

Consideraciones de Anestesiología en RM

TM. Esteban Boerr Garrido

Introducción

A través de los años, una de las aplicaciones de la anestesia ha sido la necesidad de apoyar numerosos procedimientos diagnósticos y terapéuticos, tanto en niños como en adultos, fuera del pabellón habitual. La resonancia magnética, al ser una técnica con exámenes más extensos y complejos que otras exploraciones radiológicas, requiere muchas veces de este apoyo anestésico para mantener la inmovilización de los pacientes o el control respiratorio en pacientes críticos, con el objetivo de poder realizar el procedimiento de una manera segura.

Hoy en día, se cuenta con los medios técnicos, insumos farmacológicos y los conocimientos para brindar este apoyo en forma segura sin interferir mayormente con los procedimientos mismos, permitiendo también, una recuperación del paciente en forma rápida y completa.

Como ventajas del uso de apoyo anestésico en procedimientos de RM se pueden mencionar:

- Optimización en el rendimiento de la unidad de RM, debido a que pueden realizarse exámenes a un grupo mayor de pacientes que antes no era posible, entre ellos, gran parte de la población pediátrica.
- Mejoras en la calidad de los exámenes, ya que se logra disminuir los artefactos originados por movimientos del paciente gracias a la mejor inmovilización otorgada por la anestesia.
- Incidencia en la reducción de costos por hospitalización, ya que ciertos pacientes ambulatorios no deberán ser hospitalizados para efectuarse el procedimiento.
- Mayor seguridad al trabajar con pacientes de unidades críticas. El contar con apoyo anestésico en estos pacientes brinda mucho más seguridad que realizar el procedimiento sin este apoyo.

Consideraciones del equipamiento de la sala de RM

Toda sala de resonancia magnética en que se realicen procedimientos con anestesia debe contar con una serie de implementos destinados a garantizar la seguridad del paciente. Entre ellos se pueden mencionar:

- Red de oxígeno central
- Fuente de aspiración central
- Sistema de extracción de gases: Esto tiene el objetivo de disminuir la exposición del personal de salud a los gases anestésicos residuales. Cuando se administra anestesia general en base a gases anestésicos, deben existir al menos 15 cambios por hora del volumen de aire del área de trabajo, cuando ésta está en uso, con un 100% de aire del exterior.

- Disponibilidad de drogas, insumos y equipos necesarios para la actividad planeada.
- Suficientes fuentes de electricidad que permitan la instalación cómoda y funcional de la máquina de anestesia, monitores y eventuales bombas de infusión de drogas.
- Suficiente iluminación para ejecutar el procedimiento anestésico dentro de la sala.

Consideraciones del equipamiento de Anestesia

Máquina de Anestesia:

La máquina de anestesia es un aparato cuya función es aportar al paciente oxígeno y gases anestésicos en concentraciones variables por vía inhalatoria en forma predecible y segura, como también eliminar el CO₂ que éste exhala. Así mismo, permite ventilar al paciente con presión positiva.

La máquina de anestesia diseñada para RM tiene una estructura de aluminio y bandejas de aluminio, sin embargo, no es 100% compatible con el resonador, por lo que debe ubicarse a una distancia de 1,5 metros del imán, de lo contrario, puede producirse la magnetización del equipo y efecto proyectil. Además, la cercanía excesiva de la máquina con el magneto puede alterar los componentes electrónicos de ésta.

La máquina de anestesia (Fig. 1) se compone principalmente de:

- Estructura de soporte
- Circuitos
- Absorbente de CO₂
- Vaporizadores
- Ventilador Mecánico
- Flujómetros
- Salida de gases frescos



Figura 1: Máquina de anestesia

Vaporizadores:

Todos los anestésicos que se utilizan por vía inhalatoria se absorben a nivel alveolar en forma gaseosa. La mayoría son líquidos volátiles a temperatura ambiente y presión atmosférica y, por lo tanto, para su uso clínico deben cambiar su estado físico pasando de líquido a vapor.

Un vaporizador (Fig. 2) es un instrumento diseñado para facilitar el cambio de un anestésico líquido a su fase de vapor y agregar una cantidad controlada de este vapor al flujo de gases que llega al paciente.

Los vaporizadores tienen forma de cajas, que se giran y comienzan a dar gases, son tremendamente pesados. A partir del año 2007 estos vaporizadores son RM compatibles.



Figura 2: Vaporizadores

Ventilador Mecánico:

Es un dispositivo mecánico o mecánico-eléctrico (Fig. 3) diseñado para proveer todo o una parte del trabajo que debe hacer un paciente para mover gas dentro y fuera de los pulmones. El objetivo del ventilador es eliminar el CO_2 y suministrar el oxígeno al paciente.



Figura 3: Ventilador mecánico

Absorbente de CO_2 :

Puede ser cal sodada, cal baritada o cal de hidróxido de calcio. La cal sodada (Fig. 4) se presenta en forma de gránulos de color blanco que absorben el CO_2 que proviene del paciente, produciendo una reacción química que lo inactiva. Los gránulos tienen un indicador que vira al color azul cuando se agota la capacidad de absorber CO_2 .



Figura 4: Distintas presentaciones de cal sodada

Circuitos de anestesia:

Es el sistema de conducción de la mezcla de gases anestésicos hacia el paciente. Un circuito de anestesia es la unión de dos tubos corrugados, rígidos y expandibles por medio de un conector en Y (Figura 5). Existen circuitos para pacientes adultos y pacientes pediátricos, pero ambos tipos deben poseer una longitud suficiente para llegar desde la máquina de anestesia hasta el interior del resonador. Si la longitud de un circuito no es lo suficientemente larga como para permitir la RM, existen alargadores que ensamblan dos o más circuitos.



Figura 5: Circuito de anestesia

Materiales para intubación:

Dentro de los materiales necesarios para intubación se pueden mencionar el laringoscopio, tubo endotraqueal y máscara laríngea.

- Laringoscopio: sirve principalmente para examinar la glotis y las cuerdas vocales. Se compone de un mango para manejar el instrumento y una hoja (Figura 6). En el caso de los laringoscopios de fibra óptica o con otro tipo de fuente luminosa, el mango contiene en su interior las pilas que alimentan fuente luminosa. La hoja sirve para apartar la lengua y la epiglotis. Al final de la hoja se encuentra usualmente una fuente luminosa (una pequeña ampolleta o un punto de luz de fibra óptica de origen en el mango). La hoja puede ser reutilizable, en cuyo caso debe desinfectarse después de cada uso. La mayoría de los laringoscopios no son compatibles con el resonador, por lo que si se utilizan dentro de la sala deben ser manipulados firmemente y con precaución durante todo momento. Actualmente, existen laringoscopios compatibles, diseñados con materiales de bajo magnetismo ideales para trabajar en un entorno de RM.



Figura 6: Laringoscopio. Mango y hoja ensamblados.

- Tubo endotraqueal: Es un tubo que sirve para conducir gases y vapores anestésicos, así como gases respiratorios dentro y fuera de la tráquea (Figura 7). La mayoría de los tubos tienen un manguito inflable (cuff) para sellar la tráquea y los bronquios contra fugas de aire y contra la aspiración del contenido gástrico, sangre, secreciones u otros fluidos. El manguito en el extremo distal se infla con un pequeño volumen de aire después de la intubación, permite un sello entre la luz de la tráquea y el tubo, establece un sistema de inhalación sin fugas, facilita la ventilación a presión positiva de los pulmones y evita la aspiración pulmonar.



Figura 7: Tubo endotraqueal con manguito inflable

- Mascarilla Laríngea: Es un aditamento muy útil para el manejo de la vía aérea, se coloca en la orofaringe y cubre la apertura glótica en su totalidad. Provee una excelente vía aérea para la ventilación espontánea e, inclusive, puede usarse para administrar presión inspiratoria positiva. Es fácil de colocar y puede ser usada en aquellos casos en los que la intubación endotraqueal es fallida, sin embargo, no previene la insuflación del estómago con aire, ni la posible broncoaspiración por regurgitación. Es muy utilizada por algunos anesthesiólogos para exámenes en resonancia magnética.



Figura 8: Mascarilla laríngea

Bomba de infusión continua:

Una bomba de infusión (Figura 9) es un dispositivo electrónico capaz de suministrar, mediante su programación y de manera controlada, una determinada sustancia por vía intravenosa a pacientes que lo requieran. Existen bombas para RM de uno o dos canales, que permiten administrar uno o dos medicamentos, respectivamente.



Figura 9: Bomba infusora para RM

Monitorización:

En el caso de la anestesiología, la monitorización se refiere a registros de los estándares básicos y signos vitales, que tienen como objetivo medir y vigilar la oxigenación, la ventilación, la función cardiovascular, la temperatura, el nivel de relajación muscular y el estado de consciencia del paciente sometido a un procedimiento anestésico.

El monitor de anestesia debe registrar los siguientes parámetros:

- Oxigenación: A través de la medición de la saturación de oxígeno en sangre con un saturómetro. Se considera que el porcentaje adecuado de oxígeno en sangre es de entre el 95% y el 100%. Los saturómetros deben ser compatibles con RM.
- Capnografía: se refiere al registro gráfico de la eliminación de CO₂ espirado en un ciclo respiratorio. Sirve para confirmar la intubación endotraqueal y asegurar que hay conexión entre el circuito anestésico y la vía respiratoria del paciente. El uso de capnógrafo es obligatorio en una anestesia general y especialmente relevante como instrumento de detección precoz de apnea. La capnografía es un gran aporte al permitir la monitorización continua de la ventilación espontánea de pacientes sedados, ya que permite diagnosticar precozmente cambios en la ventilación, antes de que se produzca hipoxemia.

En la Figura 10 se presenta la curva de capnografía normal y algunas variantes anormales.

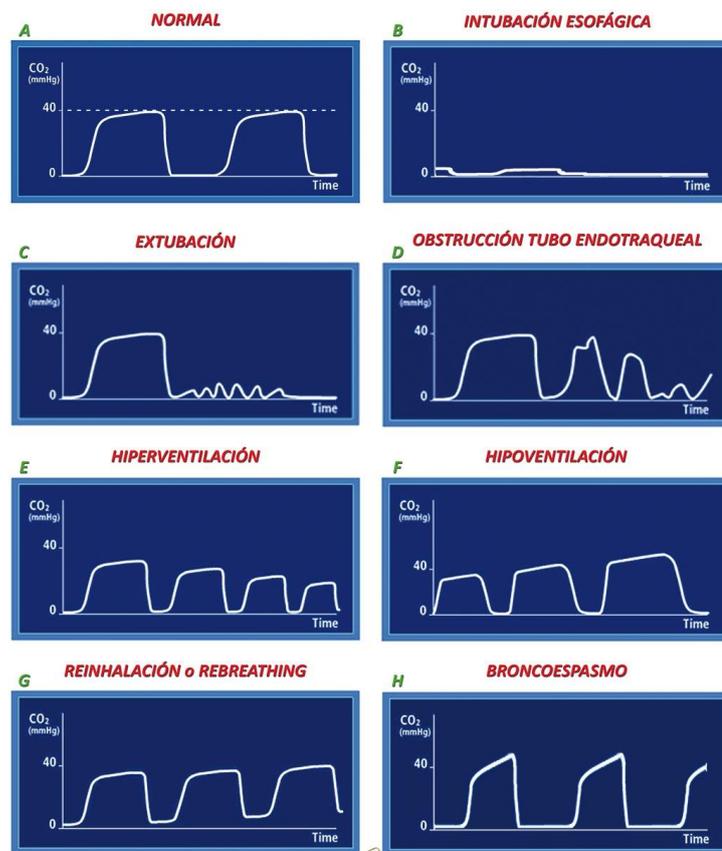


Figura 10: Capnograma fisiológico y sus variaciones más frecuentes

- **Electrocardiograma:** Tiene el objetivo de detectar cambios o alteraciones en el ritmo cardíaco o isquemia miocárdica. Deben utilizarse electrodos compatibles con RM, ya que de lo contrario pueden producirse quemaduras en la piel del paciente.
- **Presión Arterial:** Es un índice importante de la función circulatoria. La presión arterial depende del gasto cardíaco, por lo que cualquier trastorno que altere este factor afectará la presión arterial. La PAM o presión arterial media, es la media aritmética de los valores de las presiones sistólica y diastólica, su importancia reside en la interpretación de un episodio de hipotensión arterial, ya que puede verse afectado el riñón de manera irreversible, que depende de una PAM mínima de 65 mmHg. La presión arterial puede medirse en forma no invasiva mediante los manguitos de presión externos que se instalan al paciente (deben ser del tamaño correcto dependiendo de si es adulto o pediátrico) o de forma invasiva, a través de un dispositivo especial que se conecta a la línea arterial del paciente (en el caso de pacientes críticos que tengan instalado el catéter arterial).



Figura 11: Parámetros registrados en un monitor

Consideraciones del paciente

En primer lugar, se evalúa el estado del paciente, es decir, su historia clínica, comorbilidad y el estado funcional del paciente, lo que permite determinar el grado mayor o menor de riesgo asociado al procedimiento propuesto y a la anestesia. El estado funcional del paciente se evalúa a través de una clasificación propuesta por ASA (American Society of Anesthesiologists).

Clasificación propuesta por ASA:

Categoría ASA	Estado de Salud Preoperatorio	Comentarios , Ejemplos
ASA 1	Paciente sano normal	Ausencia de alteración orgánica, fisiológica, o psiquiátrica; excluye a los muy jóvenes y muy viejos; sanos con buena tolerancia al ejercicio
ASA 2	Pacientes con enfermedad leve sistémica	Sin limitaciones funcionales, tiene una enfermedad bien controlada de un sistema corporal, hipertensión o diabetes controlada sin efectos sistémicos, tabaquismo sin

		enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), obesidad leve, embarazo
ASA 3	Pacientes con enfermedad sistémica severa	Alguna limitación funcional, tiene una enfermedad controlada de más de un sistema corporal o de un sistema mayor; no hay peligro inmediato de muerte; insuficiencia cardíaca congestiva controlada (ICC), angina de pecho estable, infarto de miocardio antiguo, hipertensión arterial pobremente controlada, obesidad mórbida, insuficiencia renal crónica
ASA 4	Pacientes con enfermedad sistémica severa que amenaza en forma constante la vida	Presenta al menos una enfermedad severa que está pobremente controlada o en etapa terminal; posible riesgo de muerte; angina inestable, EPOC sintomática, ICC sintomática, insuficiencia hepatorenal
ASA 5	Pacientes moribundos que no se espera que sobrevivan sin la operación	No se espera que sobreviva más de 24 horas sin cirugía; riesgo inminente de muerte; fallo multiorgánico, síndrome de sepsis con inestabilidad hemodinámica, hipotermia, y coagulopatía pobremente controlada
ASA 6	Paciente con muerte cerebral declarada, y los órganos están siendo removidos para donación	

ASA es sólo una clasificación de estado funcional y se relaciona con el riesgo de morir que presenta un paciente al ser sometido a un procedimiento. Los pacientes ASA 5 no deben entrar a resonancia porque existe una alta probabilidad de mortalidad en el resonador.

Indicaciones de anestesia en RM:

La resonancia magnética con apoyo de anestesia puede realizarse en pacientes ambulatorios, principalmente niños o adultos claustrofóbicos o con mucho dolor. Es común en pacientes hospitalizados, sobre todo, en los neuroquirúrgicos, así como también en todos aquellos pacientes críticos que requieran soporte vital y monitorización continua.

A continuación, se enumeran las principales indicaciones de anestesia en resonancia magnética:

- Niños menores de 10 años
- Espasticidad
- Mioclonías

- Síndrome de Down
- Parálisis cerebral
- Movimientos involuntarios
- Claustrofobia
- Dolor crónico, Dolor agudo
- Pacientes UTI, UCI, Neonatología
- DOC
- Demencias
- Síndromes confusionales
- Status convulsivos
- Siquiátricos agresivos

Preparación del paciente:

En forma previa a cualquier procedimiento de RM con anestesia, debe conocerse la historia clínica del paciente, incluyendo su diagnóstico, principales patologías y el motivo por el que se solicita apoyo anestésico para la resonancia. En pacientes mayores o con patologías cardíacas podría requerirse un electrocardiograma en forma previa. En pacientes hospitalizados es importante conocer si se encuentran con administración de drogas vasoactivas, ya que esto último hará necesario que se ocupe una bomba infusora de medicamentos compatible con RM para mantener la administración continua de las drogas.

El ayuno en los pacientes es fundamental, ya que la regurgitación y aspiración del contenido gástrico durante la anestesia es una complicación desastrosa y de alta mortalidad, que se debe tratar de evitar al máximo. Una de las principales medidas para evitarla, es el ayuno pre anestésico adecuado, con el fin de disminuir el volumen del contenido gástrico durante la inducción anestésica.

El tiempo de ayuno requerido puede variar entre cada institución. Como recomendación, puede sugerirse lo siguiente:

- Para los adultos: el ayuno debe ser de dos horas para líquidos claros, como té, jugos transparentes, agua y café. Seis horas de ayuno en el caso de comidas livianas como galletas de agua y tostadas. Y ocho horas en el caso de comidas grasas o pesadas, por ejemplo las carnes o papas fritas.
- Para los niños: el ayuno debe ser de dos horas para líquidos claros; cuatro horas para leche materna; seis horas para leche de fórmula (en tarro) o comidas livianas y ocho horas para comidas grasas o pesadas.

Cabe destacar que con ciertos pacientes se deben tener precauciones adicionales. Hay que recordar que los pacientes portadores de un catéter Swan Ganz (Figura 12), dispositivo utilizado para medir la presión arterial invasiva, no deben entrar al resonador por el riesgo de producirse un sobrecalentamiento de la punta metálica del catéter y dañar las paredes del corazón.

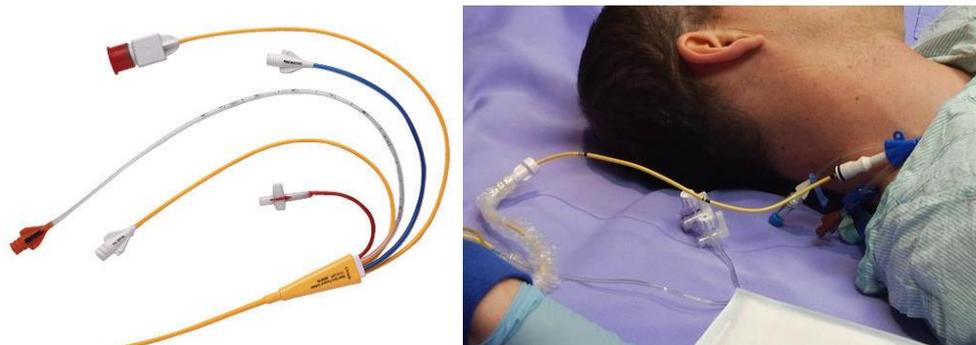


Figura 12: Catéter Swan Ganz

Otro riesgo está presente en pacientes portadores de válvula derivativa ventrículo – peritoneal (DVP). Esta válvula conecta los ventrículos cerebrales con la cavidad peritoneal, es utilizada en el tratamiento de la hidrocefalia y en otros pacientes muy dependientes de la presión del LCR. Es importante conocer qué tipo de DVP posee el paciente (programable o no programable), ya que según el tipo se deben tener ciertas precauciones. Las DVP programables se ajustan con un imán desde fuera de la piel, entonces, al entrar al resonador se corre el riesgo de desprogramar la válvula, dejando de funcionar, lo que puede aumentar la presión intracraneal (PIC). Después de 24 o 48 horas el paciente puede sufrir un enclavamiento y morir, por lo tanto, este tipo de válvulas son las más riesgosas.

Cuando se tenga que realizar una RM a uno de estos pacientes, es importante indagar si la DVP es programable o no programable, si no es programable no hay que preocuparse ya que son de presión media, baja o alta, pero si son programables se programan vía magneto y sufren alteraciones dentro del resonador. Si no se sabe qué tipo de DVP es, no se puede hacer el examen hasta que no se averigüe esta información.

A pesar de lo anterior, los pacientes con DVP programables con magneto sí se pueden hacer el examen, pero siempre y cuando una vez terminado el examen se reprogramen con el servicio técnico de la válvula, antes de transcurridas 2 horas tras la realización del procedimiento.

Consideraciones del procedimiento anestésico

El principal objetivo de la anestesia en resonancia magnética será lograr la inmovilización del paciente para llevar a cabo un examen satisfactorio, con la debida seguridad para el paciente. Además, se espera lograr un efecto amnésico en el paciente y un efecto analgésico. Estos objetivos pueden lograrse con la sedación o con la anestesia general.

En un comienzo se hablaba del concepto de neuroleptoanalgesia, un estado de conciencia alterado producido por una combinación de un fármaco neuroléptico (tranquilizante) con un

analgésico, que permitía llevar a cabo procedimientos sin dolor en sujetos despiertos. Se reducía la ansiedad, la actividad motora y la sensibilidad a estímulos dolorosos. Al combinar ese método con un anestésico inhalado (óxido nitroso) y un relajante muscular se producía la pérdida total de conciencia, denominándose neuroleptoanestesia. Actualmente, esos esquemas de fármacos casi no se ocupan o, por lo menos, no son utilizados en resonancia magnética.

Hoy en día, se utilizan los conceptos de sedación o anestesia general para describir los dos tipos principales de procedimientos anestésicos que se realizan en resonancia magnética.

En el caso de la sedación, se administran medicamentos en forma oral o endovenosa para disminuir la ansiedad de los pacientes, logrando distintos grados de alteración de la función cognitiva del paciente, pudiendo responder normalmente órdenes verbales o deprimiendo el nivel de conciencia a grados más elevados. Sin embargo, no se interviene la capacidad del paciente para mantener la permeabilidad de las vías aéreas y la función respiratoria. Se obtendrá un paciente calmado, tranquilo y amnésico.

La anestesia general es un estado de narcosis, depresión severa del sistema nervioso central producida por agentes farmacológicos. Los anestésicos producen estos efectos porque llegan al cerebro a una presión parcial elevada que les permite atravesar la barrera hematoencefálica y así causar una depresión grave del sistema nervioso central.

Ventajas de la sedación

- No es necesario lograr un nivel tan profundo de inconciencia ni se requiere de intubación traqueal, por lo que se pueden evitar complicaciones respiratorias.
- Menos alteraciones en la función hemodinámica.
- Con sedación vía oral, podría no requerirse vía venosa.
- Se disminuye la ansiedad de los padres (en caso de niños) al evitar anestesia general.
- Podría no requerirse tanto personal de anestesia

Ventajas de la anestesia general

- Staff de anestesia presente durante todo el procedimiento
- Inducción y recuperación rápidas
- La anestesia puede ajustarse de acuerdo a las condiciones del examen
- Vía aérea y estado cardiovascular controlados

Resonancia magnética bajo sedación:

Sedación en niños:

Con la sedación de pacientes pediátricos se busca disminuir el nivel de conciencia del paciente para poder realizar una resonancia en forma adecuada. Además, si el paciente tiene una condición de salud que le produce dolor se debe apuntar a controlar el nivel de dolor también. La sedación no comprometerá la función respiratoria por lo que no se requerirá de algún método de intubación ni uso de máquina de anestesia como ventilador, sin embargo, se debe disponer de estos elementos en la sala de resonancia para utilizarlos en el caso de que exista alguna

complicación del procedimiento de sedación. Por la misma razón anterior, hay que destacar que, aunque sólo se realice una sedación, el paciente debe ser monitorizado para controlar sus signos vitales.

En general, la decisión de sedar o no al paciente versus una anestesia general, dependerá del anestesiólogo encargado, tomando en cuenta la patología del paciente, la duración del examen, el riesgo de que se produzca aspiración de contenido gástrico, etc. Como no siempre se puede predecir la duración exacta de un examen de resonancia y como el efecto de los sedantes es de duración limitada, la sedación en niños no es muy recomendada, prefiriendo realizar anestesias generales de forma más controlada.

Para sedar un paciente pediátrico se debe ocupar un medicamento que pueda ser administrado en forma fácil e indolora, de efecto rápido, consistente, de duración controlable, sin efectos colaterales y sin depresión residual. Los principales medicamentos utilizados para la sedación de niños son: hidrato de cloral, midazolam, ketamina, propofol y dexmedetomidina.

El hidrato de cloral es un medicamento que era muy utilizado en niños para lograr sedación antes de una resonancia magnética, actualmente, se usa muy poco. Es un hipnótico, sedante y ansiolítico, sin efecto analgésico, es de inicio lento, 15 a 120 min, con un promedio de 25 min, su efecto puede durar de dos a tres horas. Su uso está limitado a la inducción de sueño en niños que necesitan estar inmóviles para la realización de resonancia magnética. Su uso por la vía oral ha quedado muy restringido por su mal sabor, sin embargo se puede administrar por vía rectal con seguridad y se debe monitorizar al paciente que ha recibido hidrato de cloral. Las desventajas de este medicamento son que puede requerir un largo tiempo de inducción para hacer efecto y que éste puede ser muy prolongado.

El midazolam, una benzodiazepina, es otro medicamento sedante muy utilizado en pediatría previo a una resonancia. Es un sedante hipnótico con efecto amnésico, sin propiedades analgésicas. Puede administrarse por vía endovenosa, rectal, nasal o intramuscular. Al ser administrado por vía endovenosa su efecto se logra entre 1 y 2 minutos después de la administración, si se administra por vía oral el efecto se logra a los 10 minutos. El efecto dura entre 30 min y 1 hora. En niños menores de 5 años, su efecto es limitado debido a que puede producir efecto paradójal.

Una reacción paradójica a un fármaco, o efecto paradójal, es la aparición de un resultado opuesto al esperado tras su administración. Uno de los efectos paradójales más conocidos es la excitación de pacientes pediátricos tras la administración de midazolam, que puede incluir: nerviosismo, excitación, verborrea, intranquilidad motora, confusión mental, agitación sicomotriz. Todos estos síntomas constituirán un serio contratiempo al presentar los efectos opuestos a los deseados.

La ketamina es un analgésico, sedante y amnésico, produce un estado disociativo (estado de trance) de corta duración, con una duración promedio de 20 minutos. Mantiene los reflejos de la vía aérea, la respiración espontánea y la estabilidad hemodinámica. Si se administra rápidamente por vía endovenosa podría deprimir la función respiratoria. La ketamina está contraindicada cuando exista hipertensión endocraneal. Como efecto secundario podría producirse agitación del paciente.

El propofol es un hipnótico, sedante, de efecto ultra rápido (15 a 45 segundos), posee una recuperación rápida de segundos. Para utilizarse como sedante se debe administrar en forma continua para mantener el efecto. Si se administra muy rápido puede producir depresión cardiovascular y respiratoria, por este motivo, también se ocupa en la anestesia general, pero a dosis mayores. La administración de propofol endovenosa puede producir dolor en el sitio de inyección.

La dexmedetomidina (uno de sus nombres comerciales es Precedex), es un hipnótico y analgésico que la FDA sólo ha aprobado para sedación en unidades de terapias intensivas. A pesar de esto, ha demostrado ser un buen fármaco para el uso como sedante y analgésico en resonancia magnética. Debe administrarse como infusión continua, utilizando una bomba infusora compatible. No ocasiona depresión de los centros respiratorios y existe relativa seguridad en su uso, sin embargo, uno de los efectos secundarios de la dexmedetomidina es que disminuye la presión arterial y la frecuencia cardiaca, por lo que el paciente debe ser correctamente monitorizado.

A pesar de que se han utilizado diferentes medicamentos o combinaciones de éstos con el objetivo de sedar a los pacientes para RM, no existe ningún medicamento que pueda utilizarse con un 100% de eficacia y seguridad en todos los niños. Se sugiere que lo más recomendado es el uso de una infusión continua de propofol o dexmedetomidina, utilizando bomba infusora. Sin embargo, todas las técnicas descritas tienen algún grado de incidencia de fallos (sedación inadecuada) y complicaciones.

La anestesia general en niños se preferirá frente a la sedación, por ejemplo, en niños con déficit neurológicos, retraso del desarrollo neurocognitivo, o con problemas de comportamiento. Igualmente, cuando se prevea que la resonancia va a requerir mucho tiempo.

Sedación en adultos:

En adultos se debe lograr una sedación moderada previa a la resonancia magnética. Según la American Society of Anesthesiologists (ASA), la sedación moderada corresponde a un nivel mínimo de depresión en el estado de conciencia, con percepción disminuida del ambiente y el dolor, conservando respuesta a la estimulación física y verbal, adecuada ventilación espontánea, reflejos de deglución y estabilidad hemodinámica. Se han utilizado múltiples fármacos para este fin, en la actualidad, lo más recomendado es el uso de las benzodiazepinas, administradas únicas o combinadas con opiáceos (sedación sola o combinada con analgesia).

Respecto a las benzodiazepinas, existen dos fármacos ampliamente utilizados, diazepam y midazolam, comparables en eficacia, que producen sedación, amnesia y disminución de la ansiedad. Difieren en potencia y tiempo de inicio de acción y duración, siendo el midazolam más potente, rápido en actuar y rápido de revertir. Al ser administrados en forma endovenosa, su efecto se logra durante los primeros 5 minutos. La duración del efecto del midazolam va entre 20 minutos y 1 hora, el efecto de diazepam va entre 1 hora y 6 horas.

Respecto a los opiáceos, analgésicos, el uso de fentanyl ha ido en ascenso debido a su menor tiempo de inicio de acción, rápido clearance y menor incidencia de náuseas en comparación con otros opiáceos. Los opiáceos deben ser utilizados con precaución en pacientes

usuarios de medicamentos depresores del sistema nervioso central. El fentanyl es un potente analgésico.

La combinación de benzodiazepinas y opiáceos se usa en algunos casos, especialmente para procedimientos de mayor duración, pero hay que considerar que esta asociación aumenta el riesgo de desaturación y complicaciones cardiovasculares, por lo que es muy importante la monitorización.

La dexmedetomidina (Precedex), al igual que en pacientes pediátricos, también se utiliza como buen sedante y analgésico en infusión continua, sin el riesgo de producir depresión respiratoria.

Resonancia magnética con anestesia general:

La anestesia general con intubación endotraqueal o uso de algún dispositivo supraglótico (mascarilla laríngea) es preferible a la sedación. Existen diferentes razones para explicar lo anterior:

- En presencia de presión intracraneal elevada, la administración de sedantes se asocia con depresión respiratoria e hipercapnia que empeoran el pronóstico, porque aumentan la presión intracraneal.
- Se asegura el control sobre la vía aérea.
- Se obtiene inmovilización efectiva.

Antes de comenzar con el procedimiento de anestesia general, se deben verificar ciertos elementos de seguridad. Esta labor la realiza, habitualmente, el mismo personal de anestesia (médico, enfermera o técnico). Los principales elementos que se deben verificar son:

- Estado de la máquina de anestesia
- Presencia de oxígeno de la red central o balón auxiliar completo (compatible con RM).
- Buen funcionamiento del dispositivo para la administración de oxígeno
- Buen estado de flujómetro, vaporizador, circuitos, absorbente de CO₂
- Buen funcionamiento del ventilador
- Monitor de signos vitales operativo
- Consentimiento informado para anestesia
- Vía venosa permeable

La anestesia general puede ser inhalatoria total (sólo con gases anestésicos), endovenosa total (sólo con medicamentos endovenosos) o balanceada (usando gases y medicamentos endovenosos).

Independientemente del tipo de anestesia general utilizada, ésta puede dividirse en 3 etapas: inducción, mantenimiento y recuperación.

Inducción anestésica:

Etapa de comienzo de la anestesia. Implica "inducir" al paciente a un plano anestésico, producir un grado de hipnosis, analgesia y relajación muscular. Su profundidad depende de las características farmacológicas del agente empleado, dosis, vía utilizada y condiciones del paciente. Generalmente, se usan fármacos por la vía intravenosa de inicio de acción rápido, con la ayuda por la vía inhalatoria de una oxigenación al 100%. En esta etapa se procede a la intubación, ya sea, con tubo endotraqueal o mascarilla laríngea.

Hipnosis:

La hipnosis es el primer objetivo que se debe lograr durante la inducción anestésica. Se consigue mediante el uso de anestésicos endovenosos o inhalatorios.

Como anestésico inhalatorio para lograr la hipnosis en la inducción, el sevoflurano es el gas más utilizado en resonancia magnética. Aunque éste es un gas anestésico que comúnmente se utiliza para el mantenimiento de la anestesia, también es utilizado para la inducción en las anestесias de tipo inhalatorias. Se prefiere como inductor en pacientes pediátricos por su rapidez o en pacientes pediátricos en que, por decisión, se ha evitado instalar una vía venosa. También se utiliza como inductor en pacientes adultos, ya que este gas tiene una repercusión hemodinámica mínima, siendo útil en pacientes con sepsis o con otro tipo de compromiso hemodinámico.

En el caso de los anestésicos endovenosos utilizados para lograr hipnosis durante la inducción, se pueden incluir varios fármacos, como el propofol, la ketamina o las benzodiazepinas.

El propofol es un medicamento comúnmente utilizado para lograr hipnosis en la inducción anestésica, debido a su rápido efecto de acción y recuperación. Produce depresión cardiovascular debido a su efecto vasodilatador arterial, además, es un profundo depresor de la ventilación cuando es administrado en forma rápida. El regreso de la conciencia más rápido, con efectos residuales mínimos a nivel del SNC, parece ser la ventaja más importante del propofol sobre otras drogas usadas para la inducción de la anestesia. Cuando se administra el propofol produce niveles altos de dolor en el sitio de inyección, debido a esto, puede administrarse un bolo de lidocaína endovenosa en el mismo sitio de inyección previo a la administración del propofol, reduciendo considerablemente el dolor asociado a la administración de este medicamento.

La ketamina ejerce una acción anestésica corta y disociativa, ya que el paciente aparenta estar despierto, pero incapaz de responder a estímulos sensitivos, con pérdida de la conciencia, inmovilidad y amnesia.

Las benzodiazepinas más utilizadas en la práctica clínica anestésica son: diazepam, midazolam y lorazepam. Sirven para tranquilizar al paciente como pre anestésicos, así como para generar, mantener o completar la anestesia. Por sí mismas ejercen buena acción hipnótica, amnesia y cierto grado de relajación muscular.

Analgesia:

La analgesia es el segundo objetivo de la inducción anestésica. La resonancia magnética no es un procedimiento que genere dolor por sí sola, a diferencia de una cirugía, por lo que la mayoría de los pacientes no requerirán de fármacos anestésicos. Sin embargo, algunos pacientes

que se realizan RM presentan patologías que sí provocarán dolor durante la realización de la resonancia.

El fentanilo es el analgésico opioide más utilizado durante la inducción. Al tratarse de un opiáceo de gran potencia da una gran estabilidad hemodinámica y al mismo tiempo su tiempo de acción tan corto lo hace muy manejable clínicamente. Produce sedación y depresión respiratoria, dependiendo de la dosis. Puede provocar rigidez de la pared torácica impidiendo la ventilación.

Relajación muscular:

La relajación muscular es el tercer objetivo de la inducción anestésica, se plantea sólo cuando se requiere utilizar tubo endotraqueal para la intubación, debido a que los tejidos de la zona de la tráquea son muy reflexógenos y se necesita la relajación de los tejidos musculares para lograr una intubación adecuada. Los relajantes musculares se clasifican en dos grupos: despolarizantes y no despolarizantes.

Los *relajantes musculares despolarizantes* actúan como agonistas de los receptores nicotínicos de la unión neuro muscular, produciendo la despolarización de la fibra muscular, pero persistiendo largo tiempo en esta unión, generando una activación constante de la fibra muscular. Esta activación repetida del receptor conduce a una reducción progresiva de la respuesta de éste y a una pérdida de la excitabilidad muscular. Inicialmente, la despolarización prolongada se traduce en fasciculaciones musculares transitorias a las que siguen un bloqueo de la transmisión con parálisis muscular.

El único relajante muscular despolarizante utilizado es la succinilcolina. Es el de acción más corta y rápida, su indicación por excelencia es la inducción e intubación rápida (cualquier situación en la que existe riesgo de regurgitación o vómito en la inducción o posibilidad de intubación difícil, en enfermos con estómago lleno, embarazo o traumatismos). Sus efectos relajantes se manifiestan en primer lugar, en el músculo esquelético, tórax y abdomen, seguido de las extremidades inferiores y resto de músculos. El uso de succinilcolina produce muchos efectos secundarios, por lo que se utiliza muy poco en la actualidad.

Los *relajantes musculares no despolarizantes* también se unen a los receptores postsinápticos nicotínicos de la unión neuro muscular, pero actúan como antagonistas competitivos. Como consecuencia, no se produce la despolarización necesaria para propagar el potencial de acción muscular. Los relajantes musculares no despolarizantes más utilizados son: pancuronio, vecuronio y rocuronio (compuestos esteroideos) y atracurio, cisatracurio y mivacurio (bencilisoquinolonas).

La instauración de la relajación muscular es rápida y se observa una debilidad motora inicial que progresa a parálisis muscular. Los primeros músculos en paralizarse son los extrínsecos oculares y los faciales, seguido de extremidades, cuello y tronco. Finalmente, se paralizan los músculos intercostales y el diafragma, lo que conduce a la apnea. Los distintos tipos de relajantes musculares de este grupo varían en el tiempo de inicio de la parálisis muscular (desde 1 a 5 minutos) y en el tiempo de duración de la parálisis (desde 20 minutos a 70 minutos).

El uso de relajantes musculares puede acarrear ciertos efectos secundarios, como arritmias, broncoespasmo, convulsiones o bradicardia, dependiendo del tipo de relajante utilizado.

Mantenimiento de la anestesia:

Etapa que sigue a la inducción anestésica. El paciente se encuentra en un plano anestésico adecuado que permite el desarrollo de la resonancia magnética, hay analgesia y protección neurovegetativa. Se usan, generalmente en conjunto, las vías inhalatoria y la intravenosa. La mantención anestésica debe prolongarse lo que dure la RM.

Por vía inhalatoria se utilizan gases halogenados para mantener al paciente anestesiado, éstos deben ser utilizados con vaporizadores. Los anestésicos halogenados son líquidos volátiles que constituyen una familia relativamente homogénea, derivados del halotano; su acción se caracteriza por la hipnosis más o menos rápida, el bloqueo motor y el bloqueo neurovegetativo. No son analgésicos per se, pero bloquean la respuesta hemodinámica al dolor. Se usan ampliamente en mantenimiento anestésico. Producen broncodilatación, vasodilatación, hipotensión y bradicardia, por ello, son potentes depresores del SNC.

El sevoflurano es el gas anestésico más utilizado en resonancia magnética. El sevoflurano es un gas con muy poco olor y poco irritante para la vía aérea, con buena rapidez de acción (baja solubilidad sangre/gas) y lo que es más importante carece de los efectos adversos descritos para otros gases como el halotano. Actúa deprimiendo la actividad neuronal y provoca la pérdida de la conciencia cuando se alcanzan concentraciones cerebrales suficientes. Produce un rápido despertar, cuando cesa su administración, el tiempo medio del momento para abrir los ojos después de la anestesia con sevoflurano varía entre 7 y 10 minutos.

Por vía endovenosa, para la etapa de mantención se ocupan los mismos medicamentos utilizados en la inducción usando bombas de infusión compatibles con RM o bolos periódicos de fármacos.

Es importante destacar que durante la etapa de mantención de anestesia es fundamental la monitorización del paciente, ya que pueden presentarse ciertas complicaciones como: hipertensión, hipotensión, disrritmias, broncoespasmo, paros cardíacos o hipoxia. Por este motivo, durante el procedimiento de anestesia deben mantenerse algunas drogas disponibles en caso de ser necesario utilizarlas, dentro de éstas se pueden mencionar:

- Atropina: droga anticolinérgica, vagolítico, que como efecto aumenta la frecuencia cardíaca.
- Efedrina, Norepinefrina: broncodilatadores, adrenérgicos, vasoconstrictores, que como efecto disminuyen el diámetro de vasos arteriales y venosos, aumentando la presión arterial.

Recuperación de la anestesia:

Una vez terminada la resonancia se suspende la administración de agentes anestésicos y comienza esta etapa. Depende del tipo de anestesia aplicada, pero en general, es relativamente rápida. Comienza con la reaparición de reflejos ausentes (tusígenos, deglución, respiración espontánea, y otros), del tono muscular, la respiración y aumento de la actividad circulatoria. Algunos pacientes requerirán monitorización continua y apoyo con oxigenación.

Al cesar la administración de gases anestésicos, se verá que el paciente recupera rápidamente la respiración espontánea y entre los 10 y los 12 minutos despierta y recupera la conciencia. El despertar suele ser tranquilo e indoloro; los pacientes colaboran cuando deben ser cambiados de la camilla de resonancia a la camilla de traslado, casi nunca presentan náuseas ni vómitos y a los pocos minutos son capaces de conversar coherentemente.

La recuperación de la anestesia puede realizarse en la misma sala de resonancia, en alguna sala contigua o en la sección de recuperación de pabellón de la institución. Lo importante, independientemente del lugar donde se realice, es contar con acceso a oxígeno de red central o con tubos portátiles, con sistemas de aspiración, con acceso a carro de paro y con disponibilidad de asistencia de personal de anestesiología.

El alta debe ser otorgada por el mismo anesthesiologo responsable del procedimiento. En general, los pacientes deberían cumplir una serie de criterios para el alta, que pueden resumirse en los siguientes:

- Consciente y orientado
- Con los signos vitales estables dentro de la última hora
- No antes de un intervalo de tiempo suficiente para lograr la ausencia del efecto clínico del anestésico usado
- La saturación de oxígeno medida por oximetría de pulso debe estar en los límites normales con o sin oxígeno suplementario
- Ausencia de náuseas y/o vómitos

Reanimación:

En el caso de paro cardiorrespiratorio que requiera algún tipo de reanimación, hay que recalcar que toda reanimación básica o avanzada se debe realizar fuera del campo de alta energía debido al riesgo de producción de efecto proyectil, es decir, fuera de la sala del resonador. Los objetos que producen efecto proyectil son: carro de paro, desfibrilador, balón de oxígeno, laringoscopio, fonendoscopio, bombas para infusión de drogas vasoactivas y otros accesorios.

Consideraciones relacionadas a imágenes cerebrales:

Cuando se efectúan resonancias de cerebro en pacientes anestesiados o con algún tipo de sedación, pueden aparecer ciertos artefactos relacionados a los medicamentos administrados.

Un caso muy frecuente es el que ocurre con el **propofol**. Este medicamento, como se vio anteriormente, es muy utilizado durante la etapa de inducción de la anestesia, sin embargo, también es utilizado en dosis repetidas en algunos ocasiones durante la etapa de mantenimiento de la anestesia, la mayoría de las veces, en casos en que no se utilizan gases anestésicos para este fin. En pacientes pediátricos, con administraciones repetidas de propofol, puede producirse una alteración en las imágenes de la secuencia FLAIR, donde se observará falta de supresión de la señal del LCR en lugares donde habitualmente no ocurre este problema, como en las cisternas basales y espacio subaracnoideo.

La razón de este fenómeno no está completamente esclarecida, pero se proponen ciertas teorías para explicarlo. Una teoría es que el tiempo de inversión en la secuencia FLAIR no logra atenuar la señal proveniente del propofol, debido a que tendría otro null point distinto al del LCR normal. Otra teoría indica que este efecto se produciría por cambios en los niveles proteicos del LCR debido a la unión del propofol a proteínas.

Por otra parte, se ha demostrado que la **administración suplementaria de oxígeno** a niveles elevados también produce este efecto de hiperintensidad en secuencias FLAIR, como resultado de una falta de supresión del LCR (Figura 13). Esto se explicaría porque el oxígeno acortaría el tiempo de relajación del LCR, evitando así la correcta supresión con la secuencia FLAIR. Al aumentar el oxígeno disuelto en la sangre debido al incremento del oxígeno administrado aumentaría la cantidad de oxígeno disuelto que difunde a los tejidos y al LCR, provocando el fenómeno antes descrito.

Más allá de conocer el mecanismo exacto, que no está completamente claro, es importante tener presente que es un fenómeno que suele ocurrir y que debe conocerse para evitar errores en la interpretación de las imágenes.

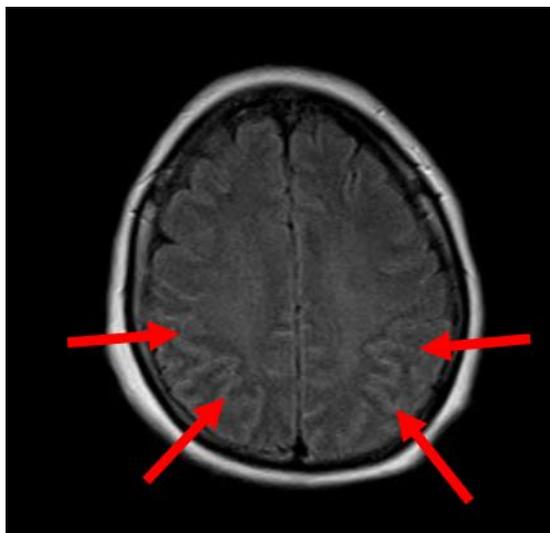


Figura 13: Paciente adulto que recibió administración suplementaria de oxígeno a altas dosis durante la RM. Se observa ausencia de supresión en el espacio subaracnoideo en imagen FLAIR (flechas).

