



Extrait du Campus de Neurochirurgie

<http://campus.neurochirurgie.fr/spip.php?article400>

# Apport de la radiochirurgie stéréotaxique dans le traitement des malformations artério-veineuses cérébrales

- Etudiant en neurochirurgie - Documents - Livre Neurochirurgie -  
Date de mise en ligne : vendredi 16 janvier 2009

---

Campus de Neurochirurgie

---

## I - INTRODUCTION

Durant ces dernières années, la prise en charge thérapeutique des malformations artério-veineuses cérébrales s'est profondément modifiée après confirmation de l'efficacité des techniques d'embolisation endovasculaire et de la radiochirurgie stéréotaxique. L'avènement de ces nouvelles possibilités ne signifie pas simplification décisionnelle dans la mesure où le choix du traitement, qui incombe au Neurochirurgien qui, le plus souvent, a posé le diagnostic et assurera la surveillance ultérieure, est modulé par de nombreux facteurs tenant compte notamment de l'histoire naturelle de la malformation artério-veineuse, des circonstances de découverte, de l'état clinique actuel, de la topographie et des caractéristiques lésionnelles, des possibilités effectives, des avantages et des inconvénients de chaque technique. La bonne décision thérapeutique doit donc être individualisée, adaptée à chaque cas particulier, prise dans un contexte pluridisciplinaire facilitant ainsi le transfert des informations entre Neurochirurgiens, Neuroradiologues et Radiothérapeutes. Dans un tel contexte, il est certain que la radiochirurgie stéréotaxique peut être d'une aide considérable sous couvert d'une bonne appréhension des moyens techniques utilisés en collaboration avec les radiothérapeutes, d'une sélection minutieuse des indications et de l'assurance d'un suivi clinique et anatomique réguliers.

## II - METHODOLOGIE

La stéréotaxie a fait la preuve de son efficacité et de son innocuité fondées sur une précision géométrique facilitée par l'intégration des données les plus récentes de l'imagerie médicale. Une telle méthodologie ne peut qu'être utile lors de l'orientation d'un traitement, quel qu'il soit, au sein de l'espace cérébral. Et c'est ainsi qu'est née la radiochirurgie stéréotaxique, une idée, un terme, une méthode définis dès 1951 par LARS LEKSELL et conçus initialement pour la Neurochirurgie Fonctionnelle, associant une procédure stéréotaxique et une technique radiothérapeutique faisant d'abord appel à un cyclotron et à un accélérateur de particules. Puis, en 1968 a été créé le premier système homogène de radiothérapie stéréotaxique (Gamma-Unit) par minifaisceaux de cobalt (179 sources de cobalt 60). La seconde génération d'appareils a été notamment utilisée pour le traitement des malformations artério-veineuses cérébrales (Steiner, 1987) et en 1987 fut mise au point la troisième génération constituée de 201 sources de cobalt 60, appareil muni de 4 collimateurs additionnels d'un diamètre de 4, 8, 14 et 18 mm. Actuellement,, 42 appareils de ce type sont en fonction dans le monde, et plus de 9000 patients ont déjà été traités selon cette technique, en majorité pour des malformations artério-veineuses. Parallèlement, il convient de citer l'utilisation d'un moyen thérapeutique similaire faisant appel à des minifaisceaux de protons ou d'hélium (Kjellberg, 1983), (Fabrikant, 1984) tandis que progressivement (Betti, 1984), (Colombo, 1989), (Lutz, 1988) cette méthodologie a ensuite été adaptée aux accélérateurs linéaires de particules, habituellement utilisés dans les services de radiothérapie. Ceci est à l'origine d'un développement considérable et peut être un peu excessif de cette activité thérapeutique puisqu'à ce jour (Lunsford, 1993) plus de 15000 patients ont été ainsi traités, dont 6000 pour des malformations artério-veineuses cérébrales.

Pratiquement, une irradiation "idéale" d'un processus lésionnel intracrânien doit remplir 3 conditions essentielles :

- ▶ un repérage stéréotaxique précis du volume lésionnel,
- ▶ la possibilité de positionner la tête du patient selon des coordonnées strictement identiques lors du diagnostic et du traitement en utilisant le même référentiel, également système de contention,
- ▶ la possibilité de superposer l'isodose de référence (isodose d'enveloppe) au seul volume cible, épargnant ainsi au maximum les structures cérébrales saines.

Quel que soit le matériel stéréotaxique utilisé et quelle que soit la pathologie traitée, c'est le respect de ces

exigences fondamentales qui conditionnera la qualité des résultats. Il s'agit d'une irradiation focalisée, effectuée en une seule séance selon les critères techniques et anatomiques bien définis : elle a peu de points communs avec la radiothérapie transcutanée fractionnée classique et, d'ailleurs, sur le plan fondamental, ce ne sont que les travaux de recherche les plus récents (Kondziolka D, 1992) qui permettent le mieux d'individualiser les conséquences biologiques de cette technique. La précision de la cible est essentielle : elle doit être basée sur un repérage anatomique et fonctionnel de la lésion vasculaire au sein d'un espace cérébral identifié dans ses moindres détails. Ceci correspond parfaitement à la méthodologie stéréotaxique, très éloignée d'une activité purement balistique mais, en matière de malformation artério-veineuse, une définition scrupuleuse du nidus est indispensable, notamment dans les formes complexes : elle ne peut pas être assurée par la seule télé-angiographie stéréotaxique même aidée d'une sériographie rapide et de la stéréoscopie ; il convient de recourir à l'angiographie digitalisée si possible avec cathétérisme hypersélectif, seul moyen de bien définir les caractéristiques angio-architecturales du nidus angiomateux tandis que l'évaluation de l'orientation topographique peut être facilitée par l'utilisation de l'Imagerie par Résonance Magnétique Nucléaire, notamment sur le plan axial. A ce stade, un transfert homogène et une étude interactive cohérente de l'ensemble de ces données imposent l'aide d'un programme informatisé (Clarysse, 1991) permettant un traitement de toutes les informations selon des coordonnées stéréotaxiques identiques correspondant au système de contention habituellement utilisé. Ce n'est qu'à ce prix que Neurochirurgiens et Radiothérapeutes peuvent définir dans de bonnes conditions un plan de traitement en tenant compte des contraintes de la radiothérapie, des caractéristiques du nidus et de l'environnement fonctionnel. En particulier, si la méthode fait appel à un accélérateur linéaire de particules, après définition d'un ou plusieurs volumes cibles, il convient d'amener le centre de celui-ci à l'isocentre de l'appareil de traitement. Selon la technique utilisée à Lille (Betti O.), le matériel est un accélérateur linéaire de particules de 18 MeV (Saturne) muni d'un système de collimation additionnel permettant l'irradiation de volumes d'un diamètre de 6 à 25 mm. Ce collimateur est choisi en fonction de la taille du nidus. Selon sa forme et sa localisation dans l'espace cérébral, sont définies les voies de pénétration des rayons (diamètres), leur ouverture, leur nombre, leur position. La dose administrée est le plus souvent de 35,7 grays au centre de la cible, ce qui correspond à une isodose d'enveloppe (70 %) circonscrivant les limites du nidus de 25 grays. Cette étape préparatoire est essentielle, fondée sur une totale communication des informations individuelles et techniques entre radiothérapeutes et neurochirurgiens : les conséquences de ce "bistouri radique" (Steiner, 1987) sont irréversibles. L'irradiation est effectuée, chez un malade conscient, surveillé par un système vidéo, soit en position assise (Betti, 1982), soit en position couchée (Colombo, 1989). Le traitement s'effectue en une seule séance dont la durée est fonction du nombre de cibles. (Fig.1).

Le mécanisme d'action de la radiochirurgie stéréotaxique sur le nidus angiomateux est sous-tendu par une série de modifications "en cascade" de la paroi des artères pathologiques aboutissant ainsi à une oblitération progressive de la lumière vasculaire : oedème cellulaire endothélial et dégénérescence, diapédèse des leucocytes dans l'espace interstitiel, "fissure" des vaisseaux, augmentation de l'activité fibroblastique, dépôt de collagènes dans la média, fibrose de l'adventice. Ces différentes modifications structurales sont progressives, étalées dans le temps, fonction de la dose administrée mais également de certaines caractéristiques angio-dynamiques de la malformation.

## III - LES INDICATIONS

L'objectif du traitement d'une malformation artério-veineuse cérébrale est d'en obtenir, à moindre frais tant sur le plan fonctionnel que vital, l'éradication complète afin d'éviter toute rupture en se rappelant que le risque hémorragique est de 2 % par malade et par an, qu'après une première hémorragie ce taux augmente de 5 % par malade et par an pendant les 4 premières années suivantes, mais que l'intervalle moyen entre 2 saignements est d'environ 5 ans. Ce rappel très simplifié de l'histoire naturelle potentielle d'une malformation artério-veineuse cérébrale doit guider constamment l'attitude du neurochirurgien. Les critères de décision sont d'abord et avant tout cliniques : mode de révélation (hémorragie, épilepsie, céphalées, découverte fortuite), condition neurologique, âge, état général du patient au moment où la décision doit être prise. Ils sont ensuite anatomiques : taille, forme, angio-architecture, artères nourricières et efférences veineuses, situation superficielle ou profonde, qualité de l'environnement

fonctionnel. Enfin, la décision thérapeutique doit également être prise très honnêtement en tenant compte des avantages et risques potentiels de chaque technique dont on dispose actuellement en se rappelant qu'elles peuvent aussi être associées dans le temps. Ainsi, un abord chirurgical direct n'est-il pas préférable chez un patient jeune lorsque la malformation, révélée déjà par un épisode hémorragique, est de situation superficielle (cortico-sous-corticale) à distance des zones fonctionnelles : il s'agit d'une solution radicale permettant une éradication totale et rapide de la malformation artério-veineuse à moindre risque. Par contre, une malformation artério-veineuse décelée par une crise comitiale tardive, alimentée par un ou plusieurs pédicules artériels facilement accessibles à un cathétérisme hypersélectif, doit d'abord être traitée par embolisations endovasculaires : tantôt l'éradication sera complète, tantôt elle ne sera que partielle, complétée alors par un abord direct ou une radiochirurgie selon la topographie lésionnelle. Quant à la radiochirurgie elle-même, il convient d'en bien connaître les premiers résultats publiés par les équipes les plus performantes dans ce domaine, que ce soit par Gamma-Unit ou par radiochirurgie avec accélérateur linéaire de particules.

## IV - RESULTATS

Les malformations artério-veineuses cérébrales représentent très certainement l'indication la plus fréquente de la radiochirurgie stéréotaxique à la suite des résultats encourageants des premières équipes. Depuis la mise au point de cette technique, plus de 600 angiomes ont ainsi été traités par la seule équipe du Karolinska Institute. De 1987 à 1990, 227 patients porteurs d'une malformation artério-veineuse cérébrale ont été traités par Gamma-Unit à PITTSBURGH, tandis qu'à LILLE, d'octobre 1988 à juin 1993, 228 patients ont été traités par radiochirurgie avec accélérateur linéaire. L'analyse des résultats doit être patiente dans la mesure où l'effet de cette radiothérapie focalisée en une seule séance est progressif, étalé dans le temps sur une période de 3 années environ. L'oblitération complète est définie comme un aspect angiographique caractérisé par une circulation normale, disparition complète des vaisseaux anormaux constituant le nidus initial, normalisation du drainage veineux en provenance de la zone pathologique (LINDQUIST, 1988). A partir de ces critères, une évaluation sur 75 patients traités par Gamma Knife avec un recul suffisant (supérieur ou égal à 2 ans) a été menée (LUNSFORD, 1991) : l'oblitération est complète dans 80 % des cas, partielle dans 17 % des cas. Chez un patient, aucune modification n'est notée tandis que chez plusieurs patients l'oblitération suggérée sur les données de l'IRM doit être confirmée par un contrôle angiographique. Une analyse en fonction du volume du nidus démontre que plus celui-ci est restreint, plus le taux d'oblitération est élevé à 2 ans : 100 % si le volume est inférieur à 1cc, 85 % si le volume se situe entre 1 et 4cc, 58 % si celui-ci se situe entre 4 et 10cc. Cette constatation essentielle est retrouvée lors de l'étude des premiers résultats obtenus avec accélérateur linéaire (BETTI, 1989), (COLOMBO, 1989). Ainsi, sur une série de 40 patients avec un recul suffisant, l'oblitération est totale dans 81,3 % des cas si le diamètre du nidus est inférieur à 12 mm, tandis que le taux chute à 46,4 % si le diamètre se situe entre 12 et 25 mm. En fait, d'après les données de la littérature et notre expérience personnelle, plusieurs facteurs essentiels interviennent dans la qualité du résultat obtenu : d'abord et avant tout, la taille et la forme du nidus angiomateux qu'il convient de recouvrir totalement par l'isodose d'enveloppe en n'incluant que la naissance du collecteur veineux ; ceci suppose donc une bonne reconnaissance de celui-ci en s'aidant d'une angiographie très performante ; ensuite, la texture du nidus : il semble qu'un angiome à mailles fines et serrées réponde mieux et plus vite à l'action des rayons qu'un angiome floconneux, en "nuage". Enfin, un débit faible ou ralenti au sein de la malformation artério-veineuse laisse augurer également un effet thérapeutique plus rapide. Ainsi, au terme de ces quelques données l'on peut affirmer que :

- ▶ une malformation artério-veineuse de petit volume située en zone fonctionnelle ou profonde est l'indication idéale de radiochirurgie stéréotaxique (Fig. 2).
- ▶ un nidus plus volumineux (diamètre 20 mm) et un débit rapide sont des arguments en faveur d'une embolisation en première intention dans la mesure où elle est techniquement possible : tantôt elle aboutira à une disparition complète du nidus, tantôt l'oblitération ne sera que partielle et elle pourra être complétée par une radiochirurgie dont l'efficacité sera vraisemblablement potentialisée. Dans les cas où cette "association" thérapeutique n'est pas possible, la radiochirurgie seule peut être proposée en sachant que le résultat risque d'être plus retardé ou partiel, que de toute façon il faut s'accorder un délai de 3 ans avant toute nouvelle décision thérapeutique et qu'éventuellement au delà, un complément radiochirurgical peut être réalisé dans la mesure du possible. Parfois, si

le nidus initial est trop volumineux, source possible de complications par multiplication des volumes cibles, l'on peut éventuellement planifier les traitements en cibles, "compartimentant" géographiquement les séances de radiochirurgie stéréotaxique.

L'efficacité anatomique se double le plus souvent d'une absence de complications fonctionnelles et/ou vitales. Le délai d'action propre à la radiochirurgie ne doit pas cependant faire oublier le risque hémorragique toujours présent tant que l'oblitération angiographique n'est pas obtenue. Quant aux complications directement liées à la radiochirurgie, elles sont en fait fonction de la dose administrée et du volume tissulaire irradié sans qu'une relation claire puisse cependant être définie, qu'il s'agisse d'un oedème ou d'une radionécrose. STEINER et LINDQUIST ont rapporté la survenue de complications post-radiques chez 3 % de leurs patients dans les 3 à 6 mois qui suivent le traitement par Gamma-Unit. Il semble toutefois que la multiplication des volumes cibles expose plus largement à ce risque de complications sans que l'oblitération finale soit autant assurée que pour des malformations artério-veineuses de petit volume.

## V - CONCLUSION

La radiochirurgie stéréotaxique est indéniablement efficace et utile lors de la prise en charge thérapeutique des malformations artério-veineuses cérébrales. L'indication doit être prise dans un contexte pluridisciplinaire en évaluant les différentes données cliniques, anatomiques et techniques. Sa technique doit être parfaite car il s'agit d'un véritable bistouri guidé à distance à partir des différentes données du repérage stéréotaxique. L'étude interactive des données informatisées de l'imagerie médicale et la définition tridimensionnelle de la dosimétrie impliquent une collaboration régulière avec radiothérapeutes, physiciens et informaticiens. L'association "neuroradiologie - radiochirurgie" est évidente aussi bien lors de l'analyse des images que lors de la définition du plan de traitement : une ou plusieurs embolisations préalables peuvent accélérer la démarche thérapeutique et faciliter l'action de la radiochirurgie. Enfin, des progrès pourront prochainement être obtenus grâce à la mise au point de radiosensibilisants et de radioprotecteurs cérébraux. Ainsi pourrait-on utiliser des doses plus faibles d'irradiation ou au contraire recourir à des doses plus élevées, sans risques, permettant ainsi de réduire le délai nécessaire à l'obtention d'une oblitération totale.

## BIBLIOGRAPHIE

1 - Betti O, Derechinski V : Hyperselective encephalie irradiation with linear accelerator. **Acta Neurochir.**, **33**, : 385-390, 1982

2 - Betti O, Munari C, Rossler R : Stereotactic radiosurgery with the linear accelerator : treatment of arteriovenous malformations. **Neurosurgery** **24** : 311-321, 1989

3 - Clarysse P, Rousseau J, Gibon D et al : A computer-assisted system for 3 D frameless localization in stereotactic MRI. **IEEE Transactions on Medical Imaging** **10** : 523-529, 1991

4 - Colombo F, Benedetti A, Pozza F et al : Linear accelerator radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations. **Neurosurgery** **24** : 833-840, 1989

5 - Fabrikant JL, Lyman JJ, Hosobuchi Y : Stereotactic heavy ion bragg peak radiosurgery for intracranial vascular disorders : method for treatment of deep arteriovenous malformations. **Br. J. Radiol.** **57** : 479-490, 1984

6 - Kjellberg RN, Hanamura T, Davis KR et al : Bragg peak proton beam therapy for arteriovenous malformations of the brain. **N. Engl. J. Med.** **309** : 269-274, 1983

7 - Kondziolka D, Lunsford LD, Claassen D et al : Radiobiology of radiosurgery. Part I : the normal rat brain model. **Neurosurgery** **31** : 271-279, 1992

8 - Leksell L : The stereotactic method and radiosurgery of the brain. **Acta Chir. Scand.** **107** : 316-319, 1951

9 - Lindquist CH, Steiner L : Stereotactic radiosurgical treatment of malformations of the brain. In **Lunsford** (ed) **Modern Stereotactic Neurosurgery**

10 - Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC et al : Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations of the brain. **J. Neurosurg** **75** : 512-524, 1991

11 - Lunsford LD : Stereotactic radiosurgery : at the threshold or at the crossroads ? **Neurosurgery** **32** : 799-804, 1993

12 - Lutz W, Winston KR, Malcki N : A system for stereotactic radiosurgery using a standard linear accelerator. **Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.** **14** : 373-381, 1988

13 - Steiner L, Lindquist CH : Radiosurgery in cerebral arteriovenous malformations in tasker **R.R** (ed). **Neurosurgery : State of the Art Reviews Stereotactic Surgery Philadelphia** : Hanley and Belfus, 1987, pp 329-336