



Extrait du L'encyclopédie neurochirurgicale

<http://www.neurochirurgica.org/spip.php?article17>

Névralgies du Trijumeau : indications et techniques chirurgicales

- Techniques chirurgicales -

Date de mise en ligne : mardi 4 novembre 2014

Description :

Résumé : La neurochirurgie moderne permet dans presque tous les cas de guérir ou au moins de contrôler la douleur des névralgies trigéminales essentielles. Lorsque celles-ci deviennent pharmacorésistantes, l'on peut avoir recours à deux grands types de méthodes chirurgicales. Les premières correspondent à l'interruption des voies vectrices des phénomènes douloureux. Elles se font soit par voie percutanée : thermocoagulation, compression par ballonnet gonflable ou injection de glycérol, soit par radiochirurgie stéréotaxique. Le second type de méthode – qui est la première option parce que curative et conservatrice - est la décompression vasculaire microchirurgicale. Elle lève le conflit vasculo-nerveux sur la racine ganglionnaire, cause la plus fréquente de la névralgie essentielle.

L'encyclopédie neurochirurgicale

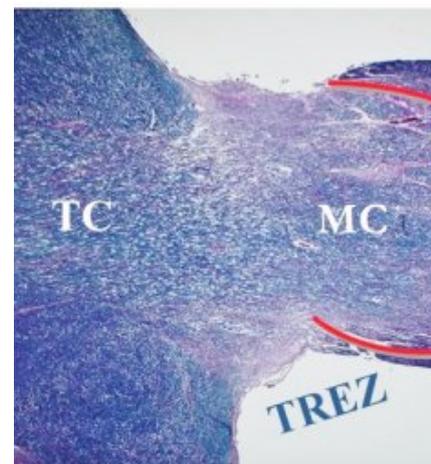
Résumé : La neurochirurgie moderne permet dans presque tous les cas de guérir ou au moins de contrôler la douleur des névralgies trigéminales essentielles. Lorsque celles-ci deviennent pharmacorésistantes, l'on peut avoir recours à deux grands types de méthodes chirurgicales. Les premières correspondent à l'interruption des voies vectrices des phénomènes douloureux. Elles se font soit par voie percutanée : thermocoagulation, compression par ballonnet gonflable ou injection de glycérol, soit par radiochirurgie stéréotaxique. Le second type de méthode - qui est la première option parce que curative et conservatrice - est la décompression vasculaire microchirurgicale. Elle lève le conflit vasculo-nerveux sur la racine trigéminal, cause la plus fréquente de la névralgie essentielle.

I. Définition

La névralgie essentielle (= primaire) du trijumeau - encore appelée classique dans la nomenclature internationale [12] touche principalement l'adulte dans la seconde moitié de la vie. Elle se caractérise dans sa forme typique par des douleurs paroxystiques, fulgurantes, unilatérales et strictement localisées à une ou plusieurs branches du trijumeau. La normalité de l'examen neurologique et la négativité des examens paracliniques la différencient des névralgies symptomatiques (=secondaires), de pathologies bien définies. La névralgie classique peut être typique, purement paroxystique, ou atypique, comportant alors un fond douloureux permanent associé aux douleurs paroxystiques [6, 42, 48, 49, 51]. Le traitement médical de la névralgie essentielle est avant tout fondé sur les anticonvulsivants. Lorsque la névralgie résiste aux thérapeutiques médicamenteuses et/ou lorsque ces dernières sont mal supportées, le recours à la neurochirurgie fonctionnelle se justifie. [1, 2]

Sur le plan de son mécanisme, la névralgie « essentielle » est une douleur épileptiforme, qui répond dans presque tous les cas - au moins au début - aux anticonvulsivants. Elle est liée le plus souvent (environ neuf fois sur dix) à la présence d'une compression vasculaire au niveau de la racine sensitive du trijumeau dans l'angle ponto-cérébelleux (7, 9, 13, 34). Cette névralgie, de mécanisme à la fois périphérique et central, est générée par les lésions créées par la compression et les pulsations du vaisseau conflictuel le plus souvent une mégadolicho-artère cérébelleuse, plus rarement une veine ectatique. Ces lésions siègent majoritairement au niveau de la Zone d'Entrée de la Racine dans le pont (REZ = Root Entry Zone) - zone qui correspond à la portion centrale de la racine et à la zone transitionnelle [10] (Figure 1). La compression et l'agression du vaisseau conflictuel créent une démyélinisation focale généralement visible lors de la chirurgie sous microscope opératoire, tout comme à l'exploration IRM tractographique [19] et induisent un foyer ectopique d'influx parasites, ainsi que des court-circuits entre les fibres à travers les plages de démyélinisation (= ephapses) [8, 9]. De surcroît il est vraisemblable que le bombardement des centres par les influx ectopiques entraîne une hypersensibilité et une hyperactivité des noyaux du système trigéminal dans le tronc cérébral, et peut-être même à la longue au niveau des structures cérébrales plus hautement situées.

[<](IMG/jpg/fig.1.jpg "JPEG - 209 ko")



Portion centrale de la racine trigéminal

Figure 1 :

Portion centrale de la racine trigéminal

La racine du trijumeau, comme d'ailleurs celles de tous les nerfs crâniens de l'angle ponto-cérébelleux, est constituée d'une portion centrale - évagination du tissu du tronc cérébral (TC) - où la myéline est de type central (MC), c.à.d. oligodendrocytaire, et d'une portion périphérique où la myéline qui enrobe les fibres nerveuses est de type schwannien (MP). Ces deux portions se joignent dans la citerne au niveau de la classique zone transitionnelle (ZT) de Obersteiner - Redlich. Par convention, la zone d'entrée de la racine sensitive dans le pont, la classique Trigéminal Root Entry Zone (TREZ) inclue la ZT, la portion centrale (MC) et la partie adjacente du pont où courent les fibres trigéminales se rendant au noyau spinal à travers le tractus descendant. Cette région est considérée comme relativement plus « excitable » que la portion périphérique. Elle est le siège de la majorité des conflits vasculo-nerveux. La longueur de la portion centrale a été calculée de $4.2 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$, pour une longueur globale de la racine dans son segment cisternal de $13.10 \text{ mm} \pm 1.12$.

De diagnostic facile dans les formes typiques, et cela sur les seuls critères cliniques et la sensibilité aux anticonvulsivants, le diagnostic peut être difficile dans les formes atypiques ou vieilles. De façon à éliminer une névralgie « secondaire », il faut demander des avis spécialisés et réaliser des explorations complémentaires, en particulier une IRM encéphalique, ces névralgies secondaires relevant de traitements spécifiques. Une fois reconnue la névralgie essentielle requiert un traitement par anticonvulsivants. En cas d'échappement et/ou d'intolérance à ces médicaments, les méthodes chirurgicales actuelles permettent d'apporter la guérison dans la plupart des cas. La Décompression Vasculaire Micro-Chirurgicale (DVMC) en est la première option, car elle s'adresse à la cause et est conservatrice. Les Techniques lésionnelles percutanées ou la Radiochirurgie stéréotaxique sont de seconde option, car palliatives.

Les données de la littérature concernant ces techniques sont détaillées dans le rapport à la Société de Neurochirurgie de Langue Française de Mai 2009 intitulé : « Neurochirurgie fonctionnelle dans les syndromes d'hyperactivité des nerfs crâniens » par Sindou et Keravel [37].

++++

Données d'observation anatomo-pathologiques

Les constatations opératoires faites chez les patients ayant eu un abord direct de la racine trigéminal font état d'une compression vasculaire de la racine dans 93% des cas en moyenne d'après la littérature. Dans une série personnelle de 579 patients opérés [35], 96,7% avaient un vaisseau en position conflictuelle, allant du stade de simple contact dans 17,6 % des cas, à celui d'indentation dans 33,2%, en passant par celui de déplacement/déformation de la racine dans 49,2% des cas. En d'autres termes, seulement 3,3% des patients de la série ne présentaient aucune compression vasculaire visible à l'exploration opératoire. L'agent vasculaire responsable était :

1. une dolicho-artère cérébelleuse supérieure - seule ou en association avec un autre (ou plusieurs autres) vaisseau(x) conflictuel(s) - dans 88% des cas,
2. une dolicho- artère cérébelleuse antéro-inférieure (seule ou en association) dans 25,1% des cas,
3. une veine enchâssée dans la racine (isolément dans 7% des cas ou en association avec une artère dans 20,5% des cas),
4. une mégadolicho-artère vertébrobasilaire (seule ou en association) dans 3,5% des cas.

Fait capital expliquant ces pourcentages dont la somme est supérieure à 100%, il existait plusieurs vaisseaux conflictuels en association chez le même patient dans 37,8% des cas. Le fait de ne pas les reconnaître tous, et donc de les traiter tous, pourrait aboutir à un échec ou une récurrence après traitement (Figure 2).

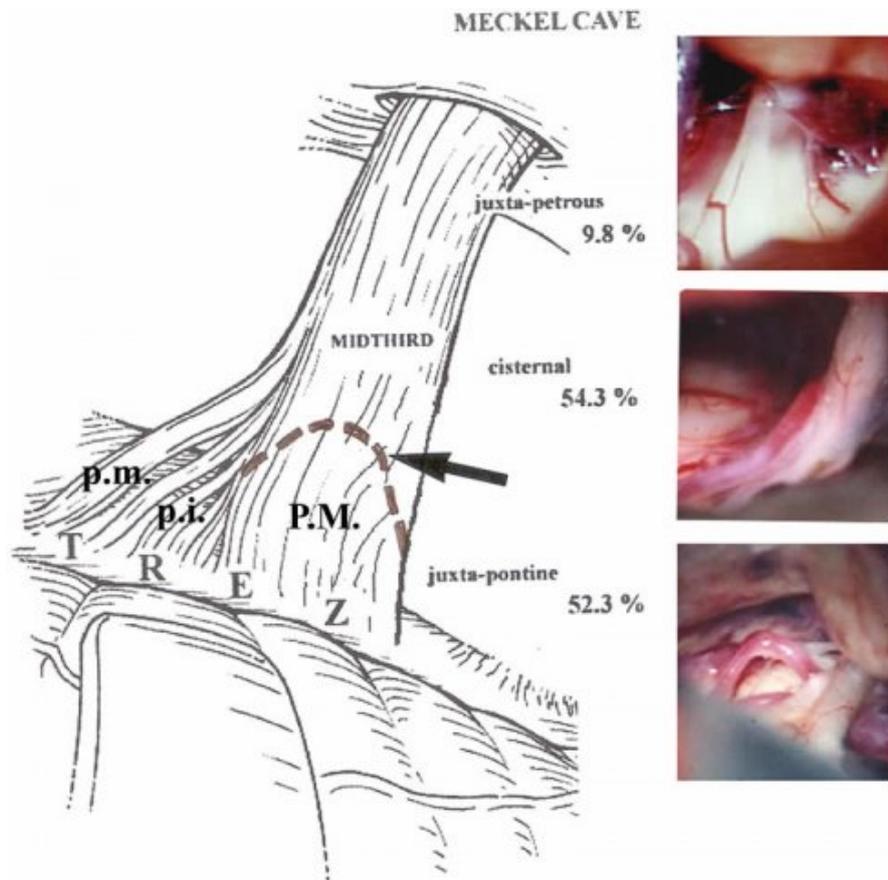


Figure 2 :

Localisation des conflits vasculo-nerveux le long de la racine trigéminal (sur un schéma en vue postérieure, à droite).

Dans notre étude [36], les conflits étaient localisés :

1. Sur la portion juxtapontique, c.à.d. la TREZ (Trigeminal Root Entry Zone), dans 52,3% des cas, comme sur cette vue opératoire d'une artère cérébelleuse supérieure pulsant dans « l'aisselle » de la racine, au niveau de la portion centrale de la racine.
2. Au niveau de la portion médio-cisternale, dans 54.2% des cas, comme cette artère cérébelleuse supérieure reposant « en hamac » sur la racine et exerçant un étirement de celle-ci et une traction pulsatile sur la TREZ ;
3. A la portion juxta-pétreuse après la sortie de la racine du porus de Cavum de Meckel, dans 9.8% des cas. Dans l'exemple correspondant, la compression vasculaire était celle d'une veine transverse inférieure ; l'empreinte que cette veine exerçait sur la racine est bien visible sous la forme d'une zone de demyélinisation focale, de couleur grisâtre, pouvant être le siège d'influx ectopiques parasites et de court-circuits entre les fibres (= phénomènes ephaptiques).

[P .M . : pars major, p.i . : pars intermediaris, p.m . : pars minor]

En association aux conflits vasculo-nerveux ont été souvent observées d'importantes altérations de la racine. C'est ainsi que dans notre série chez 42% des patients existait une atrophie globale de la racine, correspondant vraisemblablement à une neuropathie coexistante. Chez 18,2% des patients, existait un épaissement local de l'arachnoïde, adhésif à la racine. Chez 12,6% des patients la racine faisait une angulation marquée à son passage sur le bord supérieur du rocher à sa sortie du cavum de Meckel. Enfin dans 3,9% la racine était comprimée entre le pont et le rocher du fait de la petitesse de la fosse cérébrale postérieure [24]. Toutes ces associations pathologiques doivent être prises en considération dans l'indication et lors de la décompression chirurgicale du nerf. Une étude fine

par IRM permet de prévoir et donc de tenir compte, pour et dans la chirurgie, de chacune de ces anomalies.

++++

II. — Historique : description principes et évolutions ultérieures

La première intervention proposée fut la gassérectomie. Imaginée par Ewing Wears (1885), elle fut exécutée peu après par Roos (1890) puis par Hartley, Horsley, Cushing. Mais elle fut rapidement abandonnée du fait de la survenue fréquente de kératites et d'anesthésies douloureuses de la face.

C'est Frazier (1901) qui, à l'instigation de Spiller mit au point la neurotomie rétro-gassérienne par voie sous-temporale extradurale. Puis Dandy (1920) développa la radicotomie juxta-protubérantielle par voie sousoccipitale-latérocérébelleuse ; limitée à la pars major, elle permet d'obtenir une analgésie sans anesthésie complète de l'hémiface.

En 1938, Sjoqvist réalisa la tractotomie trigéminal qui sectionne au niveau du bulbe le tractus descendant spinal du trijumeau, vecteur des fibres de la sensibilité thermoalgésique faciale. Celle-ci fut ensuite affinée et popularisée par Kunc (1970).

En 1952, Taarnhoj, supposant que la névralgie faciale pouvait être due à une constriction du ganglion de Gasser par une sclérose de la dure-mère du cavum de Meckel, développa la décompression du ganglion par ouverture du toit du cavum. Cette technique, dont l'intérêt était d'être conservatrice, fut abandonnée en raison de ses nombreuses récurrences. Peu de temps après Sheldon (1955) interprétant les bons résultats immédiats obtenus par la méthode de Taarnhoj comme dus au traumatisme opératoire des fibres nerveuses, proposa le martellement du ganglion par abord direct.

Dans le même temps, pour pallier les risques des interventions par abord direct, se développèrent des techniques percutanées. L'alcoolisation du ganglion de Gasser qui fut proposée dès 1906 par Taptas. Harris (1912) en décrit la voie d'abord latérale et Hartel (1913) la voie par le foramen ovale. Au lieu d'alcool, Jaeger proposa en 1957 l'injection d'eau chaude au niveau du ganglion, et Jefferson, en 1963 de phénol (1/20 dans la glycérine). En 1941, Kirschner développa l'électrocoagulation sous anesthésie générale par approche stéréotaxique du ganglion à travers le foramen ovale. Cette technique fut ensuite améliorée par Thiry (1962) qui utilisa un courant de moindre intensité de façon à éviter la perte totale de la sensibilité tactile, puis par Schürmann (1972) qui remplaça l'anesthésie générale par une neuroleptanalgie pour contrôler en peropératoire les effets de la coagulation.

Sweet (1969) la raffina encore pour en faire l'actuelle thermocoagulation différentielle contrôlée du trijumeau, en utilisant un générateur à haute fréquence comme source de chaleur, une thermistance pour mesurer la température en bout d'électrode, et une anesthésie générale brève lors des temps douloureux de l'intervention et de très brève durée pour permettre la coopération du malade. Cette dernière méthode est capable d'obtenir une analgésie sans anesthésie complète et du seul territoire douloureux. Toujours dans le cadre des techniques percutanées, Hakanson introduisit en 1981 la neurolyse du ganglion de Gasser par injection de glycérol dans la citerne trigéminal du cavum de Meckel par la voie du foramen ovale. Également par la même voie, Mullan développa en 1979 la compression percutanée du ganglion de Gasser par ballonnet gonflable.

C'est en 1951 que Leksell appliqua la technique de radiochirurgie stéréotaxique par gamma-knife à la névralgie du

trijumeau, en prenant pour cible le ganglion de Gasser. Mais cette méthode ne perdit son caractère anecdotique qu'à l'avènement de l'IRM fine que rendit possible le guidage du rayonnement.

Parallèlement à ces méthodes lésionnelles se développa par étapes successives la méthode conservatrice de décompression vasculaire microchirurgicale. Cette méthode repose sur la constatation (fréquente) faite par Dandy en 1934, puis Lazorthes en 1964, de conflits vasculaires chez les malades opérés dans l'angle ponto-cérébelleux pour névralgie essentielle de façon à l'époque à y réaliser une radicotomie juxta-protubérantielle. La simple décompression vasculaire ne fut réalisée pour la première fois qu'en 1959 par Gardner. Elle fut ensuite popularisée (par voie sous-temporale extradurale transtentorielle) par Jannetta à partir de 1966, puis par Hardy de Montréal (par voie rétromastoïdienne) en 1970. C'est cette dernière voie qui est maintenant pratiquée, particulièrement depuis que Jannetta l'eut codifiée en y adaptant les techniques microchirurgicales.

++++

III. Anatomie microchirurgicale et topographique

" Anatomie structurale de la racine trigéminal

La racine du trijumeau, comme d'ailleurs celles de tous les nerfs crâniens de l'angle ponto-cérébelleux, est constituée d'une portion centrale - évagination du tissu du tronc cérébral (TC) - où la myéline est de type central (MC), c.à.d. oligodendrocytaire, et d'une portion périphérique où la myéline qui enrobe les fibres nerveuses est de type schwannien (MP). Ces deux portions se joignent dans la citerne au niveau de la zone classique transitionnelle (ZT) de Obersteiner - Redlich. Par convention, la zone d'entrée de la racine sensitive dans le pont, la classique Trigeminal Root Entry Zone (TREZ) inclue la ZT, la portion centrale (MC) et la partie adjacente du pont où courent les fibres trigéminales se rendant au noyau spinal à travers le tractus descendant. Cette région est considérée comme relativement plus « excitable » que la portion périphérique. Elle est le siège de la majorité des conflits vasculo-nerveux. La longueur de la portion centrale a été calculée de $4.2 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$, pour une longueur globale de la racine dans son segment cisternal de $13.10 \text{ mm} \pm 1.12$. [10]

" Anatomie macroscopique et topographique du système trigéminal

Il existe au niveau de ganglion trigéminal et de la racine sensitive une somatotopie des fibres sensibles, comme l'illustre la (Figure 3).

Somatotopia

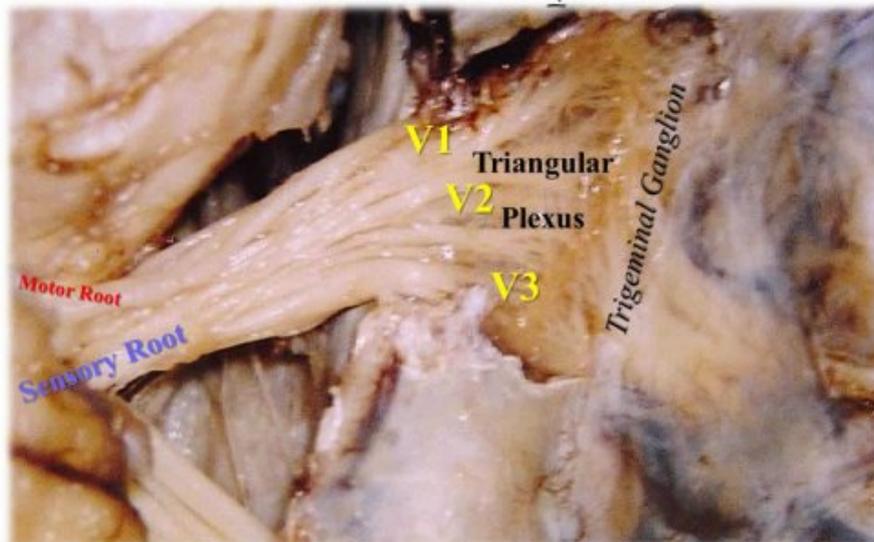


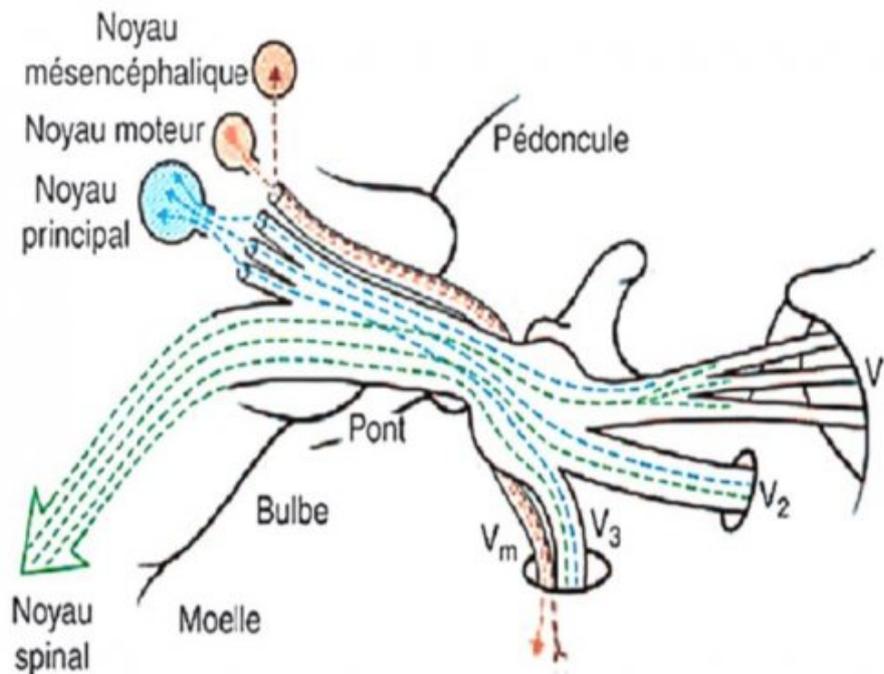
Figure 3 :

A) Somatotopie sensitive du trijumeau (système trigéminal en vue latérale à droite après résection du toit du Cavum de Meckel)

Il existe au niveau de ganglion trigeminal, ainsi que du plexus triangulaire et de la racine sensitive, une somatotopie des fibres sensitives. Les fibres centripètes, émanant des neurones bipolaires en T situés dans le ganglion, prédominent en inféro-latéral pour celles provenant du nerf mandibulaire (V3), en supéro-médial pour celles qui correspondent au nerf ophtalmique (V1) et entre les deux pour celles du nerf maxillaire (V2). Cette disposition est plus nette dans la région immédiatement rétro-gasserienne que juxta-protubérantielle ; il se produit en effet une redistribution des fibres selon leur destination dans le tronc cérébral grâce à des anastomoses entre les contingents des trois branches, en particulier au niveau du plexus triangulaire.

D'après les connaissances sur l'anatomie fonctionnelle, après leur entrée dans le tronc cérébral les fibres ont tendance à se regrouper selon leur modalité fonctionnelle. C'est ainsi que les fibres thermo-algésiques se placent préférentiellement en inféro-latéral, c'est-à-dire dans la pars major, pour se rendre ensuite par le tractus descendant dans le noyau spinal, et que les fibres épicrotiques et proprioceptives se placent en supéro-médial c'est-à-dire dans la pars intermediaris (comme les fibres cornéennes) pour se rendre dans le noyau principal pontique. Cette disposition explique l'analgésie sans anesthésie tactile complète et sans anesthésie cornéenne, que la section sélective lors de la radicotomie partielle juxta-protubérantielle de la pars major permet d'obtenir.

Par ailleurs, les fibres proprioceptives et myotatiques du V, issues pour la plupart des muscles masticateurs, après avoir cheminé de façon rétrograde dans la pars minor, c'est-à-dire la racine motrice, forment le tractus mésencéphalique pour se terminer dans le noyau mésencéphalique. Les cellules de ce noyau envoient des fibres sur le noyau moteur (pontique) et jouent un rôle d'information dans la régulation des neurones moteurs dont les axones se regroupent pour emprunter la racine motrice.



B) Schéma des fibres sensibles. Elles sont disposées suivant une somatotopie nette en rétro-gasserien, puis ont tendance à se regrouper selon leur modalité fonctionnelle au niveau juxta-protubérien. C'est ainsi que les fibres thermo-algésiques se placent préférentiellement en inféro-latéral, c'est-à-dire dans la pars major, pour se rendre ensuite par le tractus descendant dans le noyau spinal, et que les fibres épicrotiques et proprioceptives se placent en supéro-médial c'est-à-dire dans la pars intermediaris (comme les fibres cornéennes) pour se rendre dans le noyau principal pontique. Cette disposition explique l'analgésie sans anesthésie tactile complète et sans anesthésie cornéenne, que la section sélective de la pars major lors de la radicotomie partielle juxta-protubérienne de la pars major permet d'obtenir.

Les fibres proprioceptives et myotatiques du V, issues pour la plupart des muscles masticateurs, après avoir cheminé de façon rétrograde dans la pars minor, c'est-à-dire la racine motrice, forment le tractus mésencéphalique pour se terminer dans le noyau mésencéphalique. Les cellules de ce noyau envoient des fibres sur le noyau moteur (pontique) et jouent un rôle d'information dans la régulation des neurones moteurs dont les axones se regroupent pour emprunter la racine motrice.

++++

IV. Indications chirurgicales

Décision de chirurgie

Pour la plupart des chirurgiens, les critères d'indication chirurgicale sont les suivants :

- Névralgie trigéminalle dont le caractère essentiel a été vérifié par l'imagerie spéciale. Dans les formes atypiques la nature névralgique doit être authentifiée par le fait que les antalgiques de type anticonvulsifs ont été

efficaces au moins temporairement, au moins au début (+++). Selon nous, le meilleur test diagnostique est à la Carbamazépine. En cas d'allergie ou d'intolérance, à défaut de pouvoir utiliser la Carbamazépine sur une durée suffisante pour juger de son efficacité autre anticonvulsivant peut suppléer.

- Durée d'évolution suffisante pour être assuré qu'il s'agit d'une névralgie invalidante.
- Echec du traitement médicamenteux bien conduit et/ou intolérance à celui-ci. Doit être considérée comme « intolérance », non seulement les complications et les effets secondaires néfastes ayant conduit à arrêter le (ou les) médicaments(s) en cause, mais aussi l'asthénie et le ralentissement intellectuel que le traitement entraîne. La chirurgie est maintenant suffisamment efficace pour qu'il ne soit plus justifié de prolonger exagérément un traitement médicamenteux devenu peu efficace malgré l'augmentation des doses, et/ou asthéniant avec retentissement sur la qualité de vie du patient.

++++

Imagerie pour le choix de la méthode chirurgicale

Si l'imagerie IRM-standard permet de dépister une éventuelle cause à la névralgie c'est-à-dire la faire classer comme secondaire et traiter comme telle, elle n'est pas suffisante pour étudier finement l'anatomie des nerfs de l'angle ponto-cérébelleux. La détection des conflits vasculo-nerveux (CVN) requiert une imagerie à haute résolution (c'est-à-dire millimétrique) [1, 4, 17, 18, 19, 22, 23, 26, 33]. L'IRM doit comporter - selon nous - les trois séquences spéciales suivantes, en association [17, 18, 19, 33] (Figure 4 en haut et Figure 5 en haut).

[](IMG/jpg/fig.4.jpg)

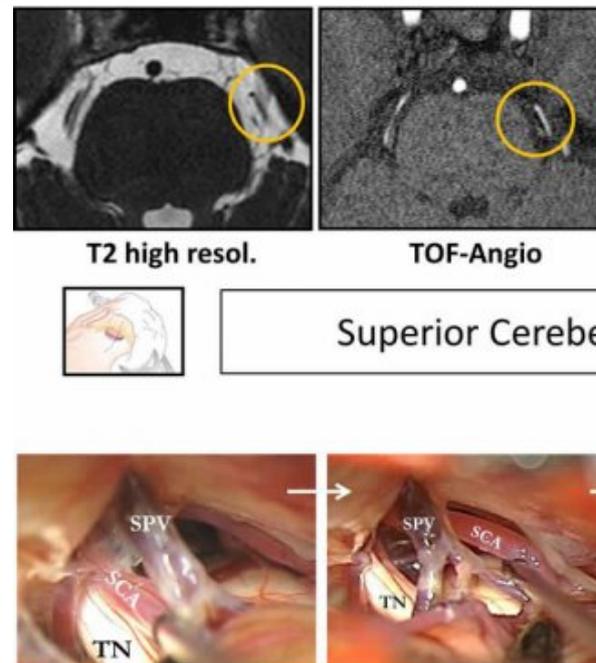


Figure 4 :

Imagerie d'un conflit artériel pur par compression de la racine trigéminal (gauche) par l'artère cérébelleuse supérieure.

" En haut : IRM, 1,5 Tesla, à haute résolution, en coupes axiales. De gauche à droite : séquence 3D T2 haute résolution montrant la racine surcroisée par le vaisseau conflictuel, séquence 3D Time of Flight-Angio, et séquence 3D T1 avec gadolinium. Noter que le vaisseau conflictuel identifiable en T2 est non seulement visible en T1 avec gadolinium, mais aussi en TOF ce qui permet de conclure qu'il s'agit d'un vaisseau à haut flux, c.à.d. plutôt artériel, en l'occurrence l'artère cérébelleuse supérieure.

" En bas : Vue sous microscopique opératoire du conflit artériel exercé par l'artère cérébelleuse sur la face supérieure de la racine dans le citerne de l'angle ponto-cérébelleux (photo de gauche). L'artère est détachée et écartée de la racine (photo du milieu), puis maintenue à distance vers le haut par une petite pièce de Teflon (photo de droite). TN : Nerf trigeminal, SCA : Artère Cérébelleuse Supérieure, SPV : Veine Pétreuse Supérieure

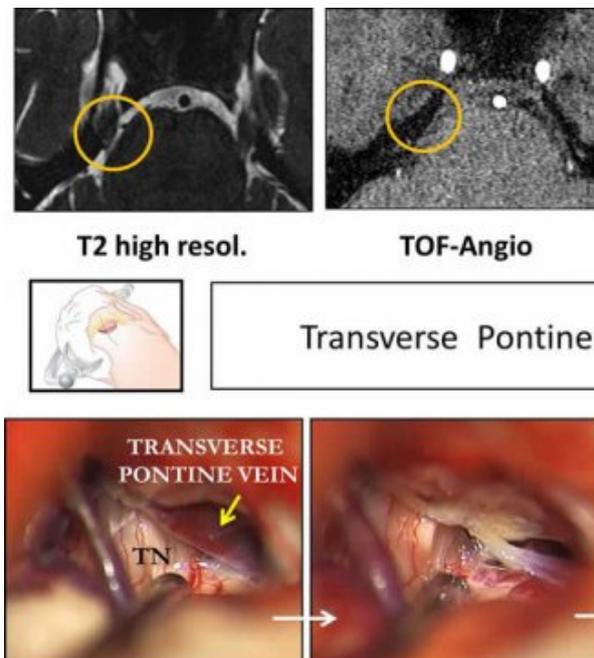


Figure 5 :

Imagerie d'un conflit veineux pur par compression de la racine trigéminal (droite) par la veine pontique transverse inférieure, dans une citerne de l'angle ponto -cérébelleux de très petite capacité.

" En haut : IRM, 1,5 Tesla, à haute résolution, en coupes axiales. De gauche à droite : séquence 3D T2 haute résolution montrant la racine souscroisée par le vaisseau conflictuel, séquence 3D Time of Flight (TOF) Angio, et séquence 3D T1 avec gadolinium. Noter que le vaisseau conflictuel identifiable en T2 n'est pas visible en TOF mais apparent en T1 avec gadolinium, ce qui correspond à un aspect évocateur d'un conflit veineux.

" En bas : Vue sous microscope opératoire du conflit veineux exercé par la veine pontique transverse sur la face inférieure de la racine trigéminal droite à sa sortie du porus du Cavum de Meckel (photo de gauche). Après coagulation de la veine à la pince bipolaire (photo du milieu), celle-ci à été sectionnée aux microciseaux pour libérer la racine de sa compression (photo de droite).

1. La séquence 3 D-T2 haute résolution donne des images fines avec un bon contraste entre le liquide cérébrospinal (en hypersignal) d'une part et les structures vasculaires et nerveuses (en hyposignal) d'autre part, réalisant une véritable cisternographie. NB : Cette séquence porte un nom différent selon la machine utilisée : Constructive Interference in Steady-State (CISS) chez Siemens, Fast Imaging Employing steady-State Acquisition (FIESTA) chez General Electric Medical Systems, DRIVEN Equilibrium (DRIVE) chez Philips. La limite de cette séquence 3D-T2 haute résolution est l'absence de différenciation entre vaisseaux et nerfs ; c'est pourquoi elle doit être complétée par les séquences suivantes.
2. La séquence 3D - Time of Flight - Angiographie par résonance magnétique (3D-TOF-Angio) visualise en hypersignal les vaisseaux à haut flux, nommément les artères, surtout si la séquence inclue un filtre de pré-saturation.
3. La séquence 3D-T1 avec injection de Gadolinium met en évidence (en hypersignal) toutes les structures vasculaires, c'est-à-dire non seulement les artères mais aussi les veines. Ainsi par la comparaison des images des deux dernières séquences est-il possible de différencier les veines des artères et d'identifier précisément les compressions vasculaires responsables de conflits vasculo-nerveux.

La fiabilité de l'exploration IRM à haute définition, lorsque elle comporte l'association des trois séquences, est forte. C'est ainsi qu'une étude prospectrice récente, comparant les données de cette imagerie, aux données opératoires

dans 100 cas consécutifs, établissait que la sensibilité de l'exploration était de 96,7 % et sa spécificité de 100 % [18]. Qui plus est, une telle exploration IRM permettait de prédire le type de vaisseau(x) responsable(s) dans 88 % des cas, la localisation le long de la racine et le siège autour de la racine dans 85,7 % et 84,6 %, respectivement et, encore plus important, le degré de compression / distorsion / indentation de la racine par le vaisseau conflictuel dans 84,6 % des cas, avec un $\Delta < 0.01$ [18].

Un appareillage IRM 3 Tesla donne des images plus performantes qu'un appareillage 1.5 Tesla [19]. Cependant ce dernier, c.-à-d. à 1.5 Tesla, fournit des renseignements presque aussi fiables, pourvu que l'examen soit bien fait.

++++

V. Critères requis pour poser l'indication (cliniques, d'imagerie...)

Du fait de la multiplicité de l'arsenal chirurgical, le choix du traitement neurochirurgical reste difficile et encore controversé. Avant d'aborder l'arbre décisionnel que nous proposons (Figure 6), il nous paraît important de prendre en considération les préliminaires suivants :

- Le recul est désormais suffisant pour juger de l'efficacité à long terme de la décompression vasculaire. Quatre publications rapportent la courbe actuarielle des résultats à dix ans ou plus [3, 5, 42, 47] ; le pourcentage de guérison y est de 78,2% à dix ans et reste à peu près stable ensuite.
- Une étude récente comparant les résultats de la radiochirurgie stéréotaxique (RS) avec ceux de la décompression vasculaire microchirurgicale (DVMC) fait état de succès à quatre ans de 54% pour la RS versus 77% pour la DVMC ($\Delta=0,003$) [29].
- L'étude des résultats obtenus par les techniques « lésionnelles » - c'est-à-dire l'interruption des fibres radiculaires du trijumeau - montre qu'il existe une proportionnalité nette entre la durée d'efficacité de cette chirurgie et le degré d'hypoesthésie laissée par l'intervention, et cela quelle que soit la modalité technique utilisée [46]. De même, les études à long-terme montrent que les effets antalgiques obtenus par la radiochirurgie sont d'autant meilleurs que la radiolésion a entraîné une hypoesthésie [28]. Cependant pour certains auteurs [29, 30] il n'est pas nécessaire que cette hypoesthésie soit importante, voire même présente, pour qu'il y ait un effet antalgique.

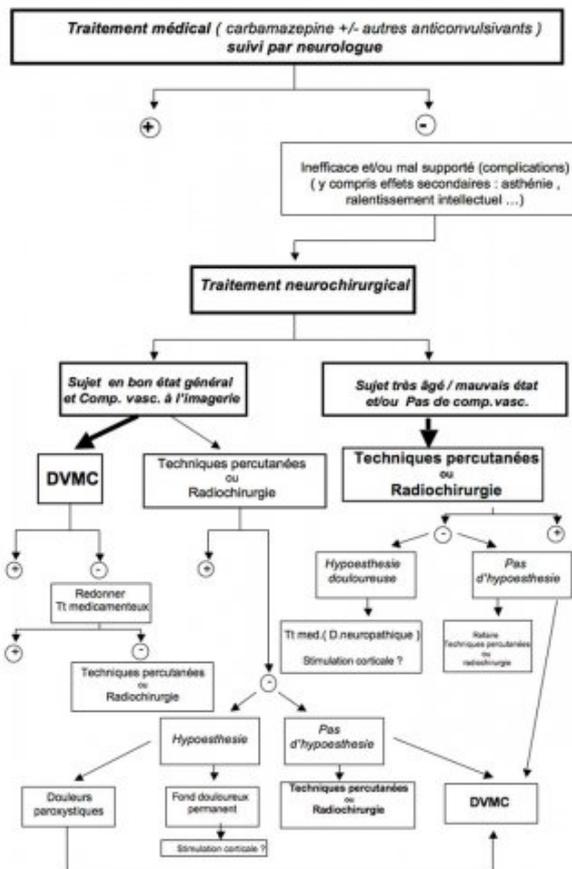


Figure 6 : Arbre décisionnel pour le traitement neurochirurgical de la névralgie trigéminal essentielle.

En ce qui concerne le degré d'hypoesthésie, garant de l'effet à long terme des méthodes lésionnelles, plusieurs options peuvent être envisagées. L'obtention d'un effet antalgique durable peut être privilégiée ; mais cela ne peut être qu'au prix d'une hypoesthésie nette. Cette hypoesthésie est toujours responsable d'un inconfort, parfois d'une gêne fonctionnelle. Dans certains cas, heureusement peu fréquents, il peut s'y ajouter un syndrome d'anesthésie douloureuse. A l'inverse, au choix d'éviter une hypoesthésie s'associe inévitablement un taux de récurrence nettement plus élevé. Le choix entre les deux options est guidé par la préférence du chirurgien et surtout celle du patient, dûment éclairé. Les raisons de ce choix peuvent être formulé dans le document d'information au patient.

++++

VI. DECOMPRESSION VASCULAIRE MICROCHIRURGICALE (Figure 7)

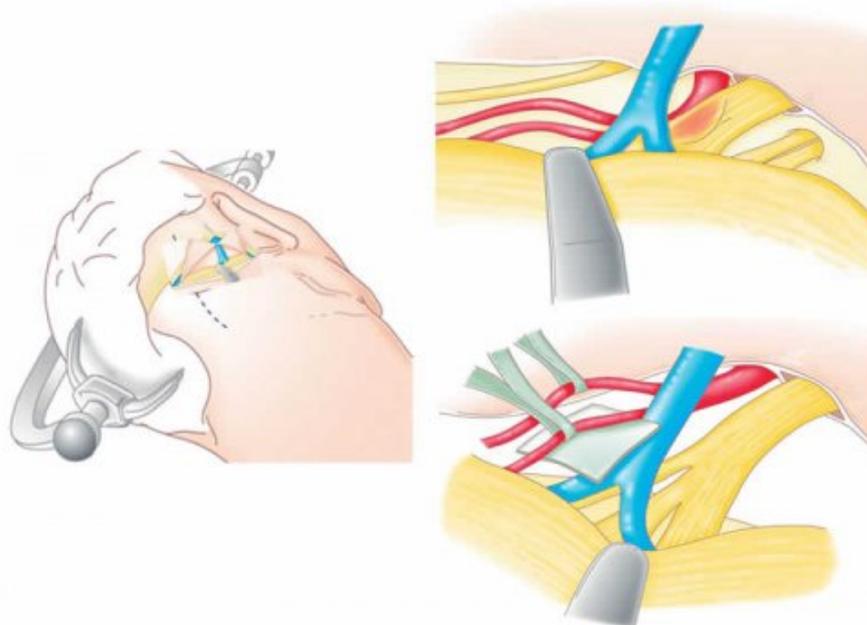


Figure 7 : Principe de la Décompression vasculaire microchirurgicale pour conflit neurovasculaire à partir de l'artère cérébelleuse supérieure

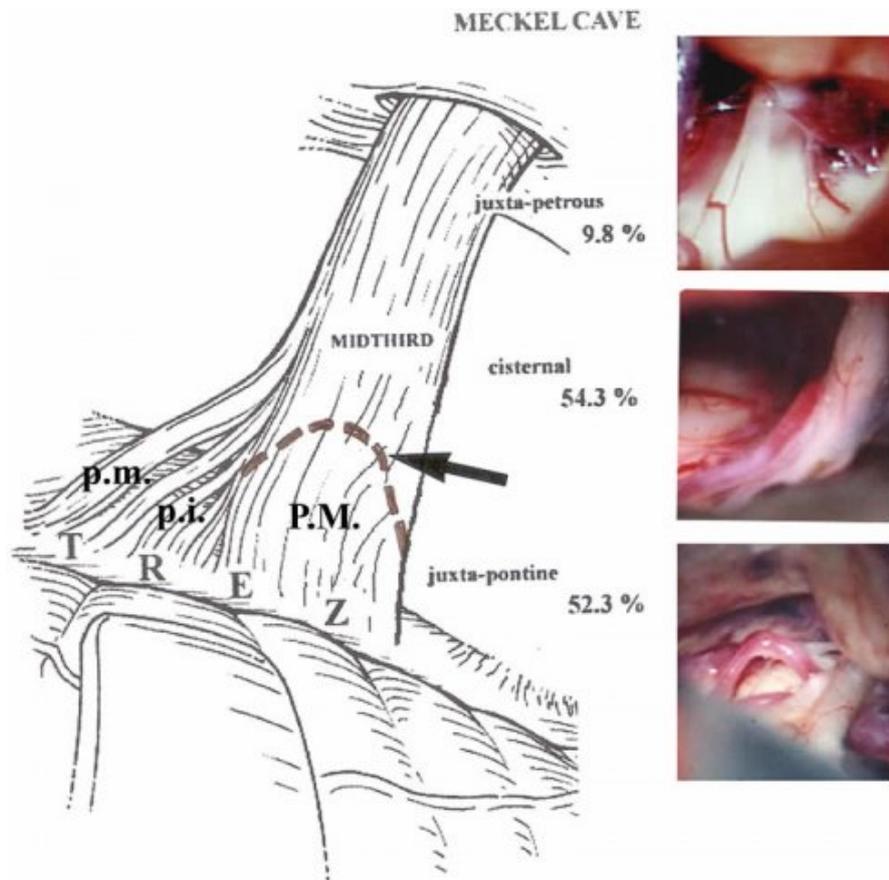
A. (Schéma de gauche) : Abord microchirurgical en « trou de serrure » retromastoïdien droit avec ouverture durale par lambeau sur le sinus transverse et lambeau sur le sinus sigmoïde. L'approche est infratentorielle et supracérébelleuse, avec écarteur sur la surface supérieure de l'hémisphère cérébelleux (droit dans ce cas illustratif).

B. (Schéma de droite en haut) : Après ouverture de l'arachnoïde, exposition de la racine du trijumeau de sa sortie du porus du Cavum de Meckel jusqu'à la zone de pénétration dans le pont. Constatation d'un conflit neurovasculaire par l'artère cérébelleuse supérieure (ACS).

C. (Schéma de droite en bas) : Après avoir détaché l'ACS et ses deux branches, celles-ci sont écartées et maintenues à distance par une lacette de Teflon et une plaque de Teflon reposant sur la veine pèteuse supérieure (pour que la plaque ne crée par de néo-compression du trijumeau).

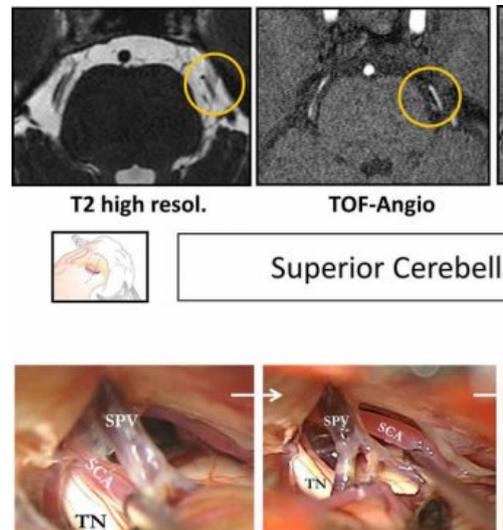
L'intervention est fondée sur le fait d'observation que dans la plupart des névralgies dites essentielles existe un conflit vasculo-nerveux entre le nerf trijumeau et un vaisseau de voisinage [7, 9, 13, 35]. Ce conflit peut être mis en évidence grâce à l'imagerie actuelle avec une excellent sensibilité (96.7%) et spécificité (100%) [17, 18, 32, 33].

Les compressions sont situées dans 52,3 % des cas au niveau de la zone d'entrée de la racine dans le tronc cérébral, dans 54,3 % au niveau de la portion cisternale de la racine, dans 9,8 % à la zone de sortie de la racine du porus du cavum de Meckel [35] (Figure 2).



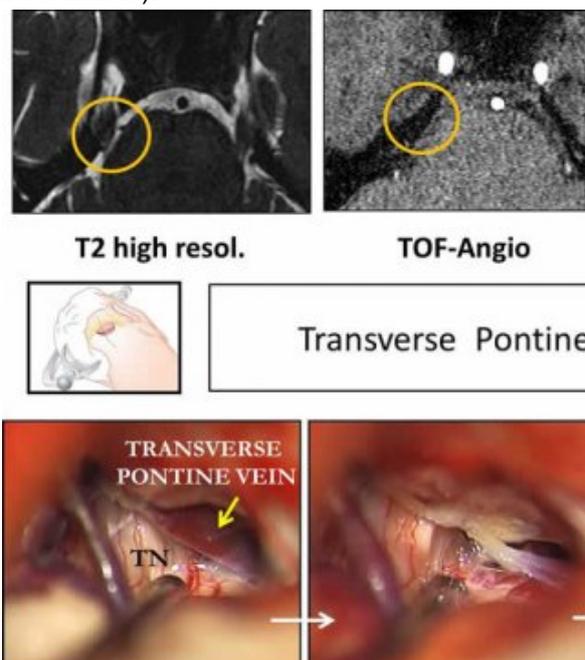
Le principe de l'intervention de décompression, qui doit être dénommée « de Gardner-Jannetta » [9, 13] consiste à libérer la racine du trijumeau de la compression vasculaire, par une séparation minutieuse du nerf et du vaisseau et à maintenir ce dernier à distance par une prothèse-écran conçue à cet effet. Cette dernière ne doit pas être en contact avec la racine pour ne pas entraîner de néo-compression de cette dernière [34, 40].

L'intervention, d'une durée de 3 heures environ, est faite sous anesthésie générale. Elle consiste en une petite ouverture de 15 mm de diamètre en arrière de la mastoïde, un abord microchirurgical du trijumeau à la partie supérieure de l'angle pontocérébelleux, une séparation des éléments du conflit vasculo-nerveux, un écartement du vaisseau conflictuel. Lorsqu'il s'agit d'une artère, elle est maintenue à distance par un petit écran de Téflon, si possible sans contact avec le nerf pour éviter toute néocompression (Figure 4 en bas).



Lorsque le conflit est une veine, celle-ci est coagulée puis sectionnée (Figure 5 en bas).

[<](IMG/jpg/fig.5.jpg)



Doit s'ajouter à la décompression vasculaire proprement dite, une libération de la racine de toutes ses adhésions arachnoïdiennes, depuis la TREZ (Trigeminal Root Entry Zone) jusqu'au porus de Cavum de Meckel, où existent souvent des attaches par une arachnoïde épaissie et parfois une compression veineuse par une veine transverse inférieure (Figure 8).

[<](IMG/jpg/fig.8.jpg)

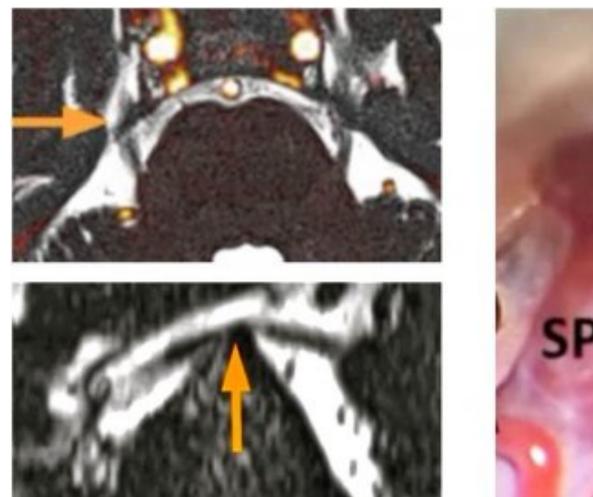


Figure 8 : Pathologie au niveau du porus du Cavum de Meckel : Effet de chevalet

Névralgie trigéminalle droite. Noter sur l'IRM en séquence T2, en coupe axiale, (en haut) et sagittale oblique (en bas), l'angulation du trijumeau à son franchissement du bord supérieur du rocher (flèche). Cet effet de chevalet du bord supérieur du rocher, sur lequel le trijumeau est tendu (flèche), est très bien visible sur la vue correspondante prise au cours de l'intervention au microscope opératoire. TN = nerf trijumeau, SPV = Veine pétreuse supérieure, satellite du nerf au niveau du porus du Cavum de Meckel. Dans la condition anatomique rencontrée la chirurgie n'a pas de moyen de réduire valablement l'étirement/angulation du nerf sur l'arête pétreuse.

Névralgies du Trijumeau : indications et techniques chirurgicales

Il existe aussi fréquemment à ce niveau une angulation plus ou moins marquée de la racine à son passage au dessus du bord supérieur du rocher (effet du chevalet) [35] (Figure 9).

[<](IMG/jpg/fig.9.jpg)

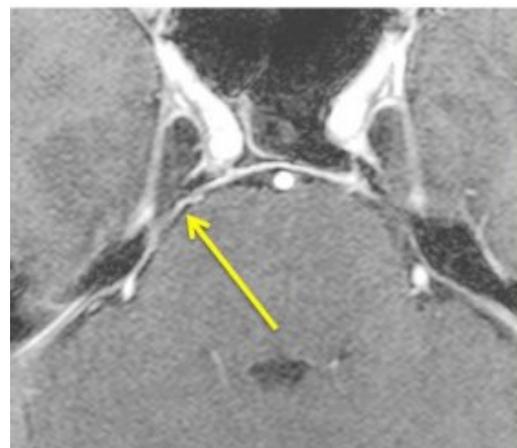


Figure 9 : Pathologie au niveau du porus du Cavum de Meckel : fixation par arachnoïdite.

Névralgie trigéminal droite. Noter sur l'IRM en séquence T1 avec Gadolinium, en coupe axiale, la faible capacité de la citerne ponto-cérébelleuse qui est réellement « virtuelle » et la présence d'une (petite) veine transverse inférieure souscroisant la racine du trijumeau à sa sortie du porus du Cavum de Meckel (flèche). Observer sur la vue opératoire correspondante la veine transverse inférieure impactée dans la face inférieure du trijumeau et y ayant marqué une empreinte, ainsi que l'arachnoïdite locale adhésive au trijumeau. La chirurgie consistera à libérer le trijumeau de ses adhérences arachnoïdiennes et à décompresser le nerf de sa compression veineuse.

Les principales étapes de la technique opératoire sont illustrées dans les Figures 10, 11, 12 et 13.

[<](IMG/jpg/fig.10.jpg)

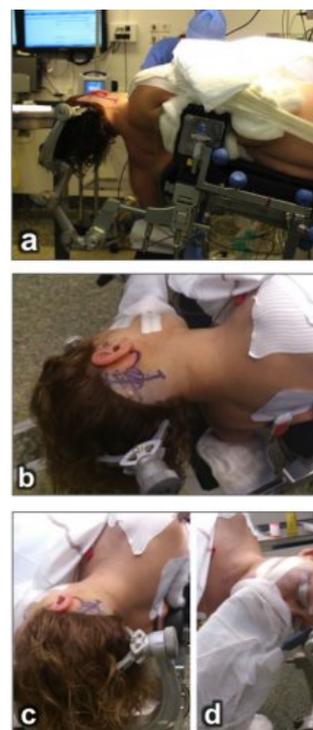


Figure 10 : Décompression vasculaire microchirurgicale chez une patiente affectée d'une névralgie trigéminal droite primaire, liée à un conflit neuro-vasculaire. Illustration de la position du patient sur la table opératoire (a) et de la fixation de la tête dans la tèteière (b). L'extrémité céphalique est légèrement fléchie et en rotation de 15° contro-latéralement (c et d). Elle est infléchie nettement contro-latéralement pour faciliter l'abord infratentorial - supracérébelleux (b), l'opérateur ne devant pas être gêné par l'épaule du patient. Noter en outre l'abaissement de l'épaule par traction élastique pour minimiser l'obstacle qu'elle constitue pour la vue de l'opérateur. La traction ne doit cependant pas être trop importante pour ne pas entraîner d'étirement du plexus brachial.



Figure 11 :

Illustration de la voie rétro-mastoidienne. Tracés de la mastoïde, du sinus transverse à l'aplomb de la crête occipitale externe, de la craniectomie ovale située au dessous du bord inférieur du sinus transverse. Tracé de l'incision cutanée correspondante, décalée d'un centimètre médialement par rapport à la bissectrice de l'angle : crête occipitale // bord postérieur de la mastoïde.

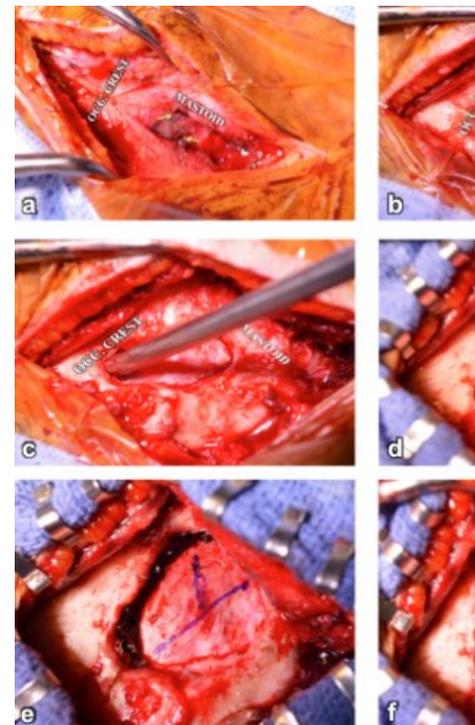


Figure 12 :

Étapes opératoires de l'abord rétromastoidien, infratentorial - supracérébelleux (à droite).

a : Après incision cutanée et aponévrotique, dégagement de la mastoïde et de la crête occipitale. Noter la ligature et la division de l'artère occipitale.

b : Taille d'un trou de trépan dans l'angle formé par la crête occipitale et le bord postérieur de la mastoïde.

c : Elargissement vers le haut de la craniectomie, jusqu'à découvrir le bord inférieur du sinus transverse.

d : Craniectomie découvrant le sinus transverse (à parois solides), mais n'exposant pas le sinus sigmoïde (à parois fragiles).

e : Tracé des incisions durales pour la réalisation d'un lambeau supérieur qui sera récliné sur le sinus transverse, et latéral qui sera récliné sur les cellules mastoïdiennes (ouvertes dans ce cas), pour passage infratentorial - supracérébelleux (f).



Figure 13 : La technique de Décompression Vasculaire Microchirurgicale à travers un abord en "trou de serrure" est fortement dépendante de l'instrumentation. C'est pourquoi nous avons développé des instruments permettant de réaliser la chirurgie de décompression avec un maximum de précision et de sécurité. Les références de ces instruments - fabriqués par Stryker (Stryker Leibninger GmbH & Co. KG, Freiburg Germany) sont les suivantes : 12-04236 SuctionTube 12 mm diameter ; 135 mm working length ; 12-04239 Suction Tube ; 12-04235 Suction Tube ; 12-30108 Micro-scissors fine, curved, 20 cm ; 12-30205 Micro-scissors fine, curved, 22 cm ; 12-82261 Bipolar Forceps » bayonet arciform tipped, extra-fine-tip 0.2mm /19 cm ; 12-82153 Bipolar Forceps bayonet, 0.7 mm/16cm.

La revue des grandes séries de la littérature (17 séries, totalisant 5124 patients) fait apparaître des résultats à peu près similaires entre les séries [21, 24, 45]. Dans 80 à 98% des cas (91,8 % en moyenne), il existait une sédation immédiate de la névralgie. Un effet complet - sans médicaments - persistait dans 62 à 89 % des cas (76,6 % en moyenne) au terme du suivi (5 à 11 ans selon les séries, 7 ans en moyenne). Quatre de ces séries comportaient une étude avec courbe de Kaplan- Meier [3, 5, 29, 47]. Dans la plus large, celle de Barker et al. (c.-à-d. celle de Jannetta), comportant 1185 patients suivis jusqu'à 20 ans pour les plus anciennement opérés, 80 % avaient un excellent résultat immédiat (pas de douleur, pas de traitement médicamenteux) et 70 % à 10 ans (Figure 14).

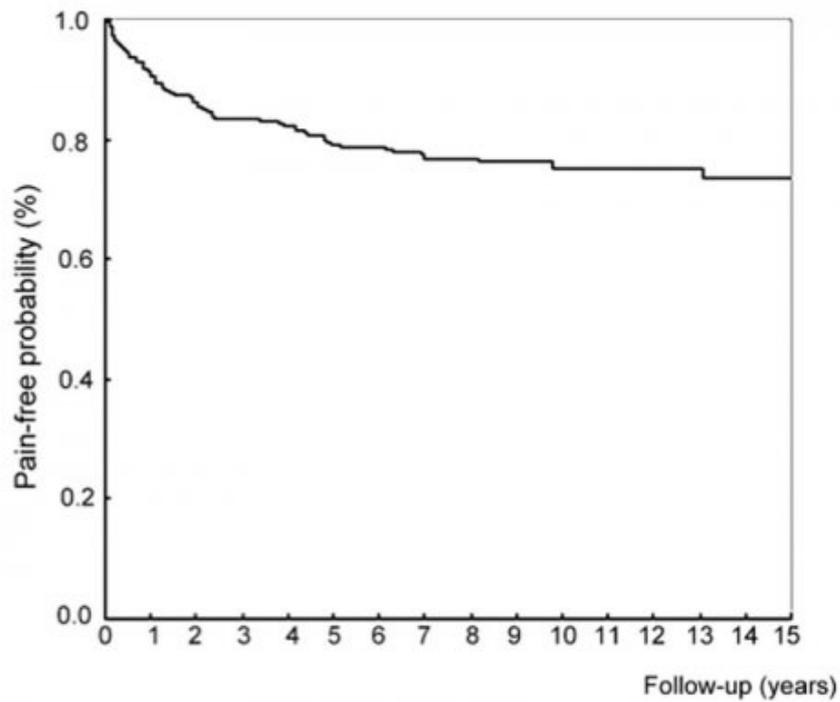


Figure 14 : Role du mode de décompression dans les résultats à long-terme de la Décompression Vasculaire Microchirurgicale, dans la série de référence [41]. Courbe de Kaplan-Meier des résultats à 15 ans, selon que la prothèse de Teflon interposée ne touchant pas ou touchant la racine trigéminal. Les résultats étaient meilleurs lorsque il n'y avait pas de contact du matériel avec le nerf ($\Delta = 0,005$).

Dans notre série [39, 42], les courbes K-M montrent une probabilité de guérison à un an de 81,2 % et à 15 ans de 73,4% (Figures 15, 16, 17).

[<](IMG/jpg/fig.15.jpg)

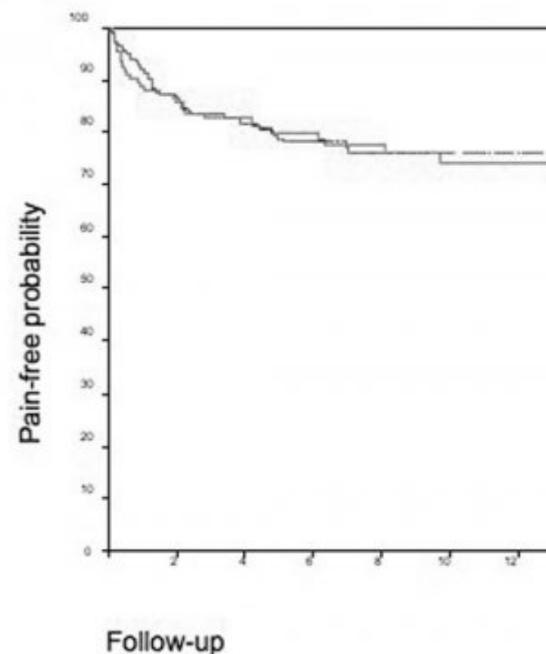


Figure 15 : Résultats à long-terme de la Décompression vasculaire microchirurgicale (résultats selon la présentation typique vs atypique, dans la série de référence [42]).

Courbe de Kaplan-Meier à 15 ans de recul des patients guéris par DVMC, en fonction de la présentation « Typique » et « Atypique »* de la névralgie trigéminal.

Les deux courbes sont casi-similaires : 72.74% et 74.40%, respectivement (p=0.98).

* La présence de manifestations atypiques - comme un fond douloureux permanent associé aux douleurs paroxystiques - ne pénalise pas le résultat de la DVMC. La composante douloureuse permanente, ainsi que les éventuels phénomènes vasomoteurs, y étaient casi-constamment favorablement influencés, en même temps que les accès paroxystiques disparaissaient [42].

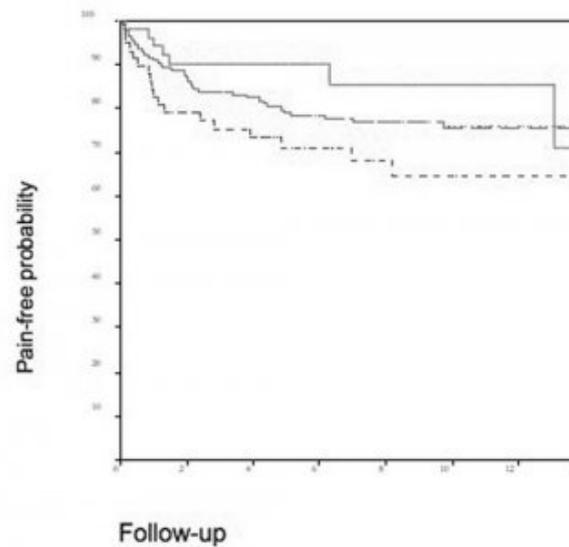


Figure 16 : Résultats à long-terme de la Décompression vasculaire microchirurgicale (résultats selon l'âge, dans la série de référence [40]).

Courbe de Kaplan-Meier à 15 ans de recul, en fonction de leur âge à la date de la chirurgie (inférieur à 50 ans, entre 50 et 70 ans, supérieur à 70 ans).

Le résultat était d'autant meilleur que l'âge était plus élevé. La différence statistique n'est pas statistiquement significative ($p=0,09$) ; cependant elle peut être considérée comme à tendance significative [40].

Ces résultats sont en faveur de considérer la DVMC comme première option, y compris chez les gens âgés, si leur état général permet une intervention ouverte.

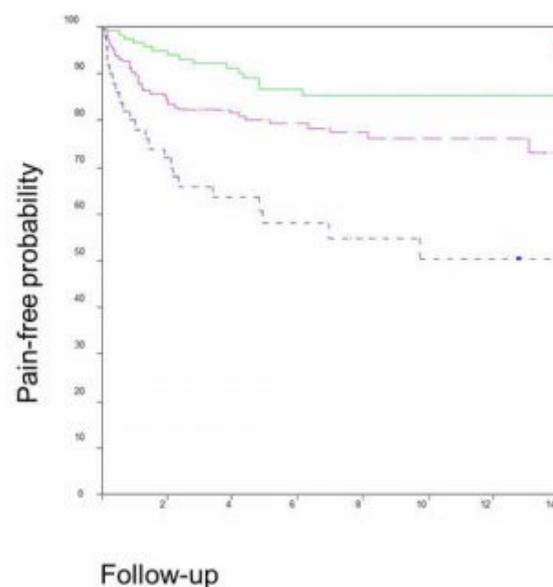


Figure 17 : Résultats à long-term de la Décompression vasculaire, microchirurgicale ; en fonction du degré de sévérité de la compression vasculaire [40].

Noter que plus le degré de décompression était sévère plus la DVMC s'est avérée efficace ($P=0,001$). Degré 1 = contact avec la racine, degré 2 = distorsion, degré 3 = indentation de la racine à l'endroit du conflit vasculaire avec aspect grisâtre au niveau de l'empreinte, correspondant à une plage focale de démyélinisation visible sous le microscope opératoire.

Les taux de mortalité rapportés étaient de 0 à 1,2 % selon les séries, 0,3 % dont la nôtre [39, 40], la cause en ayant été généralement un infarctus hémorragique de la fosse cérébrale postérieure, lié aux spasmes produits par les manipulations vasculaires. Ces spasmes « mécaniques » peuvent être grandement réduits par l'application locale de gouttelettes de Papavérine en solution à un/dixième. Dans les séries rapportées, les complications neurologiques permanentes les plus fréquentes étaient les suivantes : perturbation de l'audition et/ou de l'équilibre (de 0,8 à 4,5 %, 1,5 % dans notre série), paralysie faciale (de 0 à 1 %, 0,4 % dans notre série), diplopie par paralysie trochléaire (de 0,5 à 1 %, 0,5 % dans notre série), hypoesthésie faciale avec dysesthésies (de 2 à 10 %, 4 %, légères, dans notre série). La complication la plus fréquente était la fuite de liquide céphalo-spinal (de 2 à 17 %), 2 % dans notre série depuis que nous apposons systématiquement une plastie de fascia lata et de graisse sur la suture durale au niveau de la craniotomie.

Conservatrice, la décompression vasculaire microchirurgicale n'entraîne que très rarement une atteinte sévère du trijumeau aboutissant à une anesthésie douloureuse ; il n'y en eût aucune dans notre série. La méthode traitant la cause de la névralgie, ses résultats à long-terme sont durables et stables dans la plupart des cas (cf. courbes Kaplan-Meyer).

++++

Complications possibles

S'agissant d'une chirurgie fonctionnelle, il est bien entendu capital de tout mettre en oeuvre pour éviter les complications ; Les principales étant les suivantes.

1. la perte d'audition. La meilleure approche pour l'éviter est d'utiliser la voie infratentorielle - supracérébelleuse. En effet il a été clairement démontré par les enregistrements intra-opératoires des Potentiels Evoqués Auditifs (PEA) qu'une rétraction de l'hémisphère cérébelleux latérale à médiale exerce une traction sur le complexe des nerfs VII - VIII, ainsi que sur l'artère labyrinthique [8].

Par ailleurs, une craniectomie limitée en « trou de la serrure », outre qu'elle évite une fuite excessive de LCS, réduit le risque de tension et donc d'avulsion des veines pétreuses supérieures. En outre la préservation de ces veines est un « garde-fou » contre un écartement excessif, et donc la traction sur le nerf VIII et l'artère labyrinthique.

2. une paralysie trochléaire. L'approche infratentorielle - supracérébelleuse présente l'inconvénient d'exposer le très fin nerf trochléaire à une lésion chirurgicale directe. Pour cette raison, il est recommandé de n'ouvrir l'arachnoïde péri-pédonculaire dans la fissure mésencéphalo-cérébelleuse, pour exposer l'artère cérébelleuse supérieure et ses branches, qu'au dessous du nerf trochléaire lui-même. Ce faisant, le « rideau » d'arachnoïde, recouvrant le nerf, contribue à sa protection contre les traumatismes par instruments et l'aspiration chirurgicale.

3. des complications vasculaires artérielles. La dissection et la transposition des artères conflictuelles peuvent les mettre en danger. Une avulsion de leurs perforantes pourrait se produire si l'on ne prenait soin d'éviter toute traction excessive. En outre, les manipulations artérielles, propices à générer des réactions vasospastiques (mécaniques) avec elles peuvent avoir des conséquences ischémiques potentiellement graves, doivent être « douces ». Nous avons eu à déplorer chez deux patients de notre série (soit 1%0 des cas) un infarctus cérébelleux hémorragique de ce mécanisme. Nous recommandons que les artères soient régulièrement irriguées par une solution saline tiède et si nécessaire imbibées de quelques gouttelettes de papavérine en solution saline. L'irrigation par la papavérine ne doit pas être trop abondante. En effet, son pH est très acide ce qui est un facteur de toxicité potentielle pour les structures non seulement vasculaires mais aussi et surtout nerveuses.

4. des complications vasculaires d'origine veineuse. Une avulsion des veines pétreuses en particulier au niveau du sinus pétreux supérieur, pourrait conduire à une hémorragie abondante, qui viendrait de surcroît souiller les espaces cisternaux. Dans l'éventualité d'un simple suintement veineux, la préservation de la perméabilité veineuse doit être tentée par l'apposition de petites pièces de Surgicel sur la déchirure, si possible sans compression de la veine pour en éviter l'obstruction. En effet, l'occlusion veineuse pourrait être entraînée un oedème ou un infarctus hémorragique du cervelet et/ou du tronc cérébral.

5. une fuite de LCS. L'abord minimal en « trou de serrure » rend la fermeture hermétique de la dure-mère (sous tension) difficile. C'est pourquoi nous faisons une plastie durale avec un petit morceau de fascia-lata et apposons un morceau de graisse, tous deux récoltés à la cuisse. Un prélèvement local de fascia ou de graisse, c.a.d. au niveau de la voie d'abord retromastoïdienne, exposerait à des lésions du nerf occipital. Les copeaux d'os de la craniotomie ne sont remplacés que si les cellules mastoïdiennes n'ont pas été ouvertes. Nous ne recommandons pas l'utilisation de colle de fibrine, car elle est rapidement résorbée, ce qui conduit à des fuites différées de LCS. Nous évitons de colmater les cellules mastoïdiennes avec de la cire, car celle-ci peut migrer dans l'oreille moyenne, et de façon générale peut provoquer une otite séreuse chronique avec otalgies voire même des granulomes inflammatoires tardifs. Enfin, la mise d'un pansement compressif est cruciale pour diminuer le risque de pseudo-méningocèle, fistule et/ou rhinorrhée par le tube d'Eustache.

6. Une néocompression par l'implant. Une décompression simple sans matériel inséré aurait un résultat aléatoire. Il serait en effet imprudent de ne pas maintenir le conflit vasculaire à l'écart par l'implantation d'une pièce synthétique. Mais la pièce insérée ne doit pas exercer de néocompression sur la racine, ni même dans la mesure du possible être en contact direct avec elle [40]. Cela est généralement plus facile lorsque l'artère cérébelleuse supérieure est le conflit du fait qu'elle a le plus souvent une bonne laxité et a un relativement petit nombre de branches perforantes. Au contraire cela est difficile lorsque l'artère cérébelleuse antéro-inférieure est le conflit ; en effet celle-ci possède des perforantes courtes au tronc cérébral, et d'elle naît l'artère labyrinthique.

Les taux de mortalité rapportés étaient de 0 à 1,2 % selon les séries, 0,3 % dont la nôtre [39, 40], la cause en ayant été généralement un infarctus hémorragique de la fosse cérébrale postérieure, lié aux spasmes produits par les manipulations vasculaires. Ces spasmes « mécaniques » peuvent être grandement réduits par l'application locale de gouttelettes de Papavérine en solution à un/dixième. Dans les séries rapportées, les complications neurologiques permanentes les plus fréquentes étaient les suivantes : perturbation de l'audition et/ou de l'équilibre (de 0,8 à 4,5 %, 1,5 % dans notre série), paralysie faciale (de 0 à 1 %, 0,4 % dans notre série), diplopie par paralysie trochléaire (de 0,5 à 1 %, 0,5 % dans notre série), hypoesthésie faciale avec dysesthésies (de 2 à 10 %, 4 %, légères, dans notre série). La complication la plus fréquente était la fuite de liquide céphalo-spinal (de 2 à 17 %), 2 % dans notre série depuis que nous apposons systématiquement une plastie de fascia lata et de graisse sur la suture durale au niveau de la craniotomie.

++++

Résultats de l'acte

La revue des grandes séries de la littérature (17 séries, totalisant 5124 patients) fait apparaître des résultats à peu près similaires entre les séries [21, 24, 45]. Dans 80 à 98% des cas (91,8 % en moyenne), il existait une sédation immédiate de la névralgie. Un effet complet - sans médicaments - persistait dans 62 à 89 % des cas (76,6 % en moyenne) au terme du suivi (5 à 11 ans selon les séries, 7 ans en moyenne). Quatre de ces séries comportaient une étude avec courbe de Kaplan- Meier [3, 5, 29, 47]. Dans la plus large, celle de Barker et al. (c.-à-d. celle de Jannetta), comportant 1185 patients suivis jusqu'à 20 ans pour les plus anciennement opérés, 80 % avaient un excellent résultat immédiat (pas de douleur, pas de traitement médicamenteux) et 70 % à 10 ans (Figure 14). Dans notre série [39, 42], les courbes K-M montrent une probabilité de guérison à un an de 81,2 % et à 15 ans de 73,4%

(Figures 15, 16, 17).

++++

VII. METHODES LESIONELLES

Sont considérées ci-après, dans leurs grandes lignes, les techniques lésionnelles faites par la voie percutanée transovale de Hartel (Figure 18) [2] et par méthode radiochirurgicale (Figure 19) [29]. Entre thermorhizotomie, compression par ballon, injection de glycérol, ou encore radiochirurgie, le choix est encore de facto fonction de l'expérience de l'équipe chirurgicale.

[<](IMG/jpg/fig.18a.jpg)



Figure 18 : Approche percutanée du trijumeau par la voie trans-ovale de Hartel

A. Contrôle radiologique de la trajectoire

Sous brève anesthésie générale IV, généralement au propofol, le trocart traverse successivement la joue, la fosse ptérygo-maxillaire, puis le foramen ovale, jusqu'en situation rétro-gasserienne dans le Cavum de Meckel et sa citerne trigéminale. Sur le contrôle radiologique de profil, l'extrémité du trocart doit être placée au niveau de l'entrecroisement de la ligne du clivus et de l'arête pétreuse, c.a.d. ne pas dépasser du Cavum de Meckel. La trajectoire doit être contrôlée par radioscopie pour éviter les fausses-routes, d'arrière en avant vers : le foramen jugularis, la carotide sous-pétreuse, la carotide au foramen lacerum, l'apex orbitaire à travers la fissure orbitaire inférieure puis la carotide juxta clinoidienne à travers la fissure orbitaire supérieure.

[<](IMG/jpg/fig.18b.jpg)

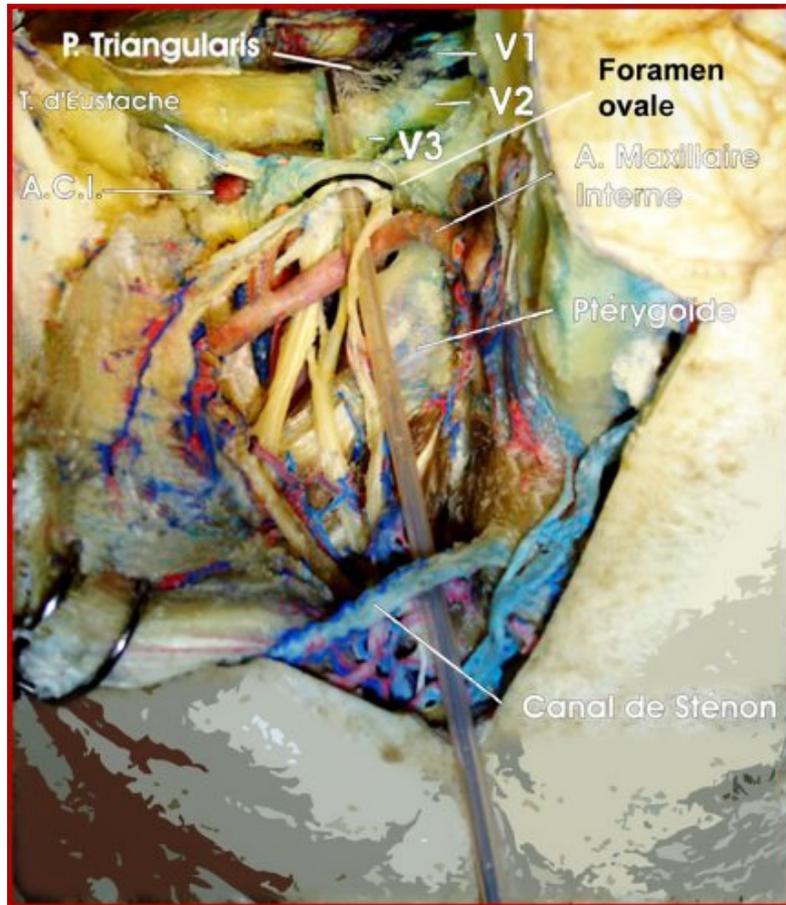


Figure 18 : Approche percutanée du trijumeau par la voie trans-ovale de Hartel

B. Dissection anatomique de la voie transjugoforaminale ovale (du côté droit)

Sur ce spécimen anatomique dont les vaisseaux ont été injectés au latex coloré, est visible le trajet du trocart jusqu'au plexus triangulaire, à travers le foramen ovale [2]. Les dangers anatomiques rencontrés sont le canal de Sténon, l'artère maxillaire interne et ses branches, le tube d'Eustache, et surtout la carotide interne à la base du crâne.

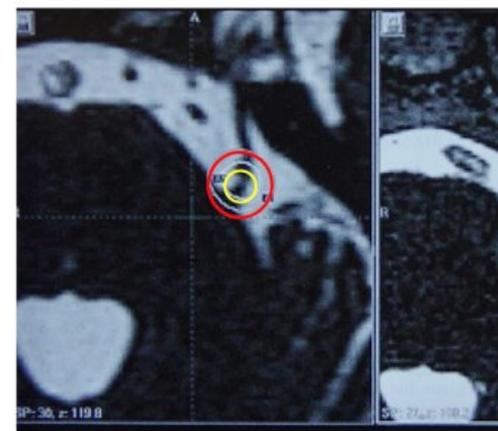


Figure 19 :
Radiochirurgie stéréotaxique

Cette figure montre les deux cibles possibles de la radiochirurgie stéréotaxique unidose, i.e. en une seule séance, sur des coupes transversales du tronc cérébral en séquence T2 haute résolution. A gauche : cible au niveau de la TREZ (Trigeminal Root Entry Zone) ; à droite : cible au niveau de la portion cisternale de la racine. La cible considérée comme la moins dangereuse est la cible cisternale, plus distante du tronc cérébral. Cercle jaune : courbe d'isodose de 80Gy, cercle rouge : courbe d'isodose de 30Gy.

1. Thermorhizotomie percutanée, rétrogassérienne au niveau du plexus triangulaire (Figure 20a)

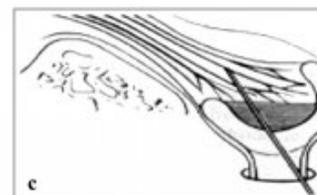
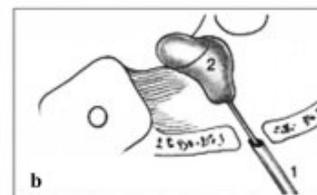
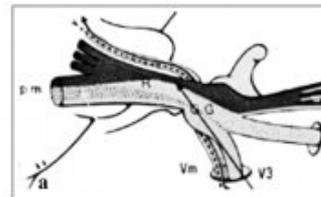


Figure 20 :
Méthodes lésionnelles percutanées

Figure 20(a) :
Thermorhizotomie rétrogassérienne au plexus triangulaire

Après traversée du foramen ovale, l'extrémité dénudée de l'électrode est placée au niveau du plexus triangulaire où existe une bonne somatotopie des fibres selon leur provenance : V3, V2, V1. La bonne position au niveau des fibres correspondant à la trigger-zone est vérifiée par l'évocation de paresthésies à la stimulation électrique, le patient étant éveillé. Puis la thermocoagulation est faite sous brève AG IV., jusqu'à obtenir une analgésie (testée par la pique d'épingle) sans perte complète de la sensibilité au tact ni abolition du réflexe cornéen (testé par mèche de coton).

Mise au point par Sweet [51] à la suite de Kirschner [16], cette technique repose sur le fait qu'une température de 65° à 75° appliquée de quelques secondes à quelques minutes est capable d'obtenir une analgésie sans anesthésie complète du territoire opéré. La somatotopie des fibres rétrogassériennes permet de placer l'électrode de telle sorte que la thermocoagulation n'atteigne que les fibres correspondant au territoire douloureux. L'électrode est introduite à travers la joue et le foramen ovale selon la voie de Hartel, puis poussée postérieurement jusqu'à l'aplomb du bord supérieur du rocher, avec contrôle radiologique, sous brève anesthésie générale intraveineuse, le plus couramment au Propofol (en bolus). C'est, le plexus triangulaire rétrogassérien, qui est la meilleure cible pour réaliser la

thermolésion [36].

Sur le plan technique le point d'entrée dans la joue est à 30 mm latéralement à la commissure labiale. Le trocard est ensuite dirigé dans une direction supérieure et médiale à une intersection imaginaire de deux points de repère anatomique externe : l'un à 35 mm en avant du tragus sur la ligne orbito-méatale, l'autre au niveau du bord médial de la pupille (Figure 21).

[](IMG/jpg/fig.21.jpg)

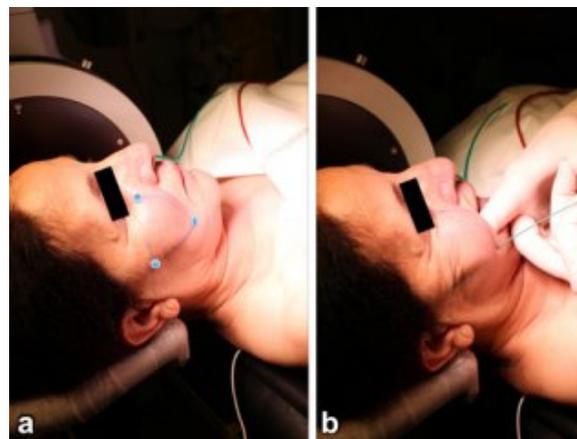


Figure 21 :

Thermocoagulation chez une patiente affectée d'une névralgie trigéminal droite secondaire à une sclérose multiloculaire. Illustration de la voie percutanée de Hartel. La procédure est faite sous contrôle radioscopique de profil. En a : repères cutanés. En b : introduction du trocard à travers la joue ; l'index de l'opérateur est placé à la face interne de la joue pour éviter que la pointe du trocard ne perfore la muqueuse. En e : trocard en place, le mandrin ayant été remplacé par la thermo-électrode.

Le patient étant éveillé, la bouche est ouverte et le doigt de l'opérateur appliqué sur la muqueuse de la joue jusqu'au palais dur. Le processus ptérygoïdien peut être ressenti, juste derrière les molaires, sachant que le foramen ovale (FO) est situé au-dessus du processus ptérygoïde. La progression du trocard vers le FO est suivie sur des vues latérales fluoroscopiques. La vue sous-mentonnière dans l'axe du FO peut être utile lors de la phase d'apprentissage, spécialement afin d'éviter une fausse-route vers le Foramen Lacerum et la Carotide Interne. Lors du passage du FO se produit une contraction musculaire du masséter, caractéristique. Puis le trocard est passé à travers le ganglion trigéminal de Gasser, jusqu'au niveau du plexus triangulaire. Il s'agit là en effet de l'endroit optimal pour créer une lésion topographique sélective rétro-gassérienne (Figure 22).

[](IMG/jpg/fig.22.jpg)

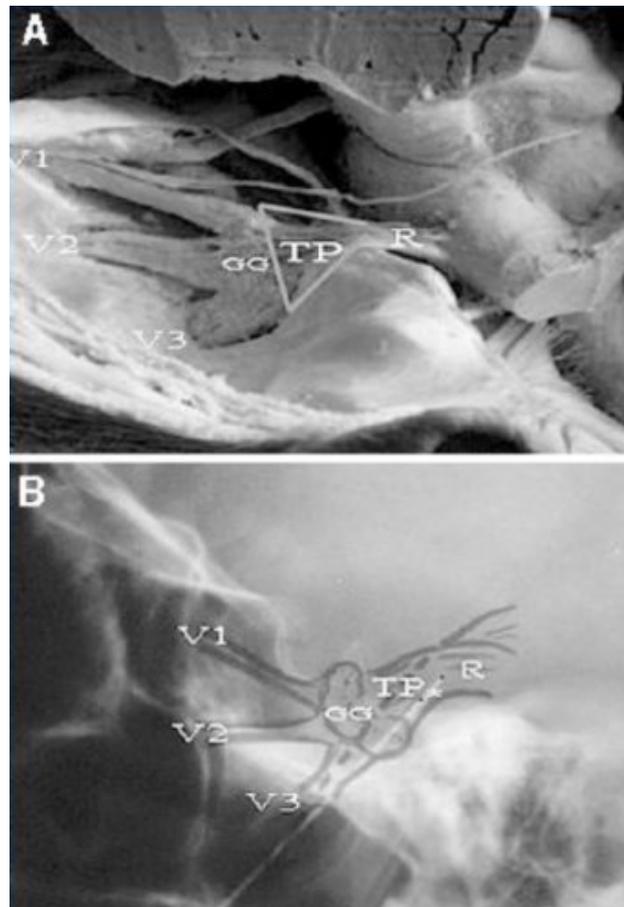
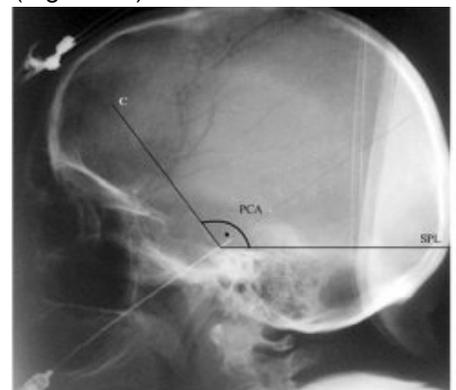


Figure 22 :

Système trigéminal sur une dissection anatomique de Klingler (A) et sa projection sur la radiographie du crâne en vue latérale (B). V1 : nerf ophtalmique, V2 : nerf maxillaire, V3 : nerf mandibulaire. GG : ganglion de Gasser, TP : plexus triangulaire, R : racine. L'astérisque indique la pointe dénudée de l'électrode (sur les 6 mm distaux), localisée au niveau du plexus triangulaire c.à.d. en position immédiatement rétro-gasserienne). Noter la somatotopie des fibres selon les trois divisions du nerf trijumeau.

Le repère de la position adéquate de l'extrémité du trocard est l'intersection, sur la vue latérale de la radiographie, de la ligne clivale et de l'arête supérieure du rocher, et jusqu'à 3 mm au-dessus (Figure 23).

[<](IMG/jpg/fig.23.jpg)



A

B

Figure 23 :

A) Méthode de détermination de l'angle pétroclival (PCA) sur la radiographie du crâne en vue latérale. Cet angle est formé par la ligne clivale (C) et la ligne pétreuse supérieure (SPL). La portion dénudée de l'électrode doit être située au delà de la ligne C, mais jusqu'à un maximum de 3 mm.

B) Méthode de détermination de la situation en hauteur de l'extrémité de l'électrode (h) à partir de la ligne orbito-méatale (MAE). La distance h est généralement entre 15 et 13 mm. A noter que les fibres correspondant à la division V1 sont en situation supéromédiale, celles correspondant à la division V3 inférolatérale et celles correspondant à la division V2 entre les deux.

La vérification physiologique de la position de l'extrémité de l'électrode au niveau des fibres correspondant à la zone-gâchette est faite par électrostimulation, le mandrin du trocard étant remplacé par la thermo-électrode. Dans notre procédure [31, 46] un courant de 5 Hz (à l'intensité - seuil de 0,2 +/- 0,1 V) est utilisé pour provoquer non seulement des paresthésies (perçues par le patient, étant éveillé), mais aussi des réponses musculaires au niveau de la face, à type de réflexes trigémino-faciaux, (réponses qui peuvent être observées par l'opérateur, le patient étant encore endormi). Ces réponses peuvent siéger au niveau de l'orbicularis oculi, lorsque l'électrode est dans les fibres du V1, du levator labii et de l'orbicularis oris dans les fibres du V2, de l'orbicularis oris et du mentonnier dans les fibres du V3. Au niveau du plexus triangulaire, les fibres du V3 (mandibulaires) sont en position inféro-latérale, celles du V2 (maxillaires) intermédiaire, et celles du V1 (ophtalmiques) supéro-médiane. Important, la survenue de réponses masticatrices (directes) pour une stimulation électrique à intensité faible (< 0,5 V) indiquerait une électrode (trop) proche de la racine motrice.

Au total, en raison de la somatotopie des fibres, l'extrémité de l'électrode doit être placée d'autant plus haut que l'on souhaite atteindre les fibres du V2 puis du V1. En effet les corrélations clinico - radiologiques montrent que l'emplacement des fibres du V1 dans le plexus triangulaire est supéromédial, celui des fibres du V3 inféro-latéral et du V2 au milieu [36, 46]. C'est ainsi que, habituellement, lorsque la pointe de l'électrode est située à l'aplomb du clivus sur la radiographie latérale, la stimulation entraîne des effets dans la division maxillaire (V2) ; lorsque l'électrode est poussée (légèrement) plus haut la stimulation atteint les fibres de la division ophtalmique (V1), et lorsque l'extrémité de l'électrode est retirée au dessous de clivus, c'est la division mandibulaire (V3) qui est ciblée.

La mise en place finale de l'électrode est ajustée jusqu'à ce que les paresthésies évoquées correspondent avec la région douloureuse et particulièrement sa zone de déclenchement. Il est important de reproduire le modèle douloureux trigéminal du patient par la stimulation, avant d'effectuer la thermo-coagulation.

L'électrode étant considérée en bonne place, un premier test thermo-lesionnel est effectué à une basse intensité (+ / - 60 °C) pendant seulement 10 à 15 secondes, afin de vérifier la situation de l'effet de thermolésion.

Si l'hypoesthésie (légère) paraît bien centrée sur la zone-gâchette, la thermocoagulation thérapeutique est alors entreprise.

Celle-ci est faite sous AG par bolus de Propofol, mais suffisamment légère pour pouvoir vérifier le réflexe cornéen, (testé en continue à la mèche de coton) pendant une durée de 30 à 60 secondes, à une température de 60 °C à 70 °C. Si le réflexe cornéen diminue ou disparaît, la tentative de thermolésion est immédiatement arrêtée. Les lésions sont généralement réalisées avec une température de 60 °C en début de procédure, puis avec des intensités supplémentées de 5 °C jusqu'à l'obtention de l'effet hypoesthésiant désiré, sans dépasser les 75 °C. Le plus souvent plusieurs lésions sont nécessaires, avec réveil du patient entre chaque application pour vérifier l'effet obtenu.

Une fois que la procédure est considérée comme terminée, le patient est pleinement éveillé, et un examen sensoriel détaillé est effectué tout le long de la face. Pour nous, le critère pour une efficacité à la long-terme de la thermocoagulation est l'obtention d'une analgésie à la piqûre, avec une hypoesthésie tactile nette, mais sans perte complète de la sensibilité tactile ni altération de la sensibilité cornéenne bien centrée sur la zone-gâchette et couvrant la totalité du territoire névralgique.

La revue de la littérature a été faite sur 10 séries, totalisant 7483 patients, suivis avec un recul de 3 à 26 ans en moyenne selon les séries (moyenne 9 ans) [14, 43, 46]. Cette revue fait état d'une sédation immédiate dans 94 % des cas en moyenne (de 81 à 99% selon les séries) et du maintien de l'efficacité à long terme dans 60,4% des cas (de 20 à 93% selon les séries). La Figure 10 est donnée à titre illustratif. Les principaux effets secondaires et complications neurologiques étaient les suivants : hypoesthésie faciale (5 à 98 % des cas selon les séries) et déficit masticateur (4 à 24%) pour les premiers, kératite (1 à 8 %) et dysthésies pénibles / anesthésie douloureuse (0,8 à 7

%) pour les secondes. La mortalité rapportée est de 10, par effraction de la carotide.

Dans la série de 2800 patients des auteurs, suivis avec un recul allant jusqu'à 28 ans pour les plus anciennement traités (17 ans en moyenne) [43], le taux de récurrences s'est élevé à 7 %. Ce taux relativement faible a été obtenu au prix d'une hypoesthésie marquée du territoire névralgique dans la quasi-totalité des cas. Cette hypoesthésie était gênante (avec dysesthésies) dans 5 % des cas et s'accompagnait d'un syndrome d'anesthésie douloureuse dans 3 % des cas.

Délicate à réaliser, la thermocoagulation rétro-gassérienne, lorsqu'elle est faite avec précision, permet une analgésie durable, et de la seule zone douloureuse. Elle n'a pas de contre-indication d'âge ; beaucoup de séries comportent nombre de patients nonagénaires. Cette technique est très opérateur-dépendante ; elle requiert un entraînement spécifique pour éviter effets secondaires indésirables et a fortiori complications et séquelles.

++++

2. Compression par ballonnet percutanée, du ganglion de Gasser (Figure 20b)

[](IMG/jpg/fig20.jpg)

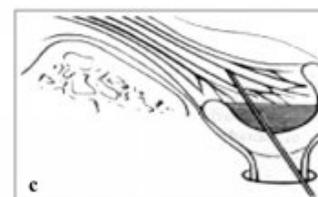
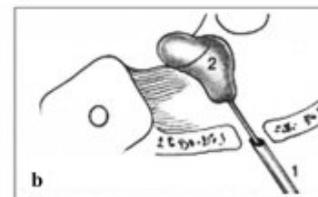
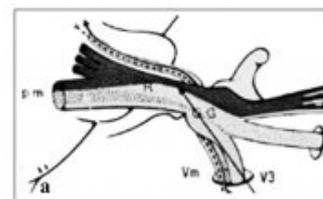


Fig. 20(b) :

Compression par ballonnet gonflable au niveau de Cavum de Meckel

Sous anesthésie générale en raison du caractère douloureux de la procédure, un trocart et sa sonde de Fogarty sont introduits à travers le foramen ovale (1) jusqu'au sein du Cavum de Meckel. Le ballonnet de la sonde est ensuite gonflé sous contrôle radioscopique pendant une à trois minutes, de façon à comprimer le ganglion de Gasser. Il en résulte généralement une hypoesthésie plus ou moins importante, variable selon les cas, le plus souvent sans anesthésie cornéenne. Noter l'aspect piriforme du ballon gonflé, témoignant de sa bonne localisation au sein du Cavum (2).

Mise au point par Mullan [25] cette technique consiste en une compression du ganglion de Gasser dans le cavum de Meckel par la voie percutanée de Hartel, sous anesthésie générale en raison de son caractère douloureux, et sous contrôle radioscopique.

Le premier temps consiste en l'introduction d'un trocart de grand diamètre par le foramen ovale jusqu'au niveau du Cavum de Meckel. Par le trocart est introduite une sonde de Fogarty N°4 de telle sorte que seule l'extrémité gonflable dépasse de l'aiguille d'environ 15 mm. L'on injecte ensuite 1 ml d'un produit de contraste (Iopamiron par exemple) dans la sonde de Fogarty. L'effet en est contrôlé sur les clichés radiographiques de profil. L'image de la déformation classique en « poire » du ballon dont la queue correspond au porus du cavum de Meckel vers la citerne de l'angle pontocérébelleux atteste de la bonne localisation du ballonnet au sein du Cavum de Meckel. La durée préconisée de la compression est de l'ordre de une minute, de façon à ce que le risque de dysesthésies invalidantes soit minimal.

La revue de la littérature a été faite sur 10 séries et totalise 1404 patients, suivis avec un recul de 1 à 6 ans en moyenne selon les séries (avec une moyenne générale de 4 ans) [15, 45]. Cette revue fait état d'une sédation immédiate dans 96% des cas en moyenne (de 82 à 100% selon les séries) et du maintien de l'efficacité à long terme dans 67 % des cas (de 54,5 à 91,3 % selon les séries). En ce qui concerne les effets secondaires et les complications neurologiques, il est noté une hypoesthésie faciale dans 4 à 77 % des cas et surtout une parésie masticatrice plus ou moins durable dans 50 à 66 % des cas selon les séries. La mortalité est d'environ 2 0, par effraction de la carotide.

Dans la série de l'Hôpital Henri Mondor à Créteil, série de 121 patients opérés et suivis avec un recul moyen de 3, 4 ans [15], le taux de sédation immédiate s'est élevé à 94,2 % ; l'efficacité initiale s'est maintenue chez 58,7 % des patients. Il ne s'est produit une hypoesthésie durable que dans 5,8 % des cas. La série n'a comporté aucune complication à type de kératite ou d'anesthésie douloureuse.

Moins précise que la technique précédente et nécessitant une anesthésie générale, la compression par ballon a l'avantage d'exposer à un risque moindre d'anesthésie cornéenne durable et donc de kératite. Elle a cependant l'inconvénient d'être suivie d'un taux d'échec ou de récurrence plus important.

++++

3. Injection de glycérol percutanée, dans la citerne trigéminal. (Figure 20c)

[](IMG/jpg/fig20.jpg)

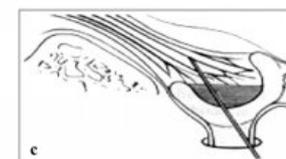
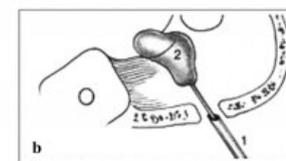
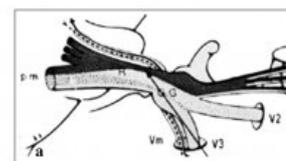


Fig. 20(c) :

Neurolyse par injection de glycérol dans la citerne trigéminal

Après transversée du foramen ovale, l'extrémité de l'aiguille est placée dans la citerne trigéminal à l'intérieur du Cavum de Meckel. Il s'en suit une émission de liquide cérébro-spinal. Une injection de produit de contraste iodé doit s'assurer que l'aiguille est située dans la citerne trigéminal elle-même. Puis une solution de glycérol est injectée, le patient étant éveillé, jusqu'à l'obtention d'une hypoesthésie (légère) dans le territoire des douleurs trigéminales. Le danger de cette méthode est la diffusion de la substance neurotoxique aux citernes de voisinage.

Le traitement névralgique du trijumeau par neurolyse au glycérol du ganglion de Gasser naquit d'une découverte fortuite. Depuis les années 1950, Leksell et son équipe traitaient la névralgie faciale par irradiation stéréotaxique du ganglion de Gasser par un rayonnement gamma. Pour faciliter le repérage radiologique de la cible, était injecté dans la citerne trigéminalle un produit opaque dilué dans du glycérol. Il fut alors observé que cette seule injection pouvait faire céder les crises douloureuses paroxystiques. Aussi, Hakanson proposa-t-il de traiter la névralgie du trijumeau par une injection seule de glycérol dans la citerne trigéminalle [11].

La procédure est la suivante : le malade est installé en position assise, tête fléchie. Un trocart est introduit sous anesthésie locale dans le foramen ovale, puis poussé sous contrôle radiographique jusque dans la citerne trigéminalle. Dès que l'extrémité du trocart est en place, ce qui se traduit par une émission de liquide céphalorachidien, est injecté un produit de contraste (la métrizamide). Après cette cisternographie le produit de contraste est vidangé, puis du glycérol est injecté par petites doses jusqu'à l'obtention d'une hypoesthésie satisfaisante dans le territoire douloureux ; la dose totale de glycérol est en règle de 0,2 - 0,4 ml.

D'après la revue de la littérature, totalisant 1310 cas, avec des reculs de 1 à 10 ans (6,5 ans en moyenne), la neurolyse au glycérol se solde par une sédation immédiate de 42 à 84 % et un maintien de l'effet à long-terme de 18 à 59 % selon les séries (38,5 en moyenne). Cela correspond à un taux global d'échec / récurrence de 61,5 % en moyenne [4, 5]. Les principales complications étaient les suivantes : diminution de la sensibilité faciale avec dysesthésies : 30 %, kératites rebelles : 5 %, éruptions herpétiformes : 50 %.

Cette technique a l'avantage de ne pas être coûteuse ; mais la diffusion de glycérol aux espaces sous-arachnoïdiens ne pouvant être aisément contrôlée, elle expose à des effets neurotoxiques aléatoires.

++++

4. Traitement radiochirurgical stéréotaxique du trijumeau.

Leksell fut le premier à avoir traité la névralgie du trijumeau par des rayons gamma dirigés sur le ganglion de Gasser [21]. Les difficultés de repérage de la cible, l'absence de consensus quant aux doses à utiliser, et le succès des autres traitements chirurgicaux, firent que cette méthode resta longtemps anecdotique. Un nouvel intérêt apparut au début des années 1999, lorsque la résolution de l'IRM permit de localiser avec précision la racine postérieure du trijumeau, et lorsqu'il apparut que la radiochirurgie pouvait être utile en cas de récurrence après traitements traditionnels, au travers d'une étude multicentrique. Dans le chapitre du rapport sur la « Neurochirurgie fonctionnelle dans les syndromes d'hyperactivité des nerfs crâniens », chapitre intitulé « Radiochirurgie dans le traitement de la névralgie trigéminalle : résultats à long-terme et influence des nuances techniques », Regis - analysant ses résultats personnels et ceux de la littérature - donne les recommandations suivantes [30]. La dose conseillée est une dose élevée (80 à 90 Gy) ; la cible conseillée est rétro-gassérienne, à un seul isocentre de 4 mm sur le trajet citernal du nerf, à 7,5 mm de l'émergence du nerf du tronc cérébral. La cible dans la TREZ (Trigeminal Root Entry Zone) est déconseillée car exposant à beaucoup plus d'effets indésirables et de complications sans obtenir une meilleure efficacité sur la névralgie. Il est en effet conseillé de ne pas dépasser une dose de 15 Gy au niveau du tronc cérébral. La procédure nécessite la mise d'un cadre de stéréotaxie, mais elle se déroule sous simple anesthésie locale. Un inconvénient de la radiochirurgie est qu'elle demande généralement un délai de quelques mois avant d'être efficace. Cela ne constitue pas un problème majeur pour la plupart des patients, à l'exception de ceux affectés d'un état de mal douloureux insupportable. Et cette méthode est devenue au cours des dernières années relativement populaire du fait de son caractère peu invasif.

La qualité des résultats est relativement différente d'une publication à l'autre : de 21,8 à 88,9 % après des reculs moyens allant de 10 à 60 mois, un taux de récurrences mentionné de 0% à 46 %, une hypoesthésie comme effet secondaire néfaste de 0 % à 54 % selon les séries. Ce manque d'homogénéité s'explique par la disparité des équipements radiochirurgicaux, celle des cibles, celle des doses, des reculs variables, et aussi la façon d'évaluer les résultats selon les auteurs.

Dans une évaluation récente de ses résultats [30, 31], l'équipe de Marseille fait état d'un taux de guérison à 5 ans de 60 % et de la présence d'une hypoesthésie à 5 ans de 17 %. Pour Régis et al., la présence d'une hypoesthésie n'est pas nécessaire à l'obtention d'un bon résultat antalgique. Pour d'autres au contraire, en particulier Pollock de la Mayo Clinic, le degré de sédation de la douleur et surtout sa durée au fil du temps est corrélée à la présence d'une hypoesthésie post-opératoire et par voie de conséquence à un certain degré de dysesthésies (P = 0,02). [28]

++++

IV. Conclusion

En pratique il existe trois types de situations concrètes. La première est représentée par les patients en bon état général, leur permettant de supporter une anesthésie générale de 3 heures environ. Le choix de la décompression vasculaire, curative et conservatrice, est la première option. Elle se justifie d'autant plus qu'il s'agit d'une névralgie du V1 et/ou du V2 en raison des risques de kératite occasionnés par les méthodes « lésionnelles ». La deuxième est celle des patients très âgés et/ou en état général précaire. Une méthode percutanée est préférable. Le choix de la technique est affaire d'école. Quelle que soit la technique choisie, la durée d'efficacité est en principe proportionnelle au degré d'hypoesthésie séquellaire, avec ses conséquences. La radiochirurgie stéréotaxique est une alternative aux méthodes percutanées. Des situations intermédiaires sont fréquentes. La décision est alors influencée par les convictions et les compétences de l'opérateur. Elle l'est aussi bien entendu par la préférence des patients, après exposé des avantages, limites, effets secondaires et risques de chacune des méthodes.

++++

Références

1. Akimoto H, Nagaoka T, Nariori T, Takada Y, Ohno K, Yoshimo N. Preoperative evaluation of neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia by cases of three-dimensional reconstruction from two types of high-resolution magnetic resonance imaging. *Neurosurgery*, 2002 ; 51:956-962. [3/C]
2. Alvernia J, Wydh E., Simon E, Sindou M., Mertens. - Anatomie de la voie percutanée transovale vers la cavité trigéminal et le ganglion trigéminal. (voie de Hartel). *Neurochirurgie* 2009 ;55,87-91.
3. Barker F. G., Jannetta P. J., Bissonnette D. J., Larkins M. V. Jho H. D. - The long-term outcome of microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *N. Engl. J. Med.* 1996 ;334:1077-1083. [2/B]
4. Benes L, Shiratori K, Gurschi M, Sure U, Tirakotai W, Krischek B, Bertalanffy H. Is preoperative high-resolution magnetic resonance imaging accurate in predicting neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia ? A single-blind study. *Neurosurg Rev.* 2005 Apr ;28(2):131-6. [2/B]
5. Broggi G., Ferroli P., Franzini A., Servello D., Dones I. - Microvascular decompression for trigeminal neuralgia : comments on a series of 250 cases, including 10 patients with multiple sclerosis *J. Neurol. Neurosurg* 2000 ;68:59-64. [2/B]
6. Burchiel K.J. - A new classification for facial pain. *Neurosurgery*, 2003 ;53:1164-1166.
7. Dandy WE. - Concerning the cause of trigeminal neuralgia. *Am J Surg* 1934 ;24:447-455.
8. Devor M, Govrin-Lippmann R, Rappaport ZH. Mechanism of trigeminal neuralgia : an ultrastructural analysis of trigeminal root specimens obtained during microvascular decompression surgery. *J Neurosurg.* 2002 Mar ;96(3):532-43.
9. Gardner WJ, Milkos MV. - Response of trigeminal neuralgia to decompression of sensory root. Discussion of cause of trigeminal neuralgia. *JAMA* 1959 ;170:1773-1776.
10. Guclu B., Sindou M., Meyronet D., Streichenberger N., Simon E., Mertens P. - Cranial nerve vascular compression syndromes of the trigeminal, facial and vaso-glossopharyngeal nerves : Comparative anatomical study of the central myelin portion and transitional zone ; correlations with incidences of corresponding

- hyperactive dysfunctional syndromes. *Acta Neurochirurgica*, 2011 ;153:2365 - 2375. [2/B]
11. Hakanson S. - Trigeminal neuralgia treated by injection of glycerol into the trigeminal cistern. *Neurosurgery* 1981 ;9 :638-646.
 12. Headache Classification Committee of the International Headache Society. *The International Classification of Headache Disorders*, 3rd edition, Cephalgia, 2013 ;33 : 629-808.
 13. Jannetta P.J. - Microsurgical approach to the trigeminal nerve for tic douloureux. *Prog Neurol Surg* 1976 ;7:180-200. [2/B]
 14. Kanpolat Y., Savas A., Bekar A., Berk C. - Percutaneous controlled radiofrequency trigeminal rhizotomy for the treatment of idiopathic trigeminal neuralgia : 25 year experience with 1 600 patients. *Neurosurgery* 2001 ;48:524-532. [2/B]
 15. Kéravel Y., Gaston A., Ciampi de Andrade D., Mencattini G., Le Guerinel C. - Traitement de la névralgie trigéminal par la compression par ballon. *Neurochirurgie* 2009 ;55 :197-202. [2/B]
 16. Kirschner M. Die Punktio-technik und die Elektroagulation des Ganglion Gasseri : über gezielte Operationen. *Arch.Klin. Chir.*, 1933 ;176-620.
 17. Leal PR, Froment JC, Sindou M. Predictive value of MRI for detecting and characterizing vascular compression in cranial nerve hyperactivity syndromes (trigeminal and facial nerves). *Neurochirurgie*. 2009 Apr ;55(2):174-80. [2/B]
 18. Leal PR, Hermier M, Froment JC, Souza MA, Cristino-Filho G, Sindou M. Preoperative demonstration of the neurovascular compression characteristics with special emphasis on the degree of compression, using high-resolution magnetic resonance imaging : a prospective study, with comparison to surgical findings, in 100 consecutive patients who underwent microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *Acta Neurochir (Wien)*. 2010 May ;152(5):817-25. [2/B]
 19. Leal PR, Hermier M, Souza MA, Cristino-Filho G, Froment JC, Sindou M. Visualization of vascular compression of the trigeminal nerve with high-resolution 3T MRI : a prospective study comparing preoperative imaging analysis to surgical findings in 40 consecutive patients who underwent microvascular decompression for trigeminal neuralgia. *Neurosurgery*. 2011 Jul ;69(1):15-25. [2/B]
 20. Leal PR, Roch JA, Hermier M, Souza MA, Cristino-Filho G, Sindou M. Structural abnormalities of the trigeminal root revealed by diffusion tensor imaging in patients with trigeminal neuralgia caused by neurovascular compression : a prospective, double-blind, controlled study. *Pain*. 2011 Oct ;152(10):2357-64. [2/B]
 21. Leksell L.- Stereotaxic radiosurgery in trigeminal neuralgia. *Acta Chir Scand* 1971, 137, 331-314.
 22. Laughlin M.R., Jannetta P.J., Clyde B., Subach B.R., Comey C.M., Resnick D.K. - Microvascular decompression of cranial nerve. Lessons learned after 4 400 operations. *J Neurosurg* 1999 ;90:1-8.
 23. Meaney JFM, Eldridge PR, Dunn LT, Nixon TE, Whitehouse GH, Miles JB. Demonstration of neurovascular compression in trigeminal neuralgia with magnetic resonance imaging. *J Neurosurg*. 1995 ;23:799-805. [3/C]
 24. Miller JP, Acar F, Hamilton BE, Burchiel KJ. Radiographic evaluation of trigeminal neurovascular compression in patients with and without trigeminal neuralgia. *J Neurosurg*. 2009 Apr ;110(4):627-32. doi : 10.3171/2008.6.17620. [2/B]
 25. Mullan S, Lichtor T. - Percutaneous microcompression of the trigeminal ganglion for trigeminal neuralgia. *J Neurosurg* 1983 ;59:1007-1012.
 26. Parise M, Acioly MA, Ribeiro CT, Vincent M, Gasparetto EL. The role of the cerebellopontine angle cistern area and trigeminal nerve length in the pathogenesis of trigeminal neuralgia : a prospective case-control study. *Acta Neurochir (Wien)*. 2013 May ;155(5):863-8. [2/B]
 27. Patel NK, Aquilina K, Clarke Y, Renowden SA, Coakham HB. How accurate is magnetic resonance angiography in predicting neurovascular compression in patients with trigeminal neuralgia ? A prospective, single-blinded comparative study. *British Journal of Neurosurgery*, 2003 ;17 :60-64 [2/B]
 28. Pollock B. E. - Radiosurgery for trigeminal neuralgia : is sensory disturbance required for pain relief ? *J. Neurosurg (suppl.)* 2006 ;105:103-106
 29. Pollock B.E., Schoeberl K.A. - Prospective comparison of posterior fossa exploration and stereotactic radiosurgery dorsal root entry zone target as primary surgery for patients with idiopathic trigeminal neuralgia. *Neurosurgery* 2010 ;67:633-638 [2/B]
 30. Regis J. Arkha Y., Yomo S., Murata N., Roussel P., Donnet A., Peragut J. C. - La radiochirurgie dans le traitement de la névralgie trigéminal : résultats à long terme et influence des nuances techniques.

- Neurochirurgie 2009 ;55 :213-222. [3]
31. Regis J., Metellus P., Hayashi M., Roussel P., Donnet A., Bille-Turc F. - Prospective controlled trial of gamma-knife surgery for essential trigeminal neuralgia. *J Neurosurg* 2006 ;104:913-924. [2/B]
 32. Sindou M. - Neurophysiological navigation in the trigeminal nerve : use of masticatory responses and facial motor responses evoked by electrical stimulation of the trigeminal rootlets for RF - thermorhizotomy guidance. *Stereotact Funct Neurosurg* 1999 ;73:117-121.
 33. Sindou M. - Trigeminal neuralgia : a plea for microvascular decompression as the first surgical option. Anatomy should prevail. *Acta Neurochir.*, 2010, 152 :361-364.
 34. Sindou M., Amrani F., Mertens P. - Does microsurgical vascular decompression for trigeminal neuralgia work through a neocompressive mechanism ? Anatomical - surgical evidence for a decompressive effect. *Acta Neurochirur (suppl.)* 1991 ;52:127-129. [2/B]
 35. Sindou M, Howeid T, Acevedo G. Anatomical observations during Micro-Vascular Decompression for Idiopathic Trigeminal Neuralgia (with correlations between topography of pain and site of the neurovascular conflicts). Prospective study in a series of 579 patients. *Acta Neurochir*, 2002 ;144 :1-13. [2/B]
 36. Sindou M., Keravel Y. - Thermocoagulation percutanée du trijumeau dans le traitement de la névralgie faciale essentielle. Résultats en fonction du siège de la thermolésion. *Neurochirurgie* 1979 ;25 :166-172.
 37. Sindou M., Keravel Y. - Neurochirurgie fonctionnelle dans les syndromes d'"hyperactivité" du nerf crâniens. Rapport à la Société de Neurochirurgie de Langue Française. *Neurochirurgie*, 2009 ;55:75-292.
 38. Sindou M., Keravel Y., Simon E., Mertens P. - Névralgie du trijumeau et neurochirurgie. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Neurologie, (7-023-01-85-2012).
 39. Sindou M. Leston J., Decullier E., Chapuis F. - Microvascular Decompression for primary trigeminal neuralgia ; long-term effectiveness and prognostic factors in a series of 362 consecutive patients with clearcut neurovascular conflicts who underwent pure decompression. *J. Neurosurg* 2007 ;107:1144-1153. [2/B]
 40. Sindou M., Leston J, Decullier E., Chapuis F. - Microvascular decompression for trigeminal neuralgia : the importance of a non-compressive technique. Kaplan -Meier analysis in a consecutive series of 330 patients. *Neurosurgery* 2008 ;63 :341-351. [2/B]
 41. Sindou M., Leston J., Le Guerinel C., Keravel Y. - Traitement de la névralgie trigéminal par décompression vasculaire microchirurgicale. *Neurochirurgie* 2009, 55, 185-196. [3]
 42. Sindou M., Leston J., Howeid T., Decullier E., Chapuis F. - Microvascular decompression for primary trigeminal neuralgia (typical or atypical). Long-term effectiveness on pain ; prospective study with survival analysis in a consecutive series of 362 patients. *Acta Neurochir* 2006, 148, 1235-1245. [2/B]
 43. Sindou M., Tatli M. - Traitement de la névralgie trigéminal par thermorhizotomie. *Neurochirurgie* 2009, 55, 203-2010. [3/C]
 44. Sindou M., Tatli M. - Traitement de la névralgie trigéminal par injection de glycérol au niveau du ganglion de Gasser ; *Neurochirurgie* 2009, 55, 211-212. [3/C]
 45. Tatli M., Satici O., Kanpolat Y., Sindou M. - Various surgical modalities for trigeminal neuralgia : literature study of respective long-term outcomes. *Acta Neurochir* 2008, 150, 243-255. [2/B]
 46. Tatli M, Sindou M. Anatomoradiological landmarks for accuracy of radiofrequency thermorhizotomy in the treatment of trigeminal neuralgia. *Neurosurgery*. 2008 Jul ;63(1 Suppl 1) : discussion ONS137-8.
 47. Tronnier V. M., Rasch D., Hamer J., Kienle AL, Kunze S., - Trigeminal of idiopathic trigeminal neuralgia : comparison of long-term outcome after radiofrequency rhizotomy and microvascular decompression. *Neurosurg* 2001, 48, 1261-1268. [2/B]
 48. Sweet WH. Characteristics of atypical facial pain. In White JC, Sweets WH (eds). *Pain and the neurosurgeon : a forty-yeat of experience*. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, USA. 1969 pp408-409.
 49. Sweet WH. Characteristics of atypical trigeminal neuralgia. In Gybels JM, Sweet WH (eds). *Neurosurgical treatment of persistent pain*. Karger, Basel, 1989, pp41-42.
 50. Sweet WH, Wepsic JG. Controlled thermocoagulation of trigeminal ganglion and rootlets for differential destruction of pain fibers. Part 1 : trigeminal neuralgia. *J Neurosurg*,1974 ;40 :143-156 [2/B]
 51. White JC, Sweet WH. "Pain and the neurosurgeon : a forty-year experience". Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1969