

EMMACS

Embolization of the Middle Meningeal Artery in Chronic Subdural hematoma

Embolisation de l'artère méningée moyenne dans le traitement des hématomes sous duraux chroniques

Jordan Court, R3

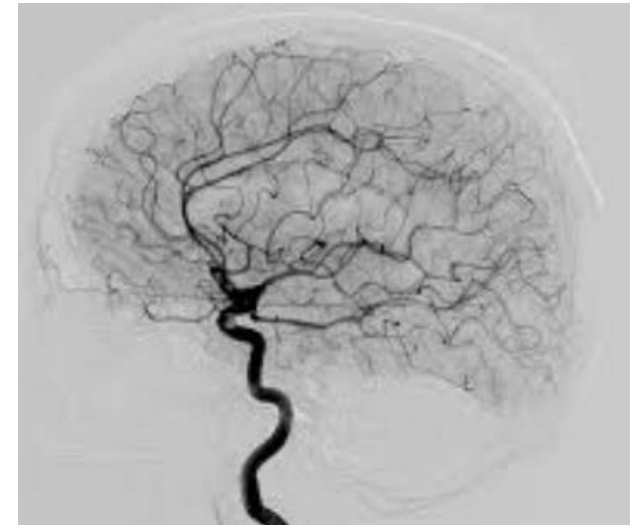
Dr François Belzile, Neuroradiologie interventionnelle

En collaboration avec le département de Neurochirurgie :

Charles Touchette, R4, Dr Christian Iorio-Morin, Dr Khaled Effendi

Journée scientifique de Radiologie

Octobre 2019

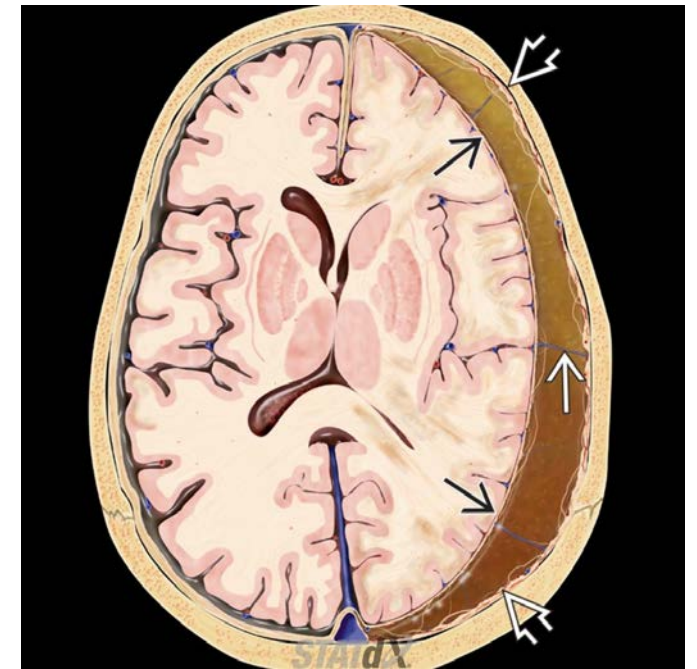


Plan

- Introduction
- Théorie
 - Hématome sous dural chronique (HSDc)
 - Embolisation de l'artère méningée moyenne (EAMM)
- Présentation de l'étude : EMMACS
 - Revue systématique (RS)
 - Protocole de l'étude prospective randomisée contrôlée

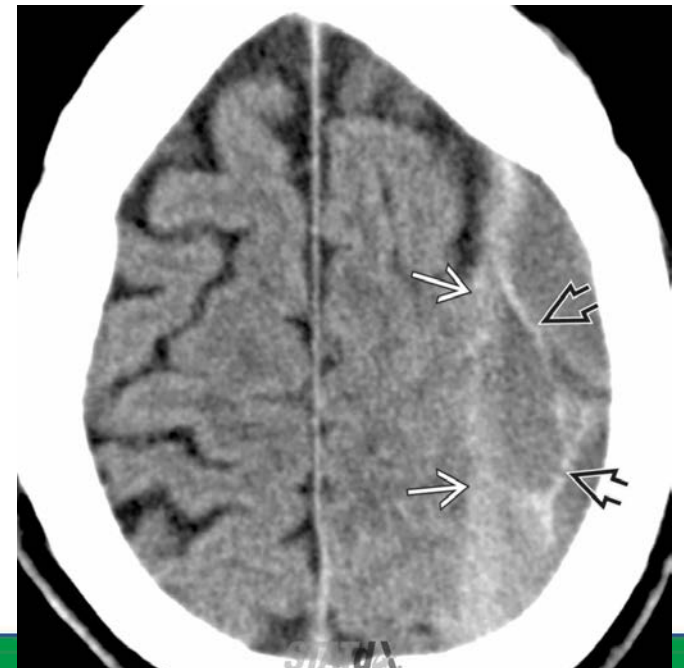
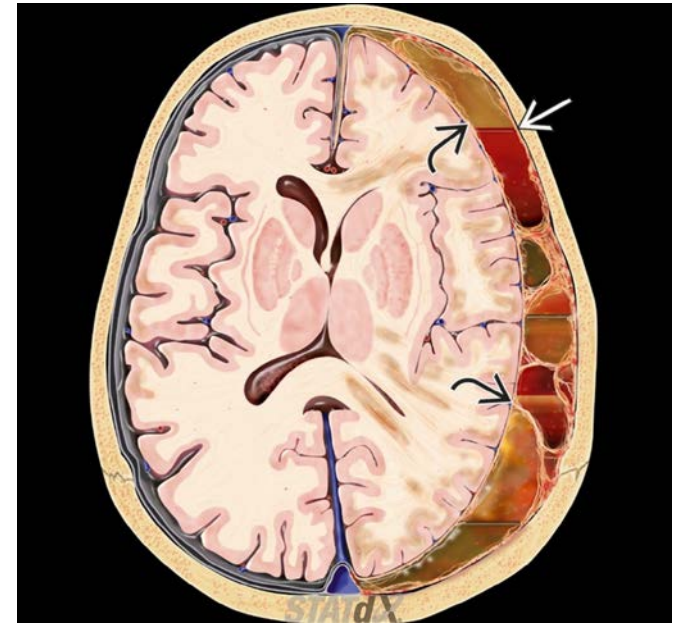
Hématome sous dural chronique (HSDc)

- Collection de produits de dégradation hémorragique, liquéfiée, hypodense dans l'espace sous dural
 - > 3 semaines
- Incidence ad 58/100 000 personne-année chez patients > 65 ans
 - 2-4 x risque lorsque prise Rx anti-thrombotique



HSDc – Pathophysiologie

- En cas de non-résolution de l'HSD aiguë (3 sem)
- Cascade inflammatoire :
 - Fibrinolyse et encapsulation de l'hématome par des membranes dérivées de la dure-mère
 - Angiogénèse : néo-vascularisation des membranes
 - Produit = capillaires fragiles
 - Irriguées par des branches distales de l'AMM
 - Re-saignement des membranes = la cause des récives des HSDc
 - Concept supporté par l'imagerie et des études de biologie moléculaire



HSDc – Embolisation de l'artère méningée moyenne (EAMM)

Technique

- Anesthésie locale en salle d'angiointervention
- Cathétérisation sélective a/n carotide externe ipsilatérale à l'HSDc via l'artère fémorale commune (AFC) + angiographie
- Cathétérisation super-sélective de l'artère méningée moyenne + angiographie

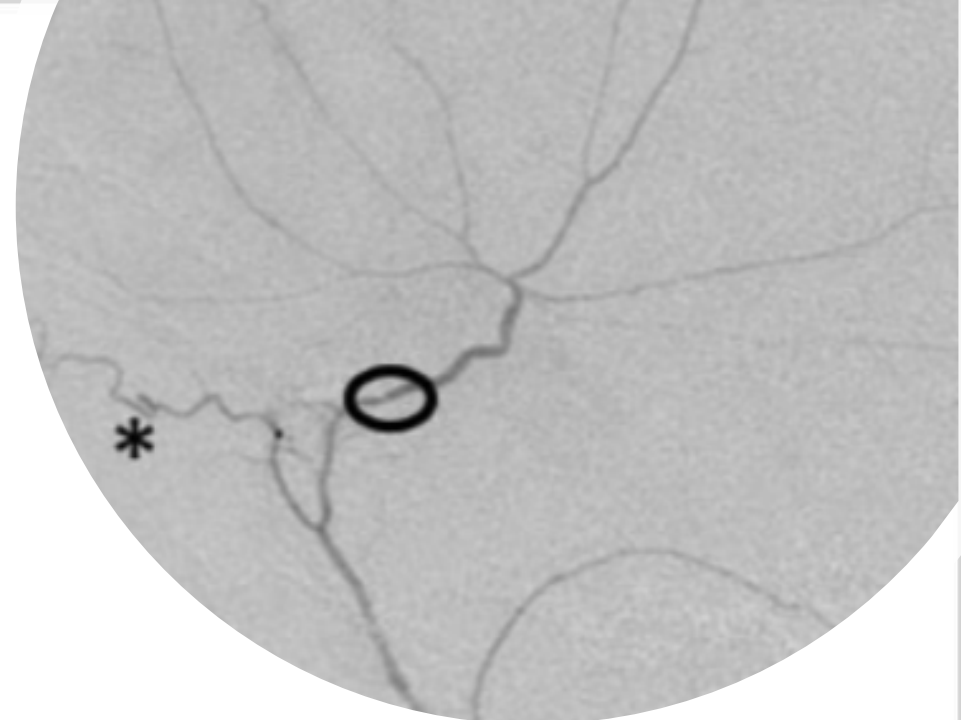


T.W. Link, B.I. Rapoport, S.M. Paine, H. Kamel, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: endovascular technique and radiographic findings, Interv. Neuroradiol. 24 (4) (2018) 455–462.

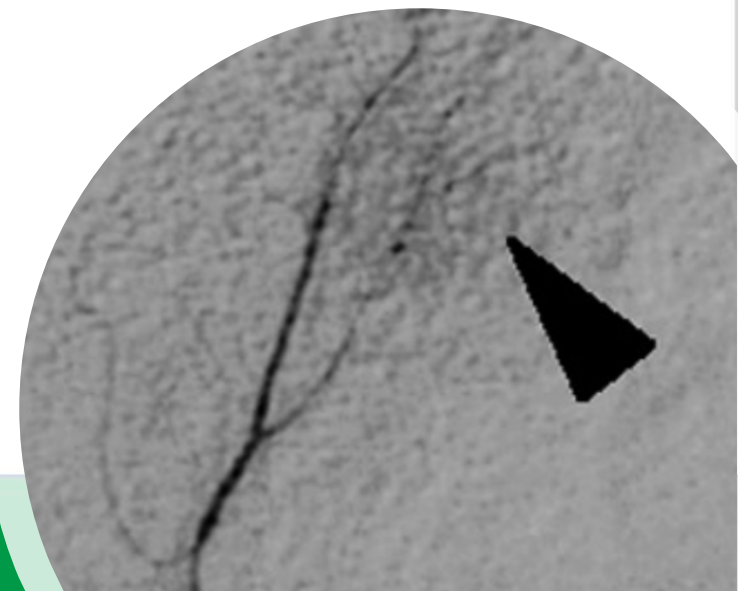
HSDc – EAMMM

Technique

- Analyse des possibles collatérales
- Particules polyvinyle d'alcool (PVA) (150-250 microns) injectés sous fluoroscopie ad stase
- Angiographie finale pour s'assurer de l'efficacité



T.W. Link, B.I. Rapoport, S.M. Paine, H. Kamel, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: endovascular technique and radiographic findings, Interv. Neuroradiol. 24 (4) (2018) 455–462.



HSDc

Traitement

- Conservateur (taux de succès très variable : 3-18%)
- Médical
 - IECA, statine, corticostéroïdes (études \ominus , peu d'évidence, \uparrow des évènements défavorables)
 - Anti-fibrinolytiques (étude *TRACS* en cours au CHUS)
- Chirurgical : *gold standard* (taux de récurrence ad 37%)
 - Trépanation vs craniotomie +/- drain(s)
 - Récidive pourrait dépendre de l'organisation des membranes
- Embolisation de l'artère méningée moyenne (EAMM)
 - Plusieurs séries de cas... ? **Timing**

HSDc – EAMM

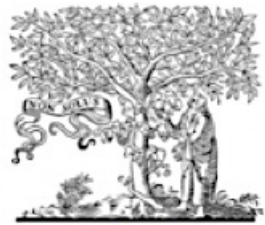
Indications

- ...à déterminer
- Pas de lignes directrices
- Après combien de récurrence?
- D'emblée chez patients anticoagulés?
- Plusieurs séries de cas et études en cours
 - Après 2-3 récurrences



EMMACs – Revue Systématique (RS)

OBJECTIF : Réviser tous cas publié de l'EAMM en HSDc pour évaluer l'efficacité, la faisabilité, la sécurité et les indications

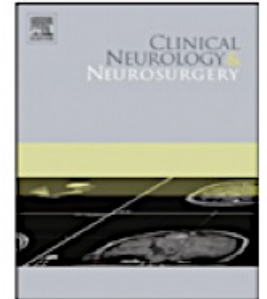


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Clinical Neurology and Neurosurgery

journal homepage: www.elsevier.com/locate/clineuro



Embolization of the Middle meningeal artery in chronic subdural hematoma — A systematic review

Jordan Court^{a,*}, Charles J Touchette^{b,1}, Christian Iorio-Morin^b, Harrison J. Westwick^c,
François Belzile^a, Khaled Effendi^b

^a *Department of radiology, Université de Sherbrooke, Québec, Canada*

^b *Division of neurosurgery, Department of surgery, Université de Sherbrooke, Centre de recherche du Centre Hospitalier Universitaire de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada*

^c *Division of neurosurgery, Department of surgery, Université de Montreal, Centre hospitalier de l'Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada*



EMMACS – RS

Méthodologie

- Revue électronique d'études indexées sur Medline, Scopus et PubMed (PRISMA)
 - Termes concept clés : « chronic subdural hematoma », « embolization » & « middle meningeal artery »
 - Janvier 1980 à novembre 2018
- Titres et résumés des articles révisés par deux auteurs
 - Rencontre des critères d'inclusion & d'exclusion
 - Révision de l'article au complet
 - Vérification des références des études pour possibles articles manquées
- Extraction de données selon un formulaire préétabli

EMMACS – RS

Méthodologie

	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Patient	<ul style="list-style-type: none"> Âge \geq 18 ans avec HSDc traité par EAMM 	<ul style="list-style-type: none"> Âge $<$ 18 ans Pt traité pour autres pathologies (néoplasie, MAV, dAVF)
Intervention	<ul style="list-style-type: none"> EAMM +/- Tx conservateur, médical ou chirurgical 	<ul style="list-style-type: none"> Pt pas traité par EAMM pour HSDc Articles avec note technique seulement
Design de l'étude	<ul style="list-style-type: none"> Articles avec \geq 1 cas EAMM publié entre janvier 1980 et novembre 2018 Étude prospective ou rétrospective avec au moins 1 suivi clinique et/ou radiologique Articles en anglais ou français 	<ul style="list-style-type: none"> Étude animale Article d'opinion Revue systématique Méta-analyse
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> Tout outcome incluant mais non limité à: <ul style="list-style-type: none"> Radiologique Clinique : <ul style="list-style-type: none"> Symptômes Taux de réintervention Reprise de ACO Qualité de vie Complication 	

EMMACS – RS

Résultats

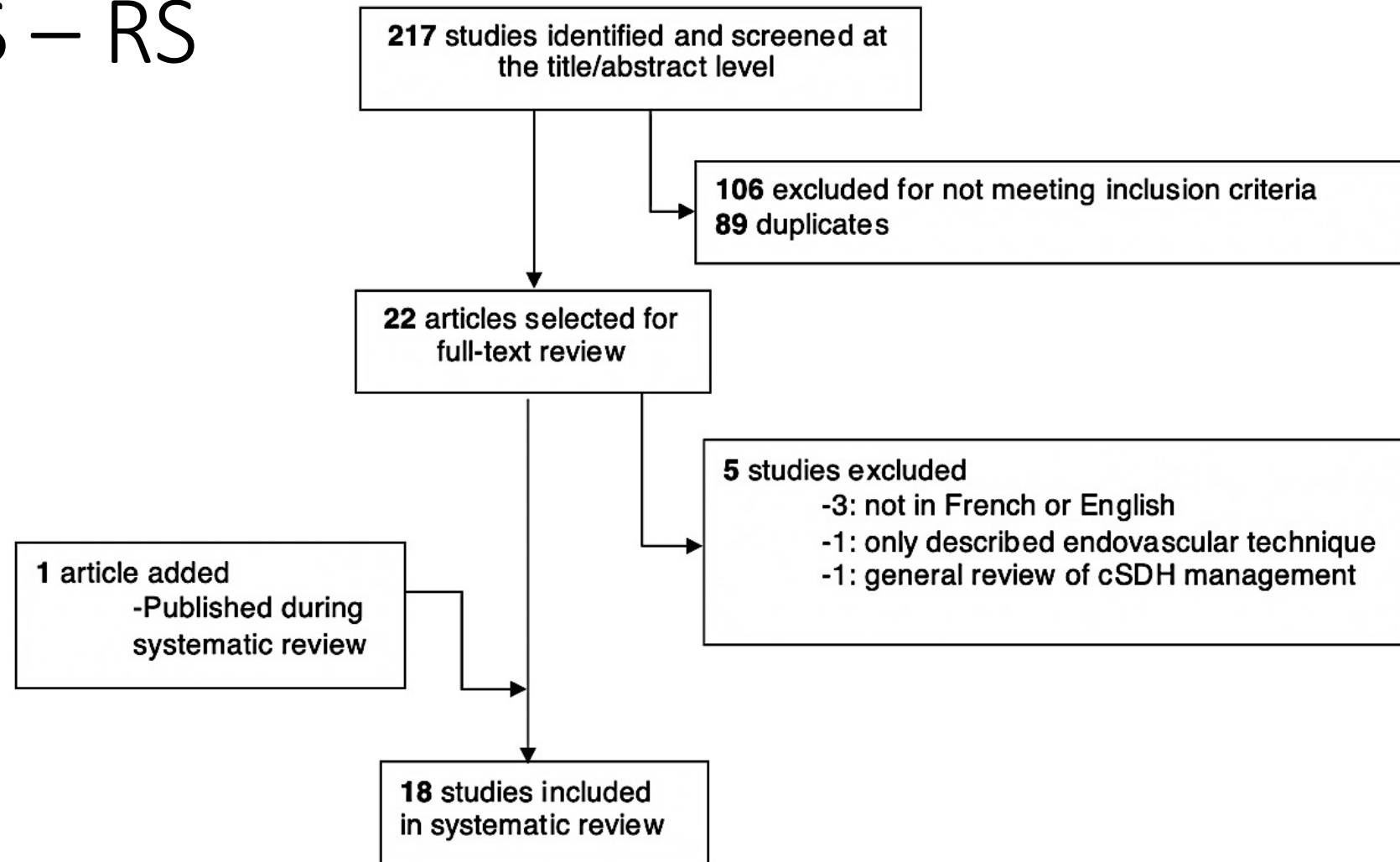


Figure 1: Flowchart diagram of the study selection process.

EMMACS-RS- Résultats

	Type d'étude	Pt (#)	Âge (moyenne)	Sexe (M : F)	HSDc (Unilatéral : bilatéral)	Sx # (%)	Anti-thrombotique			
							Tous Nb (%)	ACO Nb (%)	Anti-Plt Nb (%)	Renversé / arrêté (%)
Total	- 2 prospectives (non randomisées) - 11 séries de cas - 5 case reports	190	66.8	126 : 43 70% H 30% F	130 : 43	117 (81.3)	90 (52.3)	14 (14)	47 (47)	29.4

Tableau 2 : Données démographiques

EMMACS-RS- Résultats

	EAMM			Définition de la résolution de l'HSDc	Résolution (%)	Récurrence Nb (%)	Suivi (moyen)	Complication Nb (%)
	Primaire Nb (%)	Pré-op Nb (%)	Post-op Nb (%)					
Total	64 (34)	63 (33) (Après 1-3 récurrences, suivi par drainage)	63 (33) (Après 1-3 récurrences)	<u>Très variable :</u> - Résolution complète - Réduction > 50% - HSDc < 10 mm - Réduction volumétrique - Non disponible	96.8	10 (5)	6 mois	6 (3.6)

Tableau 3: Paradigme de traitement

EMMACS – RS

Conclusion

- Niveau d'évidence trop faible pour recommander l'EAMM dans la pratique routine
 - EAMM plausible mais pas de conclusion franche sur l'efficacité ou la sécurité
- Étude randomisée et contrôlée nécessaire
 - Surtout population de patients ss ACO

EMMACS – *Protocole prospectif*

- Objectif

- Déterminer si l'EAMM réduit le taux de re-saignement suite à la reprise d'anticoagulants oraux (ACO) chez les patients souffrant d'HSDc et ayant une indication de ACO

- Méthodologie

- Étude randomisée contrôlée, multicentrique, à essai ouvert – phase II/III
- Reprise agressive d'ACO +/- EAMM

EMMACS – Protocole prospectif

- Critères d'inclusion
 - Patient \geq 18 ans
 - Dx d'HSDc au CT (dans les 14 derniers jours)
 - Indication d'anticoagulation (FA, remplacement valvulaire, TPP, EP...)
- Critères d'exclusion
 - IRC (eGFR $<$ 60 mL/min)
 - Participation dans une autre étude de HSDc

EMMACS – Protocole prospectif

- Reprise ACO selon stratification du risque thrombotique :

- Élevé

- CHADS₂ 5-6
 - RVM ou RVA (caged ball ou tilting disc)
 - AVC/ICT récent (< 6 mois)
 - Thrombophilie sévère
 - TPP ou EP récent (< 3 mois)

Reprise ACO PO 72h (et > 24h post EAMM)

- Modéré

- CHADS₂ 3-4
 - Cancer actif
 - TPP ou EP récent (3-12 derniers mois)
 - RVA avec certains FR (HTA, DM, IC...)

Reprise ACO PO jour 7 (et > 24h post EAMM)

- Faible

- CHADS₂ 0 -2
 - TPP ou EP > 12 mois
 - RVA sans autres facteurs de risques

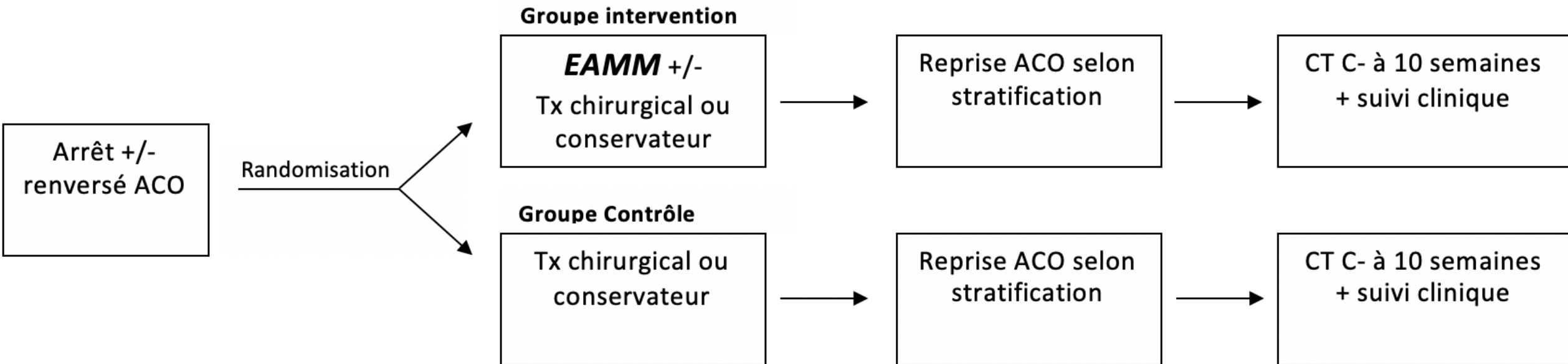
Reprise ACO PO jour 14 (et > 24h post EAMM)

EMMACS – Protocole prospectif

- Issue primaire
 - Incidence de re-saignement démontrée à l'imagerie ad 10 semaines suivant le diagnostic de HSDc
- Issues secondaires
 - *Modification du volume de l'HSDc à l'imagerie de suivi*
 - *Résolution HSDc à 10 semaines*
 - *Ré-opération à l'intérieur des 10 semaines*
 - Incidence de complications thrombotiques (AVC, SCA, EP, TPP)
 - Incidence de complications hémorragiques
 - Incidence de complications liées à l'EAMM (AVC, dissection...)
 - Durée de l'hospitalisation
 - Nb de réadmissions à l'intérieur des 10 semaines



EMMACS – Protocole prospectif



EMMACS – Conclusion

- Incidence HSDc élevée : ad 58/100 000 personne-année chez patient > 65 ans
 - 2-4 x risque lorsque prise de Rx anti-thrombotique
- Population HSDc âgée et frêle et considérant les récurrences chirurgicales ad 37%, un traitement minimalement invasif comme l'EAMM est de grande valeur
 - Doit déterminer l'efficacité et la sécurité
 - EMMACS = première étude prospective randomisée qui permettra de répondre à certaines de ces questions

- Merci!

- Questions?

Références

- [1] T.W. Link, S. Boddu, J. Marcus, B.I. Rapoport, E. Lavi, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization as treatment for chronic subdural hematoma: a case series, *Oper. Neurosurg. Hagerstown (Hagerstown)* 14 (5) (2018) 556–562.
- [2] T.W. Link, B.I. Rapoport, S.M. Paine, H. Kamel, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: endovascular technique and radiographic findings, *Interv. Neuroradiol.* 24 (4) (2018) 455–462.
- [3] Z. Qian, D. Yang, F. Sun, Z. Sun, Risk factors for recurrence of chronic subdural hematoma after burr hole surgery: potential protective role of dexamethasone, *Br. J. Neurosurg.* 31 (1) (2017) 84–88.
- [4] M. Wada, I. Yamakami, Y. Higuchi, M. Tanaka, S. Suda, J. Ono, N. Saeki, Influence of antiplatelet therapy on postoperative recurrence of chronic subdural hematoma: a multicenter retrospective study in 719 patients, *Clin. Neurol. Neurosurg.* 120 (2014) 49–54.
- [5] Y. Wang, J. Zhou, C. Fan, D. Wang, F. Jiao, B. Liu, Q. Zhang, Influence of antithrombotic agents on the recurrence of chronic subdural hematomas and the quest about the recommencement of antithrombotic agents: a meta-analysis, *J. Clin. Neurosci.* 38 (2017) 79–83.
- [6] K. Phan, D. Abi-Hanna, J. Kerferd, V.M. Lu, A.A. Dmytriw, Y.T. Ho, J. Fairhall, R. Reddy, P. Wilson, Resumption of antithrombotic agents in chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis, *World Neurosurg.* 109 (2018) e792–e799.
- [7] C.L. Iorio-Morin, A.-M. Touchette, C.J. Mathieu, Classification of subdural hematomas: proposal for a new system improving the ICD-10 categories, submitted for publication, *J. Neurosurg.* (2019).
- [8] T. Tanaka, M. Kaimori, Histological study of vascular structure between the dura mater and the outer membrane in chronic subdural hematoma in an adult, *No Shinkei Geka* 27 (5) (1999) 431–436.
- [9] C. Iorio-Morin, J. Blanchard, M. Richer, D. Mathieu, Tranexamic Acid in Chronic Subdural Hematomas (TRACS): study protocol for a randomized controlled trial, *Trials* 17 (1) (2016) 235.
- [10] H. Matsumoto, H. Hanayama, T. Okada, Y. Sakurai, H. Minami, A. Masuda, S. Tominaga, K. Miyaji, I. Yamaura, Y. Yoshida, K. Yoshida, Clinical investigation of refractory chronic subdural hematoma: a comparison of clinical factors between single and repeated recurrences, *World Neurosurg.* 107 (2017) 706–715.
- [11] T.W. Link, S. Boddu, S.M. Paine, H. Kamel, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma: a series of 60 cases, *Neurosurgery* (2018), <https://doi.org/10.1093/neuros/nyy521> Epub.
- [12] S.P. Ban, G. Hwang, H.S. Byoun, T. Kim, S.U. Lee, J.S. Bang, J.H. Han, C.-Y. Kim, O.K. Kwon, C.W. Oh, Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma, *Radiology* 286 (3) (2018) 992–999.
- [13] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D.G. Altman, Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement, *PLoS Med.* 6 (7) (2009) e1000097.
- [14] D. Atkins, D. Best, P.A. Briss, M. Eccles, Y. Falck-Ytter, S. Flottorp, G.H. Guyatt, R.T. Harbour, M.C. Haugh, D. Henry, S. Hill, R. Jaeschke, G. Leng, A. Liberati, N. Magrini, J. Mason, P. Middleton, J. Mrukowicz, D. O’Connell, A.D. Oxman, B. Phillips, H.J. Schunemann, T. Edejer, H. Varonen, G.E. Vist, J.W. Williams Jr., S. Zaza, G.W. Group, Grading quality of evidence and strength of recommendations, *BMJ* 328 (7454) (2004) 1490.
- [15] S. Mandai, M. Sakurai, Y. Matsumoto, Middle meningeal artery embolization for refractory chronic subdural hematoma. Case report, *J. Neurosurg.* 93 (4) (2000) 686–688.
- [16] S. Hirai, J. Ono, M. Odaki, T. Serizawa, O. Nagano, Embolization of the middle meningeal artery for refractory chronic subdural haematoma. Usefulness for patients under anticoagulant therapy, *Interv. Neuroradiol.* 10 (Suppl. 2) (2004) 101–104.
- [17] H. Ishihara, S. Ishihara, S. Kohyama, F. Yamane, M. Ogawa, A. Sato, M. Matsutani, Experience in endovascular treatment of recurrent chronic subdural hematoma, *Interv. Neuroradiol.* 13 (Suppl. 1) (2007) 141–144.
- [18] M. Mino, S. Nishimura, E. Hori, M. Kohama, S. Yonezawa, H. Midorikawa, M. Kaimori, T. Tanaka, M. Nishijima, Efficacy of middle meningeal artery embolization in the treatment of refractory chronic subdural hematoma, *Surg. Neurol. Int.* 1 (2010) 78.
- [19] Y. Tsukamoto, M. Oishi, J. Shinbo, Y. Fujii, Transarterial embolisation for refractory bilateral chronic subdural hematomas in a case with dentatorubral-pallidolusian atrophy, *Acta Neurochir. (Wien)* 153 (5) (2011) 1145–1147.
- [20] A.K. Hazra, H. Jimbo, Y. Ikeda, T. Nayyar, Refractory chronic subdural hematoma, *Neurosurg. Q.* 21 (3) (2011) 189–193.
- [21] T. Hashimoto, T. Ohashi, D. Watanabe, S. Koyama, H. Namatame, H. Izawa, R. Haraoka, H. Okada, N. Ichimasu, J. Akimoto, J. Haraoka, Usefulness of embolization of the middle meningeal artery for refractory chronic subdural hematomas, *Surg. Neurol. Int.* 4 (2013) 104.
- [22] H. Chihara, H. Imamura, T. Ogura, H. Adachi, Y. Imai, N. Sakai, Recurrence of a refractory chronic subdural hematoma after middle meningeal artery embolization that required craniotomy, *NMC Case Rep. J.* 1 (1) (2014) 1–5.
- [23] S. Yamamoto, T. Asahi, N. Akioka, D. Kashiwazaki, N. Kuwayama, S. Kurada, Chronic subdural hematoma infected by *Propionibacterium acnes*: a case report, *Case Rep. Neurol.* 7 (1) (2015) 6–14.
- [24] A. Tempaku, S. Yamauchi, H. Ikeda, N. Tsubota, H. Furukawa, D. Maeda, K. Kondo, A. Nishio, Usefulness of interventional embolization of the middle meningeal artery for recurrent chronic subdural hematoma: five cases and a review of the literature, *Interv. Neuroradiol.* 21 (3) (2015) 366–371.

Références (suite)

- [25] J.Kang, K.Whang, S.-K.Hong, J.-S.Pyen, S.-M.Cho, J.-Y.Kim, S.-H.Kim, J.-W.Oh, Middle meningeal artery embolization in recurrent chronic subdural hematoma combined with arachnoid cyst, *Korean J. Neurotrauma* 11 (2) (2015) 187–190.
- [26] E. Kim, Embolization therapy for refractory hemorrhage in patients with chronic subdural hematomas, *World Neurosurg.* 101 (2017) 520–527.
- [27] H. Matsumoto, H. Hanayama, T. Okada, Y. Sakurai, H. Minami, A. Masuda, S. Tominaga, K. Miyaji, I. Yamaura, Y. Yoshida, Which surgical procedure is effective for refractory chronic subdural hematoma? Analysis of our surgical procedures and literature review, *J. Clin. Neurosci.* 49 (2018) 40–47.
- [28] T.W. Link, J.T. Schwarz, S.M. Paine, H. Kamel, J. Knopman, Middle meningeal artery embolization for recurrent chronic subdural hematoma: a case series, *World Neurosurg.* 118 (2018) e570–e574.
- [29] T. Horikoshi, H. Naganuma, I. Fukasawa, M. Uchida, H. Nukui, Computed tomography characteristics suggestive of spontaneous resolution of chronic subdural hematoma, *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)* 38 (9) (1998) 527–532 discussion 532–523.
- [30] C. Iorio-Morin, C. Touchette, M. Levesque, K. Effendi, D. Fortin, D. Mathieu, Chronic subdural hematoma: toward a new management paradigm for an increasingly complex population, *J. Neurotrauma* 35 (16) (2018) 1882–1885.
- [31] F.R.Poulsen, S.Munthe, M.Soe, B.Halle, Perindopril and residual chronic subdural hematoma volumes six weeks after burr hole surgery: a randomized trial, *Clin. Neurol. Neurosurg.* 123 (2014) 4–8.
- [32] S. Qiu, W. Zhuo, C. Sun, Z. Su, A. Yan, L. Shen, Effects of atorvastatin on chronic subdural hematoma: a systematic review, *Medicine (Baltimore)* 96 (26) (2017) e7290.
- [33] M. Prud'homme, F. Mathieu, N. Marcotte, S. Cottin, A pilot placebo controlled randomized trial of dexamethasone for chronic subdural hematoma, *Can. J. Neurol. Sci.* 43 (2) (2016) 284–290.
- [34] A.G.Kolias, E.Edlmann, E.P.Thelin, et al., Dexamethasone for adult patients with a symptomatic chronic subdural haematoma (Dex-CSDH) trial: study protocol for a randomised controlled trial, *Trials* 19 (1) (2018) 670.
- [35] M. Kamenova, C. Mueller, M. Coslovsky, R. Guzman, L. Mariani, J. Soleman, Low-dose aspirin and burr-hole drainage of chronic subdural hematoma: study protocol for a randomized controlled study, *Trials* 20 (1) (2019) 70.
- [36] S. Belkhair, G. Pickett, One versus double burr holes for treating chronic subdural hematoma meta-analysis, *Can. J. Neurol. Sci.* 40 (1) (2013) 56–60.
- [37] S.A. Almenawer, F. Farrokhvar, C. Hong, W. Alhazzani, B. Manoranjan, B. Yarascavitch, et al., Chronic subdural hematoma management: a systematic review and meta-analysis of 34,829 patients, *Ann. Surg.* 259 (3) (2014) 449–457.
- [38] Y. Yuan, Q.P. Wang, Y.L. Cao, H. Zhang, M.S.N. Burkutally, K. Budryte, et al., Burr hole drainage and burr hole drainage with irrigation to treat chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis, *Medicine (Baltimore)* 97 (33) (2018) e11827.
- [39] G. Alcalá-Cerra, A.M. Young, L.R. Moscote-Salazar, A. Paternina-Cañedo, Efficacy and safety of subdural drains after burr-hole evacuation of chronic subdural hematomas: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, *World Neurosurg.* 82 (6) (2014) 1148–1157.
- [40] R.J. Komotar, R.M. Starke, E.S. Connolly, The role of drain placement following chronic subdural hematoma evacuation, *Neurosurgery* 66 (2) (2010) N15–16.
- [41] L.J. Glancz, M.T.C. Poon, I.C. Coulter, P.J. Hutchinson, A.G. Kolias, P.M. Brennan, et al., Does drain position and duration influence outcomes in patients undergoing Burr-Hole evacuation of chronic subdural hematoma? Lessons from a UK Multicenter Prospective Cohort Study, *Neurosurgery* (2018), <https://doi.org/10.1093/neuros/nyy366>.
- [42] J. Soleman, K. Lutz, S. Schaedelin, M. Kamenova, R. Guzman, L. Mariani, et al., Subperiosteal vs subdural drain after Burr-Hole drainage of chronic subdural hematoma: a randomized clinical trial (cSDH-Drain-Trial), *Neurosurgery* (2019), <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz095>.
- [43] N. Jafari, L. Gesner, J.M. Koziol, G. Rotoli, O.R. Hubschmann, The pathogenesis of chronic subdural hematomas: a study on the formation of chronic subdural hematomas and analysis of computed tomography findings, *World Neurosurg.* 107 (2017) 376–381.
- [44] J. Vaquero, M. Zurita, R. Cincu, Vascular endothelial growth-permeability factor in granulation tissue of chronic subdural haematomas, *Acta Neurochir. (Wien)* 144 (4) (2002) 343–346 discussion 347.
- [45] D.C.Holl, V.Volovici, C.M.F.Dirven, W.C.Peul, F.vanKooten, K.Jellema, N.A.van der Gaag, I.P. Miah, K.H. Kho, H.M. den Hertog, H.F. Lingsma, R. Dammers, G. Dutch chronic subdural hematoma research, pathophysiology and nonsurgical treatment of chronic subdural hematoma: from past to present to future, *World Neurosurg.* 116 (2018) 402–411 e2.
- [46] R. Raj, E.D. Mikkonen, R. Kivisaari, M.B. Skrifvars, M. Korja, J. Siironen, Mortality in elderly patients operated for an acute subdural hematoma: a surgical case series, *World Neurosurg.* 88 (2016) 592–597.
- [47] R.A. Willinsky, S.M. Taylor, K. TerBrugge, R.I. Farb, G. Tomlinson, W. Montanera, Neurologic complications of cerebral angiography: prospective analysis of 2,899 procedures and review of the literature, *Radiology* 227 (2) (2003) 522–528.
- [48] T.J. Kaufmann, J. Huston 3rd., J.N. Mandrekar, C.D. Schleck, K.R. Thielen, D.F. Kallmes, Complications of diagnostic cerebral angiography: evaluation of 19,826 consecutive patients, *Radiology* 243 (3) (2007) 812–819.

