

**El valor añadido de la susceptibilidad magnética:
revisión de sus aplicaciones en la patología
neurológica**

**Laura Koren Fernández, Patricia Martín Medina,
Amaya Hilario Barrio, Elena Salvador Álvarez,
Gerardo Ayala Calvo, Ana Ramos González**

Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España

Objetivos Docentes

La secuencia SWI se obtiene en pocos minutos y ha sido recientemente incorporada al protocolo estándar en neuroimagen de nuestro hospital

- ❖ Presentamos un resumen iconográfico con casos seleccionados de las diferentes patologías ocurridas en los últimos 3 años en nuestro centro que han sido estudiadas con la secuencia SWI.
- ❖ Comparamos su utilidad con la secuencia T2*
- ❖ Demostramos su valor añadido a la hora de diagnosticar determinadas entidades con respecto a las secuencias convencionales.

Revisión del tema

Se define susceptibilidad magnética como la capacidad de una sustancia para inducir una variación del campo magnético local en presencia de un campo magnético externo.

La secuencia de susceptibilidad magnética (SWI, del inglés susceptibility-weighted imaging) aprovecha las diferencias existentes en las propiedades magnéticas entre tejidos como un nuevo medio de contraste.

El éxito de esta secuencia se debe a que ha demostrado una alta sensibilidad en la detección de sustancias paramagnéticas y diamagnéticas como la hemosiderina, la ferritina, el calcio y la desoxihemoglobina, proporcionando información complementaria a la obtenida en las secuencias convencionales.

Demostramos su utilidad diagnóstica en la patología traumática, vascular, inflamatoria y tumoral.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

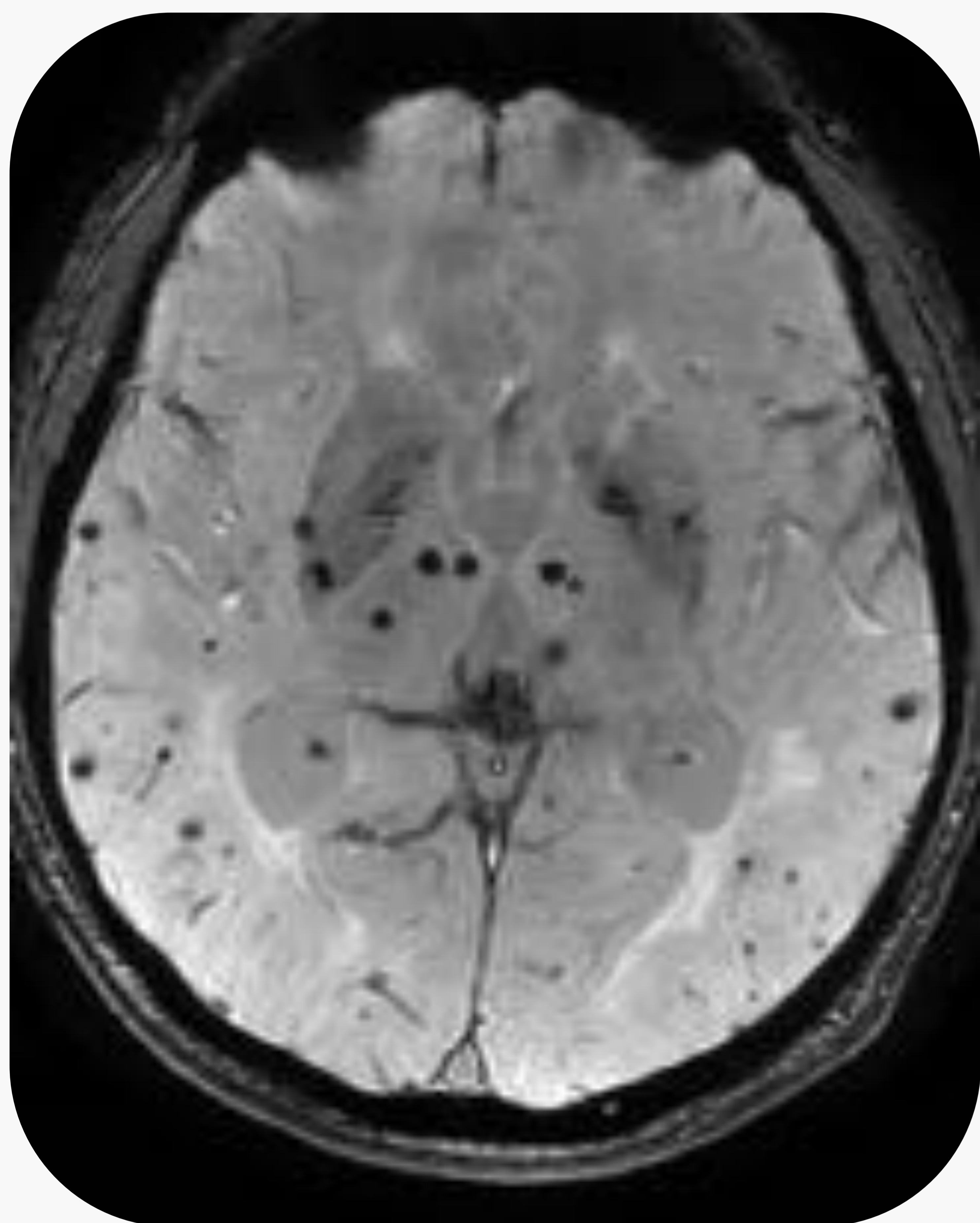
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Microhemorragias

El término **microhemorragia** hace referencia a lesiones ovaladas o redondas en el parénquima cerebral de 5 – 10 mm de diámetro máximo con baja señal en T2* y SWI que corresponden histológicamente con acúmulos de macrófagos cargados de hemosiderina.



Las encontramos en sujetos sanos y su prevalencia aumenta con la edad.

Se han relacionado tradicionalmente con el deterioro cognitivo pero recientes estudios muestran resultados controvertidos en los que **no hay una clara correlación entre las microhemorragias y el deterioro cognitivo leve en la edad avanzada.**

Son **más frecuentes** en paciente con **encefalopatía hipertensiva** y **angiopatía por depósito de amiloide**. En estos subgrupos de pacientes además tienen implicación pronóstica puesto que se correlacionan con un aumento en el riesgo de sufrir accidentes cerebrovasculares.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

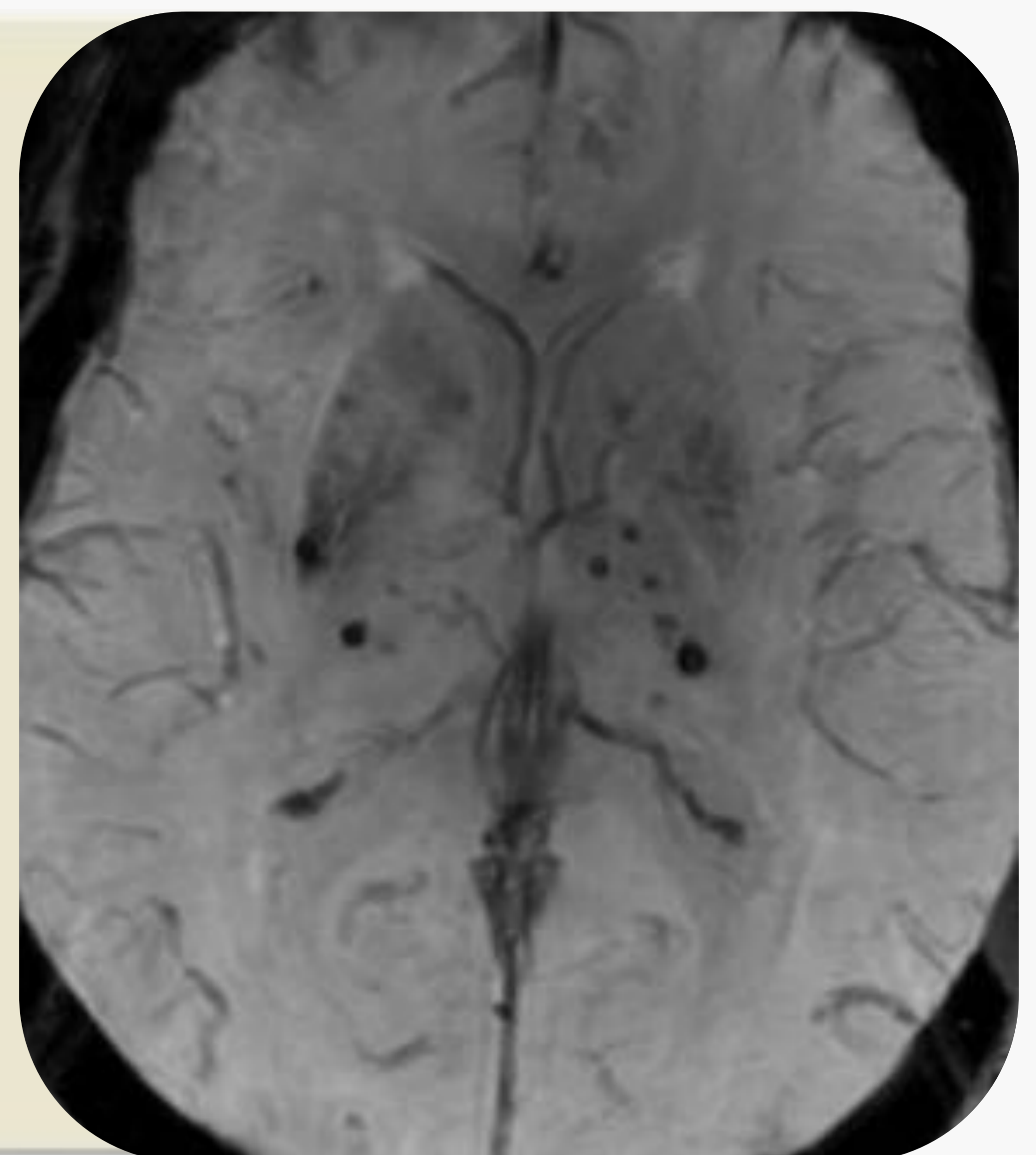
patología tumoral

patología inflamatoria

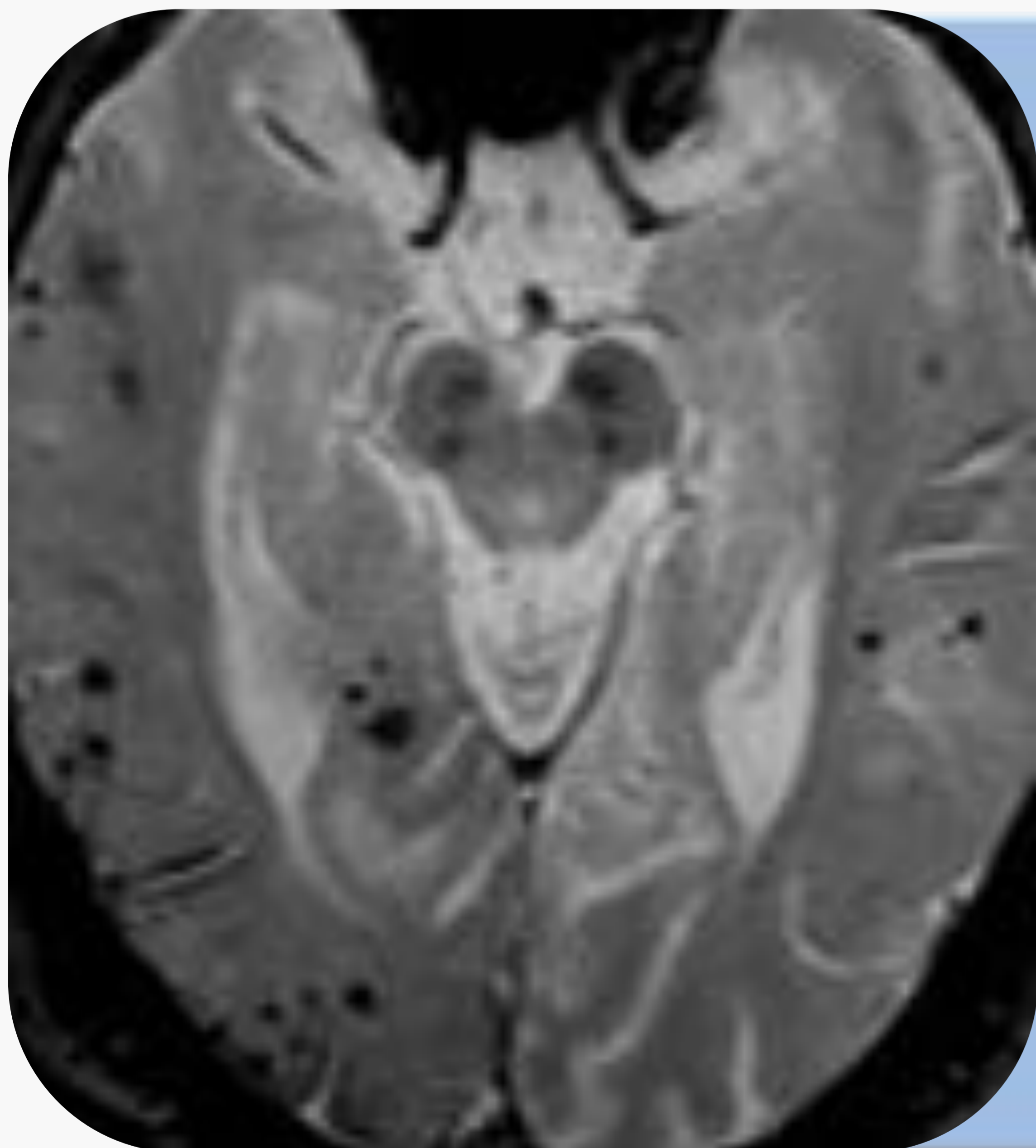
patología traumática

Microhemorragias

La **vasculopatía hipertensiva** afecta preferentemente a ramas penetrantes luego las microhemorragias se distribuirán preferentemente en los **ganglios basales, tálamos, sustancia blanca profunda y tronco del encéfalo.**



Secuencia SWI que pone de manifiesto múltiples microhemorragias en ganglios de la base y tálamos en paciente con encefalopatía hipertensiva



En la **angiopatía amiloide** el depósito de β -amiloide se produce en las paredes de las pequeñas y medianas arterias, arteriolas y capilares de la corteza cerebral y leptomeninges por lo que las microhemorragias predominan en la región **cortico-subcortical de los hemisferios cerebrales.**

Secuencia SWI que pone de manifiesto múltiples microhemorragias subcorticales y hemosiderosis superficial en un paciente con angiopatía amiloide.

También son un hallazgo habitual es patologías más raras como el **CADASIL** (del inglés cerebral autosomal dominant arteriopathy, subcortical infarcts, and leukoencephalopathy), la **enfermedad de moyamoya**, la **enfermedad de Alzheimer**, **malaria cerebral**, las **endocarditis infecciosas** o las **vasculitis**.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

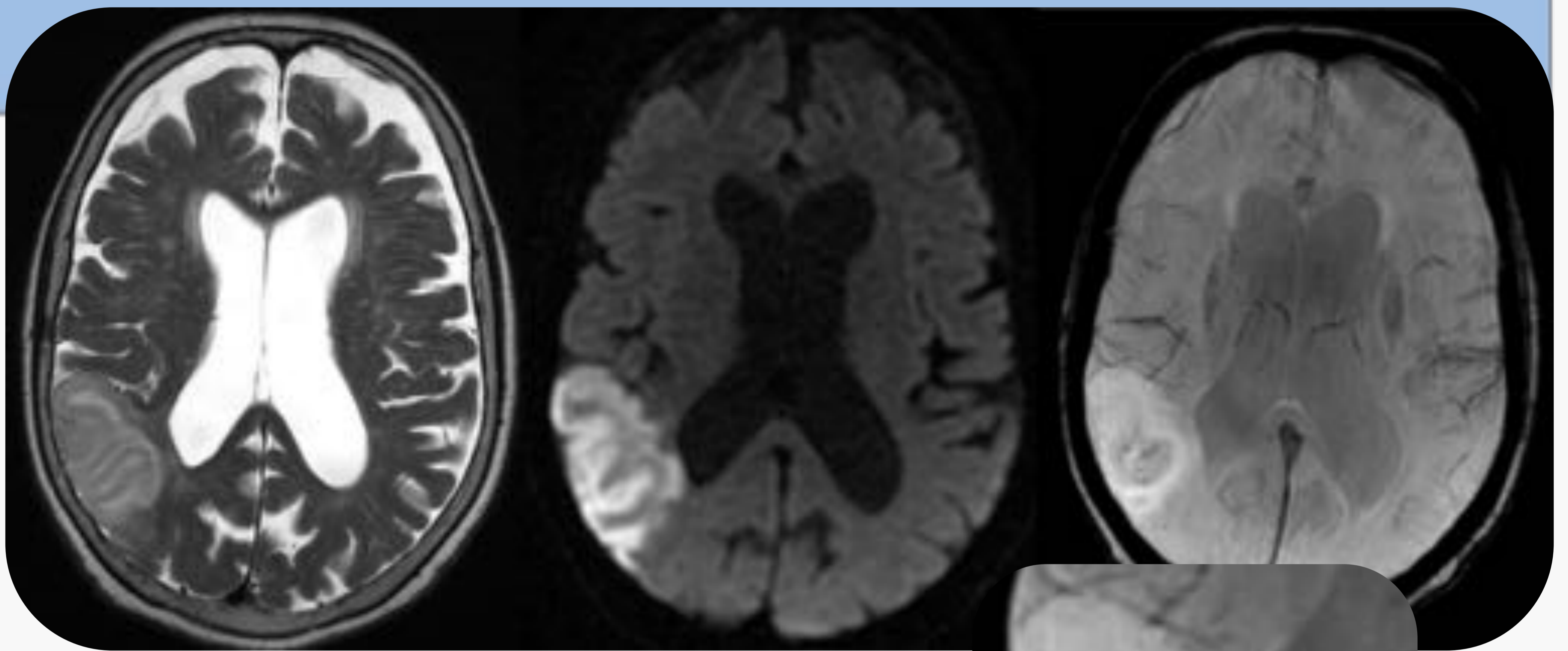
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Ictus isquémico

La secuencia SWI es el gold estándar para detectar hemorragia en los pacientes con ictus por tener una sensibilidad muy superior a las secuencias convencionales y a la TC.



Hemorragias petequiales solo identificadas en la secuencia SWI en el seno de un infarto agudo parietal derecho.

La naturaleza paramagnética del trombo hace que sea posible distinguirlo de los tejidos circundantes habiéndose demostrado muy buena correlación en su detección con la secuencia SWI comparada con la secuencia angiográfica 3DTOF



Hipointensidad de señal en la secuencia SWI en la teórica localización de la ACM derecho debida al efecto paramagnético del trombo reciente. RM angiográfica con técnica 3DTOF sin contraste muestra oclusión focal en una rama M2.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

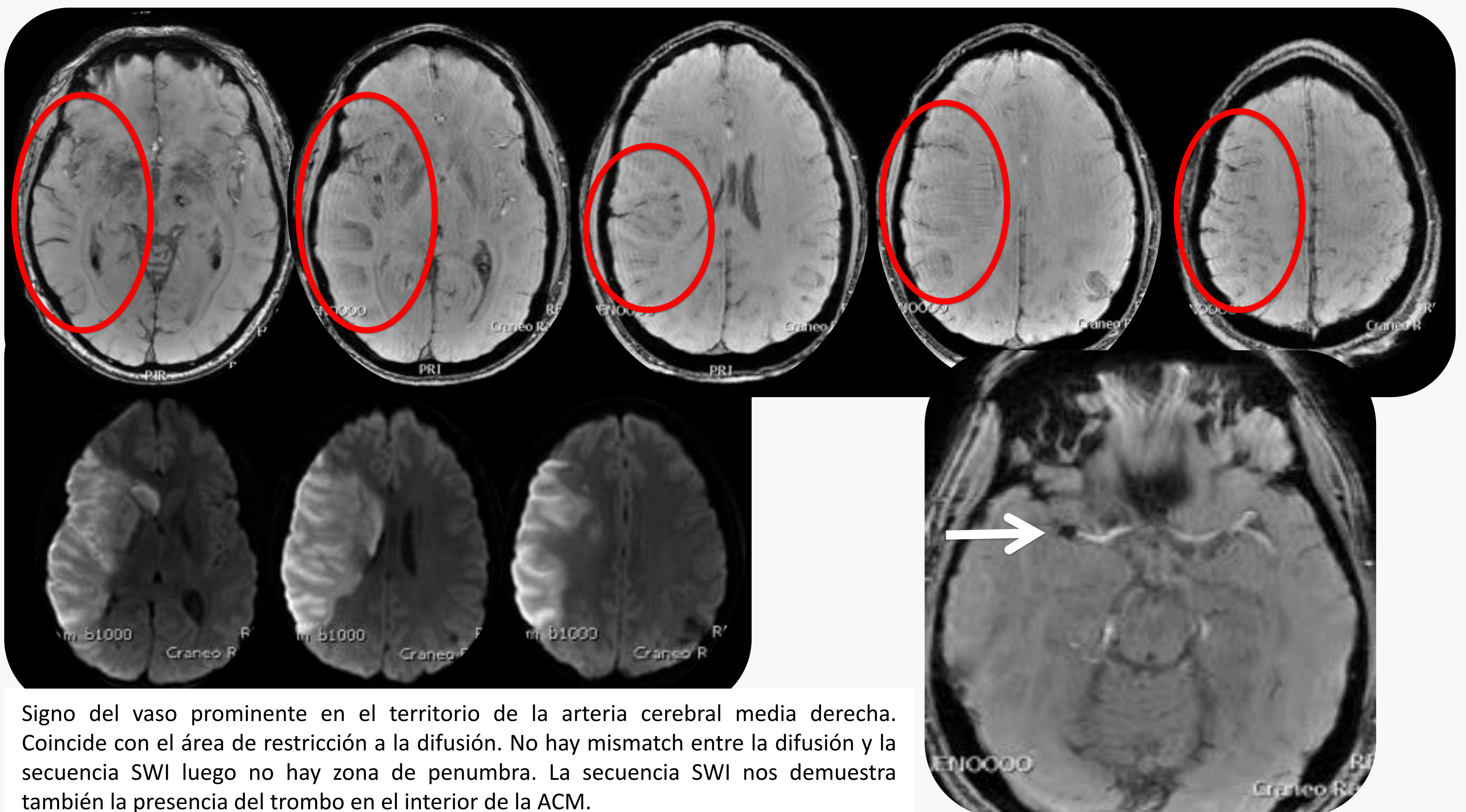
Ictus isquémico

Se está evaluando además **utilizar la secuencia SWI como una alternativa a la perfusión en la valoración de la penumbra** en el ictus agudo. Aportaría información comparable al tiempo de tránsito medio de la secuencia de perfusión y por tanto **el mismatch existente entre las áreas de PVS y las de restricción a la difusión se corresponderían con la penumbra**.

ventajas

no requiere la administración de medios de contraste, es más simple de adquirir y no requiere un post-proceso complejo.

Se basa en el **signo del vaso prominente** o PVS (del inglés, prominent vessel sign) y es que las **venas de drenaje de áreas con flujo cerebral disminuido** tienen mayor contenido en desoxihemoglobina lo que aumenta su diferencia de susceptibilidad magnética con el parénquima y las hace **más prominentes en la secuencia SWI**.



Signo del vaso prominente en el territorio de la arteria cerebral media derecha. Coincide con el área de restricción a la difusión. No hay mismatch entre la difusión y la secuencia SWI luego no hay zona de penumbra. La secuencia SWI nos demuestra también la presencia del trombo en el interior de la ACM.

- Kao, H. W., F. Y. Tsai, and A. N. Hasso. 2012. "Predicting stroke evolution: comparison of susceptibility-weighted MR imaging with MR perfusion", *Eur Radiol*, 22: 1397-403.
- Luo, S., et al. (2015). "Comparison of susceptibility-weighted and perfusion-weighted magnetic resonance imaging in the detection of penumbra in acute ischemic stroke." *J Neuroradiol* 42: 255-260

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

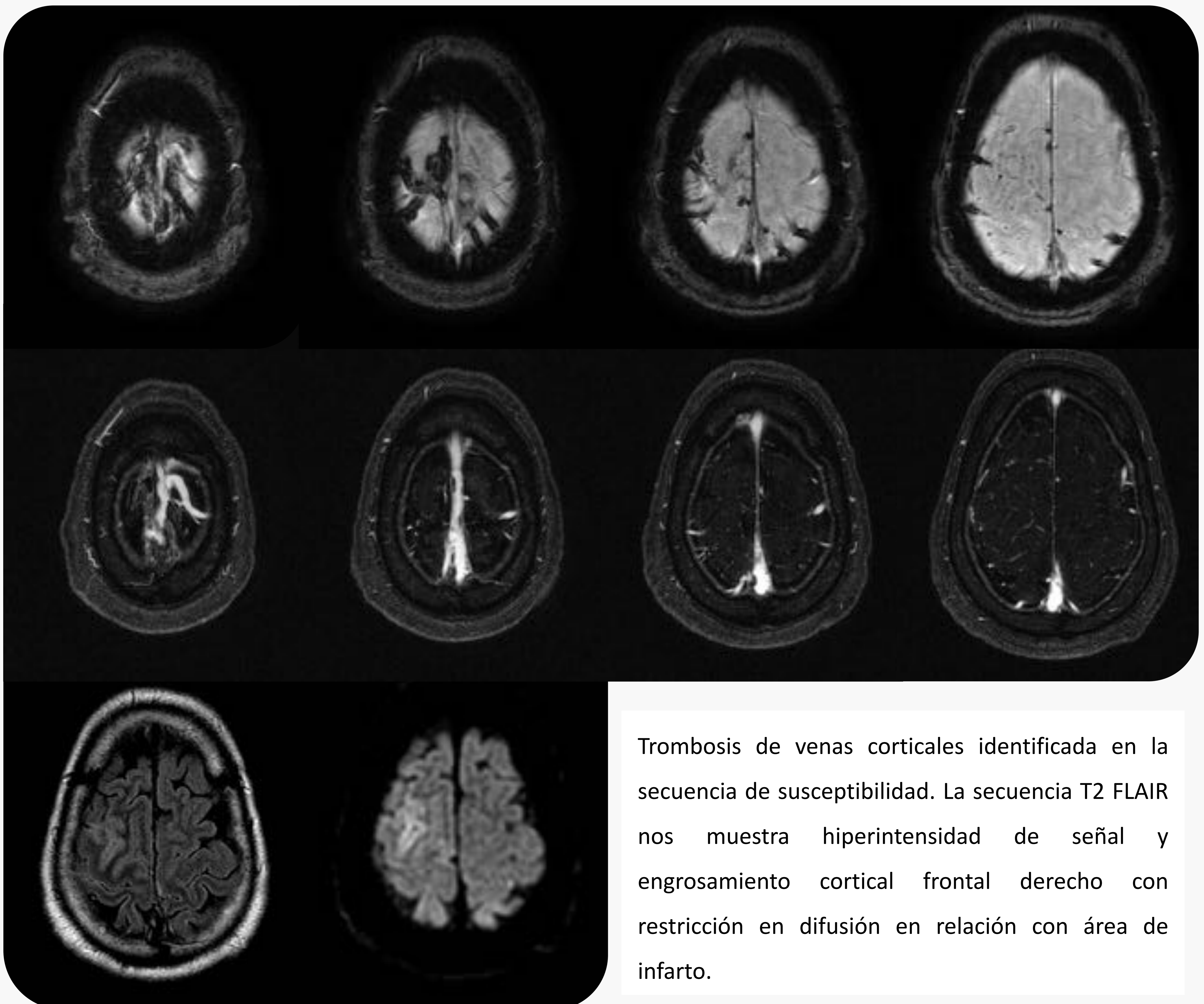
patología traumática

Trombosis venosa

El **signo del vaso prominente** es útil también para detectar trombosis de senos venosos y de venas corticales siendo la **secuencia SWI** la **herramienta de elección para diagnosticar las trombosis aisladas de vena cortical**

La explicación de la aparición del PVS en el caso de las trombosis es compleja. Lo más probable es que se deba a una combinación de varios factores:

- la ingurgitación de las venas de drenaje
- las propiedades paramagnéticas del propio trombo
- el descenso de la presión venosa de oxígeno en el territorio sometido a isquemia



Trombosis de venas corticales identificada en la secuencia de susceptibilidad. La secuencia T2 FLAIR nos muestra hiperintensidad de señal y engrosamiento cortical frontal derecho con restricción en difusión en relación con área de infarto.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

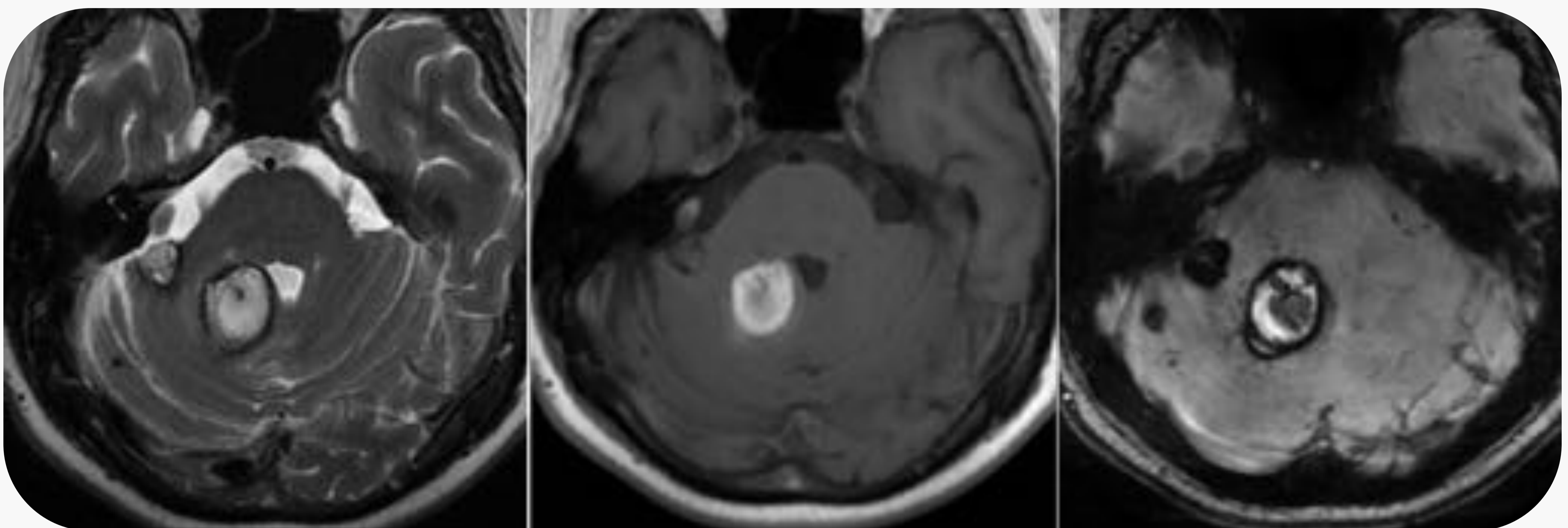
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Malformaciones vasculares

Las **malformaciones vasculares cavernosas** o **hemangiomas cavernosos** suponen un 10-15% de todas las lesiones vasculares del SNC. Se componen de espacios vasculares dilatados formados por una única capa de endotelio rodeadas por depósito de hemosiderina.



Su aspecto en las secuencias de susceptibilidad es muy característico con una **zona central reticulada** y un **anillo periférico marcadamente hipointenso**.

La secuencia SWI es el gold estándar para la detección de los cavernomas con una sensibilidad muy superior al T2*.

Debe ser **incluida en el protocolo diagnóstico de pacientes con sospecha de cavernoma** sobre todo en las formas hereditarias.

Las **cavernomatosis familiares** suponen aproximadamente un **10-30% de los casos** y en estos pacientes la secuencia SWI juega un papel fundamental tanto para el screening como para el seguimiento.



Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

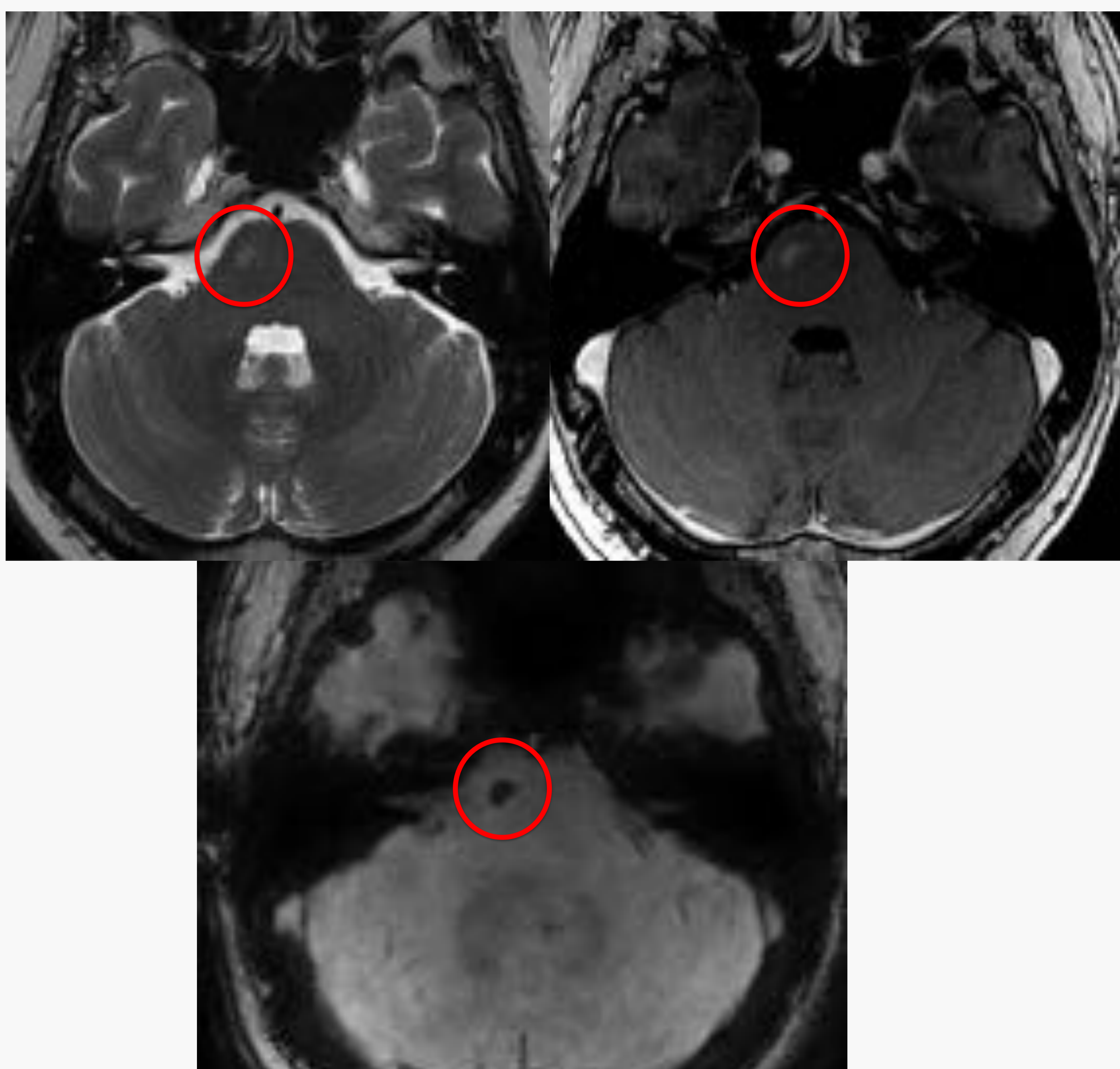
patología inflamatoria

patología traumática

Malformaciones vasculares

Las **telangiectasias capilares** son las malformaciones vasculares más benignas del SNC. Histológicamente son una maraña de capilares de paredes finas entremezclados con parénquima normal, siendo esta la diferencia con los cavernomas donde no existe tejido cerebral, únicamente vasos.

Tienen predilección por la protuberancia, son siempre asintomáticas y casi siempre son diagnosticadas de forma incidental.



Varón de 45 años con carcinoma de tiroides y cefalea. Se solicita RM para despistaje de diseminación metastásica al SNC y se identifica una lesión única captante en protuberancia. Se confirma telangiectasia capilar gracias a la secuencia de susceptibilidad.

Apenas son visibles en las secuencias sin contraste y con contraste muestran un realce muy tenue.

La importancia de diagnosticarlas adecuadamente es que **pueden ser confundidas con patologías importantes como metástasis, placas desmielinizantes o infartos subagudos**

Las telangiectasias capilares son una patología completamente benigna que a la vez es **un potencial dilema radiológico**. Aumentar su precisión diagnóstica mediante el uso de la secuencia SWI puede disminuir el número de pruebas innecesarias.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

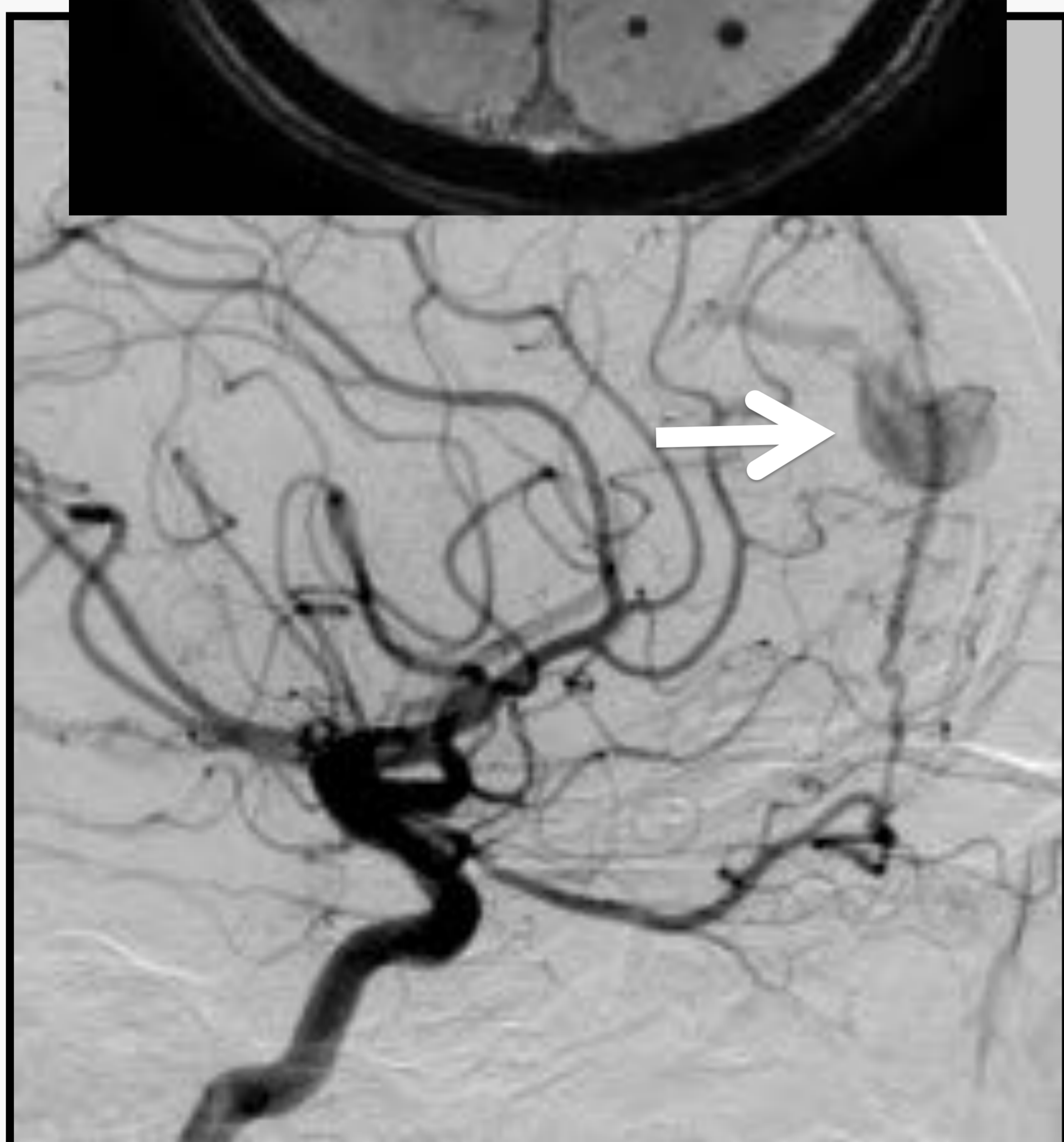
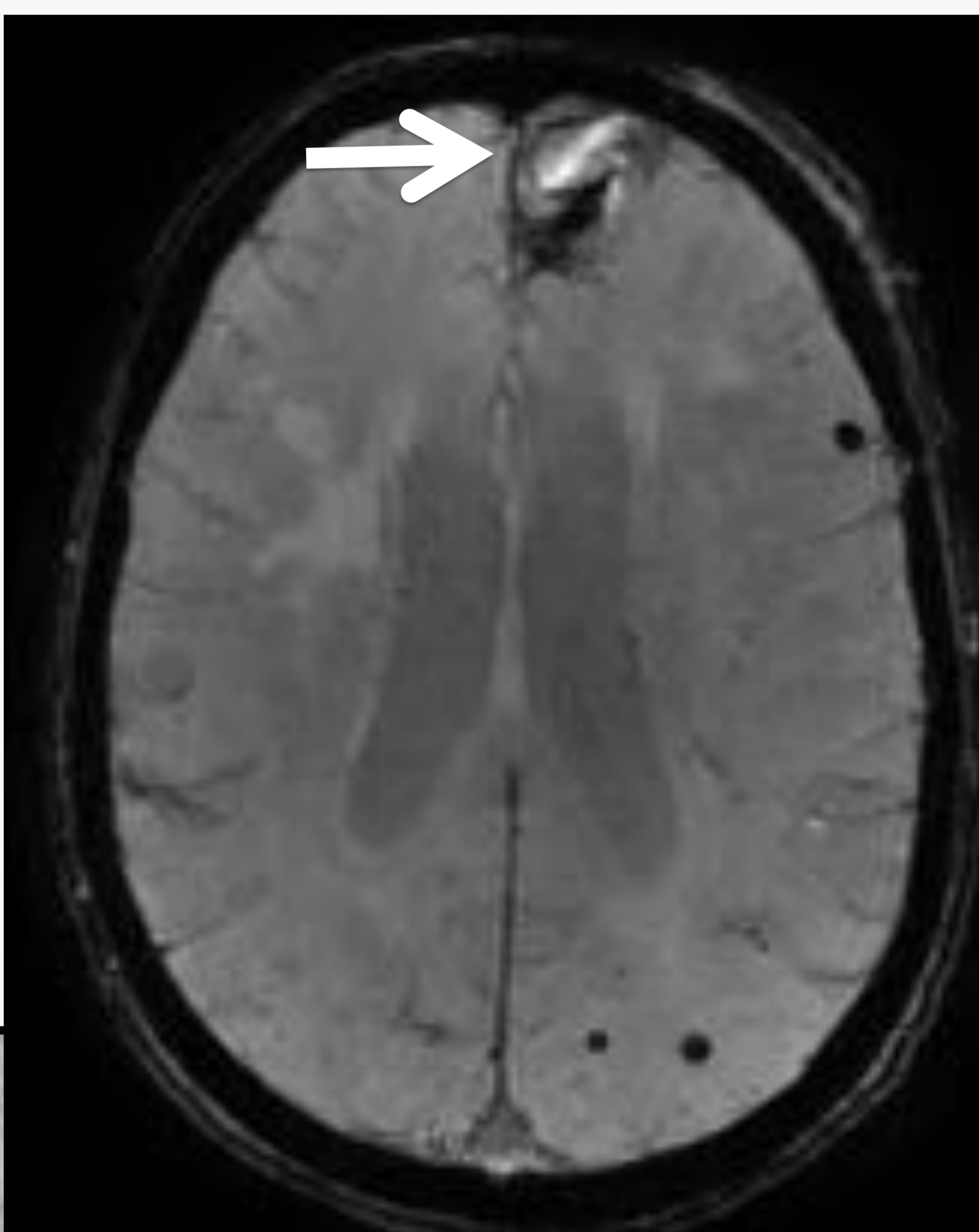
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Malformaciones vasculares

La secuencia SWI juega también un papel importante en el caso de las **fístulas durales**. Además de detectar las posibles complicaciones hemorrágicas es capaz de **identificar la conexión fistulosa** entre el aporte dural arterial y el sistema venoso.



En este punto la intensidad de señal en SWI **aumenta** y es típicamente hiperintensa con respecto a la venas normales. Este fenómeno se debe al aumento del flujo y de la cantidad de oxihemoglobina en las venas como consecuencia del shunt.

Fístula arteriovenosa demostrada en la secuencia SWI. Aumento de señal anómalo en la porción anterior del seno sagital superior en el punto de conexión fistulosa. Arteriografía convencional donde se demuestra fístula dural con aportes arteriales de arteria meníngea anterior y meníngea media.

Vasos leptomeníngicos numerosos, tortuosos y prominentes pueden traducir la presencia de una fístula dural y realizar una secuencia SWI nos puede ser de utilidad.

Estructuras venosas hiperintensas en la secuencia SWI nos deben hacer sospechar fístula y por tanto recomendar su confirmación mediante estudios angiográficos.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

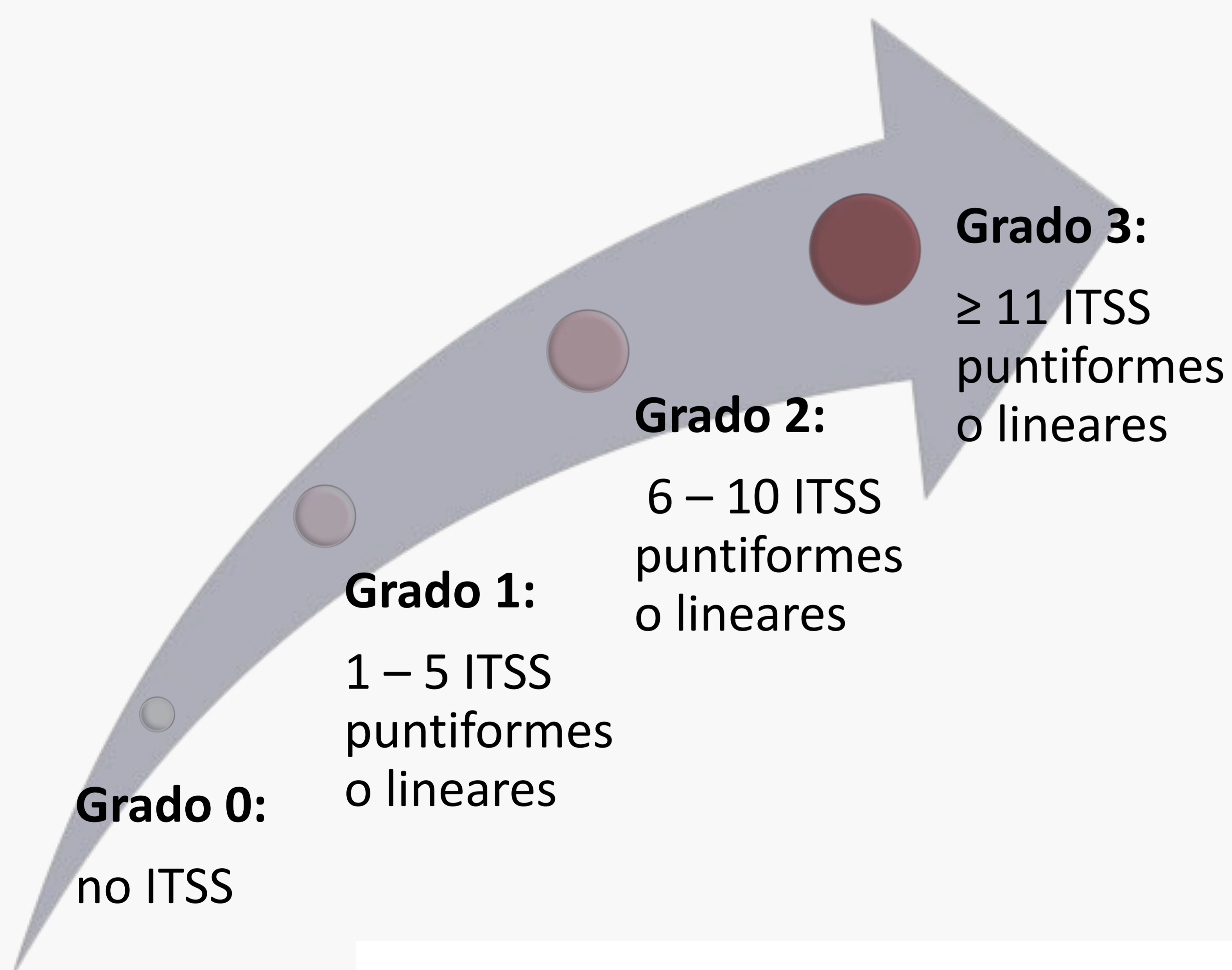
patología inflamatoria

patología traumática

Diagnóstico de tumores cerebrales

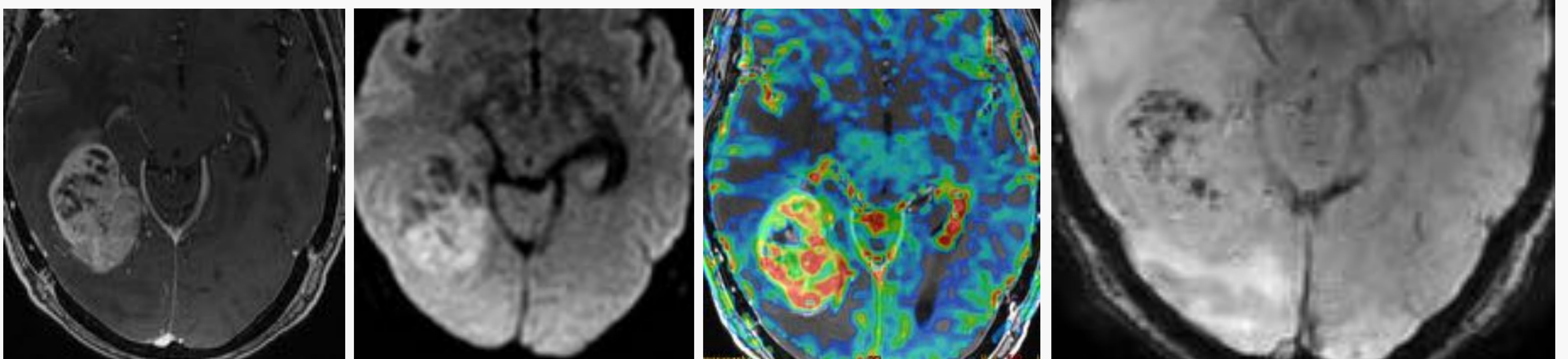
La secuencia SWI permite obtener la **ITSS** (del inglés, Intratumoral susceptibility signal) o **susceptibilidad de señal intratumoral**.

En función del aspecto del tumor en la secuencia SWI, que depende del componente de microhemorragia, de neovascularización y de calcificación, se estima el ITSS del tumor clasificándolo en 4 grados (desde el 0 al 3), los cuales se correlacionan con los grados histológicos de la OMS.



Altos valores de ITSS se identifican en tumores gliales de alto grado y metástasis mientras que valores bajos son frecuentes en linfomas y tumores de bajo grado

Glioblastoma multiforme temporo-occipital derecho con múltiples focos de caída de la señal en SWI (≥ 11 ITSS, grado 3).



- Park, M. J., H. S. Kim, G. H. Jahng, C. W. Ryu, S. M. Park, and S. Y. Kim. 2009. 'Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas: comparison with MR perfusion imaging', *AJNR Am J Neuroradiol*, 30: 1402-8.
- Hsu, C. C., T. W. Watkins, G. N. Kwan, and E. M. Haacke. 2016. 'Susceptibility-Weighted Imaging of Glioma: Update on Current Imaging Status and Future Directions', *J Neuroimaging*, 26: 383-90.
- Ding, Y., Z. Xing, B. Liu, X. Lin, and D. Cao. 2014. 'Differentiation of primary central nervous system lymphoma from high-grade glioma and brain metastases using susceptibility-weighted imaging', *Brain Behav*, 4: 841-9.
- Wang, X. C., H. Zhang, Y. Tan, J. B. Qin, X. F. Wu, L. Wang, and L. Zhang. 2014. 'Combined value of susceptibility-weighted and perfusion-weighted imaging in assessing who grade for brain astrocytomas', *J Magn Reson Imaging*, 39: 1569-74.

Aplicaciones de la secuencia SWI

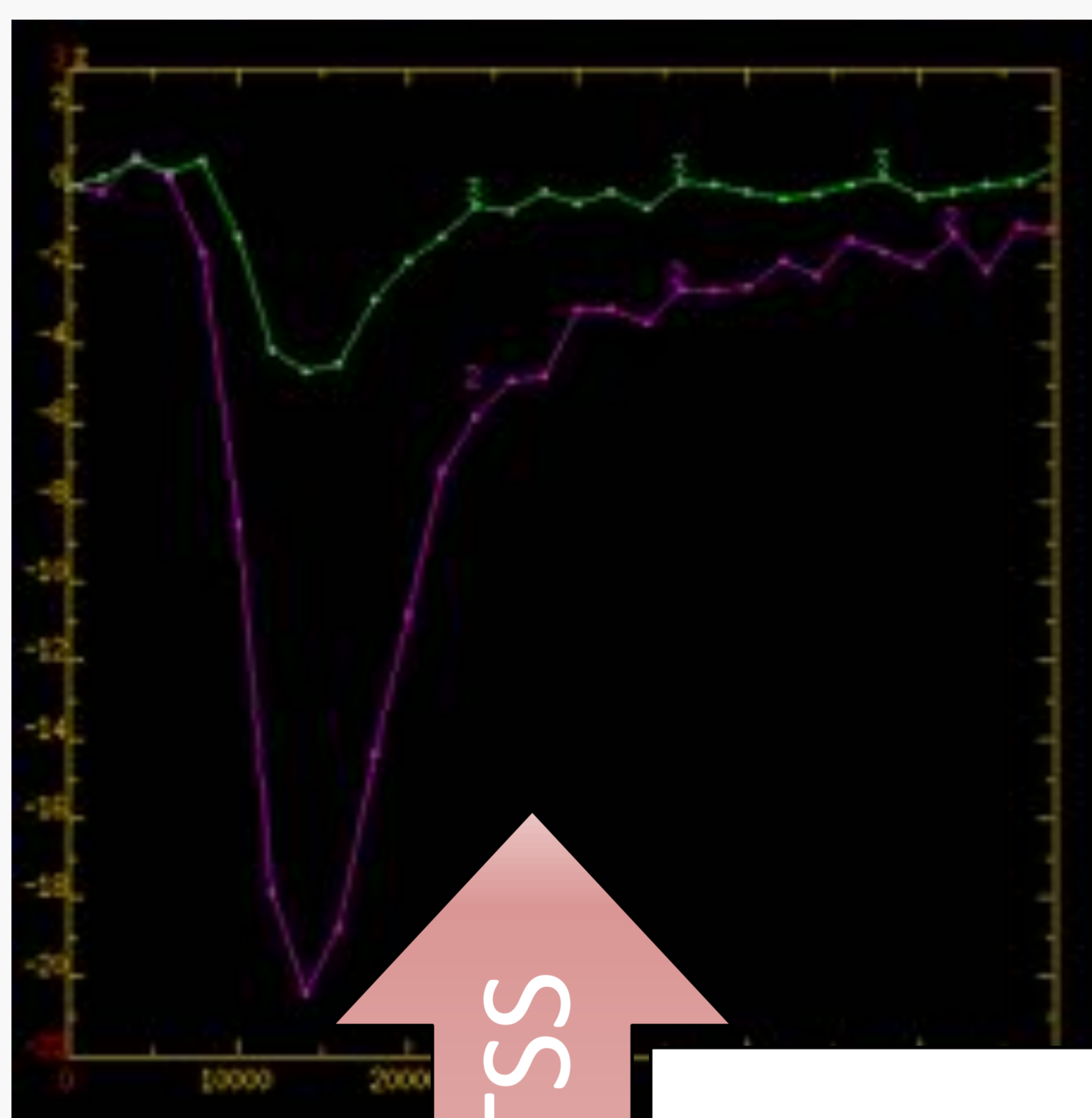
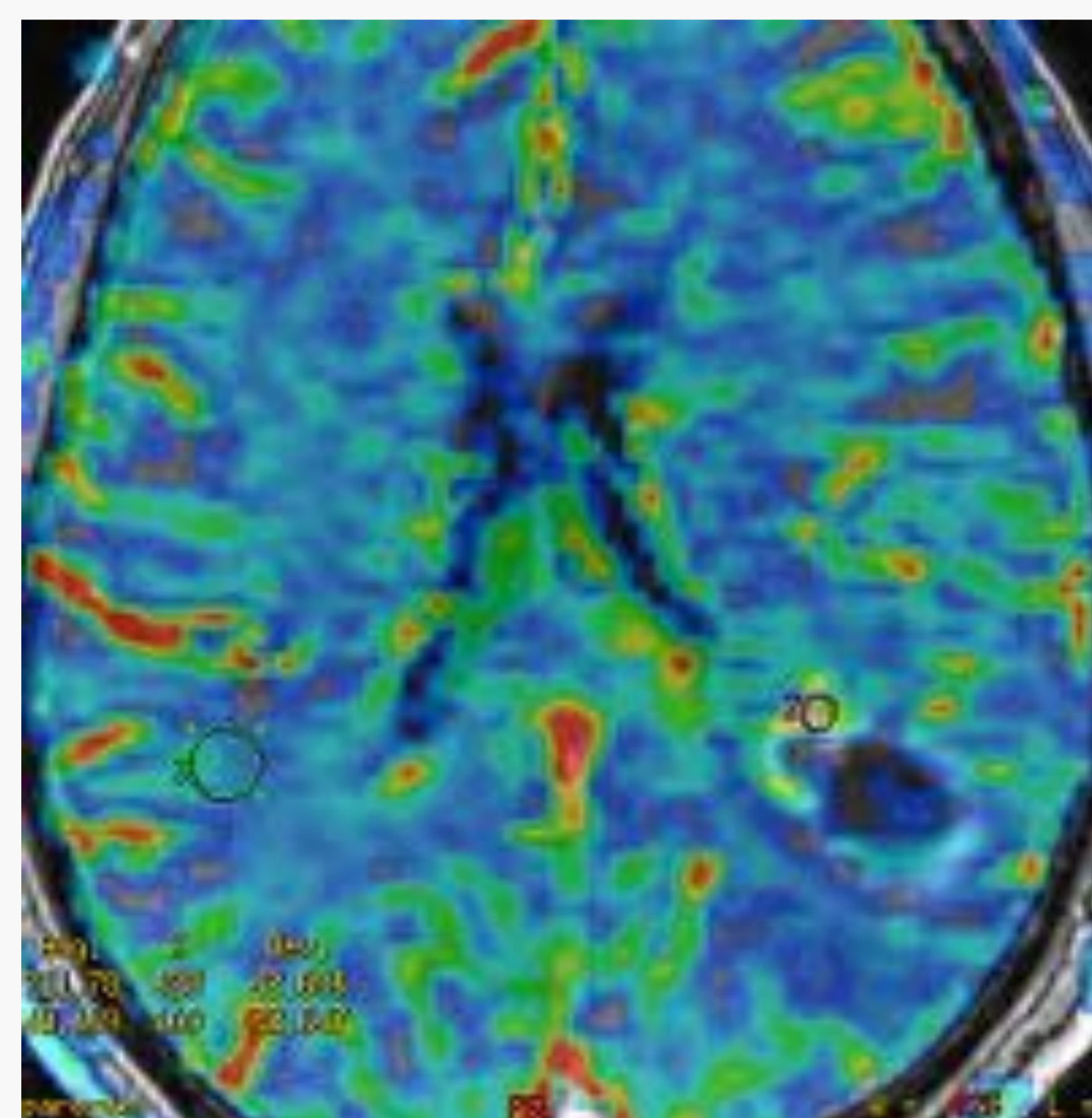
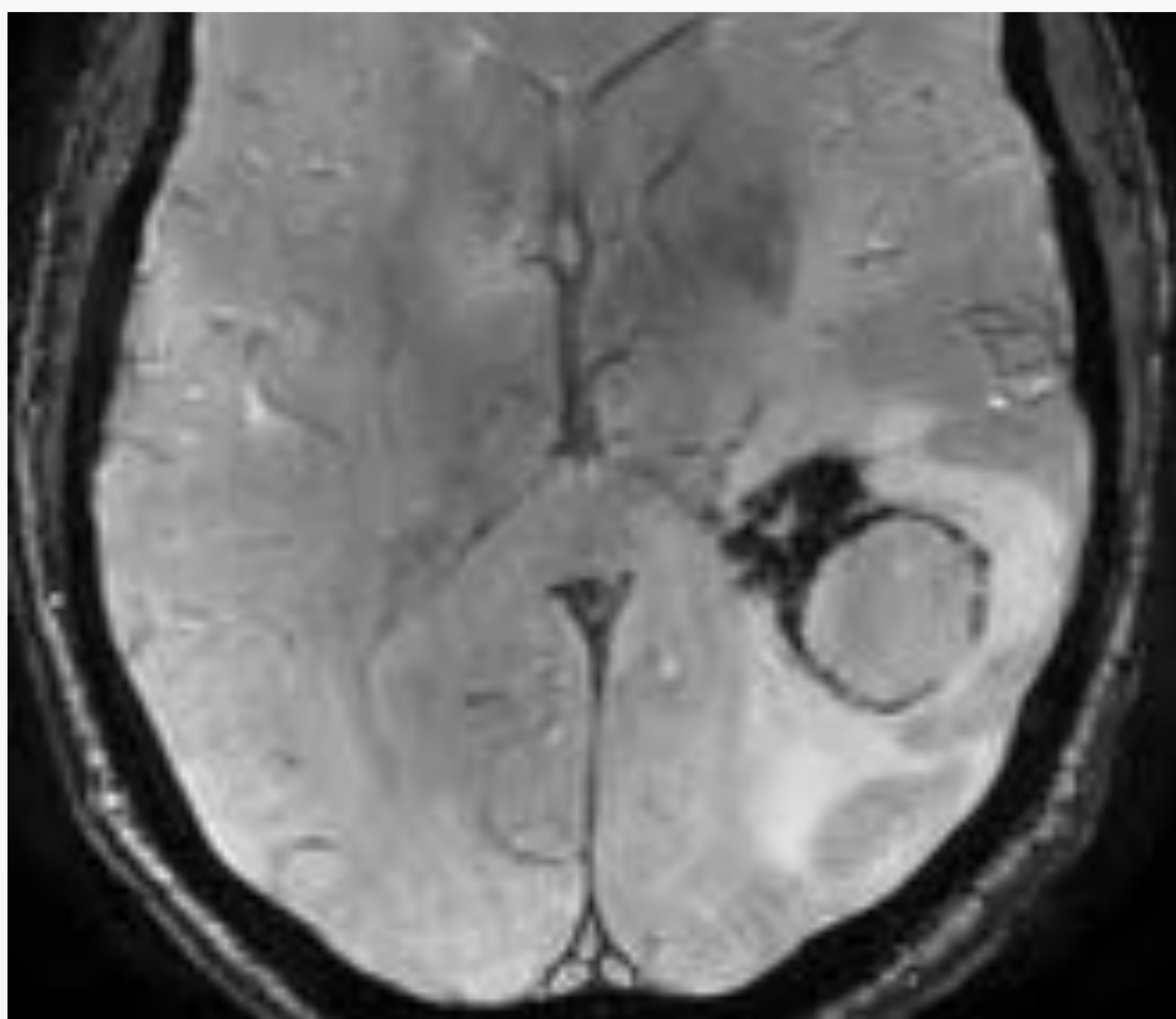
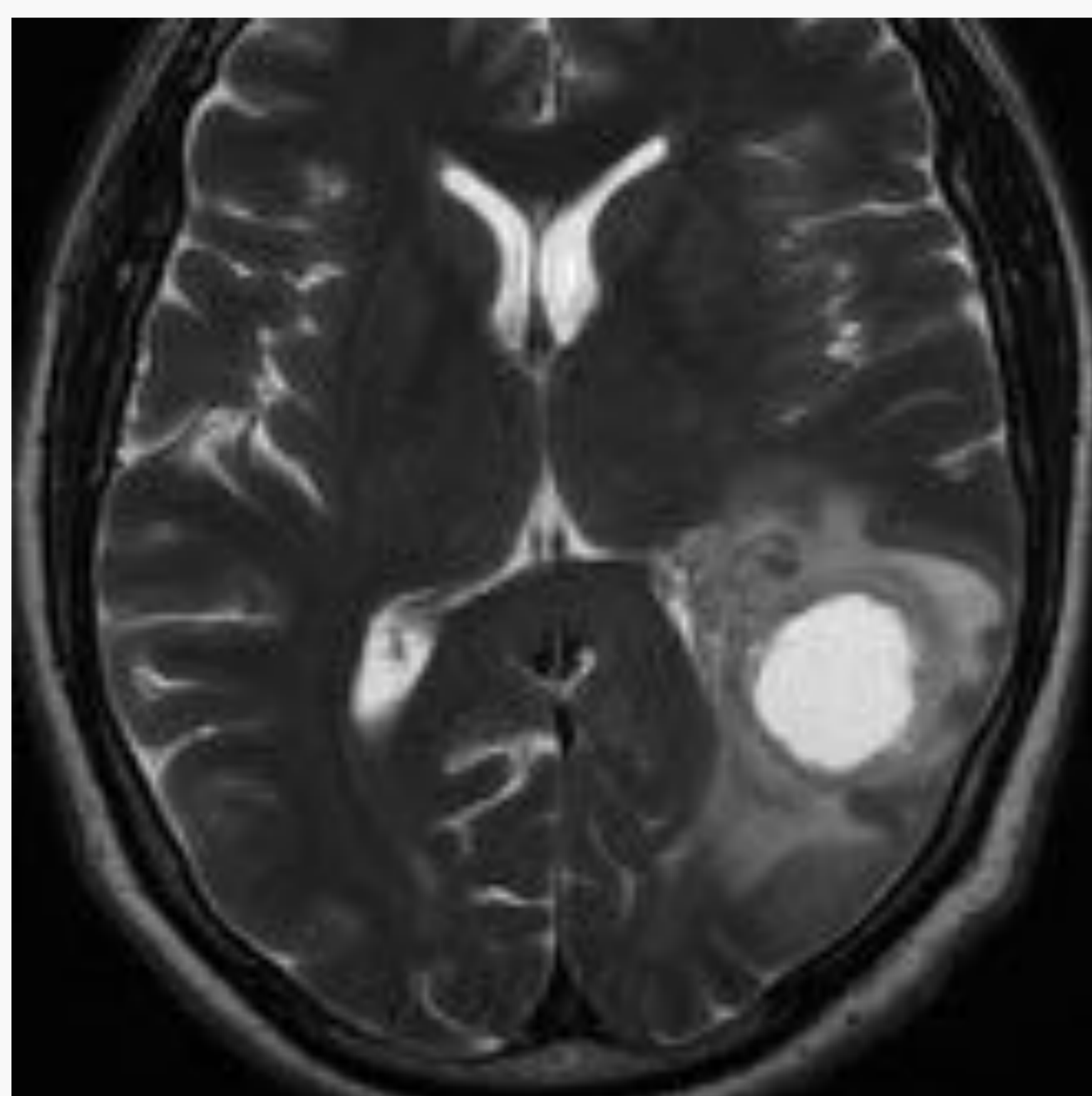
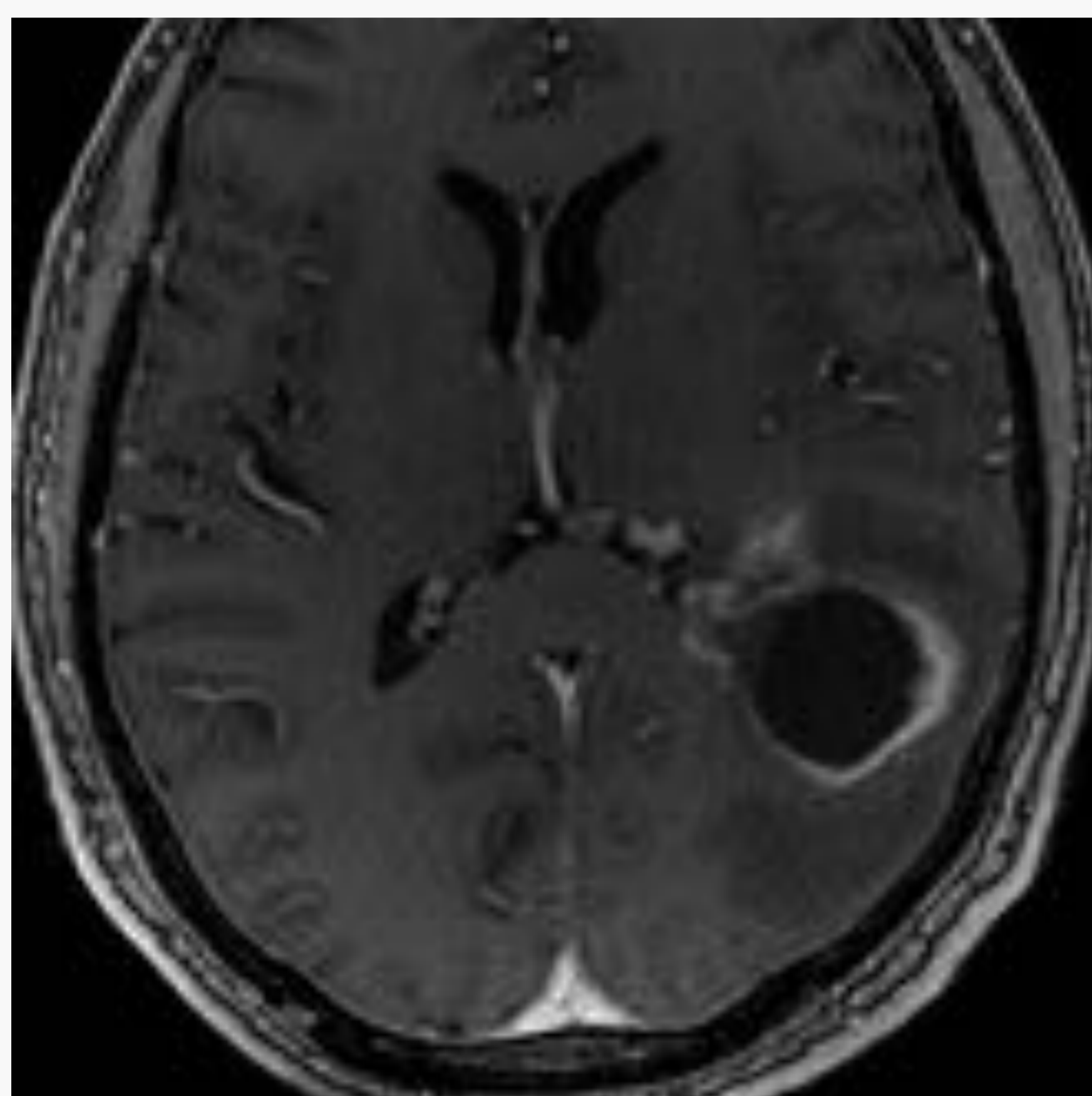
patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Diagnóstico de tumores cerebrales



Glioblastoma multiforme temporo-occipital izquierdo con ≥ 11 ITSS, grado 3.

> ITSS

Gliomas alto grado

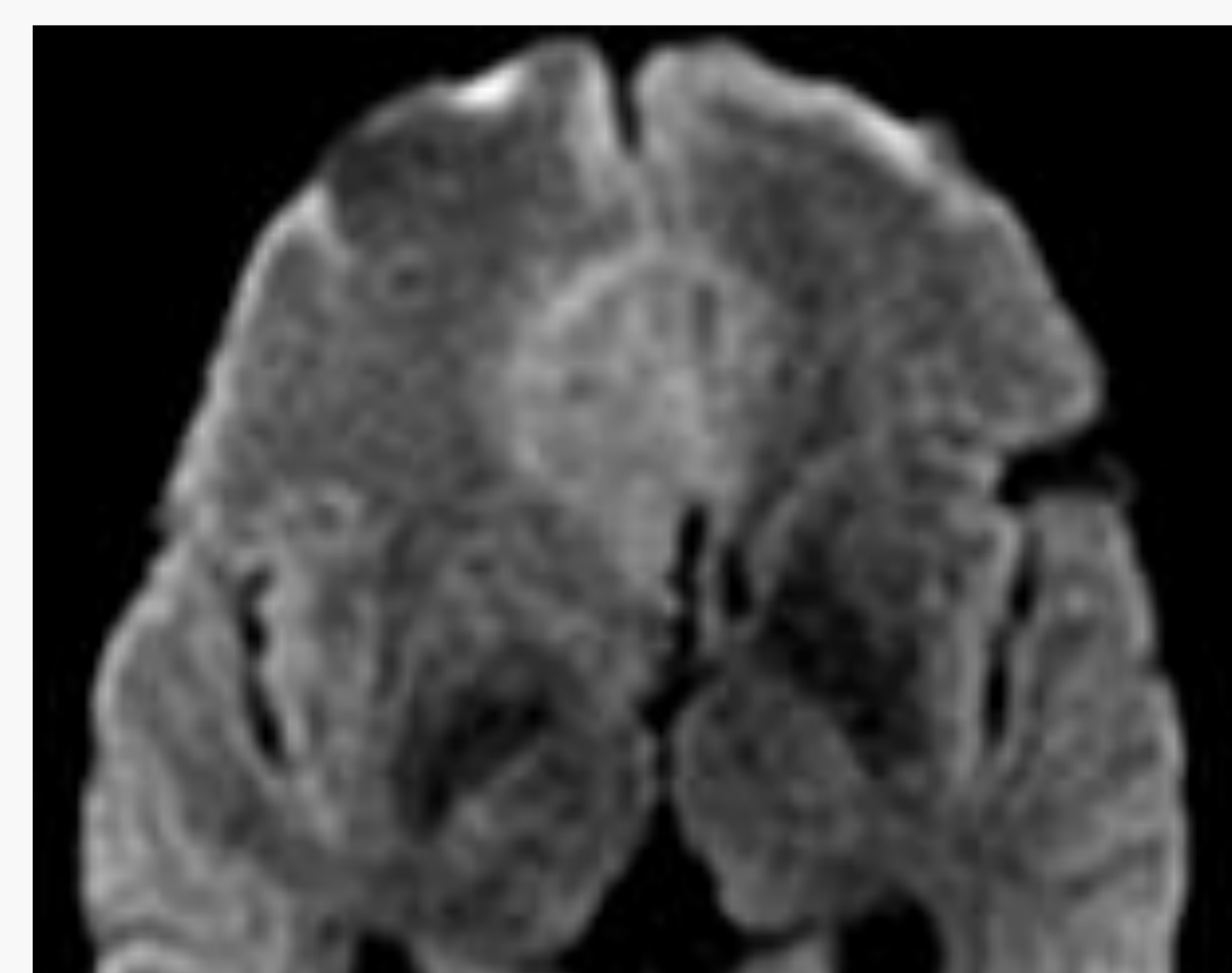
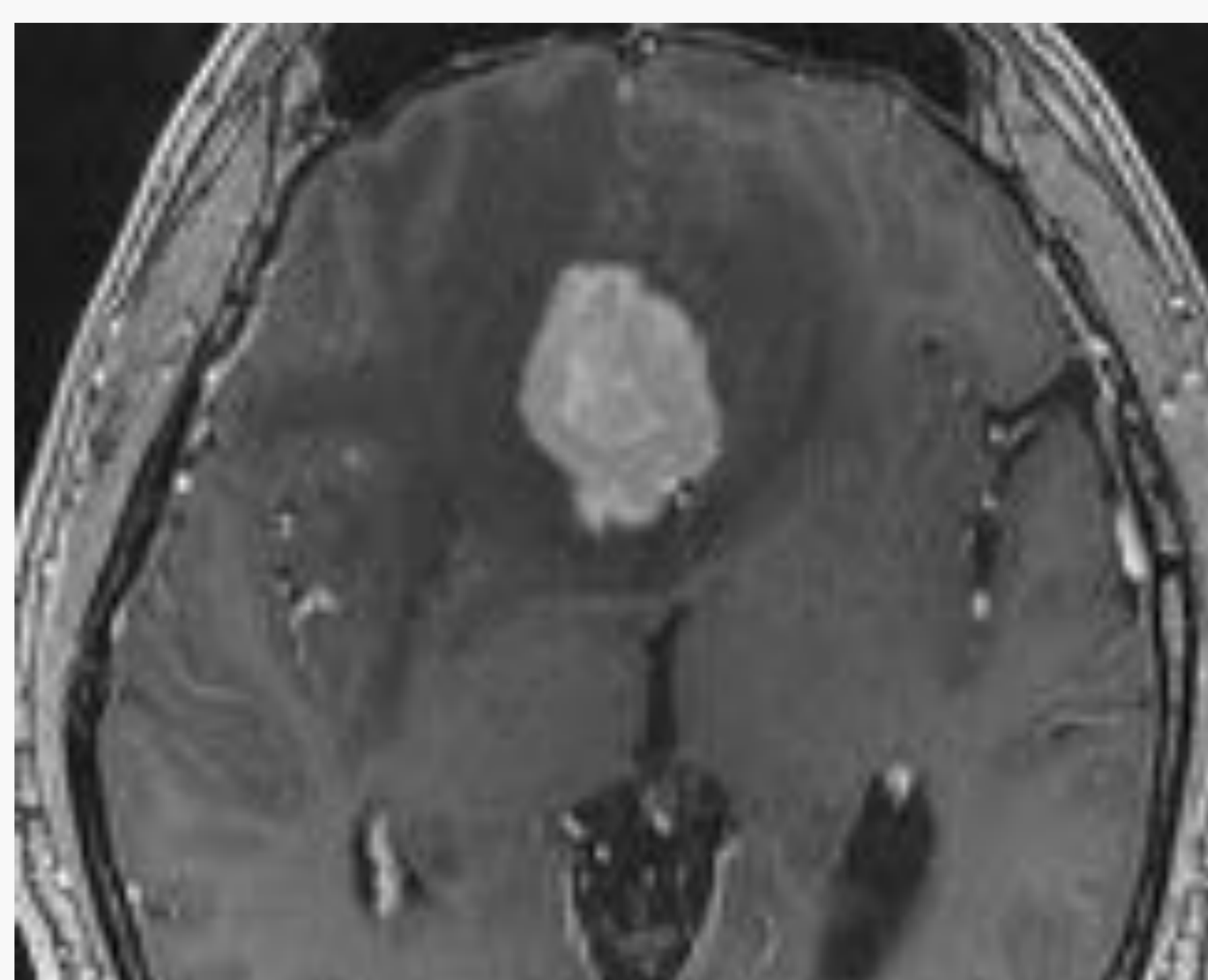
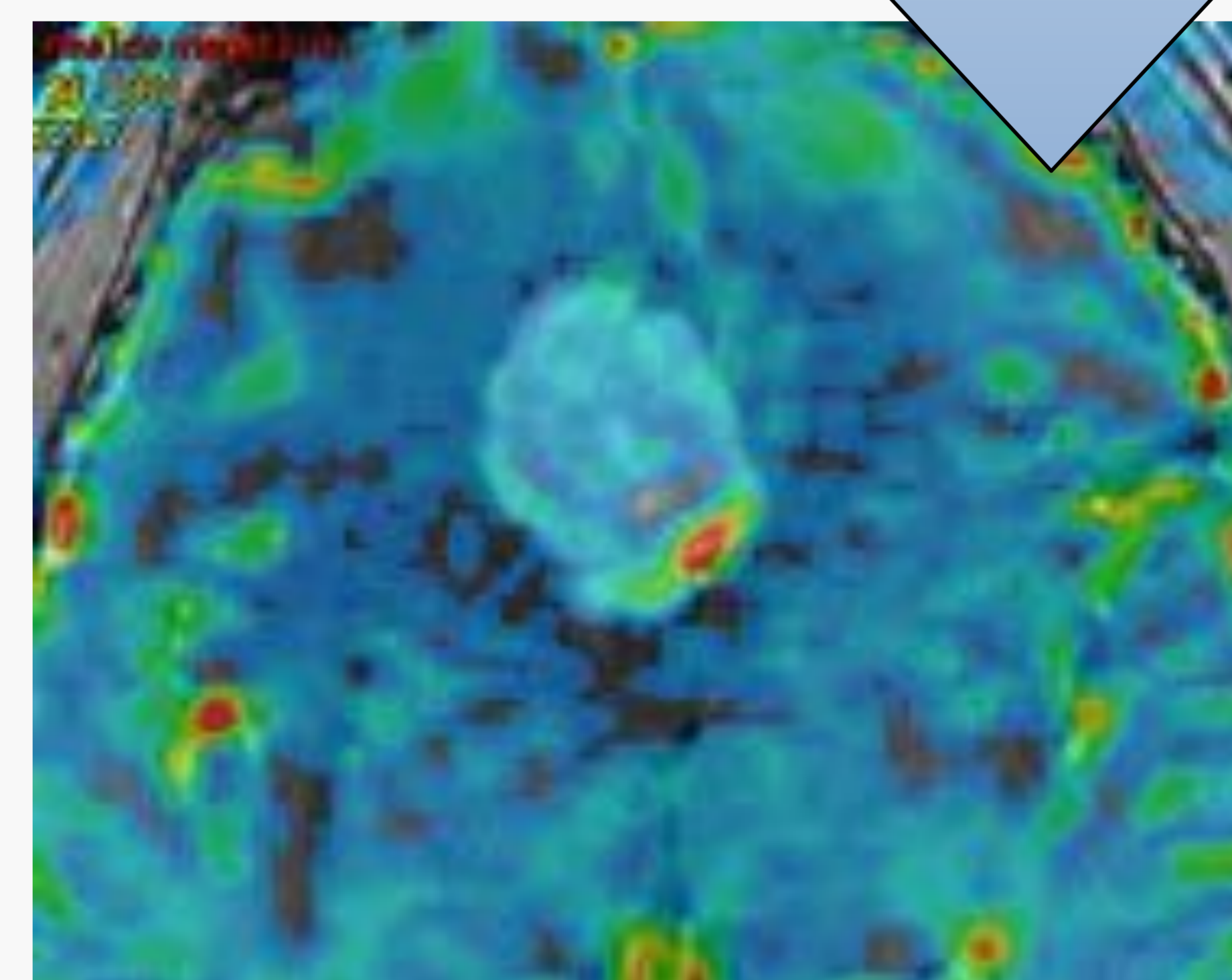
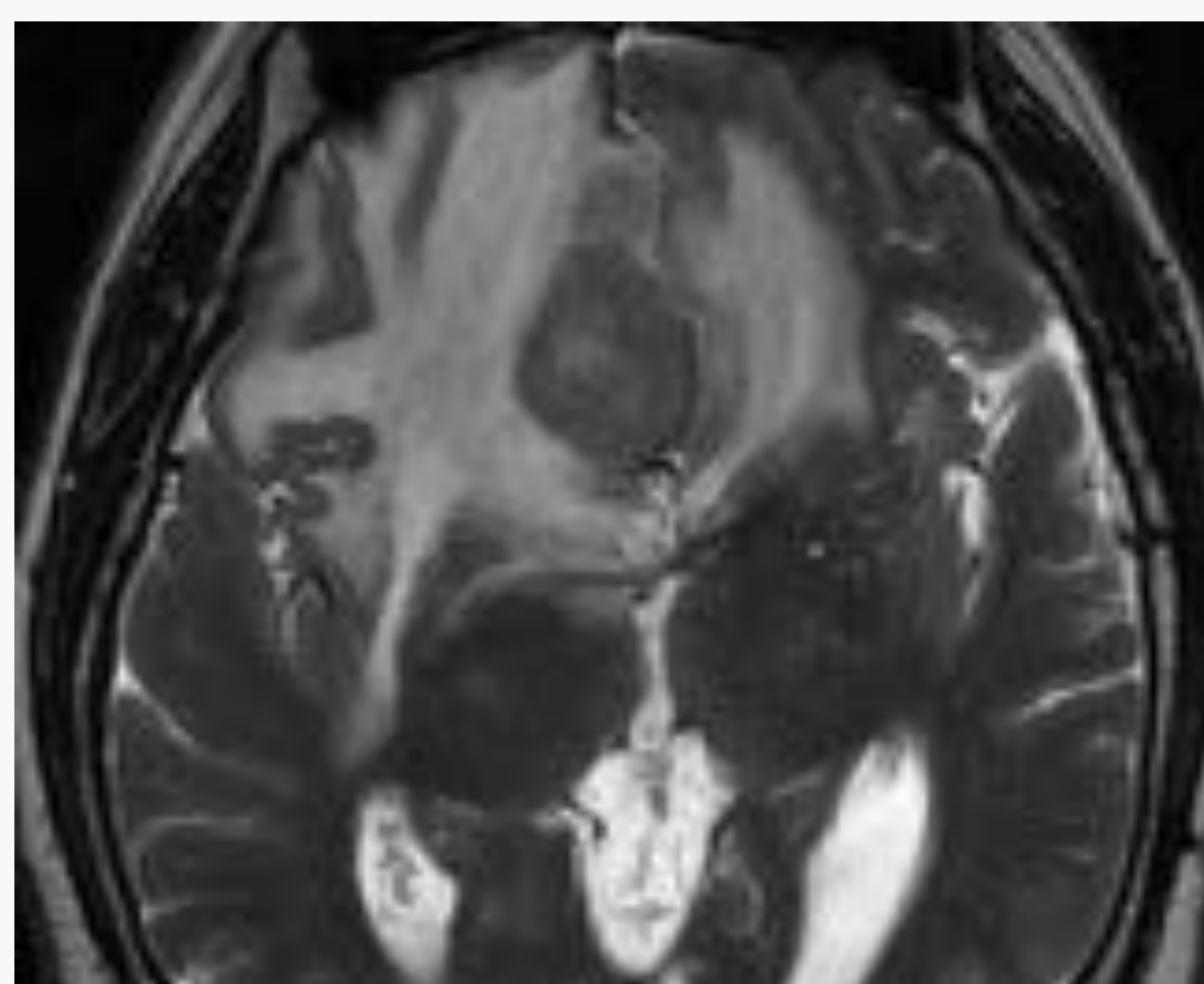
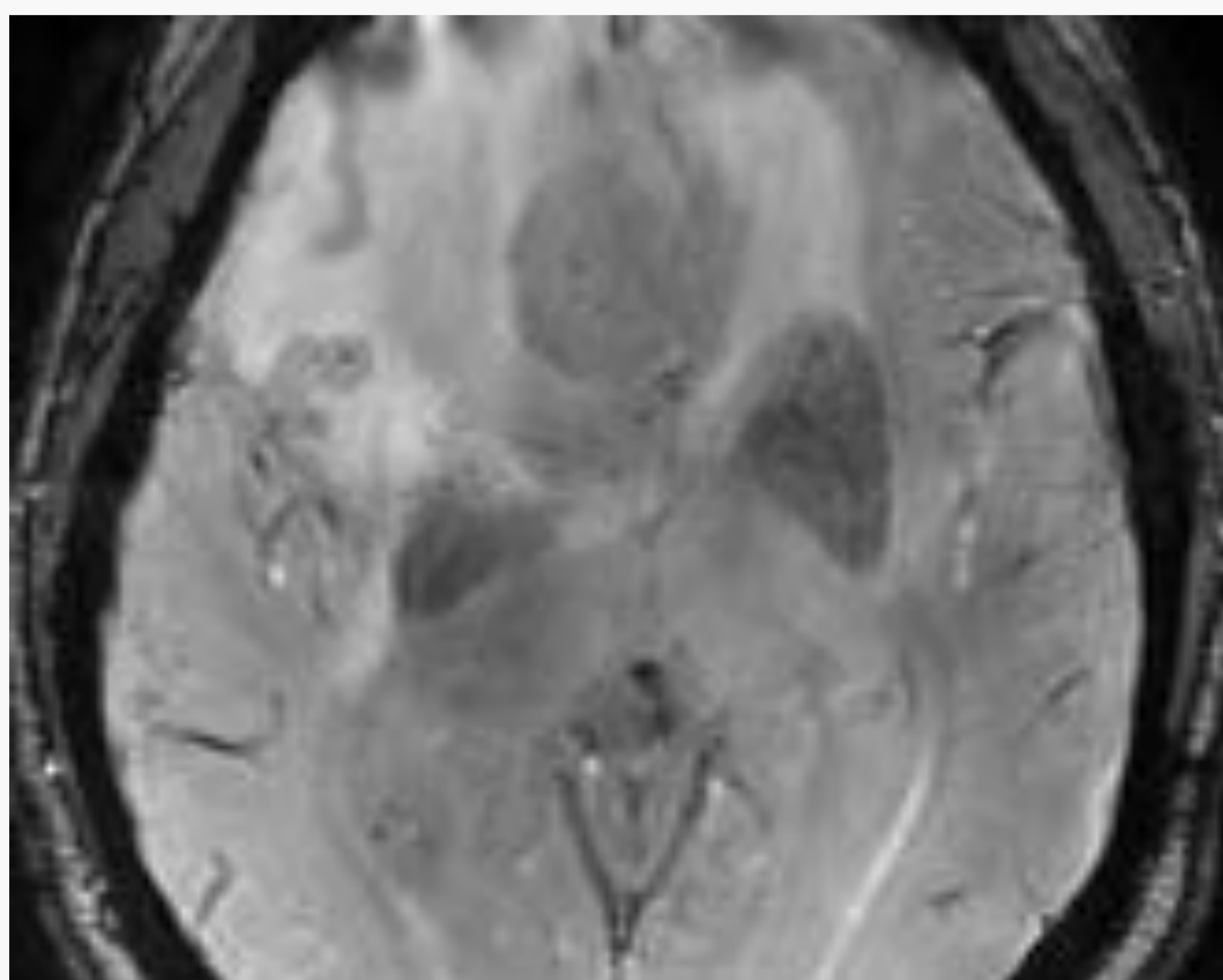
Metástasis

Gliomas bajo grado

Linfoma

< ITSS

Linfoma cerebral primario.
 Secuencia SWI sin ITSS, grado 0.



Aplicaciones de la secuencia SWI

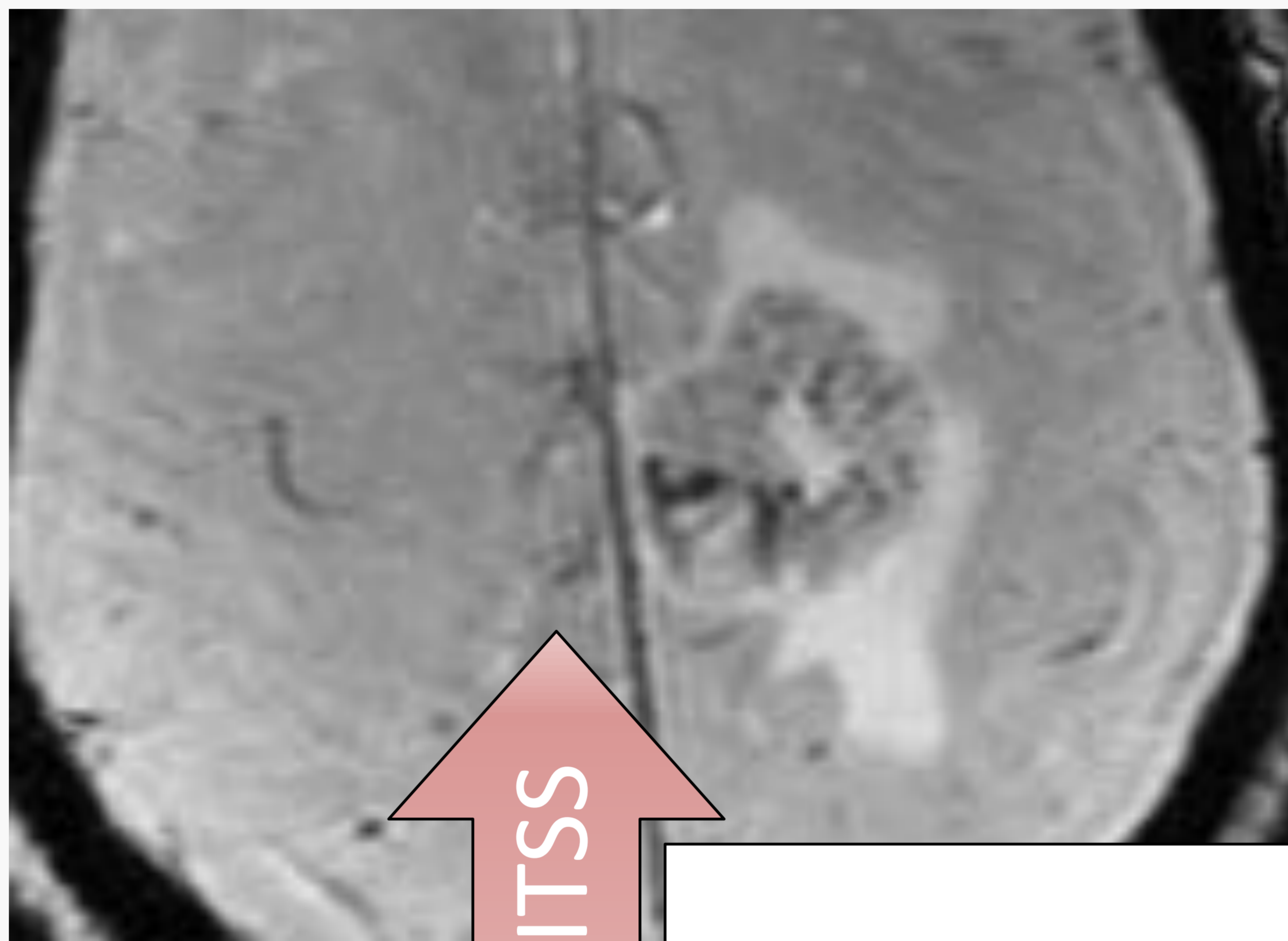
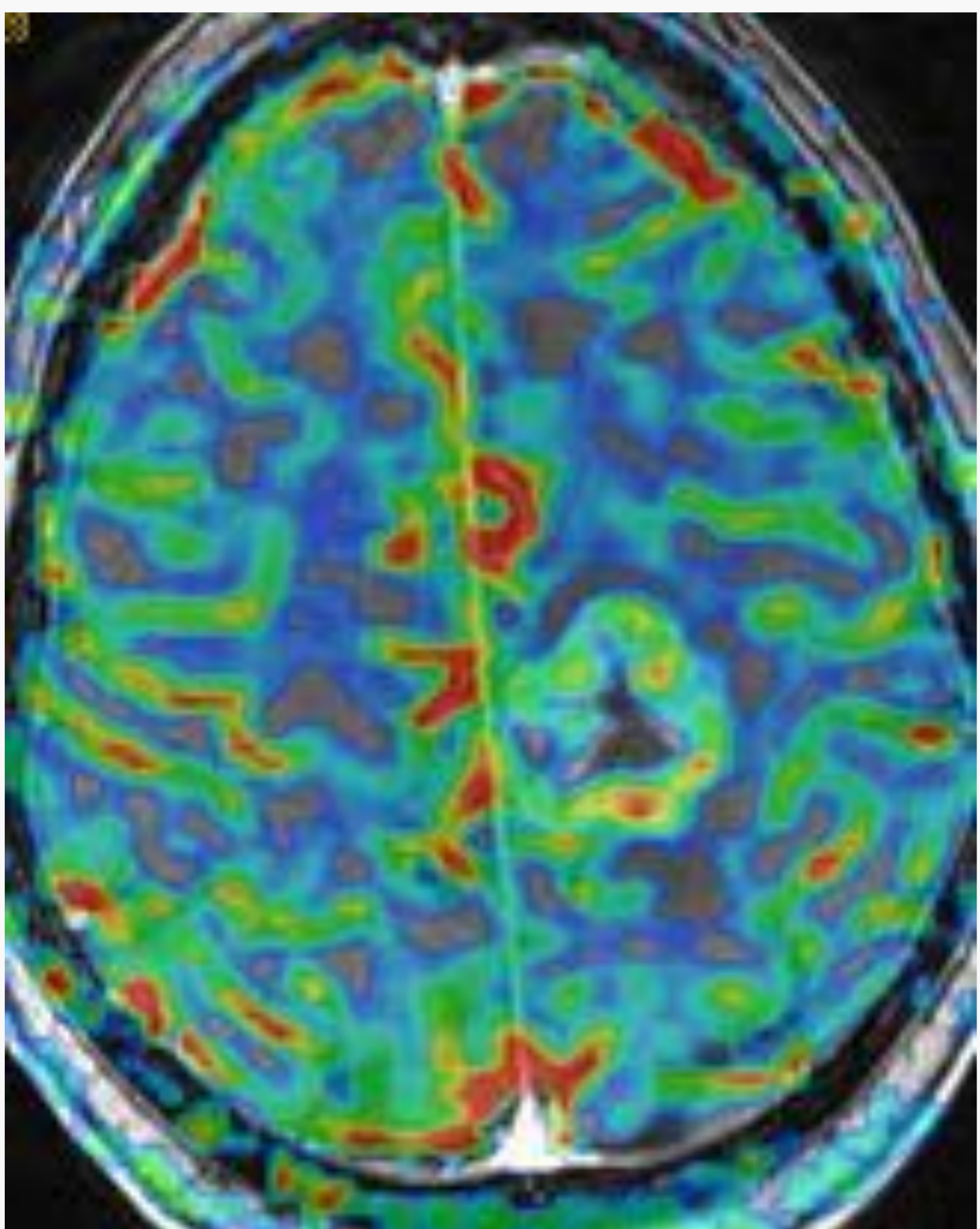
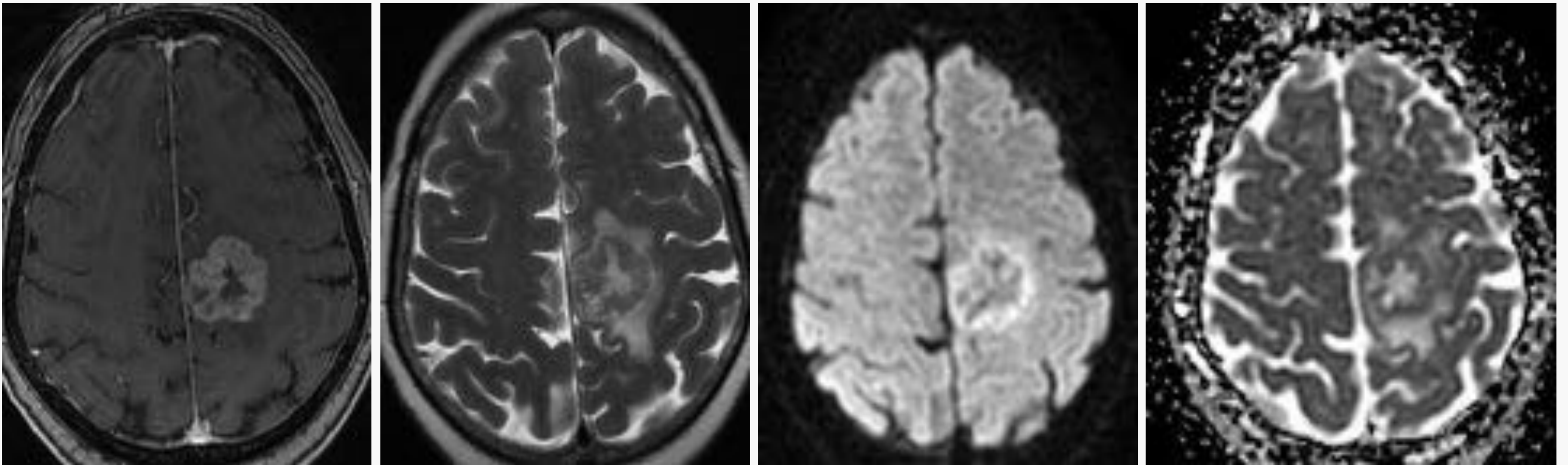
patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Diagnóstico de tumores cerebrales



Metástasis de carcinoma de ovario frontal izquierda. En SWI se observan entre 6 – 10 ITSS, grado 2.

> ITSS

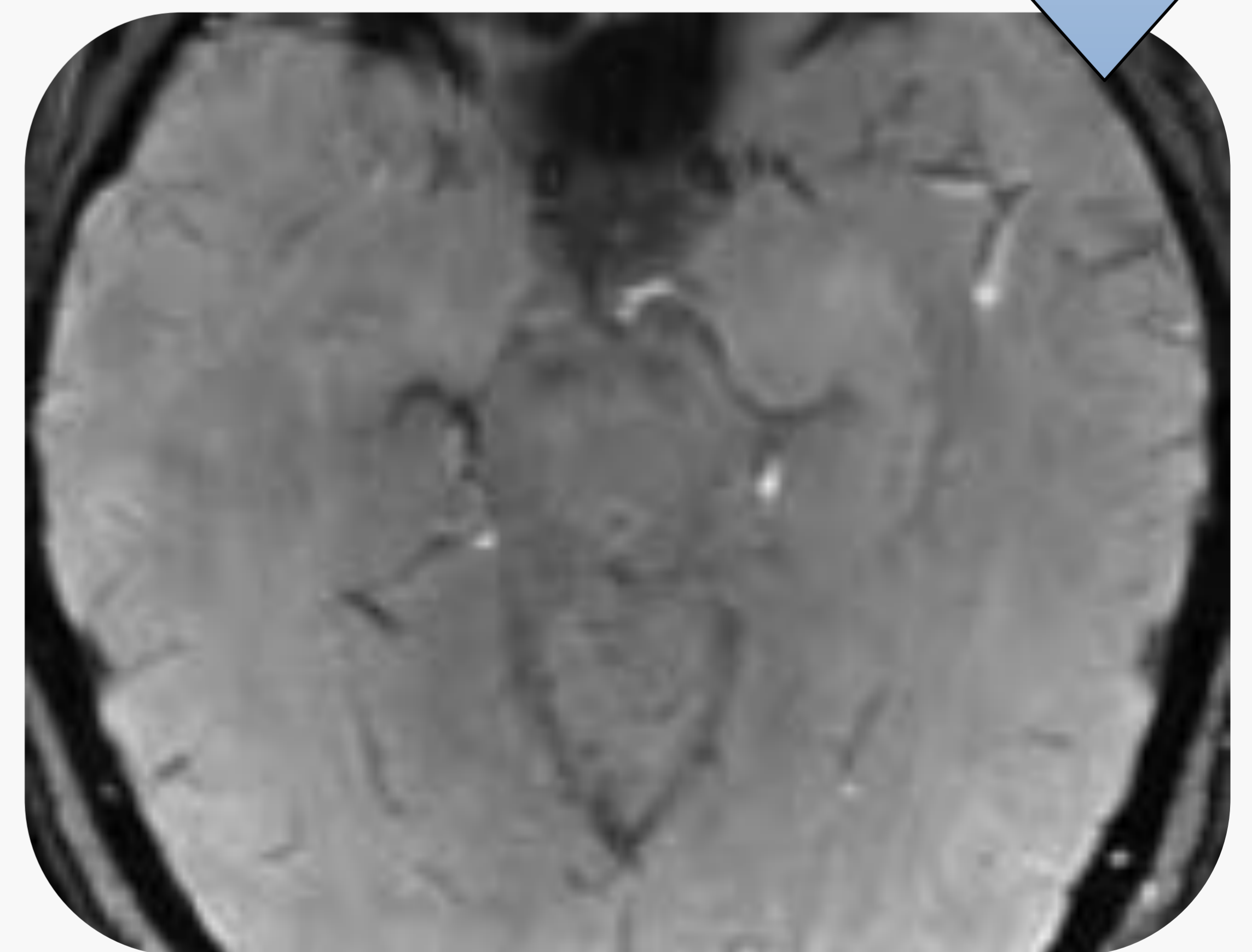
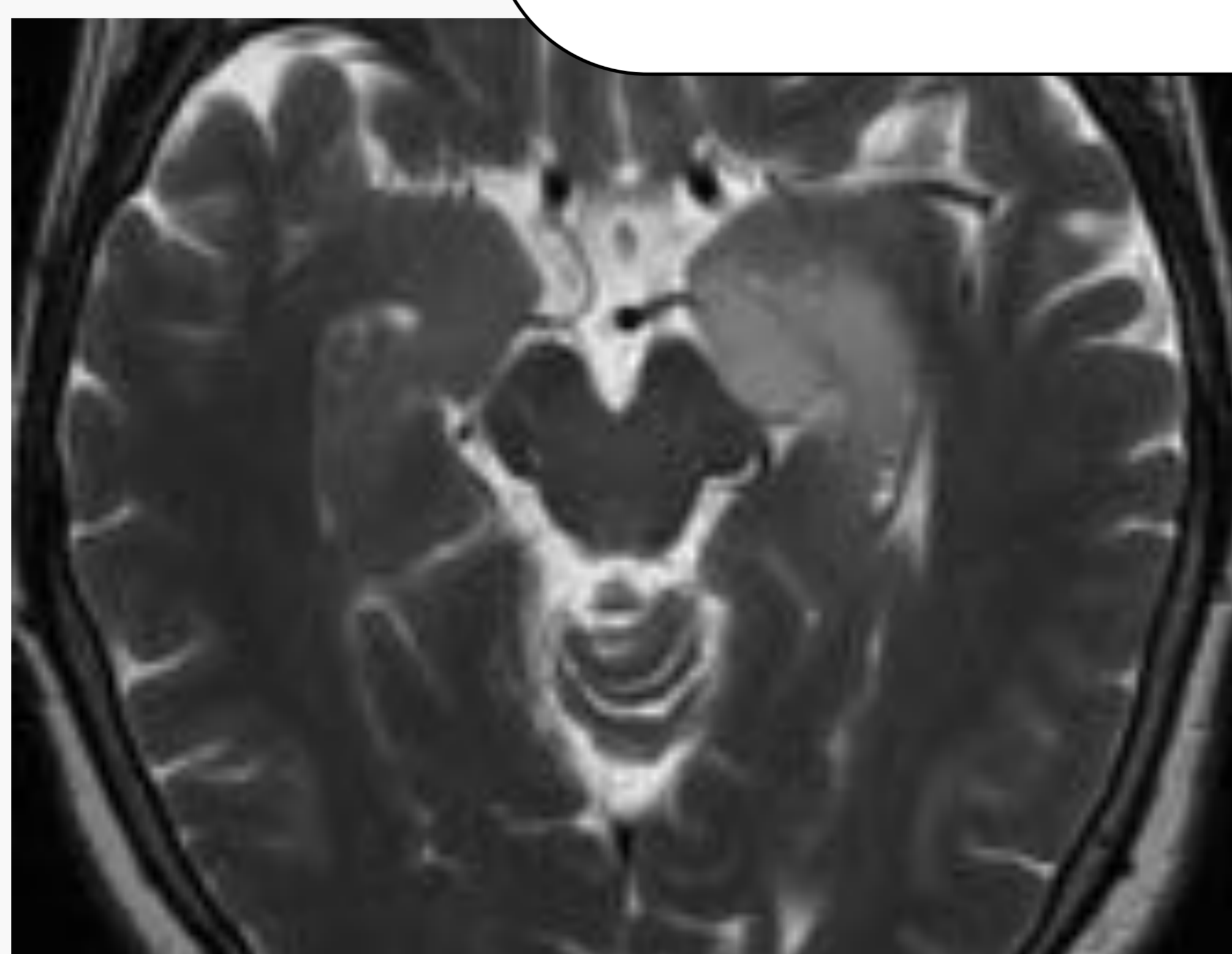
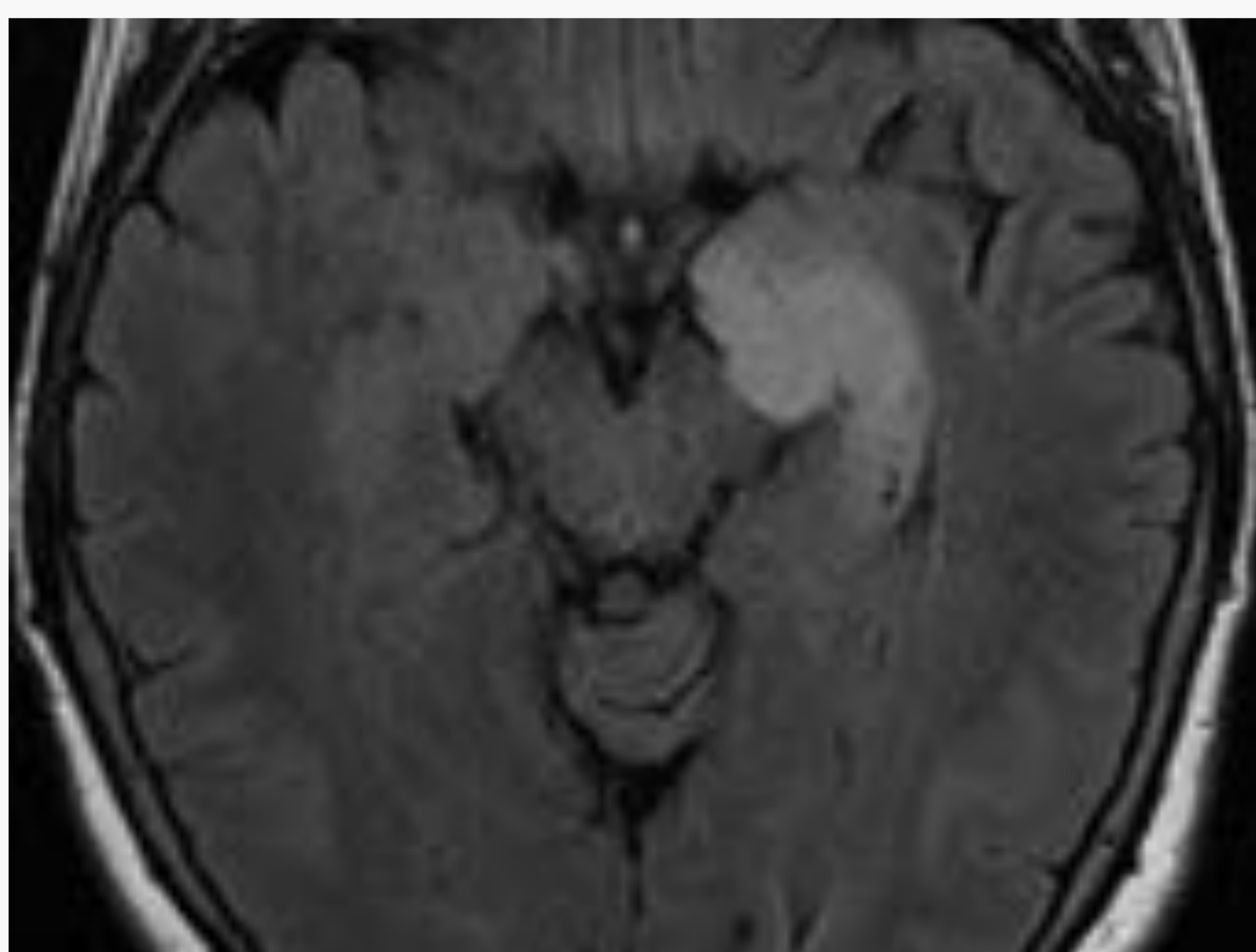
Gliomas alto grado

Metástasis

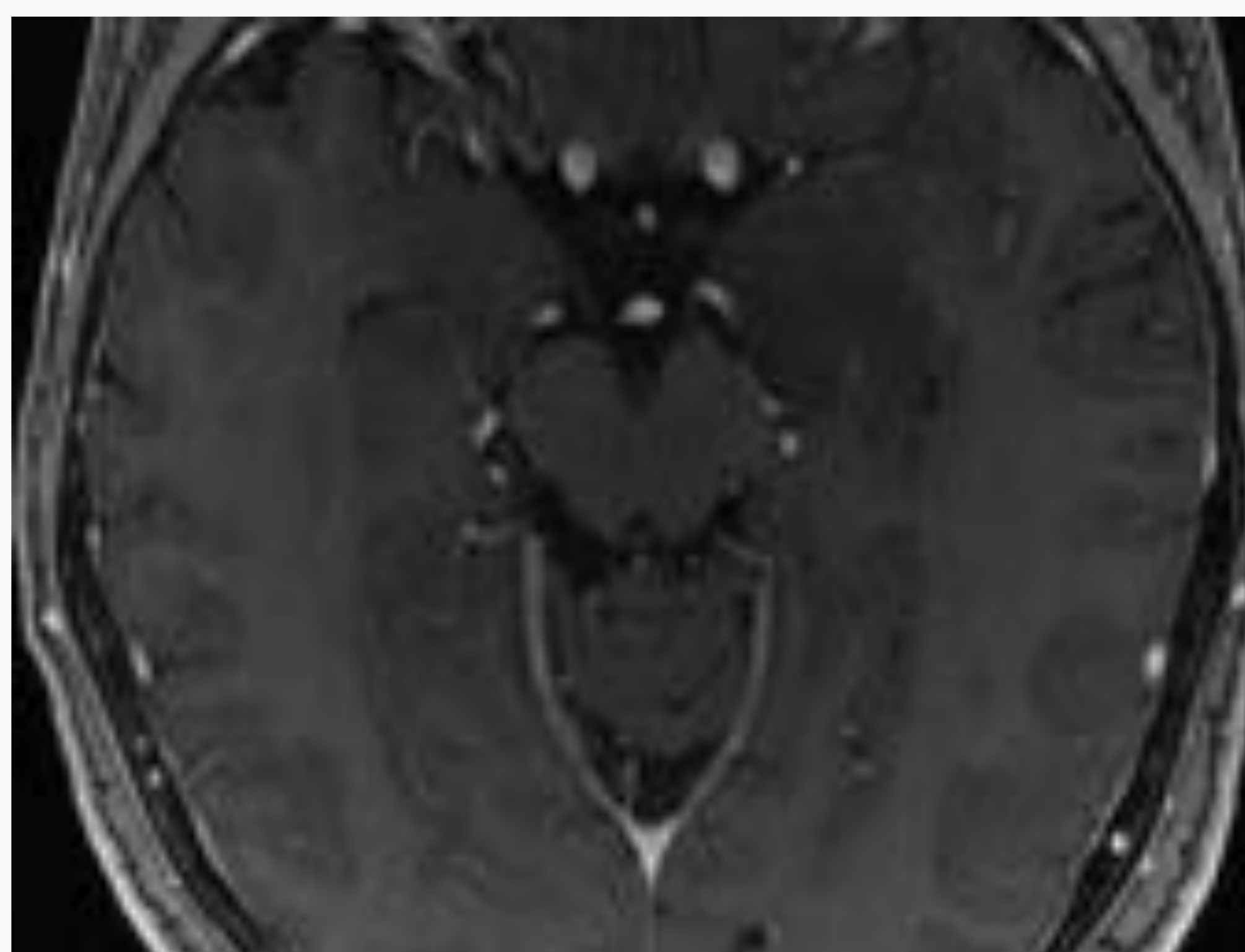
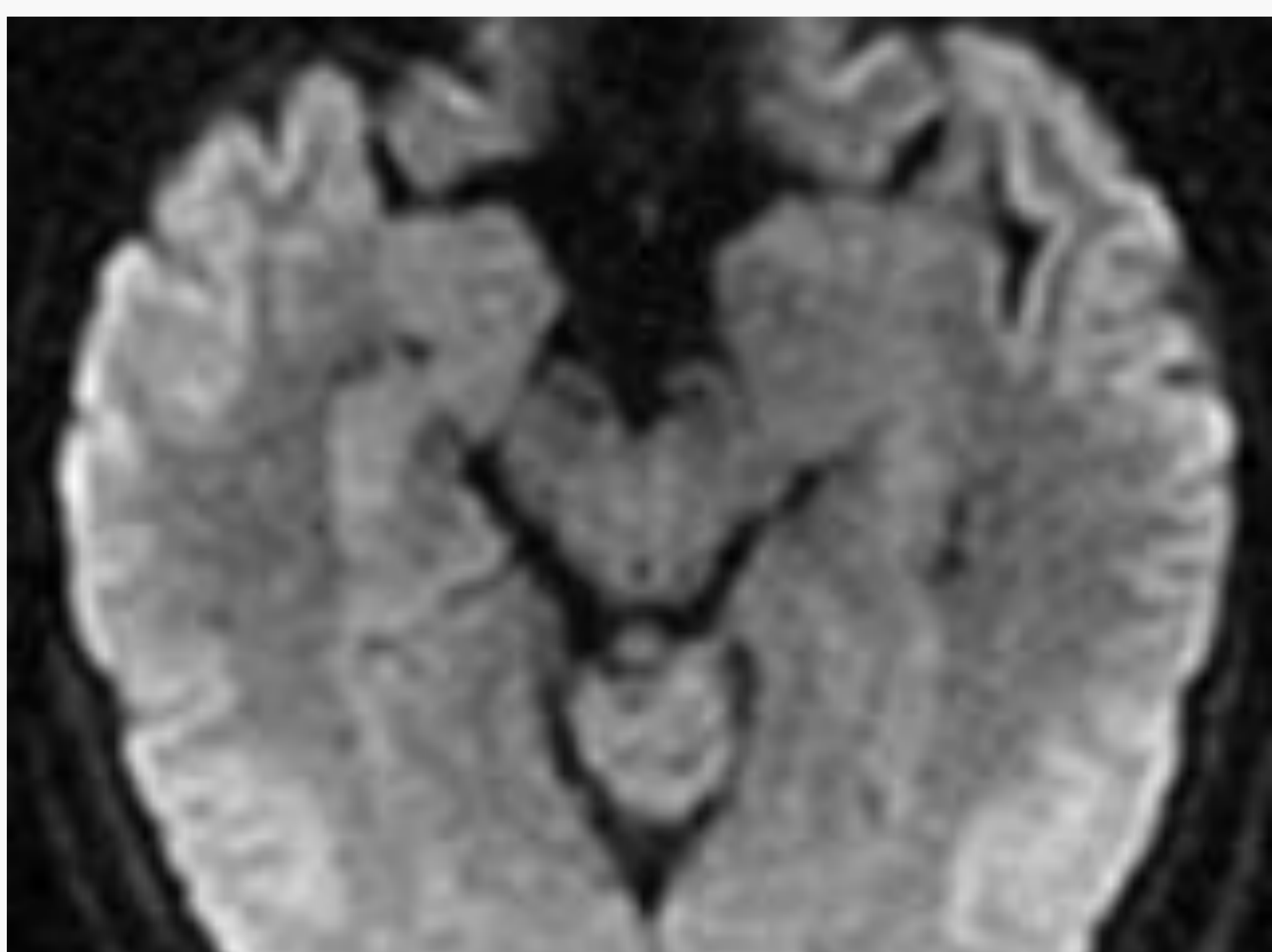
Gliomas bajo grado

Linfoma

< ITSS



Astrocitoma grado II de la OMS temporal izquierdo. Sin ITSS en la secuencia SWI, grado 0.



Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

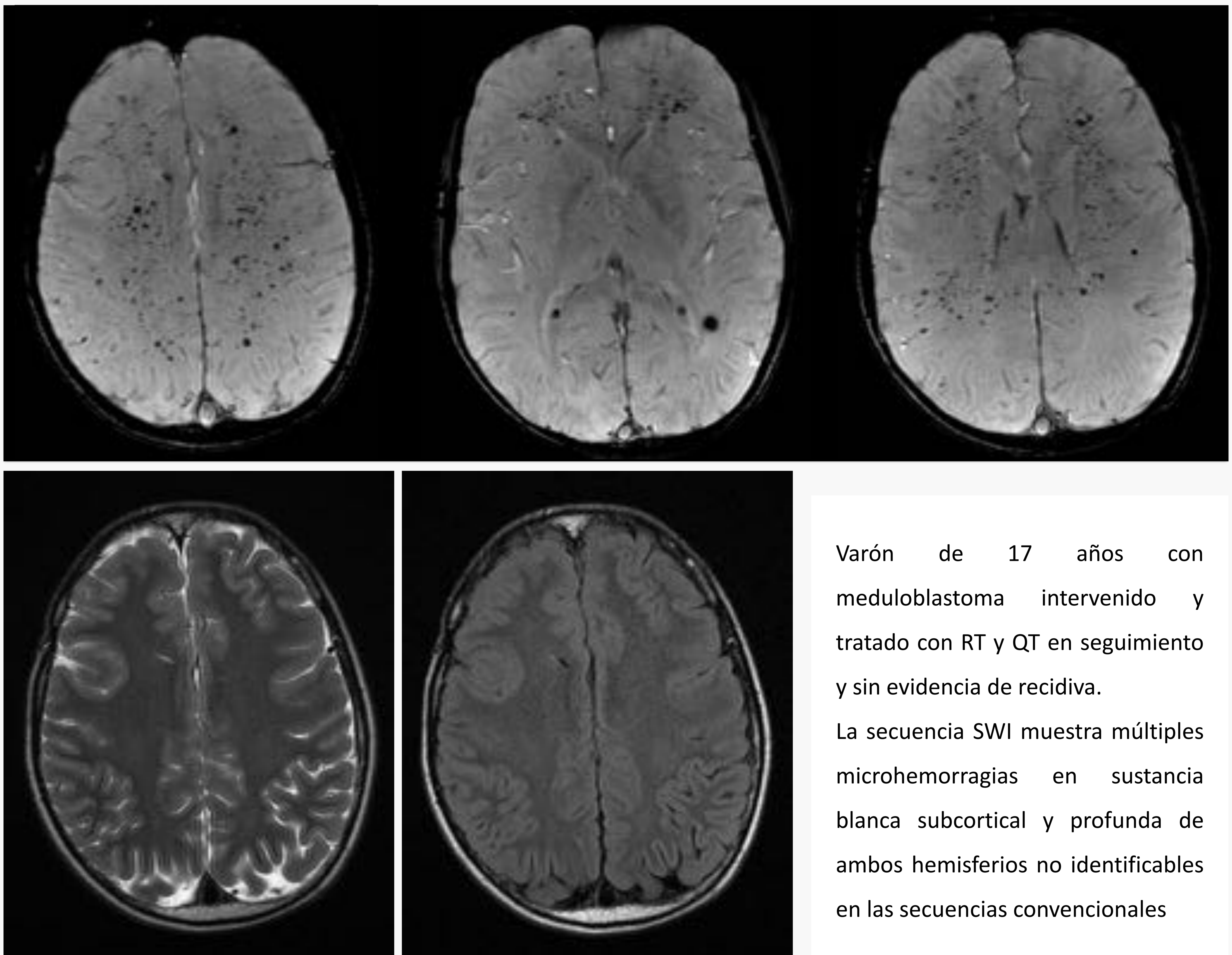
patología traumática

Seguimiento de tumores cerebrales

Es bien conocida la relación entre **microhemorragias** y el tratamiento con **quimioterapia y radioterapia** en pacientes con **gliomas de alto grado**.

Recientemente la **aparición de microhemorragias** también se ha demostrado en pacientes con **gliomas de bajo grado** tratados sólo con **radioterapia**.

Belliveau, J.-G., G.S. Bauman, K.Y. Tay, D. Ho, and R.S. Menon. 2017. 'Initial Investigation into Microbleeds and White Matter Signal Changes following Radiotherapy for Low-Grade and Benign Brain Tumors Using Ultra-High-Field MRI Techniques', American Journal of Neuroradiology, 38: 2251-56.



Varón de 17 años con meduloblastoma intervenido y tratado con RT y QT en seguimiento y sin evidencia de recidiva.

La secuencia SWI muestra múltiples microhemorragias en sustancia blanca subcortical y profunda de ambos hemisferios no identificables en las secuencias convencionales

Este grupo de pacientes con tumores menos agresivos y con una tasa de supervivencia mayor tienen más posibilidades de desarrollar efectos adversos de la RT comparados con los gliomas de alto grado.

Este hallazgo tiene relevancia clínica pues plantea la necesidad de monitorización a largo plazo y cuestiona el uso de antiagregantes y anticoagulantes por el riesgo de sangrado.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

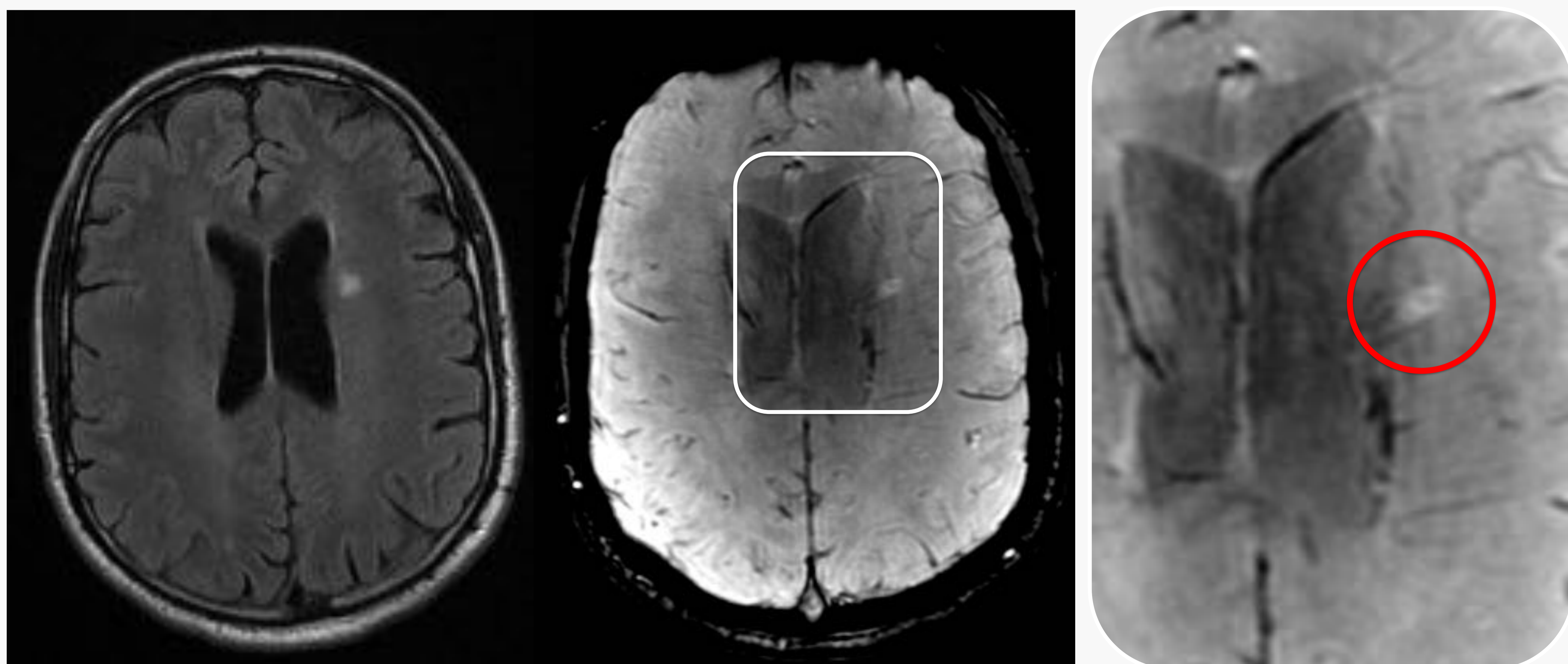
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Enfermedades desmielinizantes

La RM resulta imprescindible para demostrar la presencia de placas desmielinizantes en la esclerosis múltiple pero, aunque su sensibilidad es alta, su especificidad es baja. Para aumentar la especificidad no sólo hay que valorar la distribución de las lesiones sino también su morfología. Los **dedos de Dawson** son frecuentes en la EM y su morfología ovoidea periventricular ha sido explicada en estudios histológicos debido a su **localización perivenular**.



La secuencia SWI en RM de 3T o superior es capaz de demostrar la presencia de vasos atravesando en más del 90% de las placas ventriculares, aumentando así la especificidad diagnóstica. En RM de 1,5 T la detección de la vena central no es tan constante.

- Gabr, R. E., et al. (2018). "Interleaved susceptibility-weighted and FLAIR MRI for imaging lesion-penetrating veins in multiple sclerosis." *Magn Reson Med*.
- Maggi, P., et al. (2018). "Central vein sign differentiates Multiple Sclerosis from central nervous system inflammatory vasculopathies." *Ann Neurol* 83(2): 283-294.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

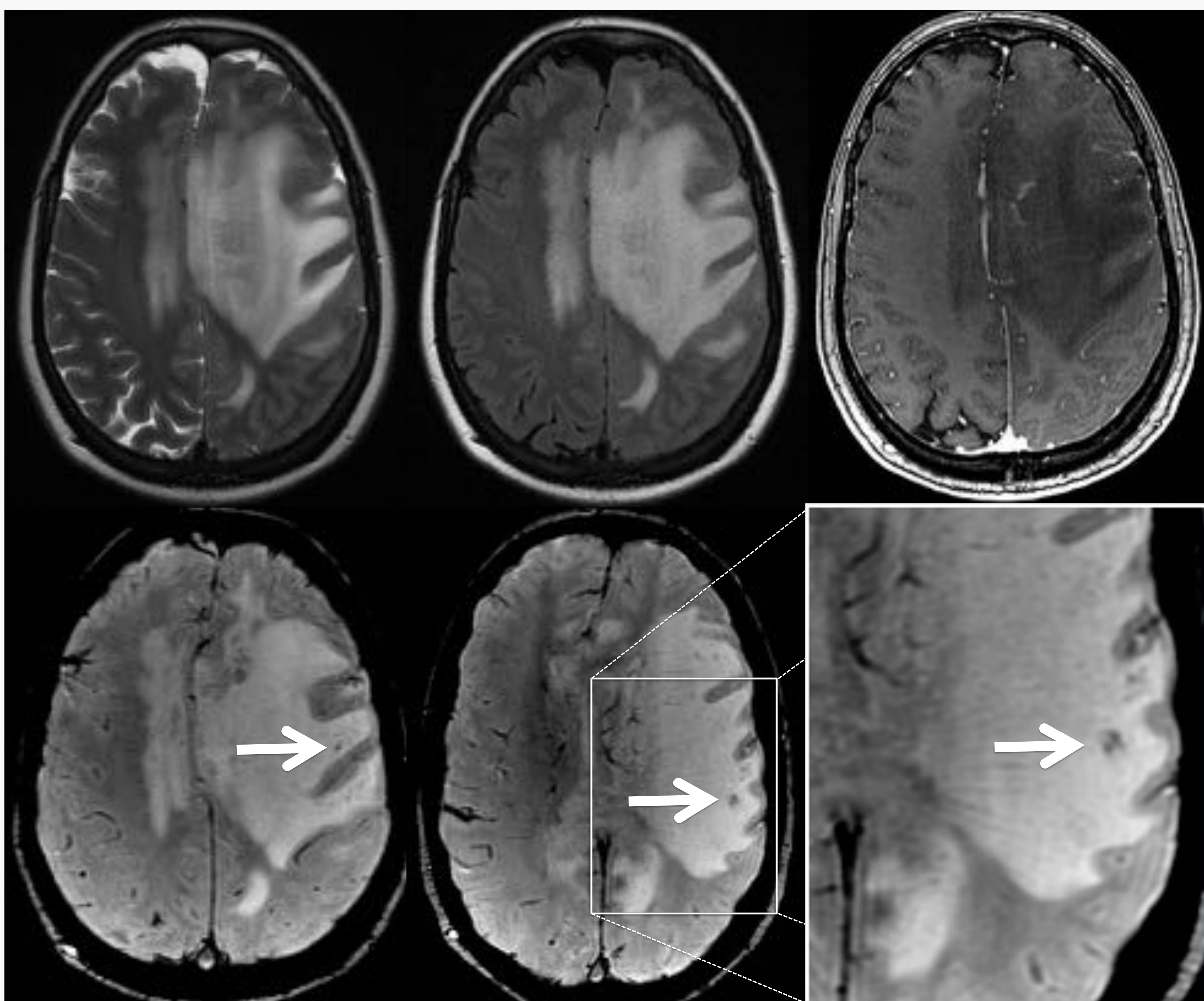
patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Enfermedades desmielinizantes

La **leucoencefalitis hemorrágica aguda** es una enfermedad rápidamente progresiva que forma parte del espectro de las encefalomielitis agudas diseminadas. Un diagnóstico precoz resulta imprescindible para el pronóstico pero la mayoría de las veces supone un reto tanto clínico como radiológico.



Histopatológicamente se caracteriza por una necrosis hemorrágica difusa, desmielinización perivascular y prominentes infiltrados de linfocitos, macrófagos y neutrófilos.

Las zonas de hemorragia se corresponden con petequias en la secuencia SWI.

No son típicas de la encefalomielitis aguda diseminada y es por tanto el dato clave que nos puede ayudar en el diagnóstico.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

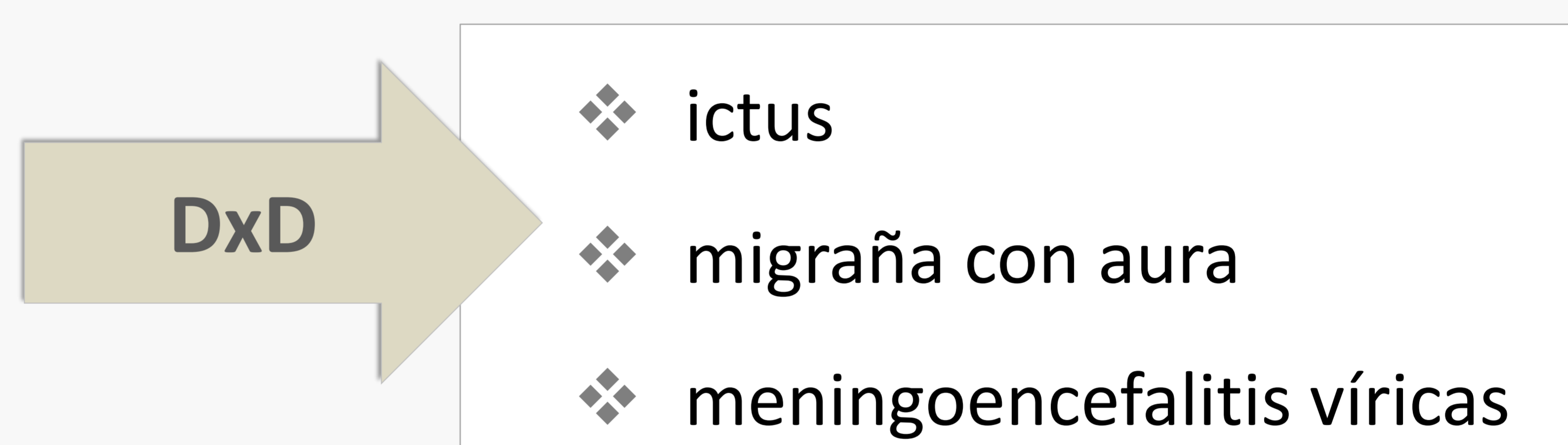
patología inflamatoria

patología traumática

HaNDL

El síndrome **HaNDL** (del inglés, transient headache and neurological deficits with cerebrospinal fluid lymphocytosis) se caracteriza por **episodios de migraña y síntomas deficitarios motores, sensitivos o de lenguaje acompañados de linfocitosis en el LCR.**

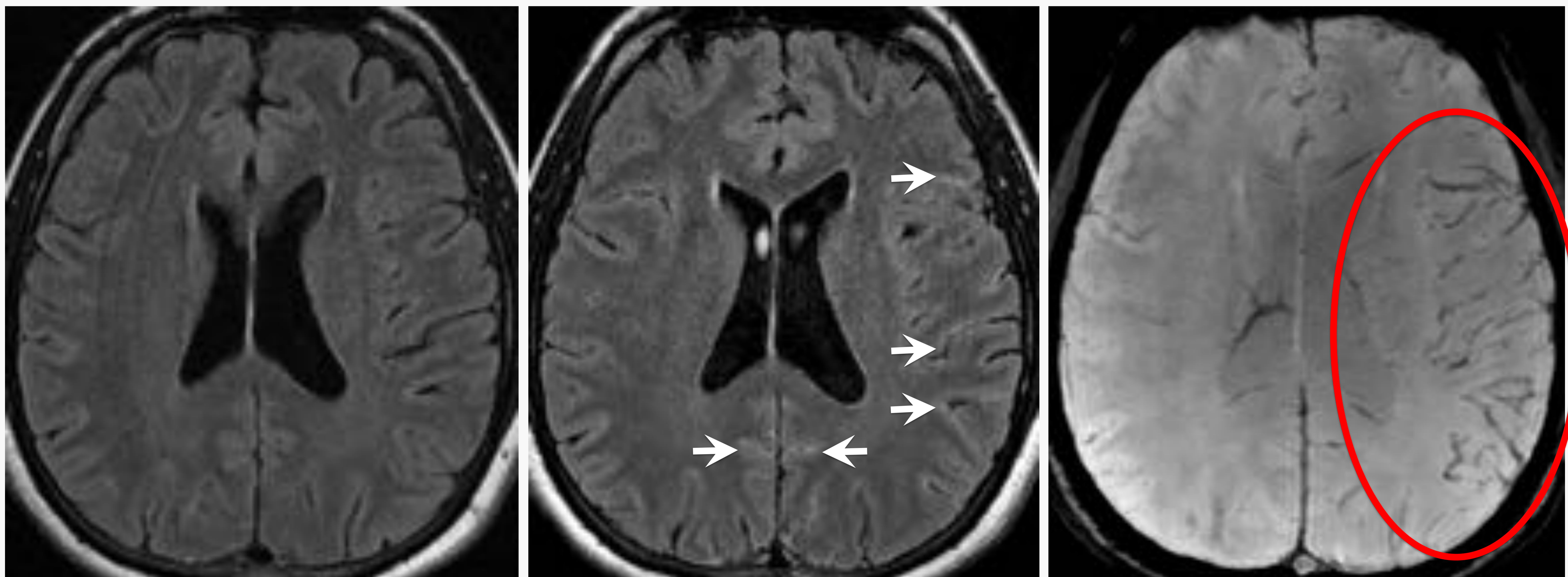
Se trata de un cuadro benigno, autolimitado y de resolución espontánea, en un tiempo total inferior a 3 meses.



La SPECT realizada durante el aura migrañosa es patológica en más del 90% de los pacientes. Muestra una **disminución focal del flujo sanguíneo cerebral que se correlaciona con la topografía de las manifestaciones clínicas.**

Las zonas de hipoperfusión cerebral en HaNDL, al igual que ocurre en el ictus agudo, producen el **signo del vaso prominente.**

Las **venas de drenaje de áreas con flujo cerebral disminuido** tienen mayor contenido en desoxihemoglobina lo que aumenta su diferencia de susceptibilidad magnética con el parénquima y las hace **más prominentes en la secuencia SWI.**



Paciente con cefalea, dificultad para el habla y linfocitosis en el LCR. Captación leptomeníngea que se pone en evidencia en la secuencia T2 FLAIR con contraste (flechas blancas) y prominencia de venas hemisféricas izquierdas.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

patología traumática

Lesión axonal difusa

Se define lesión axonal difusa o DAI (del inglés, diffuse axonal injury) como el daño del SNC causado por la rotura de los axones a consecuencia de un mecanismo brusco de aceleración/desaceleración y es considerada la principal causa de morbilidad en pacientes con traumatismo craneoencefálico.

En TC los hallazgos son pocos significativos o ausentes siendo la RM el método diagnóstico de elección. **La secuencia SWI ha demostrado ser entre 3 y 6 veces más sensible en la detección del tamaño, número, volumen y distribución de las lesiones axonales hemorrágicas que la secuencia T2*.**

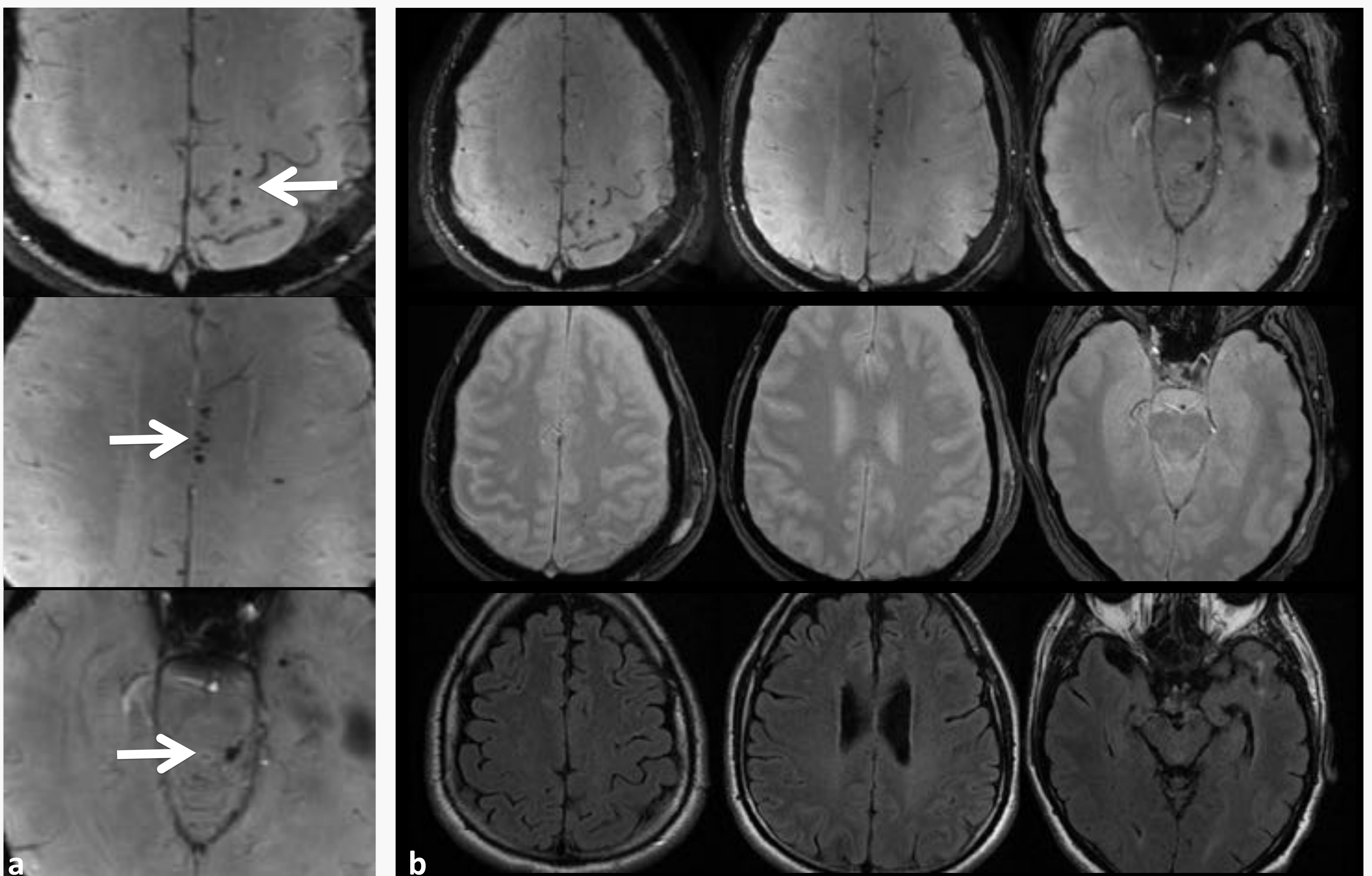


Fig. a TCE severo con signos de lesión axonal difusa tipo 3 en la secuencia SWI por afectación cortico-subcortical, del cuerpo calloso y de la región dorsolateral del mesencéfalo.

Fig. b La comparativa de la secuencia SWI con el T2* y el T2 FLAIR nos muestra la mayor sensibilidad de la secuencia de susceptibilidad a la hora de establecer una gradación correcta del daño axonal.

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

patología tumoral

patología inflamatoria

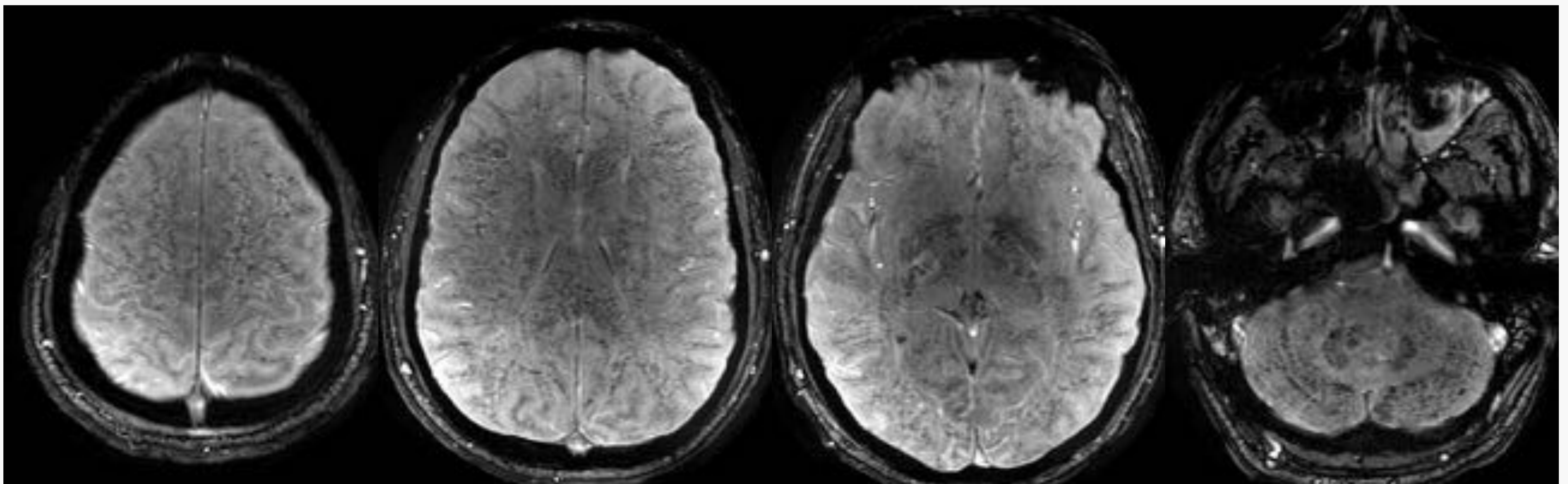
patología traumática

Embolismo graso cerebral

La embolia grasa cerebral es una causa poco frecuente de deterioro neurológico postraumático que se presenta tras fracturas desplazadas de huesos largos.

El diagnóstico suele ser clínico (caracterizado por la aparición de deterioro neurológico, disnea y petequias cutáneas) y se confirma mediante RM, que pone en evidencia la presencia de **microinfartos, edema vasogénico y petequias en el parénquima cerebral.**

Se manifiesta en SWI como focos puntiformes hipointensos que afectan de forma difusa a la sustancia blanca cerebelosa, cuerpo calloso, ganglios basales, centros semiovais y sustancia blanca subcortical bihemisférica correspondientes a lesiones petequiales hemorrágicas.



DxD

El **principal diagnóstico diferencial** es con la **lesión axonal difusa** sobre todo teniendo en cuenta el contexto traumático y la similitud de los hallazgos. La **clave** está en el **intervalo lúcido** que tienen estos pacientes **desde el momento del trauma hasta la aparición de los síntomas.**

Aplicaciones de la secuencia SWI

patología vascular

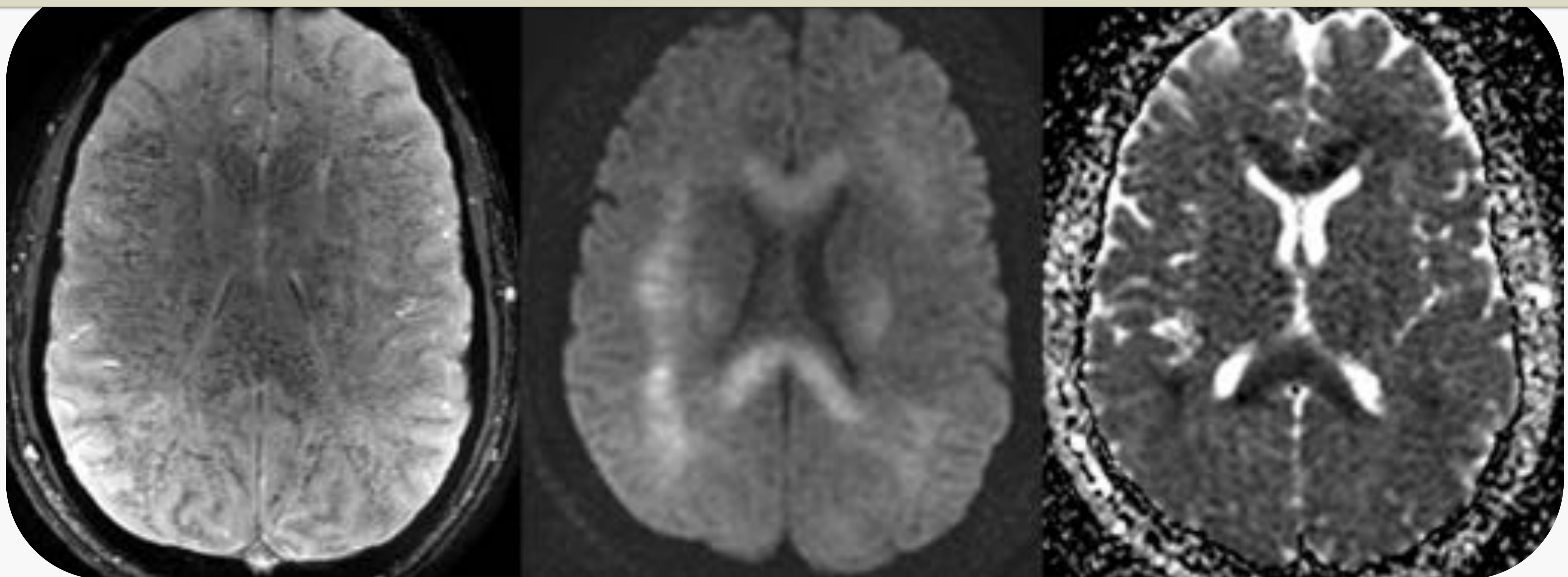
patología tumoral

patología inflamatoria

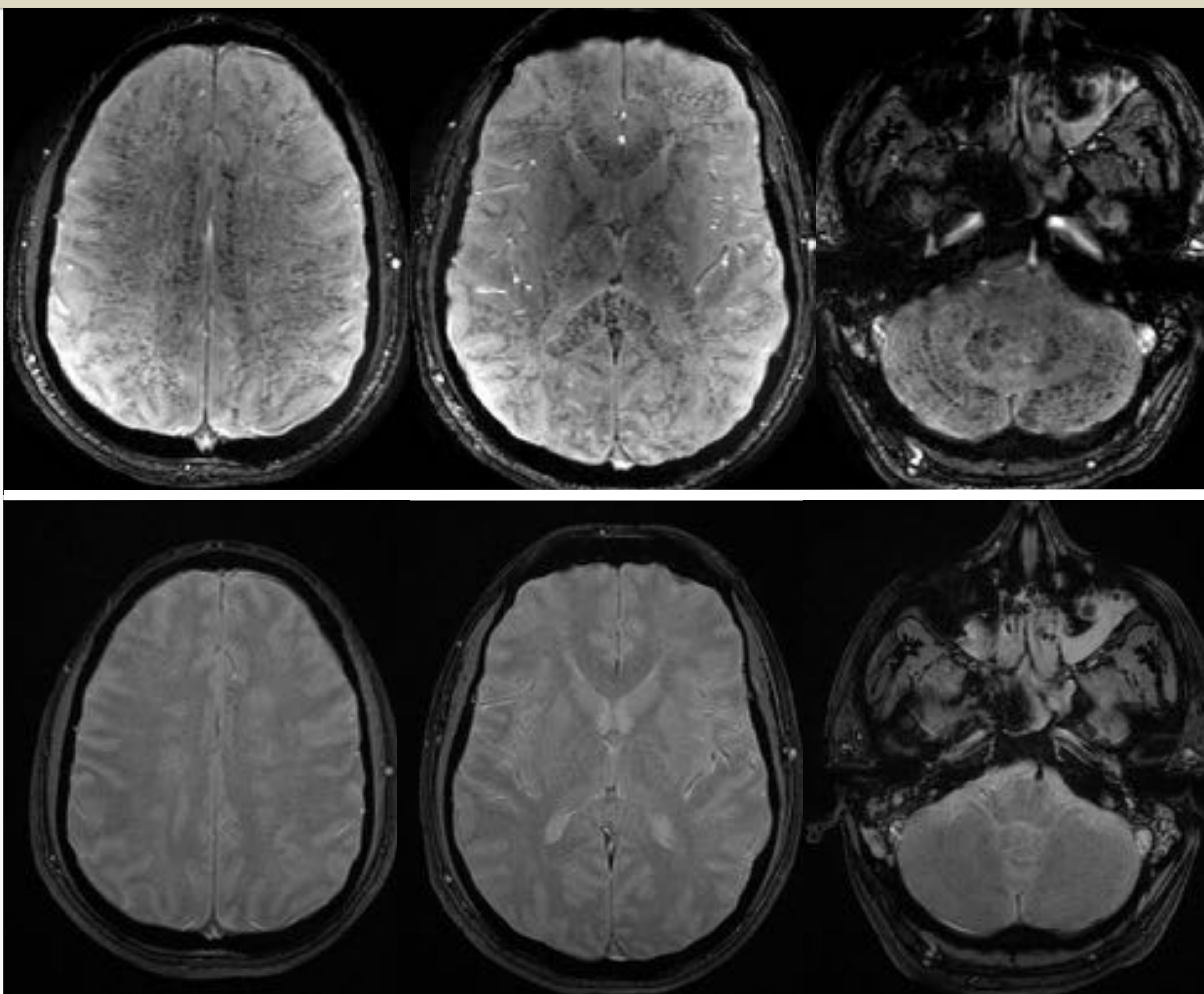
patología traumática

Embolismo graso cerebral

En las fases agudas, cuando se acompañan de edema citotóxico, pueden asociar restricción a la difusión con distribución en «cielo estrellado».



Las hemorragias de embolismo graso son pequeñas, típicamente menores a 3 mm, y es posible que en la secuencia T2* pasen completamente desapercibidas.



Embolismo raso cerebral severo tras accidente de tráfico con fractura pélvica. La comparativa de la secuencia SWI con el T2* nos demuestra la mayor sensibilidad de la secuencia de susceptibilidad a la hora de detectar las petequias milimétricas características de la embola grasa.

Conclusiones

La secuencia SWI es una herramienta útil en la evaluación de muchas patologías aportando no sólo información adicional sino a veces datos clave para establecer el diagnóstico.

En esta revisión resumimos con ejemplos gráficos representativos sus aplicaciones a la hora de evaluar entidades como el traumatismo cerebral, la angiopatía amiloidea, el embolismo graso, la esclerosis múltiple y la patología isquémica cerebral entre otras muchas.

**El valor añadido de la susceptibilidad magnética:
revisión de sus aplicaciones en la patología
neurológica**

**Laura Koren Fernández, Patricia Martín Medina,
Amaya Hilario Barrio, Elena Salvador Álvarez,
Gerardo Ayala Calvo, Ana Ramos González**

Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España