

VANGUARDA

Embolização da artéria meníngea média no tratamento do hematoma subdural crônico

Da fisiopatologia à evidência clínica contemporânea

**Stevão F. Vilela**

Instituto de Neurologia de Goiânia

dr.stevaovilela@gmail.com

**Elias F. Rabahi**

Instituto de Neurologia de Goiânia

rabahief@uol.com.br

RESUMO

A embolização da artéria meníngea média (EAMM) surgiu como uma estratégia endovascular minimamente invasiva para o tratamento do hematoma subdural crônico (HSC), com o objetivo de interromper a vascularização patológica das neomembranas e reduzir a persistência, progressão e recorrência do hematoma. O racional fisiopatológico se pauta na presença de neovasos frágeis alimentados por ramos da artéria meníngea média, associados a inflamação, angiogênese e micro-hemorragias recorrentes. Ensaios clínicos randomizados publicados em 2024 demonstraram benefício da EAMM em diferentes cenários, embora os resultados variem conforme a população, a estratégia de tratamento e o desfecho primário. No estudo EMBOLISE, a EAMM associada à cirurgia reduziu significativamente a necessidade de reoperação; no estudo STEM, a embolização associada ao tratamento padrão reduziu o desfecho composto de falha terapêutica em 180 dias; já o estudo MAGIC-MT não demonstrou redução estatisticamente significativa do desfecho primário de recorrência ou progressão sintomática em 90 dias, embora tenha apresentado menor incidência de eventos adversos graves. A seleção adequada dos pacientes, a avaliação angiográfica das anastomoses perigosas e o domínio técnico do procedimento são fundamentais para maximizar segurança e eficácia.

INTRODUÇÃO

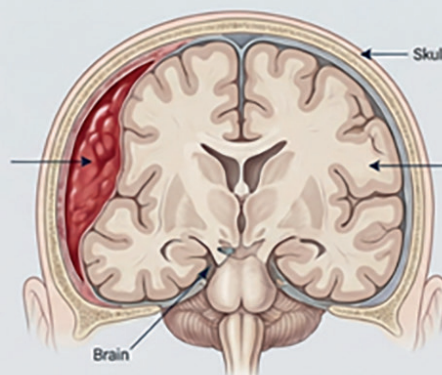
O hematoma subdural crônico (HSC) é uma condição frequente, sobretudo na população idosa, e sua incidência vem aumentando paralelamente ao envelhecimento populacional e ao maior uso de medicamentos antitrombóticos. Embora a drenagem cirúrgica permaneça

a principal estratégia para pacientes sintomáticos que necessitam de evacuação, a recorrência continua sendo um problema clínico relevante. A compreensão contemporânea do HSC mostra que sua manutenção não depende apenas da presença física da coleção, mas também da resposta inflamatória e angiogênica sustentada pela neomembrana.

O Calcanhar de Aquiles da Neurocirurgia

Em 2030

O HSC será a afecção neurocirúrgica craniana mais comum no mundo.



O problema da cirurgia convencional: altas taxas de recidiva e reintervenção em pacientes idosos frágeis, perpetuando o ciclo de hospitalização.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Nesse contexto, a EAMM representa uma mudança conceitual importante: em vez de atuar exclusivamente sobre a coleção já formada, o tratamento procura interromper a fonte vascular que contribui para sua manutenção. A técnica ganhou rápida adoção após séries observacionais favoráveis e, posteriormente, passou a ser avaliada em ensaios clínicos randomizados de grande porte.

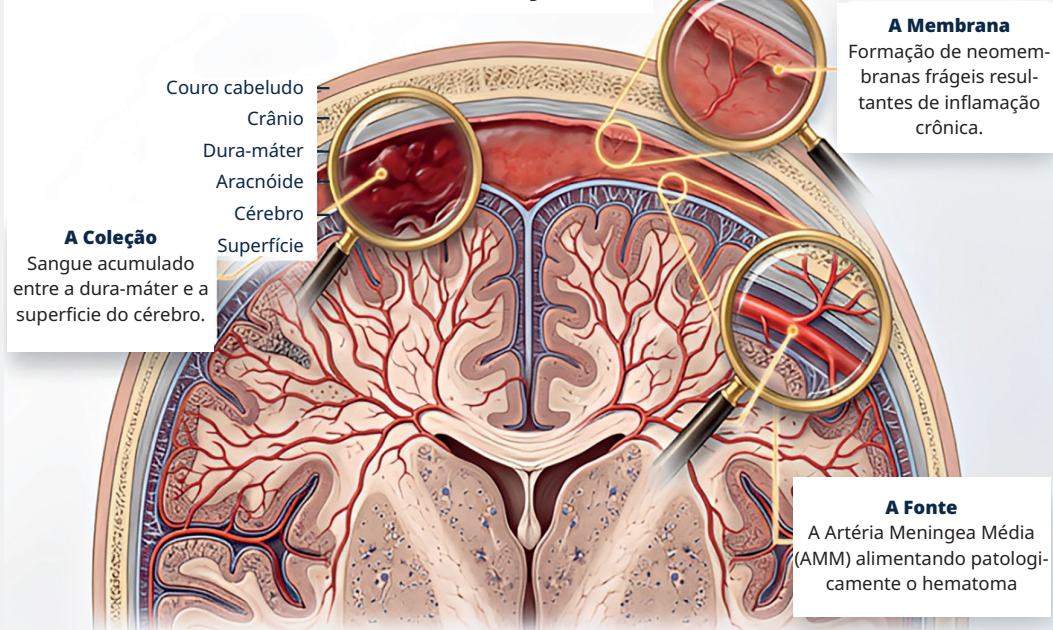
FISIOPATOLOGIA: O CICLO DE MICRO-HEMORRAGIAS

O HSC se caracteriza pelo acúmulo de sangue e produtos de degradação em um espaço patológico associado à formação de membranas inflamatórias. Após o evento inicial, ocorre ativação inflamatória e remodelamento vascular,

com angiogênese e formação de uma rede de neovasos frágeis. Ramos da artéria meníngea média participam do suprimento dessas neomembranas, estabelecendo uma interface vascular capaz de sustentar micro-hemorragias e extravasamento de fluido.

Esse processo pode criar um ciclo autoperpetuante: inflamação promove angiogênese; os novos vasos, estruturalmente frágeis, favorecem novos sangramentos; os produtos sanguíneos perpetuam a resposta inflamatória e a fibrinólise; e o hematoma continua a crescer ou demora a ser reabsorvido. Estudos angiográficos e de imagem após EAMM dão suporte à existência de uma conexão vascular entre a artéria meníngea média e a neomembrana subdural. Assim, a oclusão seletiva desses vasos constitui um alvo terapêutico biologicamente plausível.¹⁻³

O Ciclo da Neovascularização



Fonte: Acervo pessoal dos autores.

ALVO TERAPÊUTICO

O objetivo da EAMM é reduzir ou interromper o aporte arterial para a neomembrana, especialmente em seus territórios vascularizados por ramos

distais da artéria meníngea média. A devascularização não produz necessariamente uma redução imediata do hematoma. Seu efeito esperado é estabilizar a membrana, diminuir novos sangramentos e permitir a reabsorção progressiva da coleção.

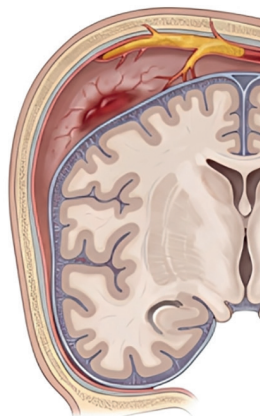
Tratamento Tradicional (Drenagem Cirúrgica)



Tratamento Tradicional:

Esvazia o hematoma, mas a membrana continua a receber suprimento sanguíneo inflamado.

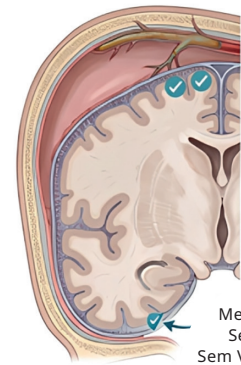
Abordagem Endovascular (Embolização da AMM)



Abordagem Endovascular:

Interrompe o fluxo nos ramos da AMM por dentro dos vasos. Sem alimentação, o hematoma para de crescer.

Abordagem Integrada e Definitiva (Drenagem + Embolização)



Membrana Selada e Sem Vazamento

Tratamento Integrado e Definitivo:

A drenagem imediata do hematoma é realizada simultaneamente com a embolização da AMM. Isso remove a massa compressiva e sela a fonte de inflamação e crescimento, prevenindo a recorrência.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Esse mecanismo explica por que a EAMM pode ser utilizada como tratamento adjuvante à drenagem cirúrgica ou, em pacientes selecionados, como estratégia isolada. A evidência mais robusta atualmente favorece seu emprego como adjuvante à drenagem em pacientes sintomáticos, enquanto o papel da embolização isolada continua sendo definido em populações específicas e em estudos em andamento.⁴⁻⁷

CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

O procedimento é realizado em sala de angiografia, sob anestesia local e sedação consciente ou anestesia geral, conforme as características clínicas e a estratégia institucional. O acesso arterial pode ser femoral ou radial. Após a cateterização seletiva da artéria carótida externa, realiza-se angiografia diagnóstica detalhada para identificar a anatomia da artéria meníngea média, seus ramos anterior e posterior, o grau de vascularização da neomembrana e, principalmente, possíveis anastomoses extracranianas-intracranianas ou conexões com a circulação orbitária.

Um microcateter é avançado seletivamente para a artéria meníngea média, preferencialmente em posição distal e segura, permitindo a administração controlada do agente embólico. O objetivo é alcançar a desvascularização ampla da convexidade suprida pela artéria, evitando refluxo e embolização não alvo. Agentes líquidos, como Onyx, Squid ou n-BCA, têm sido amplamente utilizados, embora partículas e molas também possam ser empregados em situações selecionadas. A escolha do agente deve considerar a anatomia, a penetração desejada, a experiência do operador e o perfil de segurança.^{4,8,9}

SEGURANÇA E PRINCIPAIS RISCOS

Apesar de ser minimamente invasiva, a EAMM não é isenta de complicações. O principal desafio técnico é reconhecer previamente

as variantes anatômicas e as anastomoses perigosas da artéria meníngea média. Conexões com a circulação oftálmica ou ramos responsáveis pela irrigação de estruturas cranianas podem permitir embolização não alvo, com risco potencial de déficit visual, lesão de nervos cranianos ou outras complicações neurológicas.⁸⁻¹⁰

A avaliação angiográfica superseletiva é, portanto, uma etapa essencial antes da injeção do agente embólico. A anatomia da artéria meníngea média apresenta variações relevantes, inclusive quanto à origem e ao padrão de divisão de seus ramos. Estudos anatômicos demonstram que relações com a artéria oftálmica são relativamente frequentes e devem ser sistematicamente procuradas.^{8,9}

EVIDÊNCIA CLÍNICA CONTEMPORÂNEA

EMBOLISE

O EMBOLISE foi um ensaio multicêntrico, randomizado, que avaliou a EAMM com Onyx como complemento à cirurgia em pacientes com HSC sintomático. Foram incluídos 400 pacientes, sendo 197 no grupo embolização mais cirurgia e 203 no grupo cirurgia isolada. Aos 90 dias, recorrência ou progressão que exigiu nova cirurgia ocorreu em 4,1% dos pacientes tratados com EAMM *versus* 11,3% no grupo controle, correspondendo a uma redução relativa de 64% (razão de risco (RR): 0,36; intervalo de confiança (IC) 95%: 0,11–0,80; $p = 0,008$). Esses resultados constituem uma das evidências mais fortes a favor da utilização adjuvante da EAMM.⁴

MEMBRANE

Ensaio clínico prospectivo, multicêntrico, randomizado e aberto, realizado em 30 hospitais (28 nos Estados Unidos e dois na China). Foram incluídos 376 pacientes, com idade entre 18 e 90 anos, portadores de HSC sintomático. Foi comparado o tratamento padrão + embolização da artéria meníngea média com n-BCA

versus o tratamento padrão isolado. O desfecho primário ocorreu em 11,6% no grupo MMAE + tratamento padrão *versus* 22,1% no grupo tratamento padrão, correspondendo a redução relativa de risco de aproximadamente 47%. O estudo MEMBRANE demonstrou que a EAMM com n-BCA, quando adicionada ao tratamento padrão do HSC, reduz em aproximadamente 47% o risco de recorrência/reacumulação ou a necessidade de nova cirurgia, sem evidência de aumento clinicamente significativo da morbidade.⁵

MAGIC-MT

No MAGIC-MT, 722 pacientes com HSC não agudo foram randomizados para EAMM associada ao tratamento habitual ou tratamento habitual isolado. Recorrência ou progressão sintomática em 90 dias ocorreu em 6,7% *versus* 9,9%, respectivamente, diferença de -3,3 pontos percentuais (IC 95% -7,4 a 0,8; $p = 0,10$); portanto, sem significância estatística para o desfecho primário. Entretanto, eventos adversos graves foram menos frequentes no grupo embolização (6,7% *versus* 11,6%; $p = 0,02$).⁶

	MEMBRANE	EMBOLISE	MAGIC-MT
Apoiador / Tecnologia	J&J (TRUFILL n-BCA)	Medtronic (Onyx LES)	Medtronic (Onyx)
Publicação	JAMA	NEJM	NEJM
Desfecho Principal	-47% de tratamentos adicionais	-63% de tratamentos adicionais	Queda em eventos adversos graves (6.7% vs. 11.6%)

O consenso global é incontestável. Independentemente do agente embólico utilizado, a oclusão da AMM altera drasticamente a história natural do HSC.

Tabela 1: A trindade da evidência.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Síntese dos estudos randomizados

Os três grandes ensaios publicados não produziram resultados idênticos, em parte porque utilizaram populações, estratégias terapêuticas e definições de desfecho diferentes. Ainda assim, o conjunto dos dados aponta para redução da recorrência, progressão ou necessidade de reintervenção em pacientes cuidadosamente selecionados. Metanálises posteriores dos ensaios randomizados reforçaram esse sinal de benefício, embora também ressaltem a heterogeneidade entre os estudos.^{7,11}

Indicações e lugar da EAMM na prática clínica

Com base na evidência disponível até 2026, a indicação mais bem sustentada é a EAMM

como complemento à drenagem cirúrgica em pacientes com HSC sintomático e risco de recorrência. Diretrizes e recomendações contemporâneas consideram razoável também o uso isolado em circunstâncias selecionadas, especialmente em pacientes idosos, com alto risco cirúrgico ou alterações da coagulação, desde que a indicação seja individualizada.¹²

A EAMM não deve ser interpretada como substituta universal da drenagem em pacientes com importante efeito de massa ou deterioração neurológica. Em tais situações, a decisão terapêutica deve integrar o quadro clínico, a extensão e a espessura do hematoma, o desvio da linha média, a presença de sintomas e o risco cirúrgico.

CUSTO-BENEFÍCIO E IMPACTO ASSISTENCIAL

A redução de recorrência e de reintervenções é potencialmente relevante do ponto de vista econômico, uma vez que uma nova hospitalização e uma segunda cirurgia representam custos diretos e indiretos importantes, além de maior morbidade. Entretanto, a relação

custo-efetividade depende do preço dos dispositivos, dos custos locais de internação e do perfil de pacientes selecionados. Estudos econômicos recentes sugerem que a estratégia pode ser mais atraente quando direcionada a pacientes com maior risco de recorrência ou de nova intervenção, em vez de adotada indiscriminadamente para todos os casos.¹³

CONCLUSÃO

A EAMM representa uma das principais inovações recentes no tratamento do hematoma subdural crônico. Seu racional é pautado na interrupção do suprimento vascular patológico da neomembrana, atacando um dos mecanismos responsáveis pela manutenção e recorrência da doença.

A evidência de ensaios randomizados demonstra benefício particularmente consistente quando a EAMM é utilizada como complemento à drenagem cirúrgica, com redução de recorrência e necessidade de nova intervenção. Ao mesmo tempo, diferenças entre os ensaios mostram que a técnica não deve ser apresentada como solução universal e que a seleção dos pacientes, a experiência do operador e a avaliação angiográfica das anastomoses perigosas permanecem determinantes. A tendência atual é de integração entre neurocirurgia e tratamento endovascular, com estratégias híbridas e individualizadas que possam reduzir a morbidade acumulada do HSC.

Referências bibliográficas: 1. Nouri A, Gondar R, Schaller K, Meling T. Chronic subdural hematoma (cSDH): a review of the current state of the art. *Brain Spine*. 2021;1:100300. 2. Mureb MC, Kondziolka D, Shapiro M, Raz E, Nossek E, Haynes J, *et al*. DynaCT enhancement of subdural membranes after middle meningeal artery embolization: insights into pathophysiology. *World Neurosurg*. 2020;139:e265-e270. 3. Link TW, Rapoport BI, Paine SM, Kamel H, Knopman J. Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: endovascular technique and radiographic findings. *Interv Neuroradiol*. 2018;24(4):455–62. 4. Davies JM, Knopman J, Mokin M, Hassan AE, Harbaugh RE, Khalessi A, *et al*; EMBOLISE Investigators. Adjunctive middle meningeal artery embolization for subdural hematoma. *N Engl J Med*. 2024;391(20):1890–900. 5. Kellner CP, Rai AT, Shoirah H, Srinivasan VM, Gupta R, Starke RM, *et al*; MEMBRANE Study Group. Middle Meningeal Artery Embolization With n-Butyl Cyanoacrylate in Patients With Chronic Subdural Hematoma: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol*. 2026;83(8):749–58. 6. Liu J, Ni W, Zuo Q, Yang H, Peng Y, Lin Z, *et al*; MAGIC-MT Investigators. Middle meningeal artery embolization for nonacute subdural hematoma. *N Engl J Med*. 2024;391(20):1901–12. 7. Shakir M, Ali Z, Huang Y, Siddiq F. Adjunctive middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Neurol Res*. 2025:1–14. 8. Shotar E, Premat K, Lenck S, Degos V, Marijon P, Pouvelle A, *et al*. Angiographic anatomy of the middle meningeal artery in relation to chronic subdural hematoma embolization. *Clin Neuroradiol*. 2022;32(1):57–67. 9. Fantoni M, Eliezer M, Serrano F, Civelli V, Labeyrie MA, Saint-Maurice JP, *et al*. High frequency of ophthalmic origin of the middle meningeal artery in chronic subdural hematoma. *Clin Neuroradiol*. 2020;30(4):777–83. 10. Jia Q, Huang TZ, Fan ZX, Ding YH, Huang QF. Dangerous ophthalmic anastomoses during middle meningeal artery embolization: anatomical pitfalls, hemodynamic mechanisms, and an illustrative case of delayed visual loss. *Clin Neuroradiol*. 2026. 11. Elfil M, Ghaith HS, Elmashad A, Najdawi Z, Aladawi M, Elrefaei A, *et al*. Adjunctive middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *J Neurol Sci*. 2025;472:123469. 12. Mascitelli JR, Bulsara KR, Marden FA, Raper DMS, Tenser MS, Al Saiegh F, *et al*. Current state of the field and recommendations for middle meningeal artery embolization in chronic subdural hematoma: a report of the SNIS Standards and Guidelines Committee, endorsed by ANZSNR and ESMINT. *J Neurointerv Surg*. 2026;jnis-2026-024979. 13. Findlay MC, Gandhoke GS, Davies JM, Knopman J, Smith KJ, Mokin M, *et al*; EMBOLISE Investigators. Cost-effectiveness of adjunctive middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: secondary analysis of EMBOLISE. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2026;ajnr.A9319.