

El diagnóstico de muerte encefálica en las técnicas de imagen. ¿Qué, a quién y cuándo? Más allá del signo del cerebelo blanco.

Lourdes Buzo Magariño, Amado Rodríguez Benitez, Marina Sánchez González, José Luis Izquierdo Cid

Hospital Universitario Puerta del Mar (HUPM) Cádiz.

Objetivo docente

- Conocer qué técnicas son de las que disponemos para el diagnóstico de la muerte encefálica.
- Detallar las características técnicas de las exploraciones que van a jugar un papel importante, así como los hallazgos que encontraremos.
- Determinar los criterios para seleccionar qué técnica es la mejor opción en cada caso y cuando está indicada la realización de las mismas.

Revisión del tema

INTRODUCCIÓN:

La “muerte encefálica” es un término médicolegal que indica mediante criterios neurológicos la muerte del individuo, definiéndose como el cese completo e irreversible de la actividad cerebral incluyendo la del tronco encéfalo. Aceptada actualmente como equivalente a la muerte por criterios cardiorrespiratorios.

Para su diagnóstico se requiere primero una exploración física exhaustiva y sistemática, por su trascendencia clínica, ética y legal. Constando entre los hallazgos el estado en coma del paciente, seguido de la ausencia de reflejos del tronco encéfalo y la presencia de apnea. No siendo suficiente en algunas ocasiones, dejando paso a la elección del diagnóstico instrumental, como se define en la legislación española, a criterio médico.

FISIOPATOLOGÍA:

La combinación de hipoxia e isquemia en el contexto de lesión cerebral extensa por traumatismo, hemorragia subaracnoidea, accidente cerebrovascular o incluso paro cardiopulmonar conduce a edema vasogénico y citotóxico en el parénquima cerebral.

El extenso edema parenquimatoso y el consecuente efecto masa provocan un aumento de la presión intracraneal. Cuando ésta excede la presión diastólica, se produce una mayor pérdida de perfusión cerebral y finalmente se desencadena un paro circulatorio cerebral completo, con la posterior lesión neural irreversible.

CRITERIOS CLÍNICOS:

Los criterios clínicos establecidos para el diagnóstico de muerte encefálica son el estado de coma del paciente, seguido de la ausencia de reflejos del tronco encéfalo y la presencia de apnea.

En caso de no poderse llevar a cabo el estudio exhaustivo y exploración del paciente, o la prueba de apnea es dudosa, se precisa el uso de pruebas auxiliares para su diagnóstico. Siendo el médico responsable (neurólogo o neurocirujano en ciertos países, y de cualquier otra especialidad en otros).

IMITADORES DE LA MUERTE ENCEFÁLICA:

Existen una serie de situaciones clínicas y hemodinámicas capaces de simular el estado de muerte encefálica en el paciente, requiriendo por lo tanto su conocimiento y manejo para evitar posibles diagnósticos erróneos durante el proceso.

Los 3 imitadores más comunes son:

- **Hipotermia:** ya sea por exposición ambiental o mediante medidas terapéuticas, puede provocar la depresión de los reflejos del tronco encéfalo. Por lo tanto, la evaluación nunca debe hacerse cuando la temperatura corporal central es inferior a 36 ° C.
- **El síndrome del cautiverio:** como resultado del infarto de la protuberancia tras la trombosis de la arteria basilar. Se produce la conservación de la conciencia y la mirada vertical del individuo, pero no puede interactuar debido a la tetraplejía.

- **Intoxicación farmacológica:** por barbitúricos, opioides, benzodiazepinas y antidepresivos tricíclicos que ocasionan la supresión de los reflejos del tronco encefálico y, por lo tanto, impide la evaluación correcta del paciente.

Otras variables de confusión al diagnóstico son:

- Hipotensión
- Presencia de antiépilépticos sedantes
- Trauma facial severo
- Incapacidad para realizar la prueba de apnea
- Enfermedad pulmonar severa

PRUEBAS DE NEUROIMAGEN INICIALES:

- TC CRANEAL

Técnica de imagen inicial más realizada en pacientes comatosos. Permite identificar el daño cerebral primario (ocasionada por TCE o hemorragias intracraneales espontáneas) y la presencia de lesión hipóxica o isquémica global primaria o secundaria a través de la visualización de varios hallazgos:

- Edema cerebral difuso
- Pérdida de la interfaz de la sustancia blanca- gris
- “Signos del cerebelo blanco”
- Borramiento de los surcos cerebrales
- Apariencia de “hemorragia pseudo-subaracnoidea” por la presencia de venas hiperdensas en los surcos borrados.
- Hernias transcompartimentales (en elevaciones importantes de la PIC).

- RM CRANEAL:

Revela la lesión primaria o hipóxica secundaria con bajo coeficiente de difusión aparente del parénquima. Así como Inflamación difusa de las circunvoluciones cerebrales y corteza cerebelosa. (Iso-hipointensa en T1/ iso-hiperintensa en T2), borramiento de los ventrículos laterales bilaterales y hernia amigdalina asociada.

A través de la ausencia de vacíos de flujo en la secuencia ponderada en T2 en las arterias principales de las cisternas basales, puede orientar a un flujo sanguíneo cerebral ausente.

PRUEBAS INSTRUMENTALES AUXILIARES:

A pesar de estar descritos los criterios clínicos para llegar al diagnóstico de muerte encefálica, existen ocasiones en las que debido a factores del propio paciente alcanzar un diagnóstico correcto se convierte en un proceso más complejo, jugando un papel vital en dichas circunstancias el uso de pruebas auxiliares, permitiendo conseguir un diagnóstico certero y reducir el tiempo de observación.

OBJETIVOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS:

1. Demostrar la ausencia de **flujo sanguíneo cerebral**. Para ello se pueden emplear la arteriografía cerebral, angio-TC y angio-RM, TC de perfusión y HMPAO SPECT.
2. Demostrar la ausencia de **actividad eléctrica cerebral**. A través del empleo de EEG y potenciales evocados somatosensoriales.

CARÁCTERÍSTICAS IDEALES:

- Disponibilidad y accesibilidad.
- Operador independiente.
- Alta sensibilidad y especificidad.
- Rapidez, seguridad y mínima invasión.

PRUEBAS DE NEUROIMAGEN. HALLAZGOS RADIOLÓGICOS:

1. ARTERIOGRAFÍA CEREBRAL

Considerado durante mucho tiempo técnica “gold estándar”, debido a que evidencia de forma directa la ausencia de flujo cerebral en los segmentos intracraneales de las arterias carótidas y vertebrales, requerido para el diagnóstico.

Técnica:

Consiste en la inyección de contraste yodado no iónico en arteria carótida común o vertebrales, mejor que en arco aórtico. Y la adquisición de serie de imágenes de 20 seg.

Hallazgos radiológicos:

La falta de visualización de la arteria carótida interna intracraneal más allá del segmento petroso y de la arteria vertebral más allá del segmento intradural y la correcta visualización de las arterias carótidas externas y sus diferentes se consideran positivas para el diagnóstico de ME.

Limitaciones:

Las principales limitaciones se relacionan con el carácter invasivo del procedimiento y con la posibilidad de obtener resultados falsos positivos en situación de hipotensión, o falsos negativos ante situaciones que de forma secundaria reducen las cifras de presión intracraneal (PIC) como son las fracturas abierta, postcraniectomías o presencia de drenaje ventricular.

Para evitar más casos de FN es importante tener en cuenta que se puede observar cierta opacificación de las arterias intracraneales proximales hasta en el 30% de los pacientes debido al fenómeno de “llenado de éstasis”.

2. ANGIO-TC:

La técnica incluye de forma inicial un estudio sin contraste y posteriormente se realiza tras la administración de 100 ml de contraste intravenoso a una velocidad de 3 ml / s. Las secciones se adquieren a los 20-25 y 60 segundos después de la administración de contraste para la fase arterial y venosa respectivamente.

Se recomienda esperar unas 6 horas desde el diagnóstico clínico y la realización de la prueba por la posibilidad de mantenimiento de flujo residual las primeras horas por la presión de perfusión cerebral (PPC).

Los hallazgos radiológicos sugestivos de ME se basan en unos criterios diagnósticos recogidos en la denominada “Escala de los 7 vasos” que recoge la ausencia de opacidad de:

- Segmentos corticales de las ACMs. (1+1)
- Venas cerebrales internas. (1+1)
- Arterias pericallosas. (1+1)
- Vena de Galeno. (+1)

Sumando puntuación la ausencia de su visualización.

Posteriormente dichos criterios fueron sustituidos por la “Escala de los 4 vasos” que presentaba una mayor sensibilidad con una especificidad del 100%. Al igual que la anterior también consiste en el sumatorio de puntos (hasta 4) por la no visualización de los siguientes vasos:

- Segmentos corticales de las ACMs. (1+1)
- Venas cerebrales internas. (1+1).

Existen varias consideraciones a tener en cuenta:

- Si se observa la opacidad de 1 o 2 ramas corticales de las ACMs únicamente es posible el diagnóstico de ME si no hay opacidad de las venas cerebrales internas. (La ausencia de opacidad de las venas cerebrales intracraneales es el diagnóstico más precoz, sensible y específico de ME).
- No descarta el diagnóstico, la opacidad de:
 - Segmento M2 y M3 de las ACMs
 - ACPs
 - Senos superficiales
 - AVs y basilar
 - Venas oftálmicas
 - Senos cavernosos

Las limitaciones se basan en los posibles falsos negativos:

- Fenómeno de llenado de éstasis (debido al mayor aporte sanguíneo a las arterias carótidas externas se crea un flujo colateral retrógrado originado la opacificación de los segmentos proximales intracerebrales).
- Situaciones que reducen la PIC.
- Encefalopatía anóxica (la causa de ME no es un paro circulatorio si no una lesión a nivel neuronal, requiriéndose para el diagnóstico la realización de pruebas electrofisiológicas).

3. TC DE PERFUSIÓN CEREBRAL:

Es una medida complementaria a la anterior, permitiendo detectar la ausencia de flujo intracraneal en situaciones dudosa de llenado de éstasis.

Es capaz de diferenciar la hipoperfusión profunda de la ausencia completa de perfusión.

La ausencia de vascularización intracraneal impide el postprocesado habitual para la obtención de mapas de color de la TCP, resultando nulos FSC, VSC y TTM. Tomándose para el mismo la arteria temporal superficial como input arterial.

4. ANGIO- RMN:

La ARM potenciada con gadolinio puede considerarse evidencia concluyente de paro circulatorio cerebral.

Los hallazgos radiológicos consisten en la ausencia de relleno con medio de contraste (gadolinio) de los vasos intracraneales principales en contraposición a los extracraneales que se observan con flujo sanguíneo sin alteraciones.

Limitaciones: en comparación con el angio-TC, no parece estar influenciado por el “fenómeno de éstasis”.

Los principales inconvenientes están relacionados con aspectos técnicos, como el tratarse de pacientes ventilados y el mayor tiempo requerido.

5. ANGIOGAMMAGRAFÍA CEREBRAL TC99:

Se trata de la utilización de agentes específicos del cerebro en forma de HMPAO marcado con $99m$ Tc o éster dietílico de etilen cisteína (ECD) que son lipófilos y transportan el marcador de tecnecio a través de la barrera hematoencefálica. Acumulándose dicho marcador en el parénquima cerebral según el grado de perfusión regional.

Técnica: se inyectan aproximadamente 30 mCi de actividad dentro de los 30 minutos posteriores a la reconstitución. Las imágenes de flujo se adquieren inicialmente después de la inyección a 1 segundo por cuadro durante 60 segundos.

Se obtienen imágenes adicionales del hígado para confirmar la inyección intravenosa correcta.

Hallazgos radiológicos:

Se observa la ausencia de captación en los diferentes territorios vasculares, incluyendo el seno sagital superior.

Están descritos algunos signos que reflejan dichas condiciones como el “signo del cráneo hueco” , "signo de la bombilla vacía” o “signo de la nariz caliente”, debido éste último a la mayor acumulación de marcadores en la nariz suministrada por las arterias carótidas externas.

Las principales limitaciones son debidas a la falta de disponibilidad y a los FN proporcionados en pacientes con postcraniotomía donde se detecta flujo cerebral residual.

6. DOPPLER TRANSCRANEAL:

Consiste en el uso de una sonda de 2 MHz, para evaluar la velocidad y la forma de onda espectral en las **arterias cerebrales medias** a través de la ventana bitemporal por encima del arco cigomático y en las **arterias vertebrobasilares** a través de la ventana suboccipital. El examen se realiza dos veces con un intervalo de 30 minutos.

Los hallazgos se recogen en 4 fases en relación con la caída del flujo sanguíneo cerebral (FSC) al aumentar la PIC.

1. La PIC supera la presión arterial diastólica y la velocidad al final de la diástole es cero, pero persiste el flujo durante la sístole. Se obtienen registros con un patrón de alta resistencia.
2. La PIC es superior o igual a la PAS. Se denomina sonograma con flujo reverberante, flujo oscilante bifásico o patrón de flujo diastólico invertido. Caracterizado por la presencia de flujo anterógrado en sístole, acompañado de un flujo diastólico retrógrado o invertido. Se produce el cese de la perfusión cerebral.
3. Espigas sistólicas o espículas sistólicas. En este tipo de patrón se registran únicamente pequeñas ondas sistólicas anterógradas, cortas y puntiagudas, sin obtenerse flujo durante el resto de la sístole ni en la diástole.
4. Ausencia de sonograma. No se detecta ninguna señal. Aparece en casos muy evolucionados de ME.

Las principales ventajas de la prueba son la seguridad, el bajo coste y la disponibilidad, pudiéndose realizar al lado de la cama y repetirse las veces que se requieran.

La dependencia del operador y la obtención de una señal confiable para la interpretación son las principales limitaciones de esta prueba. Además de los posibles FN asociados a la persistencia del flujo residual.

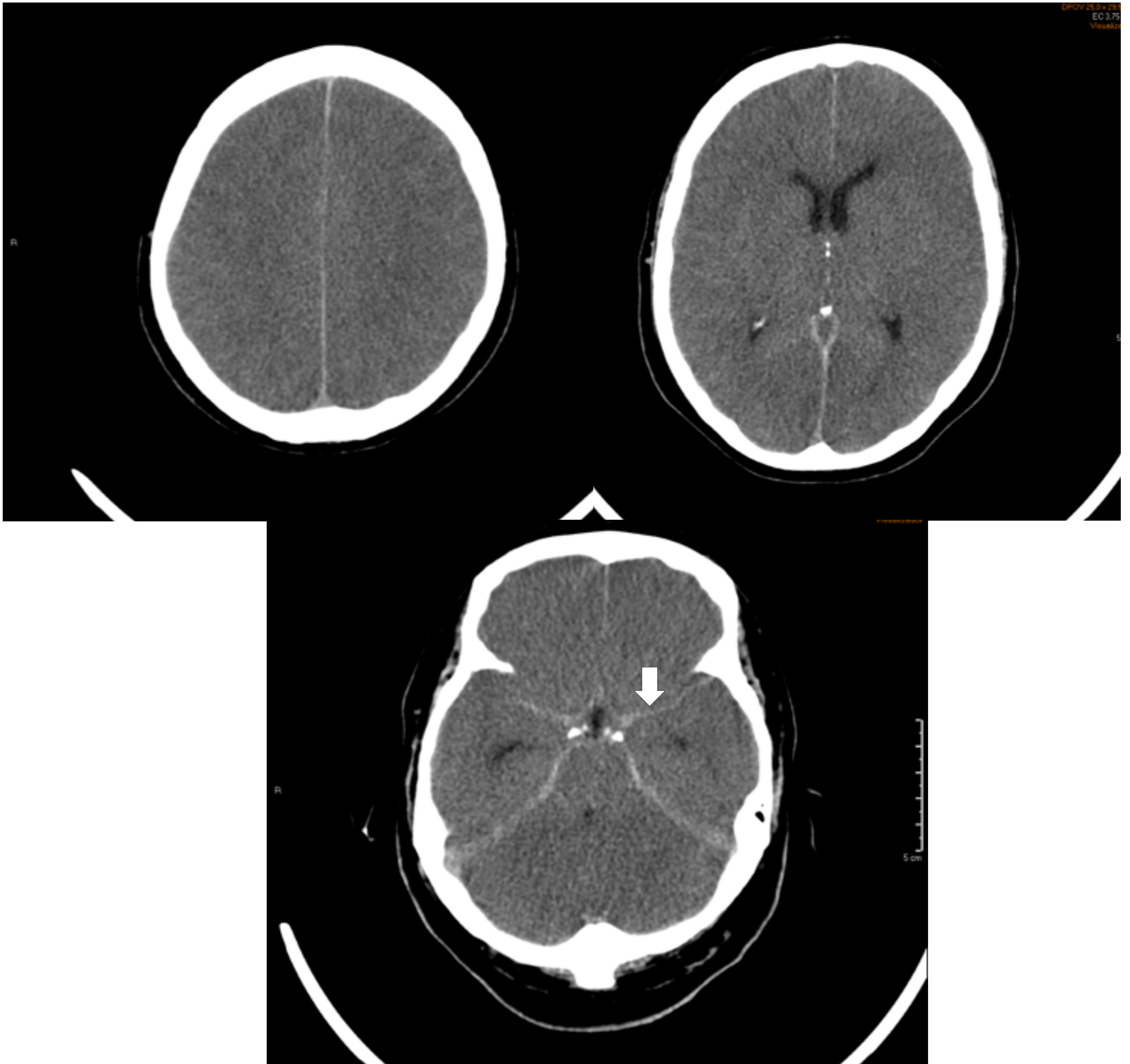
Imágenes de la sección:

Fig 1. Cortes axiales de TC de cráneo sin contraste en paciente de 46 años tras parada cardiorrespiratoria de 10 minutos. Coma profundo y midriasis bilateral. Se visualiza marcada hipodensidad parenquimatosa generalizada, pérdida de la interfaz sustancia blanca-gris, colapso de los surcos y pseudo hemorragia subaracnoidea (flecha). Todo ello sugestivo de edema cerebral y muerte encefálica.

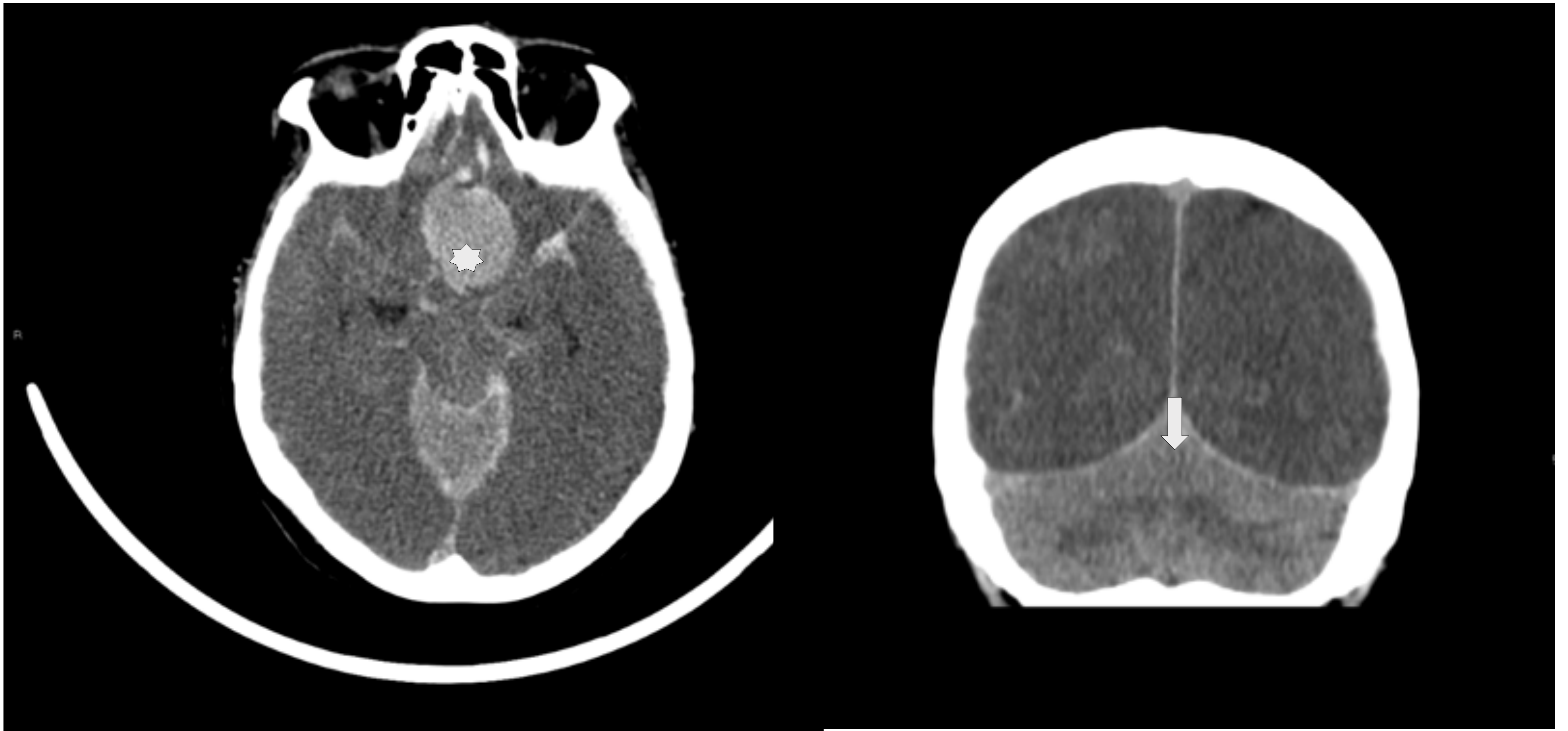


Fig 2. Corte axial de TC de cráneo sin contraste iv en el que se observa lesión cerebral primaria; HSA secundaria a aneurisma roto (asterisco). Marcado edema generalizado con pérdida de los surcos y de la diferenciación córtico-subcortical. (signos de muerte encefálica)

Fig 3. Corte coronal de TC de cráneo del mismo paciente donde se observa el “signo del cerebelo blanco” (flecha).

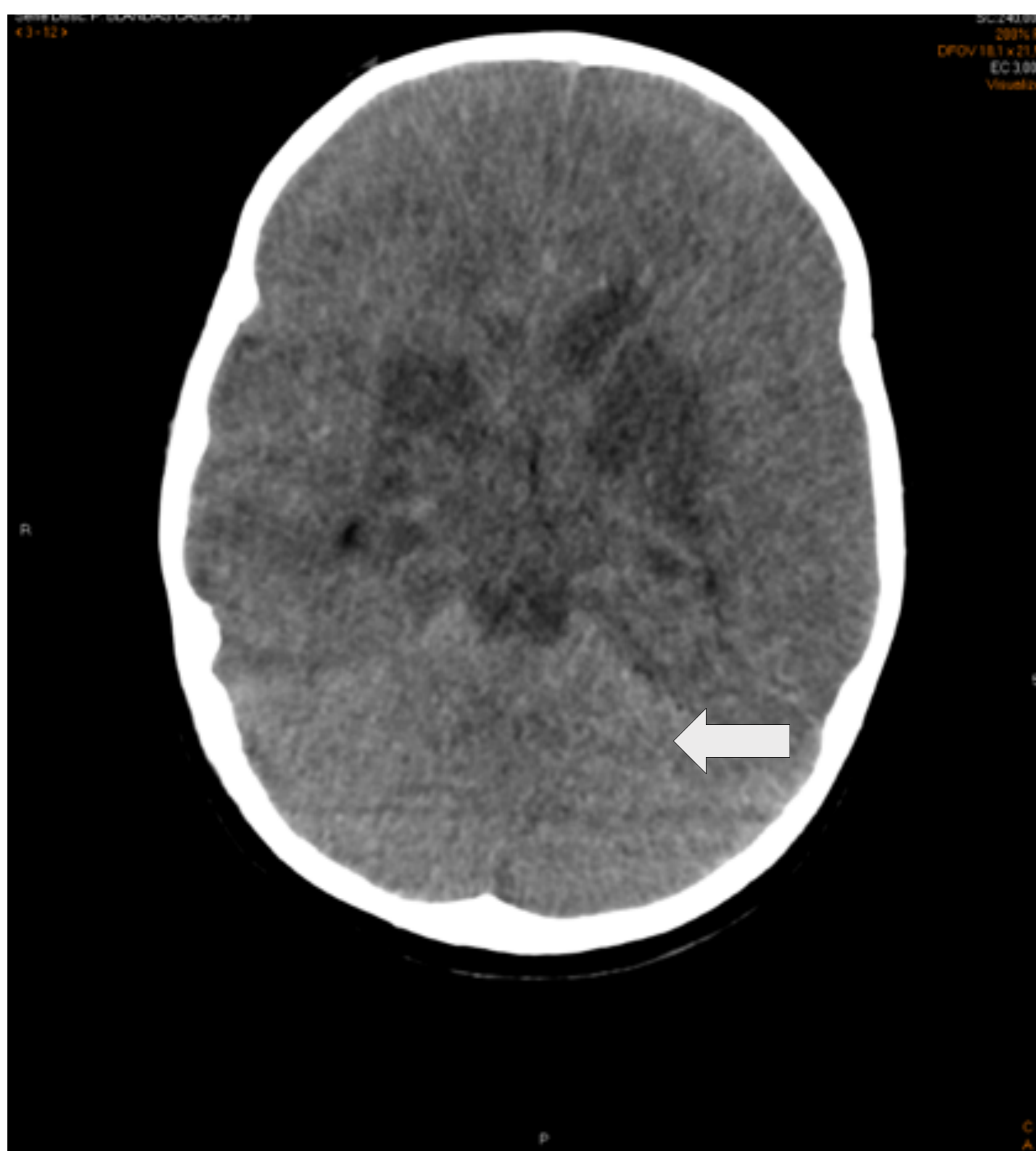


Fig 4. Cortes axiales de TC de cráneo sin contraste donde se visualiza el signo del cerebelo blanco e infarto de los núcleos grises bilaterales en paciente de 2 años tras ahogamiento.



Fig 6. Cortes axiales de TC de cráneo sin contraste de paciente de 15 años con signos de muerte encefálica tras TCE y glasgow de 7. Se (Pérdida difusa de la diferenciación sustancia blanca-sustancia gris y de surcos.) Se asocia hemorragia subaracnoidea en surcos de la convexidad cerebral izquierda con mínimo hematoma subdural laminar (flecha) y hematoma subgaleal parieto-occipital izquierdo.

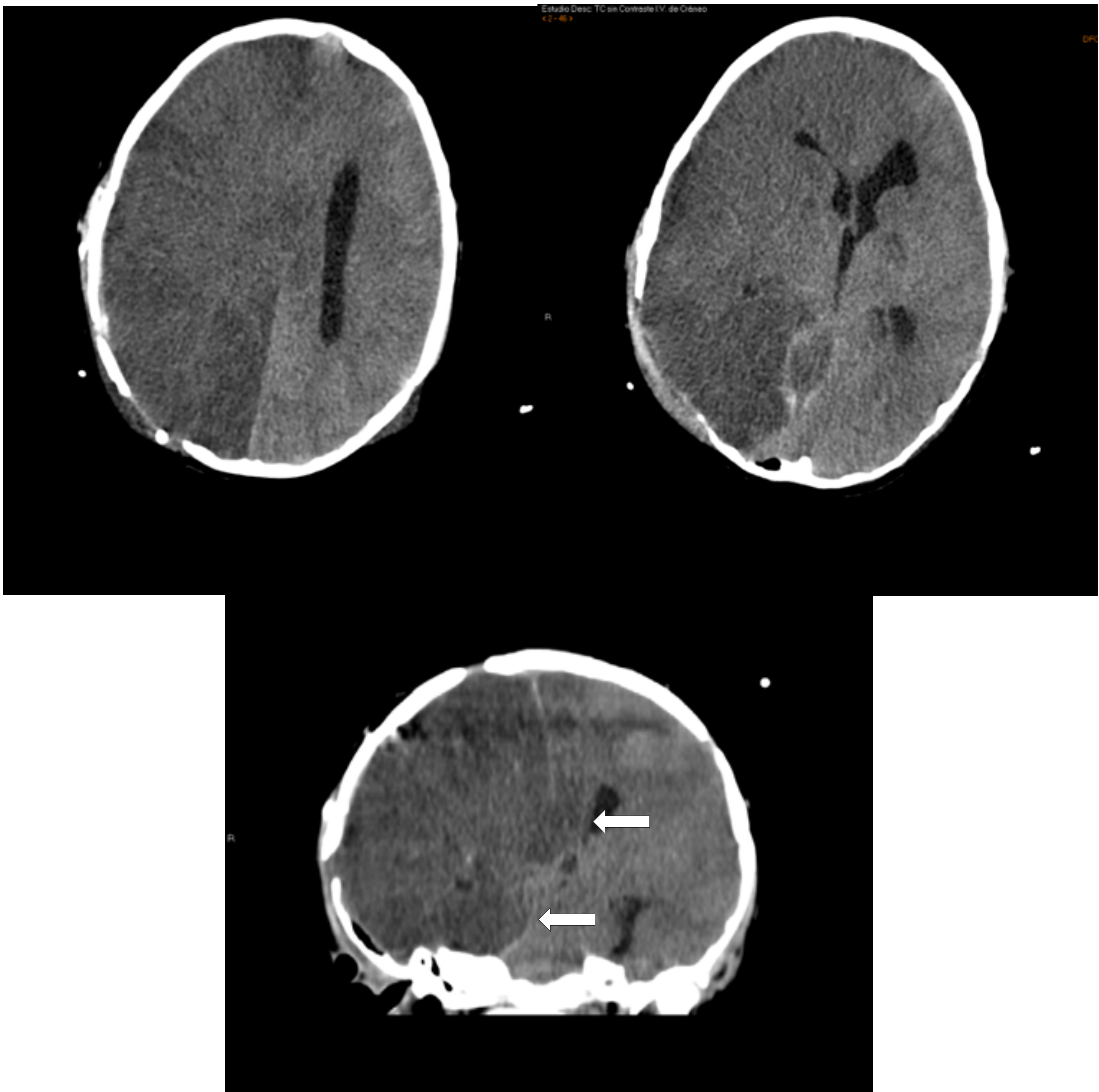


Fig 7. Cortes axiales (a y b) y coronal (c) de TC de cráneo sin contraste de paciente con mala evolución tras intervención de hematoma epidural secundario a TCE. Se observa extensa área de edema e infarto establecido hemisférico derecho, así como signos de herniación subfalcina y transtentorial (flechas) y extensa pérdida de la diferenciación sustancia gris-blanca global en relación con edema cerebral difuso.

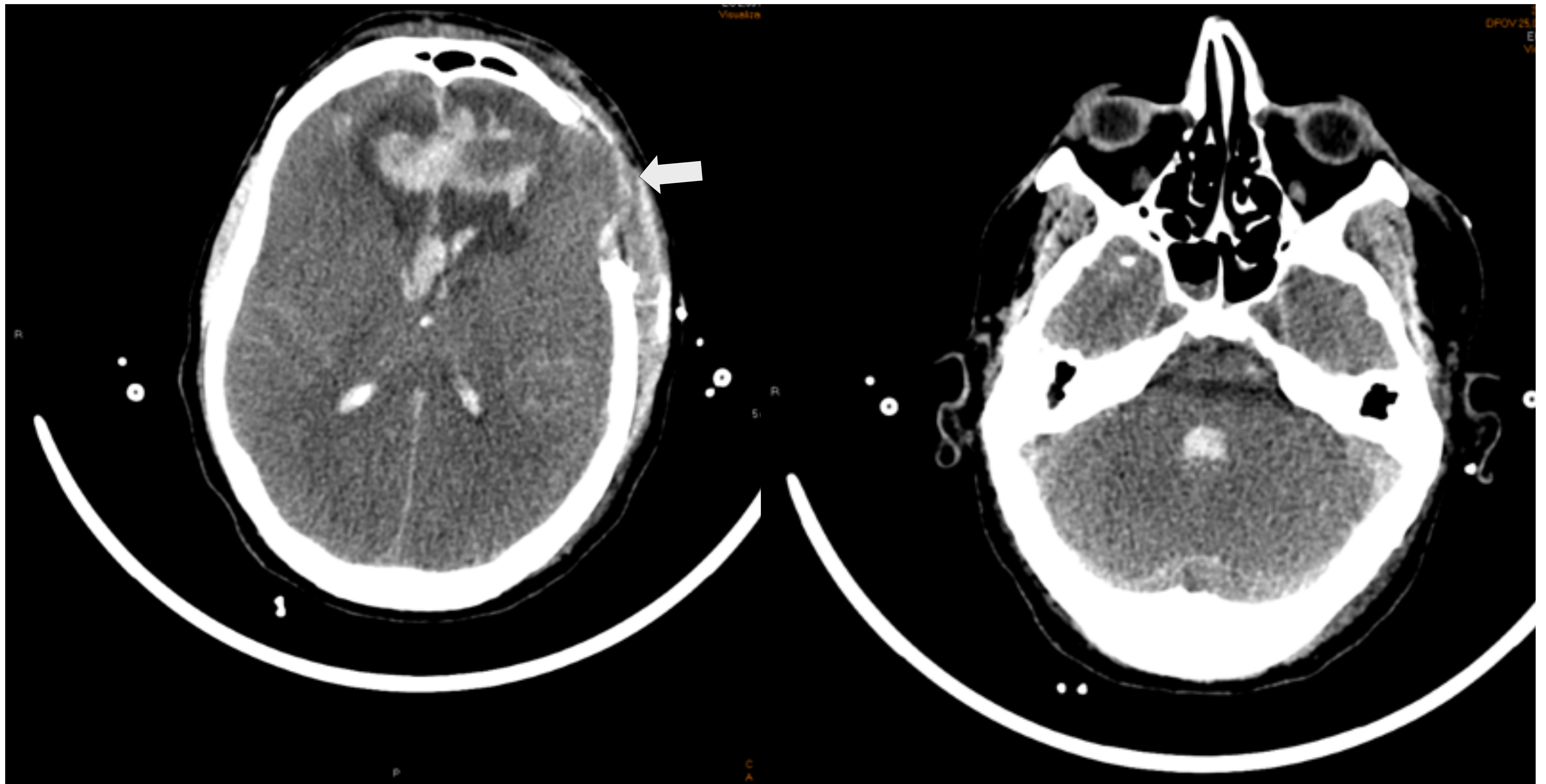


Fig 8. TC de cráneo sin contraste en cortes axiales de paciente con rotura de aneurisma en la arteria comunicante anterior. Se visualiza hematoma intraventricular (ventrículos laterales y tercer ventrículo), y restos hemáticos en lóbulo frontal izquierdo, agujero magno y en espacio subaracnoideo. Herniación del parénquima cerebral por orificio de craniectomía descompresiva frontal izquierda (flecha) y pérdida generalizada de la diferenciación sustancia blanda-sustancia gris con borramiento de los surcos en relación con edema cerebral.

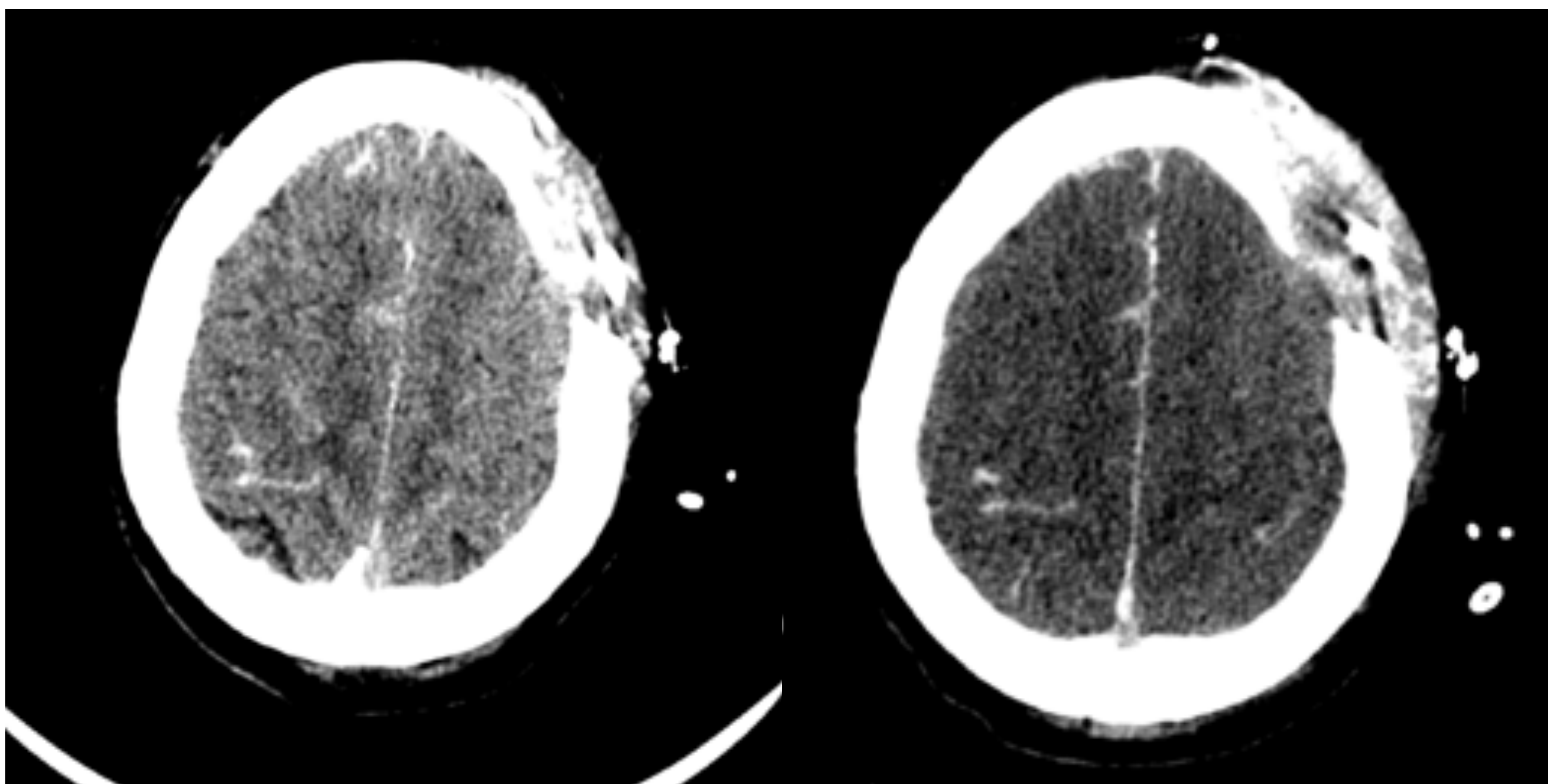


Fig 9. Evolución desfavorable en horas del paciente anterior. Cortes axiales de TC de cráneo sin contraste donde se aprecia HSA y pérdida de la diferenciación sustancia gris-sustancia blanca.

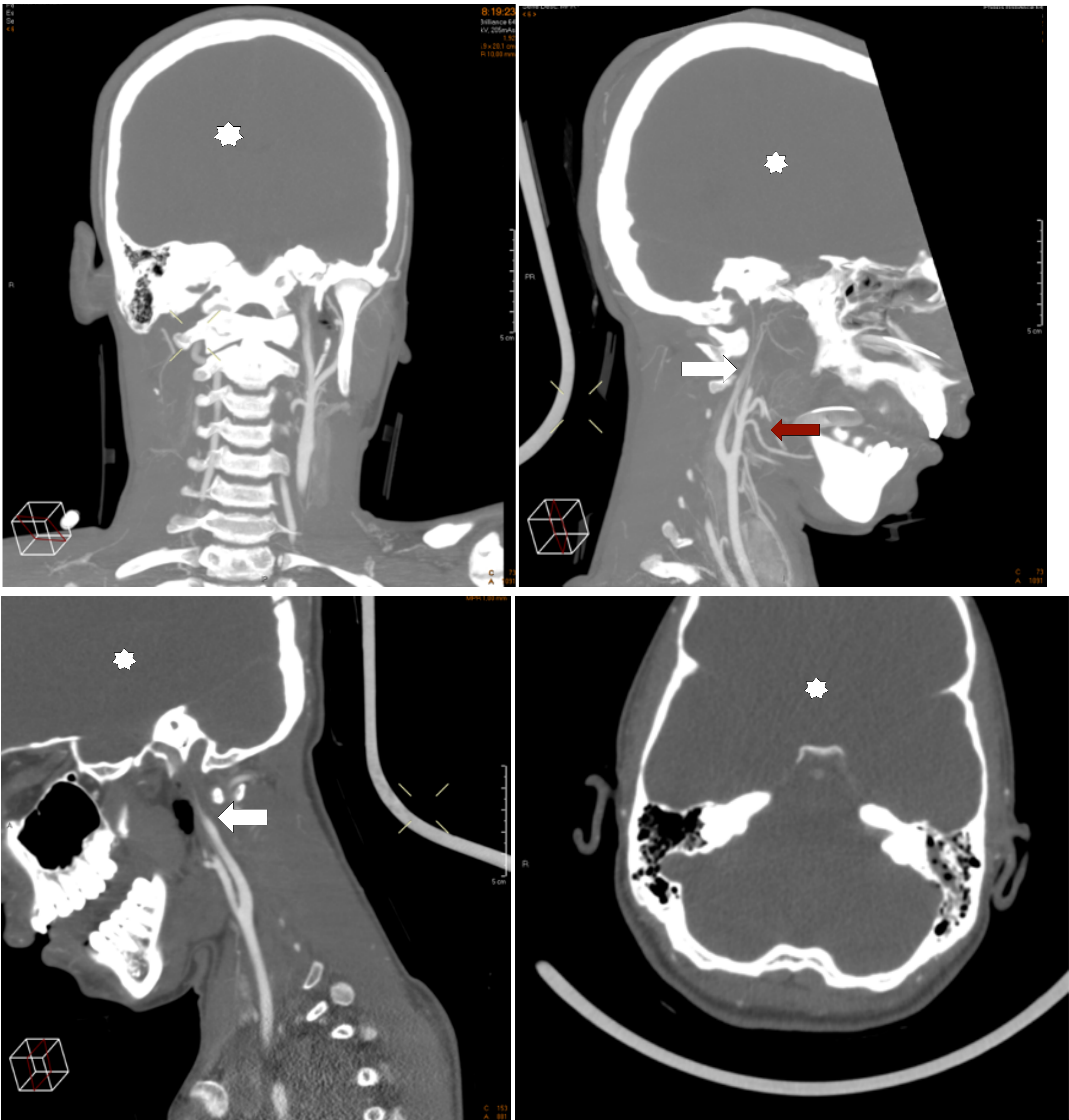


Fig 10. Angio-TC de troncos supraaórticos (TSA) del mismo paciente anterior con signos de muerte encefálica en TC sin contraste. Se visualiza en los diferentes planos (coronal, sagital y axial respectivamente) ausencia de opacificación vascular intracraneal (asterisco), persistencia del relleno vascular extracraneal , adecuado realce de las ramas ACE (flecha roja) y afilamiento de la ACI sin llegar a visualizar su porción intracraneal. (flecha blanca).

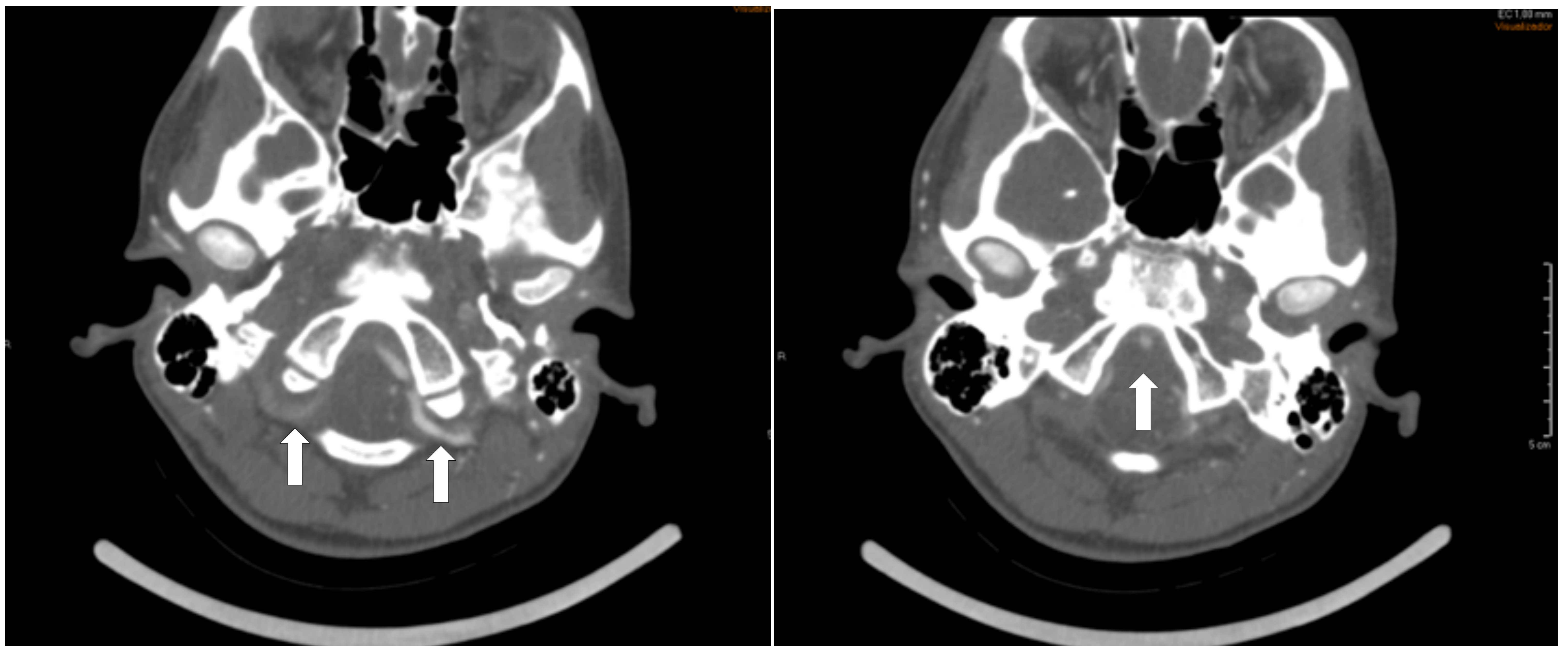


Fig 11. Angio-TC de TSA del mismo paciente anterior donde se observa escasa llegada de flujo a través de las arterias vertebrales hasta el top de la basilar (flecha).

CONCLUSIONES:

- Para el diagnóstico de muerte encefálica es necesario una exploración física exhaustiva donde se evidencia: estado de coma, ausencia de reflejos del tronco encéfalo y la presencia de apnea.
- Existen situaciones que pueden imitar este proceso y requieren la utilización de técnicas auxiliares como en casos de traumatismo facial grave, incapacidad para realizar la prueba de apnea, enfermedad pulmonar severa...
- El TC craneal es la técnica de imagen inicial más realizada en pacientes comatosos. Permite identificar el daño cerebral primario (ocasionada por TCE o hemorragias intracraneales espontáneas) y la presencia de lesión hipóxica o isquémica global primaria o secundaria.

- El objetivo de las técnicas auxiliares es demostrar la ausencia de flujo sanguíneo cerebral. Para ello se emplea la angio-TC y angio-RM, arteriografía cerebral, TC de perfusión y HMPAO SPECT. Siendo el angio-TC de las técnicas más accesibles y con baja tasa de complicaciones, pudiendo ser así la más empleada.

BIBLIOGRAFÍA:

- Sawicki M, Bohatyrewicz R, Walecka A, Sołek-pastuszka J, Olgierd Rowiński, Walecki J. CT Angiography in the Diagnosis of Brain Death. Polish J Radiol. 2014;417–21.
- Ceruti S, Previsdomini M. Brain death : Diagnostic clues on imaging. 2012;
- Escudero D. Diagnóstico de muerte encefálica. 2009;33(4):185–95.
- Garrett MP, Williamson RW, Bohl MA, Bird CR, Theodore N. Computed tomography angiography as a confirmatory test for the diagnosis of brain death. Neurosurg. 2018;128(February):639–44.
- Henderson N, Mcdonald MJ. Ancillary Studies in Evaluating Pediatric Brain Death. J Pediatr Intensive Care. 2017;6:234–9.
- Macdonald D, Stewart-perrin B, Jai J, Shankar S. The Role of Neuroimaging in the Determination of Brain Death. J Neuroimaging. 2018;0:1–6.
- Rizvi T, Batchala P, Mukherjee S. Brain Death: Diagnosis and Imaging Techniques. Semin ultrasound CT MRI. 2018;