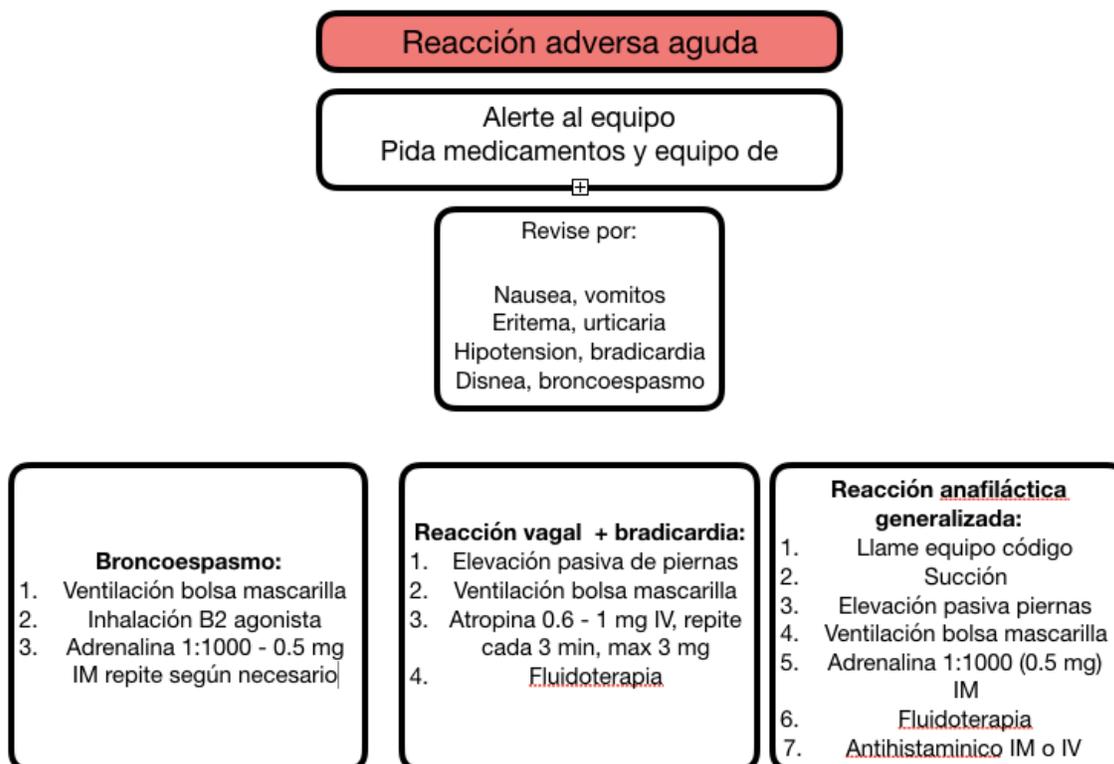
Un factor agravante en una situación de reacción severa, es la hipoxia. Se recomienda iniciar ventilación bolsa mascarilla flujo de 10 litros/min. En caso de edema laríngeo que no responda a epinefrina, se debe asegurar la vía aérea con tubo endotraqueal. En caso de bradicardia, están indicadas dosis sustanciales de atropina (0.6-1 mg), para tratar los efectos vagotónicos <sup>40</sup>.

El uso de antihistamínicos y bloqueadores receptor H<sub>2</sub> tiene un papel limitado en reacciones por medio de contraste. También los corticoesteroides, no se recomiendan como primera línea de manejo. No obstante, como segunda línea de manejo pueden ayudar a estabilizar la membrana celular y evitar recurrencia de los síntomas, que podrían presentarse tardíamente y hasta 48 horas<sup>40</sup>.

La hipotensión profunda es otro signo pivote, que inicialmente puede ser tratado

con fluidoterapia inicialmente, sin evidencia suficiente para recomendar cristaloides sobre coloides en este contexto. Podrían utilizarse también elevación pasiva de miembros inferiores, mientras se logra iniciar fluidoterapia. Lo anterior, siempre teniendo en consideración las comorbilidades del paciente y que lo primordial es el reconocimiento temprano e intervenciones efectivas <sup>40</sup>.

## Manejo reacciones adversas a medio de contraste



**Figura 1. Algoritmo manejo reacciones adversas a medio de contraste**

Fuente: modificado a partir de Thomsen, H. S. (2016). How to manage (Treat) immediate-type adverse reactions to GBCA. Topics in Magnetic Resonance Imaging

## 5 Manejo posterior a la sedación

### Cuidados post anestésicos

Todo paciente que reciba sedación o anestesia para un estudio de resonancia magnética se debe pasar a una unidad de cuidados post anestésicos. Esta área

debe incluir monitor de signos vitales, oxígeno, succión, equipo de resucitación y personal entrenado para la eventualidad de una emergencia<sup>1</sup>.

Cuando se analizan en retrospectiva las complicaciones posteriores a una sedación, muchas de estas son prevenibles y ocurren en su mayoría por algún evento adverso de índole respiratorio. A su vez, estas se presentan en este periodo de recuperación, post procedimiento. De ahí la importancia de mantener un adecuado estándar de monitorización y dar el tiempo necesario para una recuperación completa.

Idealmente esta unidad de recuperación debe localizarse cerca del lugar donde se le dio sedación para determinado procedimiento, a menos que sea un paciente crítico que regresa a su unidad respectiva, monitorizado durante su traslado.

El descargo o egreso del paciente ambulatorio irá precedido de un proceso de recuperación y objetivado con una herramienta como el Aldrete<sup>19</sup>.

## Capítulo III. Discusión

Existen recomendaciones internacionales para cumplir con el estándar de atención. No obstante, se debe tener en consideración las posibles limitaciones en cuanto a infraestructura e insumos de la institución a la cual se pertenece. La realidad nacional sin duda marcará una pauta sobre los alcances de un protocolo y será pues prudente ajustar su diseño. Debatir y puntualizar las limitaciones que se puedan evidenciar, será un punto a favor para proponer mejoras y optimizar así la atención al asegurado.

Como parte de la intención del establecimiento de un protocolo es homogenizar y objetivar la sedación como tal, pero a su vez determinar cuál será el abordaje más adecuado del grupo población de pacientes que requieran de sedación. La idea es ser una herramienta para el anestesiólogo y a su vez una guía para futuras modificaciones en cuanto a insumos que puedan venir a generar una mejora significativa para los pacientes.

### Recomendaciones

1. Educación: sobre los peligros del campo magnético en zona III y IV, a su vez las limitaciones para monitorización. Los miembros del ASA consideran que todos los anestesiólogos deberían recibir educación específica en relación al escáner propio de su institución. A su vez, recomiendan que los anestesiólogos trabajen en conjunto con radiólogos, tecnólogos y físicos dentro de su institución para establecer programas específicos de entrenamiento en seguridad <sup>1</sup>.
2. Tamizaje de pacientes: determinar si existen riesgos inherentes al paciente o al equipo para complicaciones asociados al estudio de resonancia magnética. Estos riesgos estarán en relación a objetos implantados en el paciente, a padecimientos propios. En este último ítem se incluye paciente

crítico, ventilado, con función ventilatoria deteriorada, inestabilidad hemodinámica o comorbilidades que pueden contribuir a resultados adversos<sup>1</sup>.

3. Preparación: determinar e implementar un plan anestésico adecuado al paciente, y al posicionamiento requerido del este, para la toma del estudio de resonancia magnética. En este apartado, el anesthesiólogo debería participar y recomendar sobre la localización óptima del equipo, para optimizar así vigilancia y monitorización, respetando la línea de gauss de seguridad. Se recomienda que el anesthesiólogo diseñe un plan en caso de una emergencia, de modo que rápidamente tenga acceso a medicamentos y equipo y ayuda adicional. A su vez se recomienda tener un plan de evacuación <sup>1</sup>.
4. Manejo: el monitoreo incluye la utilización de monitores seguros o condicionales para resonancia magnética. Se recomienda acceso remoto a los mismos en un lugar que disponga de visualización del paciente. Todo lo anterior siguiendo los estándares de la Asociación Americana de Anesthesiólogos. El manejo anestésico dependerá de los requerimientos del paciente, sin embargo, se debe contar con lo encontrado usualmente en otros ambientes donde se provee de sedación o anestesia. Lo anterior implica tener una maquina de anestesia, gases médicos, sistema scavenging, succión, iluminación y áreas de almacenamiento de equipo compatible. Esto varía según instituciones, sin embargo, es la recomendación que dicta el ASA. El manejo de la vía aérea tiene sus particularidades, existe limitado acceso a la misma. La literatura es insuficiente para determinar si es superior el tubo endotraqueal a la mascarilla laríngea, sin embargo, lo que se recomienda es hacer valoración individual de cada caso y escoger el dispositivo que conlleve menor riesgo para el paciente. En lo que, si hay acuerdo, es que en caso de ser una vía aérea difícil, se maneje fuera de la zona IV para tener acceso a otros insumos de manejo de vía aérea y mejores condiciones en cuanto a espacio y seguridad. <sup>1</sup>

Las emergencias dentro del recinto de resonancia magnética, incluyen emergencias tanto médicas como ambientales. En general, las emergencias ambientales se manejarán retirando al paciente de la zona IV y dando el soporte correspondiente. En caso de emergencias médicas, como paro cardiorrespiratorio, el paciente se retirará de la zona IV inmediatamente posterior a haber iniciado maniobras de resucitación cardiopulmonar.

5. Cuidados post procedimiento: todo paciente que reciba sedación o anestesia para un estudio de resonancia magnética deberá pasar a una unidad de cuidados post anestésicos, con acceso a monitoreo de signos vitales, oxígeno, succión y personal entrenado para su cuidado.

## Capítulo IV. Protocolo

La siguiente corresponde a una guía para orientar el manejo de pacientes programados para un estudio de resonancia magnética bajo sedación intravenosa por parte de un anestesiólogo, derivado de la revisión bibliográfica realizada.

### Consideraciones seguridad

Existen recomendaciones internacionales sobre el diseño del recinto donde se encuentra un escáner de resonancia magnética y a su vez, existen recomendaciones sobre cuestiones de seguridad para personal y pacientes.

Las siguientes son recomendaciones de seguridad:

- Acceso al recinto debe ser restringido
- El personal deberá haber recibido entrenamiento previo en seguridad
- El residente de anestesia podrá participar en las sesiones de resonancia magnética, bajo estricta supervisión de un anestesiólogo asistente entrenado en seguridad
- Ingreso a la unidad con algún acceso de los mencionados ya colocado
- Las políticas y procedimientos de seguridad deberán ser revisados periódicamente, y actualizados según sea necesario
- Los administradores del recinto son responsables de asegurar que estas políticas de seguridad sean implementadas en todo momento por el personal
- Todo incidente en relación a seguridad en el recinto de resonancia magnética deberá ser reportado oportunamente.

## Riesgos

El escáner de resonancia magnética utiliza imanes superconductores, con un campo electromagnético potente. Este sistema se mantiene en funcionamiento 24 horas del día durante los 7 días de la semana, es decir nunca se apaga.

### Riesgo proyectil:

- El campo electromagnético siempre está presente y es mayor entre más cerca se encuentre del cilindro del escáner.
- Potencial de lesión con objetos ferromagnéticos al volverse proyectil.
- Algunos dispositivos médicos pueden tener mal funcionamiento o dañarse al ser expuestos al campo electromagnético.

### Acceso al paciente:

- Existe una distancia prudencial entre el paciente y el anesthesiólogo lo que implica limitaciones importantes en cuanto a manejo de vía aérea, acceso intravenoso y monitorización.
- Ante una emergencia, debe ser resuelta fuera del escáner.

### Riesgo quemadura:

- Un paciente bajo sedación profunda o anestesiado no puede alertar al técnico sobre malestar o dolor.
- Riesgo de quemadura por la presencia de materiales conductores en el paciente.
- Se recomienda verificar adecuado aislamiento de cables de monitorización, alejarlos de la piel y del área a escanear de ser posible.

### Ruido:

- El escáner produce un sonido fuerte, potencialmente dañino para el oído humano.

- Todo paciente deberá tener protección auditiva para la realización de un estudio de resonancia magnética

#### Quench:

- Liberación helio líquido a la atmósfera
- Riesgo de asfixia, lesiones por congelación e incremento de presión en el recinto del escáner.

#### Gases anestésicos:

- En caso de tener una maquina de anestesia compatible con resonancia magnética, se sugiera sistema de extracción de gases (scavenging).

#### Medio de contraste:

- Riesgo de nauseas, dolor y vómitos.
- Riesgo bajo de reacción alérgica.
- Riesgo fibrosis sistémica nefrogénica, en pacientes con falla renal.
- Se recomienda tener insumos y fármacos para manejar una reacción anafiláctica.

### **Indicaciones para sedación**

Al momento de seleccionar un paciente para un estudio de resonancia magnética, será oportuno establecer si requiere de sedación para completar el estudio. La meta de la sedación será entorno a resguardar la seguridad del paciente, minimizar el discomfort físico y emocional, controlar la ansiedad, así como el movimiento del paciente.

- Inmovilización: cuando se presume poca colaboración para mantener la posición durante el estudio. Se incluye: paciente pediátrico, con alteración del estado de conciencia, o discapacidad intelectual
- Ansiedad: el escáner de resonancia magnética pueden exacerbar reacciones de claustrofobia, y estrés.
- Protección de vía aérea: paciente inconsciente, o críticamente enfermo que no proteja vía aérea, requerirá de intubación endotraqueal y ventilación controlada durante el estudio de resonancia magnética.

Se sugiere:

- Sedación por parte de un anestesiólogo.
- Valoración anestésica previo ingreso al escáner
  - Consentimiento informado
  - Valoración vía aérea
  - Revisión de expediente
  - Historia clínica dirigida
  - Revisión estado cardiovascular y respiratorio
  - Definir riesgo de compromiso cardiovascular y respiratorio, así como plan anestésico
- Premedicación según el caso.

### **Consideraciones específicas seguridad anestésica**

Se recomienda un anestesiólogo de planta, designado para sedación en resonancia magnética. Lo anterior ofrece las siguientes ventajas:

- Identificación y manejo rápido de eventos adversos:
  - Profundización sedación
  - Manejo de vía aérea ante depresión respiratoria, pérdida patencia de vía aérea y/o desaturación crítica

- Manejo de reacciones alérgicas – anafilaxia
- Depresión sistema cardiovascular - paro cardiorespiratorio
- En casos justificados y con los insumos requeridos: provisión de anestesia general

### **Propuesta de dosificación para sedación**

- Debido a que la infusión utilizando dosificadores es imprecisa, se propone un diseño de régimen de dosificación manual.
  - Esquema de dosificación manual con propofol:
    - Bolo carga 0.5-1 mg/kg
    - Mantenimiento 1-3 mg/kg/hr con bolos manuales
    - Ejemplo si el paciente pesa 60 kilos, utilizaríamos una dosis de carga de 60 mg, seguido por una infusión en 1 hr de 60 mg, lo cual vendría siendo 1 mg de propofol por minuto.
    - Lo anterior requiere del acompañamiento del paciente por parte del anestesiólogo durante la toma de imágenes. Esto ofrece ventajas como la valoración dosis respuesta y de patencia de vía aérea.
    - En caso de requerir profundizar la sedación se puede utilizar una mascarilla laríngea compatible, y apoyarse de un circuito de Bain para la ventilación.
    - Si hubiese máquina de anestesia, se podría apoyar del circuito y ventilador de la misma.
- En caso de disponer de bombas de infusión con sistema de TCI, se propone además rango de dosificación para los fármacos de mayor disponibilidad en la seguridad social.
  - Esquema dosificación sugerida para sedación utilizando bomba de infusión compatible con resonancia magnética:

- Recoger información necesaria para el cálculo de tasa de infusión. Esto dependerá de los siguientes: sexo, edad, peso, altura y clasificación ASA
  - Escoger el modelo farmacocinética apropiado a utilizar según la información anterior.
  - Programar la bomba de TCI de acuerdo a la concentración plasmática o la concentración en sitio efecto (diana) dependiendo del modelo escogido, Marsh o Schnider respectivamente.
  - Empezar el TCI en bajar concentraciones y titular hacia arriba según requerimiento o respuesta del paciente y objetivos de la sedación.
  - Considerar disminuir la dosificación en paciente adultos mayores o con ASA III o mayor.
  - En pacientes obesos ajustar la tasa de infusión de acuerdo al peso ideal.
  - En una sedación en pacientes sin estímulo nociceptivo, se tendrá como objetivo niveles plasmáticos de entre 1-2 mcg/ml de propofol.
  - Marsh: Bolo 0.5 mg/kg, seguido de infusión 50 mcg/kg./min, esto alcanza concentración sitio efecto de 1.1 mcg/ml en 8-10 min
  - Schnider: Bolo 0.5 mg/kg, seguido de infusión 50 mcg/kg/min, nada más que se alcanza una concentración de sito efecto de 2.2 mcg/ml en 2 min, estabilizándose a 1.2 mcg/ml a partir de los 8 min.
- Provisión de anestesia general con halogenado
    - Máquina de anestesia compatible con Resonancia Magnética
    - Se requiere de un lugar designado para manejo de vía aérea previo a ingreso al escáner.

## Monitorización y equipo médico

El personal debe estar familiarizado con el equipo disponible, si este es compatible o condicional para resonancia magnética. Además, se deberán verificar especificaciones propias del equipo para que este pueda ser usado de forma segura.

- Monitor compatible o condicional para resonancia magnética:
  - Pulsioximetría (inhalámbico)
  - Electrocardiografía (inhalámbico)
  - Monitor presión arterial no invasiva e invasiva
- Máquina de anestesia compatible con resonancia magnética. Debe estar certificada para utilizar en sistemas de 1.5 y 3 Tesla.
- Fuente de oxígeno (tanque compatible MRI o toma de pared)
- Equipo para manejo de vía aérea:
  - Orocánula
  - Mascarilla facial + bolsa autoinflable
  - Mascarilla laríngea (se recomienda dispositivos supraglóticos que no posean material ferromagnético en balón piloto, ejemplos: LMA iGel<sup>®</sup>, LMA Ambu<sup>®</sup>)
  - Tubos endotraqueales (6, 6.5, 7 y 7.5 mm diámetro interno)
  - Sonda de succión
- Carro de paro:
  - Lejos de la zona IV
  - Medicamentos para reanimación cardioplumonar (epinefrina, atropina, gluconato calcio, sulfato de magnesio, verapamilo, amiodarona, lidocaina)
  - Desfibrilador
  - Equipo para toma de vía intravenosa y catéteres (22, 20 y 18 G)

- Cristaloides (Solución salina 0.9% y solución electrolítica balanceada)
- Medicamentos para reversión de benzodiazepinas, opiodes y relajación neuromuscular: flumazenil, naloxona y neostigmina respectivamente.

### **Problemas relacionados**

Aparte de la necesidad de un equipo especial, compatible con resonancia magnética, existen ciertos inconvenientes que se deben tomar en consideración al administrar sedación para un estudio de este tipo.

- Difícil acceso al paciente, vigilancia desde cuarto de control
- Artefactos en monitorización de ECG, y distorsión debido al campo magnético
- Electrodo para ECG estándar, y los cables pueden ocasionar calentamiento excesivo y quemaduras en el paciente
  - Se sugiere electrodo ECG (RM condicional) y módulos inalámbricos diseñados específicamente para resonancia magnética
  - Se recomienda además, pulsioxímetro inalámbrico con tecnología de fibra óptica
- Funcionamiento inadecuado de bombas de infusión intravenosa, debido a presencia de componentes ferromagnéticos.
  - Se sugiere utilización de bombas de infusión (RM condicional), que puedan trabajar dentro de la jaula de Faraday sin mayores complicaciones.

## **Cuidado post anestésico**

Al finalizar el estudio de imagen, se debe pasar el paciente a una unidad de recuperación. En caso de ser un paciente crítico, se trasladará a la unidad de cuidado intensivo al finalizar el procedimiento.

- Se valorará al paciente siguiendo escala de Aldrete
- Hasta encontrarse el paciente despierto y estable, se egresará
- En esta unidad se deben tener tomas de oxígeno, insumos para manejo de paro cardiorespiratorio, y fármacos para reanimación.
- Debe haber personal entrenado a cargo de la unidad para alertar en caso de complicación posterior a la sedación.
- En caso de alguna complicación importante, se sugiere admisión hospitalaria hasta recuperación satisfactoria, si el caso lo amerita.

## **Manejo emergencias**

La administración de sedación fuera de quirófano, trae consigo diversas consideraciones y potenciales complicaciones. En su mayoría se describen complicaciones de índole cardiorespiratorio, por lo cual una titulación adecuada de fármacos y una vigilancia estrecha es lo recomendable. A su vez, se sugieren ciertas pautas para manejar una emergencia durante un estudio de resonancia magnética.

- El personal a cargo debe estar entrenado previamente y consiente de las regulaciones del recinto
- Se sugiere protocolizar roles y responsabilidades del personal ante el evento de una emergencia anestésica o resucitación cardiopulmonar.
  - Médico 1: Anestesiólogo (Vía aérea)

- Médico 2: Maniobras RCP
- Enfermero 1: Medicamentos – carro paro
- Enfermero 2: Tiempos - desfibrilador
- Revisión y actualización de equipo de resucitación
- Ingreso a zona III y IV únicamente de personal entrenado
- Ante una emergencia, paciente bajo sedación profunda o anestesia general, se debe sacar de la zona IV y transferir rápidamente a un área segura para dar manejo.
- Bajo ninguna circunstancia se deben instaurar maniobras de resucitación dentro del recinto del escáner
- Al transferir al paciente se debe cerrar la puerta de acceso al escáner
- En caso de fuego, el personal de planta previamente entrenado se encargará de controlar y extraer al paciente del escáner.

### Propuesta de trabajo

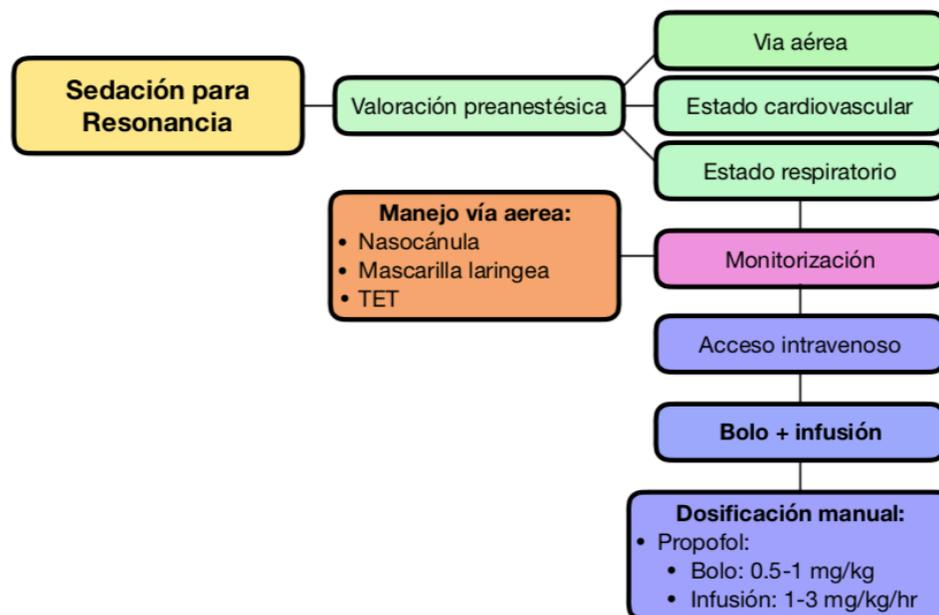


Figura 2. Flujograma de trabajo para sedación en resonancia magnética

## Capítulo V. Conclusiones

De acuerdo a lo observado en la recolección de datos de los estudios de resonancia magnética realizados en el periodo de enero a junio del 2019, de los 8583 pacientes que se incorporaron al análisis, 394 pacientes requirieron de sedación y al menos otros 64 pacientes se hubieran beneficiado de una sedación adecuada para concluir el estudio.

Si bien existen importantes limitaciones para analizar estos datos, debido a la heterogeneidad de las variables reportadas, y en muchas ocasiones ausencia de datos, se puede someramente concluir que existe similitud entre lo observado en este periodo con lo reportado en la literatura. Es decir, que hay un grupo de pacientes no despreciable que evidentemente se benefician de un proceso de sedación durante el estudio de resonancia magnética.

La identificación de la población en mayor necesidad de sedación para resonancia magnética, y a su vez proveerle la misma, siguiendo los estándares de atención recomendados, generará un impacto positivo no solo en la satisfacción del paciente, sino que también, en reducción de suspensiones. Como se vio en los datos revisados en la institución en estudio, en varias ocasiones no fue posible concluir el estudio debido a sedación inadecuada o debido a que era un paciente que se hubiera beneficiado de sedación para el estudio.

Dentro de este grupo poblacional podemos incluir los siguientes pacientes:

- Discapacidad intelectual
- Autismo
- Claustrofobia
- Pacientes con desorden de movimiento severo - Parkinson
- Pacientes que no toleran una posición por dolor severo
- Paciente crítico – ventilado

El adecuado tamizaje de estos pacientes y la participación de un anesthesiólogo para su sedación, monitorización y abordaje post procedimiento sin duda traerá un beneficio significativo en la atención de los asegurados y mejorará el aprovechamiento de los recursos y cupos destinados a estos estudios, al disminuir suspensiones de estudios de resonancia magnética.

Como parte del equipo, existe un encargado de las recomendaciones sobre seguridad y del entrenamiento que debe recibir todo personal que trabaje en el recinto. Generalmente esto está suspenido al físico y radiólogo a cargo del centro. Situación que no difiere de nuestra realidad. Los planteamientos de seguridad y entrenamiento del Centro Nacional se ajustan a las directrices internacionales, y será prudente su conocimiento para una adecuada labor del anesthesiólogo en acorde a las disposiciones de seguridad del recinto.

El manejo óptimo de estos pacientes, irá de la mano del establecimiento de un protocolo y a su vez, de la participación de un anesthesiólogo calificado. Dentro el manejo inicial, este irá precedido por una evaluación clínica, que contemple todo su historial médico, antecedentes de reacciones alérgicas, y evaluación de vía aérea. La idea es tamizar por todo aquel factor que potencialmente pueda complicar ventilatoria o hemodinamicamente al paciente durante la sedación para un estudio de resonancia magnética.

Previo al inicio del procedimiento se deberá monitorizar al paciente, la parte ventilatoria mediante pulsioximetría y de estar disponible capnografía. En términos de hemodinamia, se deberá monitorizar frecuencia cardiaca y presión arterial.

La escogencia del fármaco a utilizar deberá ir en relación a lograr establecer rápidamente un adecuado nivel de sedación con una pronta recuperación con la menor resaca posible. En este caso, el fármaco que se ajusta mejor a esos parámetros es el propofol. Además se puede confiar su titulación en modelos matemáticos previamente definidos y poder de manera objetiva, ya sea manual o mediante un bomba de TCI establecer un proceso de sedación según objetivos.

En el caso de tener que instrumentar vía aérea, la mejor opción será un dispositivo supraglótico siempre y cuando se tenga el ayuno y no haya riesgo de

broncoaspiración. Para ello, de escogencia serán los dispositivos que dentro de su fabricación no incluyan piezas ferromagnéticas, para evitar artefactos a la hora de la toma de la imagen. En el caso de ser un paciente crítico, con TET o traqueostomía pues se deberá solicitar previamente un ventilador portátil compatible con resonancia magnética, para evitar desconexiones del circuito y trauma a la parte ventilatoria del paciente.

Como se ha revisado previamente, muchas de las complicaciones observadas durante sedación fuera de quirófano, vienen relacionadas a vía aérea. La sedación es un proceso continuo donde fácilmente se puede generar depresión respiratoria, por lo que resulta primordial que sea un médico experto en vía aérea que logre manejar la complicación oportuna y satisfactoriamente. De ahí que la presencia de un anestesiólogo es fundamental. Otra de las situaciones que si bien raras, podrían presentarse son reacciones alérgicas. Una vez más, la participación del anestesiólogo viene a tomar un papel preponderante, para reanimar al paciente y manejar la complicación, que se encuentra dentro de su arsenal de conocimiento.

Cuando se habla de medicina de simulación, se enfatiza en los procesos de aprendizaje y repetición en escenarios hipotéticos. La protocolización y el generar listas de chequeo, minimiza el error humano, y prepara al profesional a las posibles vicisitudes que podría enfrentar durante el acto médico. De ahí que este tema cobre importancia. Existen situaciones particulares al ambiente de resonancia magnética entorno a seguridad y limitantes sobre los insumos que pueden ingresar en determinada zona que imponen un reto al manejo de emergencias y a la sedación *per se*.

La intención de esta revisión es mejorar la aproximación del anestesiólogo a la sedación fuera de quirófano, y generar el conocimiento necesario para proveer una sedación segura dentro del ambiente de resonancia magnética. Con la evaluación previa de todos los aspectos pertinentes al mismo, el anestesiólogo dispondrá de mayores herramientas para el manejo de eventualidades en este recinto y mediante un protocolo conocerá los insumos disponibles y los procedimientos de seguridad previamente establecidos.

## Referencias bibliográficas

1. American Society of Anesthesiologists. (2009). Practice Advisory on Anesthetic Care for Magnetic Resonance Imaging. *Anesthesiology*, *110*(3), 459–479. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31818f9206>
2. Amin, A., & Lane, J. S. (2018). The future of anesthesia for interventional radiology. *Current Opinion in Anaesthesiology*, *31*(4), 469–472. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000609>
3. Souter, K. J., & Van Cleve, W. (2017). Training anesthesiologists in out-of-operating room anesthesia. *Current Opinion in Anaesthesiology*, *30*(4), 480–489. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000478>
4. Fehr, J. J., Chao, J., Kuan, C., & Zhong, J. (2016). The important role of simulation in sedation. *Current Opinion in Anaesthesiology*, *29*(March), S14–S20. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000313>
5. Deen, J., Vandevivere, Y., & Van De Putte, P. (2017). Challenges in the anesthetic management of ambulatory patients in the MRI suites. *Current Opinion in Anaesthesiology*, *30*(6), 670–675. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000513>
6. Schroeck, H., Welch, T. L., Rovner, M. S., Johnson, H. A., & Schroeck, F. R. (2019). Anesthetic challenges and outcomes for procedures in the intraoperative magnetic resonance imaging suite: A systematic review. *Journal of Clinical Anesthesia*, *54*(September 2018), 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2018.10.022>
7. Wilson, S. R., Shinde, S., Appleby, I., Boscoe, M., Conway, D., Dryden, C., Ferguson, K., Gedroyc, W., Kinsella, S. M., Nathanson, M. H., Thorne, J., White, M., & Wright, E. (2019). Guidelines for the safe provision of anaesthesia in magnetic resonance units 2019: Guidelines from the Association of Anaesthetists and the Neuro Anaesthesia and Critical Care Society of Great Britain and Ireland. *Anaesthesia*, *74*(5), 638–650. <https://doi.org/10.1111/anae.14578>

8. Reddy, U., White, M. J., & Wilson, S. R. (2012). Anaesthesia for magnetic resonance imaging. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care and Pain*, 12(3), 140–144. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mks002>
9. Hewis, J. (2015). Do MRI Patients Tweet? Thematic Analysis of Patient Tweets about Their MRI Experience. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 46(4), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2015.08.003>
10. American Society of Anesthesiologists: Continuum of Depth of Sedation: Definition of General Anesthesia and Levels of Sedation/Analgesia. Amended October 27, 2004. Disponible: <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/continuum-of-depth-of-sedation-definition-of-general-anesthesia-and-levels-of-sedationanalgesia>
11. Munn, Z., & Jordan, Z. (2013). Interventions to reduce anxiety, distress and the need for sedation in adult patients undergoing magnetic resonance imaging: A systematic review. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 11(4), 265–274. <https://doi.org/10.1111/1744-1609.12045>
12. Munn, Z., Moola, S., Lisy, K., Riitano, D., & Murphy, F. (2014). Claustrophobia in magnetic resonance imaging: A systematic review and meta-analysis. *Radiography*, 21(2), e59–e63. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2014.12.004>
13. Lang, E. V., Ward, C., & Laser, E. (2010). Effect of Team Training on Patients' Ability to Complete MRI Examinations. *Academic Radiology*, 17(1), 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2009.07.002>
14. Volkmar, F. R. (2019). Autism and Autism Spectrum Disorders. In M. H. Ebert, J. F. Leckman, & I. L. Petrakis (Eds.), *Current Diagnosis & Treatment: Psychiatry*, 3e. McGraw-Hill Education.
15. Smith, C. J., Bhanot, A., Norman, E., Mullett, J. E., Bilbo, S. D., McDougale, C. J., Zürcher, N. R., & Hooker, J. M. (2019). A Protocol for Sedation Free MRI and PET Imaging in Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(7), 3036–3044. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04010-3>

16. Konia, M. R. (2016). Oral dexmedetomidine for preoperative sedation in an adult uncooperative autistic patient. *Journal of Clinical Anesthesia*, *34*, 29–31. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.03.037>
17. Challen, R., Low, L. F., & McEntee, M. F. (2018). Dementia patient care in the diagnostic medical imaging department. *Radiography*, *24*, S33–S42. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2018.05.012>
18. Monedero, P., Errando, C. L., Adame, M. M., Macías, A. I., & Garutti, I. (2013). La Declaración de Helsinki sobre seguridad de los pacientes en anestesiología. *Revista Espanola de Anestesiologia y Reanimacion*, *60*(SUPPL.1), 1–3. [https://doi.org/10.1016/S0034-9356\(13\)70004-5](https://doi.org/10.1016/S0034-9356(13)70004-5)
19. Leiva, A. (2017). Anestesia Fuera De Pabellón. *Revista Médica Clínica Las Condes*, *28*(5), 738–746. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2017.08.003>
20. Panych, L. P., & Madore, B. (2018). The physics of MRI safety. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *47*(1), 28–43. <https://doi.org/10.1002/jmri.25761>
21. ICNIRP - Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz TO 100 kHz). (2010). *Health Physics*, *99*(6), 818–836. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
22. Yousaf, T., Dervenoulas, G., & Politis, M. (2018). Advances in MRI Methodology. In *International Review of Neurobiology* (1st ed., Vol. 141). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.irn.2018.08.008>
23. Nimmo, A. F., Absalom, A. R., Bagshaw, O., Biswas, A., Cook, T. M., Costello, A., Grimes, S., Mulvey, D., Shinde, S., Whitehouse, T., & Wiles, M. D. (2019). Guidelines for the safe practice of total intravenous anaesthesia (TIVA): Joint Guidelines from the Association of Anaesthetists and the Society for Intravenous Anaesthesia. *Anaesthesia*, *74*(2), 211–224. <https://doi.org/10.1111/anae.14428>
24. Cross, N. M., Hoff, M. N., & Kanal, K. M. (2018). Avoiding MRI-Related Accidents: A Practical Approach to Implementing MR Safety. *Journal of the American College of Radiology*, *15*(12), 1738–1744.

- <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2018.06.022>
25. Food and Drug Administration. (2019). *Testing and Labeling Medical Devices for Safety in the Magnetic Resonance (MR) Environment Draft Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*. 301, 23. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/testing-and-labeling-medical-devices-safety-magnetic-resonance-mr-environment>
  26. *ASTM F2503-13, Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, [www.astm.org](http://www.astm.org)
  27. Lum, M., & Tsiouris, A. J. (2020). MRI safety considerations during pregnancy. *Clinical Imaging*, 62(February), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.02.007>
  28. Levine, G. N., Gomes, A. S., Arai, A. E., Bluemke, D. A., Flamm, S. D., Kanal, E., Manning, W. J., Martin, E. T., Smith, J. M., Wilke, N., & Shellock, F. S. (2007). Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: An American heart association scientific statement from the committee on diagnostic and interventional cardiac catheterization, council on clinical cardiology, and the council o. *Circulation*, 116(24), 2878–2891. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.187256>
  29. Karamitsos, T. D., & Karvounis, H. (2019). Magnetic resonance imaging is a safe technique in patients with prosthetic heart valves and coronary stents. *Hellenic Journal of Cardiology*, 60(1), 38–39. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2017.12.001>
  30. MRI Safety Guidelines. University of California, San Francisco. MRI Implant Table. Disponible: [https://radiology.ucsf.edu/sites/radiology.ucsf.edu/files/wysiwyg/patientcare/patient-safety/MRI\\_Implant\\_03-2013.pdf](https://radiology.ucsf.edu/sites/radiology.ucsf.edu/files/wysiwyg/patientcare/patient-safety/MRI_Implant_03-2013.pdf)
  31. Ucisik-Keser, F. E., Chi, T. L., Hamid, Y., Dinh, A., Chang, E., & Ferson, D. Z. (2016). Impact of airway management strategies on magnetic resonance image quality. *British Journal of Anaesthesia*, 117, i97–i102.

<https://doi.org/10.1093/bja/aew210>

32. Zaballos, M., Bastida, E., Del Castillo, T., De Villoria, J. G., & Jiménez, C. (2010). In vitro study of magnetic resonance imaging artefacts of six supraglottic airway devices. *Anaesthesia*, 65(6), 569–572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2010.06299.x>
33. Barends, C. R. M., Absalom, A. R., & Struys, M. M. R. F. (2018). Drug selection for ambulatory procedural sedation. *Current Opinion in Anaesthesiology*, 31(6), 673–678. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000652>
34. Tafur, L. A., & Lema, E. (2010). Total intravenous anesthesia: From pharmaceuticals to pharmacokinetics. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 38(2), 215–231. [https://doi.org/10.1016/S0120-3347\(10\)82005-2](https://doi.org/10.1016/S0120-3347(10)82005-2)
35. Loh, P. S., Ariffin, M. A., Rai, V., Lai, L. L., Chan, L., & Ramli, N. (2016). Comparing the efficacy and safety between propofol and dexmedetomidine for sedation in claustrophobic adults undergoing magnetic resonance imaging (PADAM trial). *Journal of Clinical Anesthesia*, 34, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.03.074>
36. Kim, J. G., Lee, H. Bin, & Jeon, S. B. (2019). Combination of dexmedetomidine and ketamine for magnetic resonance imaging sedation. *Frontiers in Neurology*, 10(APR), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00416>
37. Adapa, R. M., Axell, R. G., Mangat, J. S., Carpenter, T. A., & Absalom, A. R. (2012). Safety and performance of TCI pumps in a magnetic resonance imaging environment. *Anaesthesia*, 67(1), 33–39. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06917.x>
38. Howie, A. J., & Dryden, C. (2015). Safety and performance of an infusion pump designed specifically for the MRI environment. *European Journal of Anaesthesiology*, 32(2), 139–141. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000142>
39. Biagioni, E., Coloretti, I., Disalvo, F., Andreotti, A., Sani, F., Torricelli, P.,

- Gelmini, R., & Girardis, M. (2020). Case report of a patient who survived after cardiac arrest and cardiogenic shock by anaphylactic reaction to gadolinium during magnetic resonance imaging. *Radiology Case Reports*, 15(3), 266–268. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2019.12.006>
40. Thomsen, H. S. (2016). How to manage (Treat) immediate-type adverse reactions to GBCA. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, 25(6), 269–274. <https://doi.org/10.1097/RMR.000000000000107>
41. Rosado, A., Gonzalez-Moreno, A., Privitera-Torres, M., & Tejedor-Alonso, M. A. (2020). Anaphylaxis Induced by Magnetic Resonance Imaging (MRI) Contrast Media. *Current Treatment Options in Allergy*, 7(1), 32–42. <https://doi.org/10.1007/s40521-020-00239-x>