

CYBERKNIFE® ET PATHOLOGIES BÉNIGNES

F. LALLEMAND (1), Z-L. JANVARY (2), N. JANSEN (3), PH. COUCKE (4)

RESUME : La radiothérapie conventionnelle a déjà montré son efficacité pour le traitement de pathologies intracrâniennes «bénignes». Cette technique est grevée d'un certain nombre d'inconvénients. Le système CyberKnife®, radiothérapie stéréotaxique robotisée, permet de compenser un grand nombre de ces inconvénients par sa précision et sa relative innocuité pour les tissus sains. Par conséquent, il s'avère être une arme de choix particulièrement dans le contexte du traitement de pathologies bénignes à localisation crânienne. Nous évoquons, sur la base de données publiées, les indications et résultats du Cyberknife® pour des lésions cérébrales «non malignes».

MOTS-CLÉS : *CyberKnife® - Radiothérapie stéréotaxique - Lésion bénigne crânienne*

CYBERKNIFE® AND BENIGN PATHOLOGIES

SUMMARY : Conventional radiotherapy is known to be an effective treatment approach even for "benign" pathologies. However, this kind of treatment yields a high potential for side effects. The Cyberknife®, a robotic stereotactic radiotherapy device, enables to offset a large proportion of the disadvantages encountered with conventional radiotherapy essentially through the high precision of dose administration and sparing of healthy tissues. Therefore, it seems to be a treatment of choice in the approach of some benign intracranial diseases. We review published data on indications and outcome of Cyberknife® for intracranial "non-malignant" disease.

KEYWORDS : *CyberKnife® - Stereotactic radiotherapy - Benign cranial lesion*

INTRODUCTION

L'efficacité de la radiothérapie est largement reconnue pour le traitement, autant de pathologies malignes, que de certaines pathologies bénignes. Le CyberKnife® (Fig. 1) représente, dans le domaine, une percée technologique majeure. Cette installation, dédiée à la radiochirurgie et/ou radiothérapie en conditions stéréotaxiques, permet une irradiation avec une précision millimétrique, voire sous-millimétrique. Cet accélérateur robotisé est, par ailleurs, équipé d'un système de «tracking» lui permettant de suivre une cible mobile en temps réel pendant l'irradiation. Contrairement à d'autres systèmes de radiochirurgie ou radiothérapie en condition stéréotaxique, il a l'avantage de ne pas recourir à des moyens d'immobilisation invasifs, ce qui permet de concevoir aisément des traitements fractionnés. Cet appareil permet donc de traiter des tumeurs mobiles (foie, poumon) ou immobiles avec une très haute précision et en suivant le mouvement de la cible, ce qui réduit le risque de toxicité au niveau des tissus sains avoisinants.

La radiothérapie dite «conventionnelle» étant déjà utilisée pour certaines pathologies non malignes, le CyberKnife® offre une alternative de traitement d'autant plus intéressante qu'il réduit de façon significative l'exposition des tissus sains à des doses élevées.

Nous avons l'intention de revoir de façon non exhaustive les pathologies bénignes susceptibles d'être traitées par CyberKnife®. Nous évoque-

rons uniquement les indications pour lesquelles il existe actuellement des données publiées. Le neurinome de l'acoustique ne sera pas abordé, un article de cette revue lui étant entièrement consacré.

Les doses mentionnées ci-dessous peuvent présenter des variations importantes, en fonction de la manière de prescrire et le choix de l'isodose. Il n'existe actuellement pas de normes ICRU concernant la radiothérapie en condition stéréotaxique. Il est parfois difficile de discerner si la dose mentionnée concerne la dose maximale au centre, ou la dose reçue par toute la tumeur, ou encore une dose moyenne intermédiaire.

CYBERKNIFE® VERSUS GAMMA KNIFE®, QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ?

Les deux techniques ont pour but de démultiplier le nombre de faisceaux incidents. Ceci permet, par tirs croisés, d'obtenir une dose élevée au niveau de la cible tout en réduisant au maximum la dose d'entrée au niveau des tissus sains. La similitude s'arrête là.

En effet, le Gamma Knife® (Fig. 2) est composé d'un hémisphère contenant 201 sources de Cobalt dont le rayonnement converge vers un seul centre. Pour traiter au Gamma Knife®, le crâne du patient est fixé à un cadre de stéréotaxie. Ce cadre référentiel est indispensable pour repositionner le patient de telle façon que le barycentre lésionnel corresponde au centre de convergence des 201 sources de Cobalt. Cette solution technique comporte deux inconvénients majeurs : premièrement, seules les lésions de la région tête et cou sont accessibles pour un traitement. Deuxièmement, compte tenu de l'appro-

(1) Etudiant, Université de Liège.

(2) Chef de Clinique Adjoint, (3) Chef de Clinique, (4) Professeur, Chef de Service, Service de Radiothérapie, CHU de Liège.



Figure 1 : Le CyberKnife® et la salle de traitement au CHU de Liège.



Figure 2 : Le Gamma Knife® et son système de contention (image fournie par Elekta).

che «isocentrique», des lésions non sphériques représentent une réelle gageure dosimétrique. Le fait de devoir utiliser plusieurs isocentres pour essayer de couvrir adéquatement la cible implique une distribution hétérogène de la dose au niveau de celle-ci. Cette hétérogénéité prédispose potentiellement à la survenue de complications. De plus, le traitement doit, de préférence, se dérouler en une seule séance car le cadre de stéréotaxie est fixé de façon invasive au crâne du patient. Le CyberKnife® permet de s'affranchir de cette fixation invasive et donne ainsi la possibilité de réaliser un traitement en plusieurs fractions. Contrairement à l'approche «isocentrique» par Gamma Knife®, le CyberKnife® balaye la cible et on obtient une distribution de dose plus homogène, quelle que soit la forme de celle-ci.

Nous allons évoquer, de façon non-exhaustive, un certain nombre de cibles « bénignes » et

illustrer pour chacune d'entre elles le potentiel thérapeutique du CyberKnife®.

LES ADÉNOMES HYPOPHYSAIRES

Les adénomes de l'hypophyse représentent 10 à 20% de l'ensemble des tumeurs cérébrales primitives.

La microchirurgie est le traitement principal lorsque ces tumeurs sont symptomatiques ou non contrôlées médicalement. Dans le cas de tumeurs sécrétantes, des taux de récurrences allant jusqu'à 50% ont été rapportés. La radiothérapie classique n'a jamais occupé une place prépondérante dans l'approche thérapeutique, essentiellement par le fait qu'elle est à l'origine d'effets secondaires par manque de conformité. La radiochirurgie stéréotaxique permet, en démultipliant le nombre de faisceaux, un indice de conformité nettement plus avantageux. Le Gamma Knife® est donc utilisé pour le traitement des adénomes hypophysaires mais son application est limitée par la nécessité d'une distance minimale de 2 mm entre la cible et le chiasma optique. Cette distance de 2 mm est impérative pour permettre la décroissance de la dose dans cette zone par rapport à la dose prescrite à la cible. Le but est clairement de préserver le chiasma en gardant la dose appliquée à cette structure sous la barre de 8 Gy en dose unique.

Le CyberKnife®, de par la possibilité aisée de fractionnement, permet pour les adénomes hypophysaires, de s'affranchir de la limite de 2 mm par rapport au chiasma. Le groupe de Cho et al. a obtenu des résultats similaires en contrôle tumoral, tout en rapportant un taux de complications inférieur à ce qui est publié par les équipes utilisant un gammaknife, en particulier au niveau des voies optiques (1). Killory et al. ont testé 5 x 5 Gy et n'ont rapporté aucune détérioration de vision chez leurs patients au cours d'un suivi de 26,6 +/- 10,5 mois (2). Par ailleurs, cette équipe ne signale aucune progression tumorale en effectuant des suivis par IRM. Sur les 8 patients ne présentant aucun déficit hypophysaire, seul 1 a développé une endocrinopathie dans le décours du traitement. Les auteurs concluent que le fractionnement en 5 x 5 Gy est efficace et bien toléré. Ils suggèrent toutefois qu'il pourrait être utile de monter la dose par fraction à 8 Gy pour les adénomes sécrétants.

Pour les tumeurs non sécrétantes, traitées par Gamma Knife®, le contrôle du volume tumoral est obtenu, en moyenne, dans 93% des cas avec, comme principal effet secondaire, un nouveau déficit hormonal dans 0-25% des cas et des complications visuelles dans 0 à 4,8% (3).

Pour les adénomes sécrétants, les résultats diffèrent selon le type. Les résultats doivent être revus en fonction de la présence ou non d'un traitement suppressif. Par ailleurs, l'irradiation est souvent effectuée après chirurgie non radicale, donc en seconde intention. L'acte chirurgical influence très certainement la réponse aux irradiations ionisantes. On observe des taux de réponse allant de 50% pour les adénomes à hormone de croissance, de 50 à 76% pour la maladie de Cushing et de 0 à 84% pour les prolactinomes (3).

La complication principale après radiochirurgie à dose unique est un hypopituitarisme qui survient dans une proportion importante de patients allant jusqu'à 72%. Des études avec le CyberKnife®, en dose unique ou multiple, ont montré des taux de 9,5% avec un suivi de seulement 12 mois pour certains cas (3).

Dans le tableau I, nous rapportons l'efficacité théorique de plusieurs types de fractionnement autant pour le tissu sain ($\alpha/\beta = 3$ Gy) que pour le tissu tumoral ($\alpha/\beta = 10$ Gy). Le rapport α/β permet de déterminer la sensibilité d'un tissu au rayonnement ionisant, α détermine les dommages létaux au niveau cellulaire et β , les dommages sub-létaux. Si α est élevé par rapport à β , les cellules sont sensibles à la radiation et inversement.

MÉNINGIOMES NON MALINS

Le méningiome est une tumeur cérébrale relativement commune dont l'exérèse complète n'est pas toujours réalisable. Les caractéristiques radiographiques du méningiome permettent une parfaite délimitation de la zone à irradier. La radiothérapie a déjà prouvé son efficacité au long cours avec les accélérateurs classiques et le Gamma Knife®. L'équipe de Kondziolka a traité par Gamma Knife®, sur une durée totale de 18 ans, 1.045 méningiomes présents chez 972 patients. La dose moyenne délivrée était de 14 Gy (4). Les résultats montrent un contrôle tumoral chez 90% des patients avec, pour les patients n'ayant pas été opérés avant l'irradiation (488 tumeurs), un taux de contrôle tumoral à 4 ans de 97%. Le taux de complications précoces, attribuables à la radiothérapie, s'élevait à 7,7%. Le taux de complications tardives était de 9,1% à 10 et 15 ans. Ces complications comprenaient de l'hydrocéphalie (0,4%), des céphalées (2,2%) et des crises d'épilepsie (2,4%). Une résolution complète de ces symptômes, tous confondus, a été observée dans 35% des cas (4).

Colombo et al. ont étudié l'utilisation du CyberKnife® sur 199 patients dont 114 avaient

TABLEAU I. COMPARAISON DU CYBERKNIFE® *VERSUS* GAMMA KNIFE® POUR LES ADÉNOMES HYPHYSAIRES

Année	Auteur	n	M	Dose	Fx	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=3$)	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=10$)
2008	Killory(2)	20	CK	25	5	40 Gy	31,25 Gy
2009	Cho(1)	36	CK	19	3	35,34 Gy	25,8 Gy
2010	Sheehan(3)	418	GK	15/24	1	54/129,6 Gy	31,25/68 Gy
n = nombre de patients; M = Type de machine utilisée; Fx = Nombre de fractions; CK = CyberKnife®, GK = Gamma Knife®							

bénéficié d'une résection chirurgicale incomplète. Après irradiation, le volume tumoral a diminué chez 36 patients, est resté stable chez 148 et a augmenté chez 7 (5).

Dans la littérature, le contrôle tumoral se situe entre 87 et 98% avec environ 5 % de morbidité observée. Dans la série de Pollock et al., la progression tumorale est plus fréquemment rencontrée en cas de chirurgie (12%) qu'en cas de radiothérapie (2%) et il n'y a pas de différence observée au niveau de la PFS («Progression Free Survival» entre les 2 modalités à 3 et 7 ans dans le cas des méningiomes de grade 1 selon Simpson (6).

Dans le tableau II, nous comparons une série CyberKnife® et une série Gamma Knife® dans le traitement du méningiome.

NÉURALGIE DU TRIJUMEAU

La névralgie du trijumeau, d'origine non tumorale, est une pathologie commune qui touche approximativement 5 personnes pour 100.000 et qui se présente comme une douleur lancinante au niveau d'une ou de plusieurs branches du nerf.

La radiothérapie par Gamma Knife® est efficace et peu toxique comme technique minimale-invasive pour le contrôle des douleurs (7). Le taux de réponse complète (disparition des douleurs) est observé chez 60% des patients, une bonne réponse (diminution entre 50 et 90%) chez 17% et une faible réponse (amélioration de moins de 50%) chez 23%.

Depuis l'apparition du CyberKnife®, diverses études ont été menées pour démontrer son efficacité et son innocuité (8-10). Les résultats obtenus sont globalement similaires à ceux obtenus par Gamma Knife® et montrent un soulagement précoce de la douleur chez plus de 90% des patients avec un temps de latence pour la réponse variant de 15 jours à 1 mois. Les résultats à long terme

TABLEAU II. COMPARAISON DU CYBERKNIFE® *VERSUS* GAMMA KNIFE® POUR LES ADÉNOMES HYPOPHYSAIRES

Année	Auteur	n	M	Dose	Fx	Contrôle	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=3$)	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=10$)
2007	Kondziolka (7)	972	GK	14	1	90%	47,6 Gy	28 Gy
2009	Colombo (8)	199	CK	18.5	2-5	93%		

n = nombre de patients; M = Type de machine utilisée; Fx = Nombre de fractions; CK = CyberKnife®; GK = Gamma Knife®

montrent une réponse totale de 40% en moyenne et une fréquence de rechute de la douleur variant de 22 à 50%. Les effets secondaires sont majoritairement de l'engourdissement. Ce risque d'effet secondaire est proportionnel à la longueur du nerf irradié.

Les différences de résultats entre les séries chirurgicales et les séries de radiothérapie peuvent être expliquées par la sélection des patients. En effet, dans les séries de radiothérapie, il s'agit souvent de patients ayant déjà été soumis à une chirurgie de décompression et il est reconnu que ces malades réagissent moins bien à la radiothérapie comparativement à ceux qui sont traités initialement par radiation ionisante.

Fariselli et al. ont utilisé le CyberKnife® en première intention sur 33 patients et ont montré des résultats à long terme bien meilleurs avec un taux de contrôle de la douleur de l'ordre de 78% à 1 an et 67% à 2 ans (11). Dans leur approche, c'est le passage rétrogasserien du nerf trijumeau qui a été ciblé sur une longueur de 4 mm (2-3 mm en avant à la zone d'entrée des racines). La dose variait de 55 à 75 Gy en 1 séance.

Il existe très certainement un phénomène dose-réponse. Dans cette optique, Martin et al ont suivi, sur une moyenne de 10 ans, 538 patients ayant reçu 70, 80 ou 90 Gy au niveau de la zone d'émergence du nerf trijumeau. Les taux de bonnes et excellentes réponses sont respectivement de 55,7% pour 70 Gy, de 81,1% pour 80 Gy et de 86,2% pour 90 Gy. En contrepartie, les taux d'engourdissement transitoire (et définitif) retrouvés sont de 6,5% (2,5%) pour 70 Gy, de 17,3% (3,6%) pour 80 Gy et de 29,3% (9%) pour 90 Gy. De ce fait, la dose optimale conseillée par ces auteurs, est de 80 Gy permettant ainsi un excellent contrôle avec un taux de complications relativement faible (12).

Dans le tableau III, nous rapportons l'efficacité théorique de plusieurs types de fractionnement dans le traitement de la névralgie du trijumeau.

MALFORMATION ARTÉRIO-VEINEUSE (MAV)

Les malformations artério-veineuses cérébrales sont présentes chez environ 1/100.000 personnes. La complication classique d'une MAV est la rupture et, donc, l'hémorragie cérébrale. Le risque est estimé à 5% par an.

La radiothérapie stéréotaxique s'est depuis longtemps imposée comme une alternative valable à la chirurgie dans le traitement des MAV. L'inconvénient majeur de cette technique est la période de latence entre le traitement et l'oblitération complète (1 à 3 ans). La radiothérapie stéréotaxique par accélérateur linéaire dédié ou Gamma Knife® permet d'obtenir un taux d'oblitération de l'ordre de 54-92% (13, 14). Après la radiothérapie, le risque annuel de saignement chute aux alentours de 2,2% dans la série de Sun et al. (14).

L'approche par Cyberknife® par l'équipe de Vicenza est d'autant plus originale qu'on a couplé l'information iconographique du scanner de planification aux informations obtenues par angiographie 3D et IRM fonctionnelle (15). L'IRM fonctionnelle a permis de déterminer des zones «éloquentes» cérébrales afin de les éviter, ou tout au moins de définir des contraintes de doses sévères, et d'ainsi éviter des séquelles post-traitement. Par ailleurs, des développements de

TABLEAU III. COMPARAISON DU CYBERKNIFE® *VERSUS* GAMMA KNIFE® POUR LES NÉVRALGIES DU TRIJUMEAU

Année	Auteur	n	M	Dose	Fx	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=3$)	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=10$)
1998	Kondziolka (10)	106	GK	80	1	1328 Gy	600 Gy
2005	Lim (12)	44	GK	65,5	1	897,35 Gy	412,1 Gy
2008	Villavicencio (11)	95	GK	78	1	1263,6 Gy	572 Gy
2009	Borchers (13)	46	GK	73,5	1	1124,55 Gy	450,18 Gy
2009	Fariselli (14)	33	GK	65	1	884 Gy	406,25 Gy

n = nombre de patients; M = Type de machine utilisée;
Fx = Nombre de fractions; CK = CyberKnife®; GK = Gamma Knife®

logiciels ont permis un contournage de la cible totalement automatisé, ce qui a permis d'éliminer les différences d'interprétation de l'image entre plusieurs observateurs.

Dans cette série, les doses utilisées se situent entre 22,5 et 30 Gy. Lorsque la MAV est inférieure à 8 mm, une seule fraction est administrée, sinon 2 fractions équivalentes sont réalisées avec 8-30 jours d'écart. Pour 102 patients des 279 traités, on a pu évaluer le résultat à plus de 3 ans. Le taux d'oblitération est de 91% pour les MAV de moins de 8 mm et de 35,7% pour celles supérieures à 8 mm.

Dans le tableau IV, nous rapportons l'efficacité théorique de plusieurs types de fractionnement dans le traitement des MAV.

EPILEPSIE TEMPORALE

Il existe de nombreuses étiologies à l'épilepsie. Une forme particulière d'épilepsie primaire est celle de la face mésiale temporale.

Il s'agit là d'une forme sévère due à une atrophie de l'hippocampe. Cette forme est généralement résistante au traitement médicamenteux et la chirurgie offre une solution tout à fait valable par la réalisation d'une lobectomie.

La chirurgie ouverte présente, malgré tout, des risques non négligeables inhérents à tout acte invasif (infections, hémorragies). Cette technique représente, par ailleurs, un coût relativement élevé qu'on estime globalement supérieur de 50% à celui d'un traitement par radiothérapie à l'aide, par exemple, du Gamma Knife®.

Ce traitement par Gamma Knife® est relativement bien toléré. Le taux de réponses complètes, défini comme l'absence de nouvelles crises, est de l'ordre de 65% (16).

L'équipe de Barbaro et al. a conduit une étude sur 60 patients comparant deux doses lors d'un traitement par Gamma Knife®, 20 Gy ou 24 Gy (17). Il semblerait y avoir un phénomène dose-réponse, puisque le groupe des patients traités

avec 24 Gy montre un taux de réponse de 76% tandis que les patients traités avec une dose de 20 Gy ne répondent que dans 58,8% des cas. Une étude de phase 3 est en cours comparant la radio-chirurgie à la chirurgie ouverte en termes d'efficacité et de sécurité.

Dans le tableau V, nous rapportons l'efficacité théorique de plusieurs types de fractionnement dans le traitement de l'épilepsie temporale.

TUMEUR GLOMIQUE JUGULAIRE

Les tumeurs glomiques sont rares et, plus particulièrement, les tumeurs glomiques jugulaires qui touchent en moyenne 1 personne sur 1,3 millions. Leur évolution est lente et leurs principales complications sont dues à un envahissement des structures adjacentes.

Malgré les progrès du traitement chirurgical, celui-ci est tout de même grevé d'un nombre non négligeable de complications. On retrouve dans les séries chirurgicales publiées, des taux d'AVC de 8-20%, des atteintes des nerfs crâniens de 33-44%, et une mortalité opératoire de 5-13% (18). Les complications chirurgicales s'expliquent par la complexité de cette anatomie.

La radiochirurgie par Gamma Knife® est utilisée avec des résultats tout à fait intéressants dans ce type d'indication. Une première série montre un taux de contrôle de 18 patients sur 19 sans aucune complication (19). Les excellents résultats en contrôle local ont été confirmés par une deuxième série de 14 patients avec 100% de contrôle, mais cette fois avec une perte de la capacité auditive chez 3 patients (20). Le suivi le plus long (52 à 97 mois) après traitement par Gamma Knife® a été rapporté dans une petite série de 8 patients (21). On y note une diminution de taille de la tumeur chez 5 des patients et aucune augmentation pour les 3 patients restants. Une étude menée par Liscák et al, reprenant différentes séries comptabilisant au total 66 patients, montre pour 47 patients, avec un suivi en moyenne de 2 ans, une diminution du glomus

TABEAU IV. COMPARAISON DU CYBERKNIFE® VERSUS GAMMA KNIFE® POUR LES MAV

Année	Auteur	n	M	Dose	Fx	Taux d'oblitérations	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=3$)	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=10$)
2004	Maruyama (16)	50	GK	20	1	66%	92 Gy	50 Gy
2008	Sun (17)	127	GK/LINAC	18	1	63,8%	75,6 Gy	42 Gy
2009	Colombo (18)	102/279	CK	22.5-30	1-2	63,7%		

n = nombre de patients; M = Type de machine utilisée; Fx = Nombre de fractions; CK = CyberKnife®; GK = Gamma Knife®

TABLEAU V. COMPARAISON DU CYBERKNIFE® VERSUS GAMMA KNIFE® POUR L'ÉPILEPSIE TEMPORALE

Année	Auteur	n	M	Dose	Fx	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=3$)	Equivalence de dose ($\alpha/\beta=10$)
2007	Rheims(20)	15	GK	21	1	100,8 Gy	54,25 Gy
2009	Barbaro (19)	30	GK	20-24	1	110 Gy	58,6 Gy
2010	Chang (21)	13	GK	20-24	1	110 Gy	58,6 Gy

n = nombre de patients; M = Type de machine utilisée;
Fx = Nombre de fractions; CK = CyberKnife®; GK = Gamma Knife®

chez 40% et une stabilisation chez 60% (22). Au niveau des déficits neurologiques, après traitement, 15 patients ont été améliorés et 3 patients se sont détériorés, 1 transitoirement et 2 définitivement.

Les études avec le CyberKnife® ou accélérateur linéaire dédié ont démontré le même niveau de contrôle. Une étude sur 10 tumeurs, traitées avec des doses variant entre 16 et 25 Gy, rapporte un taux de contrôle de 100%, sans aucun effet secondaire persistant (23).

La figure 3 reprend le planning de traitement d'une tumeur glomique traitée au CHU de Liège avec le système CyberKnife®.

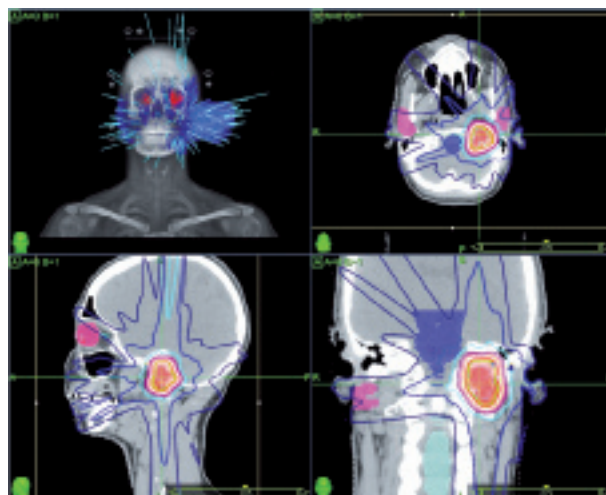


Figure 3 : Distribution de la dose pour une tumeur glomique, considérée de par son extension et son volume comme non opérable. La lésion a été traitée au CHU de Liège avec le système CyberKnife®.

semble démontrer une certaine efficacité en utilisant le CyberKnife®. Le patient a été traité de façon totalement non invasive. Il a bénéficié d'une seule séance de radiothérapie. L'avantage potentiel de cette technique, par rapport à l'approche chirurgicale est la possibilité de sauvegarder la fonctionnalité du trijumeau. Certaines équipes italiennes envisagent de conduire des études de phase 2 pour cette indication.

CLUSTER HEADACHES

Le «cluster headache» ou algie vasculaire de la face est un syndrome caractérisé par des épisodes de céphalées importantes accompagnées de symptômes de dysautonomie incluant, entre autres, ptosis, myosis, larmolement, injection conjonctivale et rhinorrhée. Le traitement de cette pathologie est médicamenteux, mais certains patients y sont résistants et peuvent bénéficier d'autres techniques visant principalement à détruire le nerf trijumeau. Ce dernier est mis en cause dans cette pathologie, et sa destruction, bien que potentiellement efficace d'un point de vue thérapeutique, amène irrémédiablement des effets secondaires liés à sa dénervation.

On a pu montrer sur une série de 66 patients traités par radiofréquence sur le ganglion ptérygo-palatin, un soulagement des symptômes chez 56%, un soulagement partiel chez 26% et aucune différence chez 18% de ces patients (24). Cette série illustre donc le potentiel thérapeutique de toute approche visant la lésion du ganglion.

Dans le contexte du «cluster headache», un cas rapporté, publié par l'équipe de Stanford (Lad et al, 24), mérite l'attention. Cette équipe

CONCLUSION

La radiothérapie en conditions stéréotaxiques offre une alternative efficace et moins coûteuse à la chirurgie et, ceci, pas uniquement pour des indications tumorales bénignes. Plus encore que pour les indications tumorales, il est important d'éviter les effets secondaires au niveau des tissus sains quand on l'envisage pour des cibles fonctionnelles. Le CyberKnife®, spécialement conçu et développé pour l'approche stéréotaxique guidée par imagerie, a comme avantages sa possibilité de fractionner le traitement, sa capacité de suivre le mouvement de la cible si nécessaire, et à ce jour, est la seule modalité disponible pour répondre aux critères d'indice de conformité tels qu'établis par le RTOG (Radiation Therapy Oncology Group) en ce qui concerne des cibles de petite taille (25). L'homogénéité de la distribution de la dose par son approche non isocentrique et son balayage de la cible est un autre atout considérable dans l'effort de réduction de complications, et de ce fait, le CyberKnife® se démarque des autres solutions techniques pour la radiothérapie crânienne en conditions stéréotaxiques.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cho CB, Park HK, Joo WI, et al.— Stereotactic Radiosurgery with the CyberKnife for Pituitary Adenomas. *J Korean Neurosurg Soc*, 2009, **45**, 157-163.
2. Killory BD, Kresl JJ, Wait SD, et al.— Hypofractionated CyberKnife radiosurgery for perichiasmatic pituitary adenomas: early results. *Neurosurgery*, 2009, **64**, 19-25.
3. Sheehan JP, Pouratian N, Steiner L, et al.— Gamma Knife surgery for pituitary adenomas: factors related to radiological and endocrine outcomes. *J Neurosurg*, 2010, **114**, 303-309.
4. Kondziolka D, Mathieu D, Lunsford LD, et al.— Radiosurgery as definitive management of intracranial meningiomas. *Neurosurgery*, 2008, **62**, 53-58.
5. Colombo F, Casentini L, Cavedon C, et al.— Cyberknife radiosurgery for benign meningiomas: short-term results in 199 patients. *Neurosurgery*, 2009, **64**, 7-13.
6. Pollock BE, Stafford SL, Utter A, et al.— Stereotactic radiosurgery provides equivalent tumor control to Simpson Grade I resection for patients with small- to medium-size meningiomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, **55**, 1000-1005.
7. Kondziolka D, Perez B, Flickinger JC, et al.— Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: results and expectations. *Arch. Neurol*, 1998, **55**, 1524-1529.
8. Villavicencio AT, Lim M, Burneikiene S, et al.— Cyberknife radiosurgery for trigeminal neuralgia treatment: a preliminary multicenter experience. *Neurosurgery*, 2008, **62**, 647-655.
9. Lim M, Villavicencio AT, Burneikiene S, et al.— Cyberknife radiosurgery for idiopathic trigeminal neuralgia. *Neurosurg Focus*, 2005, **18**, 9.
10. Borchers JD, Yang H-J, Sakamoto GT, et al.— Cyberknife stereotactic radiosurgical rhizotomy for trigeminal neuralgia: anatomic and morphological considerations. *Neurosurgery*, 2009, **64**, 91-95.
11. Fariselli L, Marras C, De Santis M, et al.— CyberKnife radiosurgery as a first treatment for idiopathic trigeminal neuralgia. *Neurosurgery*, 2009, **64**, 96-101.
12. Martin T, Mark RJ, Smith H, et al.— Gamma Knife Radiosurgery (GKRS) in the Management of Trigeminal Neuralgia (TN) : Median 10 Year Follow-up of 538 Patients. *Int J Rad Oncol Biol Phys*, 2010, **78**, S7-S8.
13. Maruyama K, Kondziolka D, Niranjan A, et al.— Stereotactic radiosurgery for brainstem arteriovenous malformations : factors affecting outcome. *J Neurosurg*, 2004, **100**, 407-413.
14. Sun DQ, Carson KA, Raza SM, et al.— The radiosurgical treatment of arteriovenous malformations : obliteration, morbidities, and performance status. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, **80**, 354-361.
15. Colombo F, Cavedon C, Casentini L, et al.— Early results of CyberKnife radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg*, 2009, **111**, 807-819.
16. Régis J, Rey M, Bartolomei F, et al.— Gamma knife surgery in mesial temporal lobe epilepsy : a prospective multicenter study. *Epilepsia*, 2004, **45**, 504-515.
17. Barbaro NM, Quigg M, Broshek DK, et al.— A multicenter, prospective pilot study of gamma knife radiosurgery for mesial temporal lobe epilepsy : seizure response, adverse events, and verbal memory. *Ann Neurol*, 2009, **65**, 167-175.
18. Chretien PB, Engelman K, Hoyer RC, et al.— Surgical management of intravascular glomus jugulare tumor. *Am J Surg*, 1971, **122**, 740-743.
19. Eustacchio S, Trummer M, Unger F, et al.— The role of Gamma Knife radiosurgery in the management of glomus jugular tumours. *Acta Neurochir*, 2002, **84**, 91-97.
20. Liscák R, Vladyka V, Simonová G, et al.— Leksell gamma knife radiosurgery of the tumor glomus jugulare and tympanicum. *Stereotact Funct Neurosurg*, 1998, **70**, 152-160.
21. Bari ME, Kemeny AA, Forster DMC, et al.— Radiosurgery for the control of glomus jugulare tumours. *J Pak Med Assoc*, 2003, **53**, 147-151.
22. Liscák R, Vladyka V, Wowra B, et al.— Gamma Knife radiosurgery of the glomus jugulare tumour - early multicentre experience. *Acta Neurochir*, 1999, **141**, 1141-1146.
23. Lim M, Gibbs IC, Adler JR, et al.— The efficacy of linear accelerator stereotactic radiosurgery in treating glomus jugulare tumors. *Technol Cancer Res Treat*, 2003, **2**, 261-265.
24. Lad SP, Lipani JD, Gibbs IC, et al.— Cyberknife targeting the pterygopalatine ganglion for the treatment of chronic cluster headaches. *Neurosurgery*, 2007, **60**, 580-581.
25. Schoonbeek A, Monshouwer R, Hanssens P, et al.— Intracranial radiosurgery in the Netherlands. A planning comparison of available systems with regard to physical aspects and workload. *Technol Cancer Res Treat*, 2010, **9**, 279-290.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au
Pr Ph. Coucke, Service de Radiothérapie, CHU de
Liège, 4000 Liège, Belgique
E-mail : pcoucke@chu.ulg.ac.be