

Imagerie de l'œil et de l'orbite : radiologie, échographie, scanner et résonance magnétique

O Berges
P Koskas
J Moret

Résumé. – La pathologie ophtalmologique est variée car elle concerne tant le globe oculaire lui-même, que l'orbite, mais parfois également des structures intracrâniennes (voies optiques et voies de l'oculomotricité). L'exploration des différentes pathologies ophtalmologiques fait appel à de nombreuses investigations paracliniques et, plus spécifiquement, aux diverses techniques d'imagerie (radiographies standards, échographie, tomodensitométrie et imagerie par résonance magnétique). Ainsi, schématiquement, la radiographie standard garde des indications en pathologie traumatique. L'échographie a un rôle essentiel pour la pathologie oculaire et un rôle central pour la pathologie orbitaire. Si son approche est systématique et rigoureuse, elle permet de résoudre la biométrie de précision, l'étude du vitré et de ses rapports avec la rétine, de la papille et de la macula, l'analyse du contenu orbitaire, en particulier des muscles oculomoteurs et du nerf optique. Le doppler couleur permet l'étude des vaisseaux orbitaires sur les plans qualitatif et quantitatif et de la vascularisation des processus tumoraux. La tomodensitométrie, dont la technique doit être rigoureuse, est une excellente technique de dépistage des processus occupants de l'espace orbitaire. De plus, elle donne des renseignements d'excellente qualité sur les parois osseuses orbitaires en pathologie malformative, traumatique et tumorale, mais aussi pour les pathologies tumorales, vasculaires, endocrâniennes ou inflammatoires du contenu orbitaire. L'imagerie par résonance magnétique possède des indications spécifiques (prothèse d'hydroxyapatite, pathologies des voies visuelles), mais apporte une contribution de grande valeur en matière de diagnostic topographique précis et de caractérisation tissulaire. Enfin, les explorations vasculaires conventionnelles tiennent désormais un rôle diagnostique de moindre importance, mais de plus en plus un rôle thérapeutique, grâce aux embolisations sélectives par voie endovasculaire.

En résumé, l'échographie doit garder, après la chirurgie, un rôle primordial et orienter ou choisir l'autre exploration d'imagerie éventuellement nécessaire pour apporter des informations complémentaires utiles, voire indispensables au thérapeute.

© 2000 Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Introduction

L'exploration de l'œil et de l'orbite s'est considérablement modifiée depuis ces dix dernières années. Elle fait principalement appel, actuellement, à trois techniques d'imagerie médicale qui toutes permettent de mettre en évidence directement, sans aucun acte agressif, les éléments nobles de l'orbite : globe oculaire, nerf optique et muscles. Par ordre d'ancienneté, seront envisagés successivement l'échographie (A et B), le scanner et l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Il n'est pas toujours nécessaire de les pratiquer toutes les trois, leurs renseignements étant parfois identiques et parfois complémentaires. Leurs indications respectives dépendent des signes cliniques et de la structure spécifique à explorer. Il convient de respecter des arbres de décision diagnostiques en commençant toujours par l'exploration la plus simple, la moins agressive et la moins chère. Les radiographies standards n'ont plus qu'un rôle très réduit, essentiellement réservées à l'exploration des malformations et des traumatismes. Les angiographies n'ont plus que des indications limitées dans des cas précis : bilan

artériographique diagnostique et thérapeutique des fistules carotidocaverneuses, phlébographie orbitaire des varices que l'on décide d'opérer. L'échographie-doppler couleur vient compléter les renseignements fournis par l'échographie. Il permet d'étudier la vascularisation de l'orbite et celle des masses oculaires et orbitaires.

Rappels anatomiques

Paires et symétriques par rapport au plan médian, les orbites et leur contenu sont situés dans la partie supérieure du massif facial, sous l'étage antérieur de la base du crâne. Elles affectent toutes deux la forme d'une pyramide quadrangulaire, dont l'axe est oblique d'arrière en avant et de dedans en dehors. Le prolongement postérieur des axes des deux orbites forme un angle médian, ouvert en avant de 40 à 45°. Le sommet de cet angle se situe en arrière de la lame quadrilatère du sphénoïde.

La base de l'orbite, complètement ouverte en avant, est bordée d'un rebord résistant : le cadre orbitaire qui présente, à la jonction tiers interne-deux tiers externes de sa partie supérieure, une échancrure pour les nerfs et vaisseaux sus-orbitaires.

PAROIS

– La périorbite, analogue au périoste, tapisse l'ensemble de la cavité orbitaire. Elle se continue par la dure-mère du canal optique et de la fente sphénoïdale.

Olivier Berges : Chef de service adjoint.
Patricia Koskas : Praticien titulaire.
Service d'imagerie médicale.
Jacques Moret : Chef du service de neuroradiologie interventionnelle.
Fondation Adolphe de Rothschild, 25-29, rue Manin, 75940 Paris cedex 19, France.

– La paroi supérieure du toit orbitaire (frontal-sphénoïde) est souvent creusée plus ou moins profondément par le récessus orbitaire du sinus frontal. La face endocrânienne est mamelonnée par les impressions des circonvolutions frontales inférieures, seulement séparées des toits orbitaires par les méninges.

– La paroi interne, très mince (d'avant en arrière : unguis, apophyse montante du maxillaire supérieur, face externe du corps du sphénoïde, os planum), est en rapport étroit avec les cellules ethmoïdales et la partie antérieure du sinus sphénoïdal. En avant, le sac lacrymal repose dans la fossette lacrymale de l'unguis, qui le sépare des fosses nasales en général et d'une cellule ethmoïdo-unguëale plus rarement.

– La paroi inférieure ou plancher orbitaire (maxillaire supérieur, apophyse orbitaire de l'os malaire et facette orbitaire du palatin), est parcourue par le nerf maxillaire supérieur, branche moyenne du trijumeau (V₂, d'arrière en avant dans la gouttière puis le canal sous-orbitaire). Le V₂ émerge par le trou sous-orbitaire et se divise en un bouquet de branches destinées à capter la sensibilité de la partie supérieure et antérieure de la joue. Avec lui, chemine l'artère sous-orbitaire.

– La paroi externe (grande aile du sphénoïde, apophyse orbitaire de l'os malaire), épaisse, résistante, est en rapport avec la fosse temporale externe.

ORIFICES

Plusieurs orifices perforent l'orbite.

■ Canal optique

Le canal optique est traversé par le nerf optique et l'artère ophtalmique. Le nerf optique est oblique en bas et en dehors si bien que son axe réalise avec le plan orbitoméatal un angle de - 35° et avec le plan sagittal, un angle de + 35°.

■ Fente sphénoïdale

C'est là que passent :

- tous les nerfs moteurs de l'œil :
 - le III (nerf moteur oculaire commun), qui donne la motricité à tous les muscles de l'orbite, sauf au droit latéral et au grand oblique ; il véhicule les fibres responsables de la motricité intrinsèque de l'œil ; sa paralysie complète se manifeste par : un ptôsis, un strabisme divergent, une mydriase ;
 - le IV (nerf pathétique) innerve le muscle grand oblique ; sa paralysie entraîne une diplopie oblique ;
 - le VI (nerf moteur oculaire externe) innerve le droit latéral ; sa paralysie entraîne une diplopie horizontale et un strabisme convergent ;
- les nerfs sensitifs :
 - nerfs lacrymal, frontal et nasal, branches du rameau superficiel du trijumeau (V), qui véhiculent la sensibilité de la partie supérieure de la face ;
 - la racine sympathique du ganglion ophtalmique ;
- des vaisseaux :
 - la veine ophtalmique supérieure ;
 - l'artère récurrente méningée.

■ Fente sphénomaxillaire

Elle est traversée par des veines anastomosant les systèmes veineux ophtalmique et jugulaire externe ; et des artères, branches du système carotidien externe à destinée orbitaire.

CONTENU

Les différents constituants du contenu orbitaire sont le globe oculaire, le nerf optique, les muscles oculomoteurs, la glande lacrymale, les nerfs périphériques, des artères, des veines et la graisse orbitaire.

■ Globe oculaire

Il est grossièrement sphérique, son diamètre antéropostérieur étant d'environ 22-23 mm chez l'emmetrope ; il est plus court chez l'hypermetrope et plus long chez le myope. Schématiquement, on distingue trois enveloppes et le contenu. Les trois enveloppes sont concentriques et formées de dehors en dedans par :

- la sclérotique, épaisse, membrane de soutien, qui se prolonge en avant par la cornée transparente ;
- l'uvée, membrane vasculaire, qui comprend la choroïde, le corps ciliaire et l'iris ;
- la rétine, tunique neurosensorielle, constituée de deux couches embryologiquement différentes : la rétine neurosensorielle et l'épithélium pigmenté ; la macula apparaît comme une petite dépression au centre du pôle postérieur et contient essentiellement des cônes ; elle sert à la vision centrale précise et à la vision colorée ; la périphérie rétinienne contient surtout des bâtonnets et sert surtout à la vision des formes, à la vision crépusculaire et nocturne.

Les fibres optiques se réunissent au niveau de la papille, zone aveugle saillante avec une excavation physiologique en son centre.

Le contenu est formé de milieux transparents : l'humeur aqueuse dans la chambre antérieure située entre la cornée, l'iris et le cristallin, le cristallin attaché en arrière de l'iris à la zonule et le corps vitré qui occupe tout le segment postérieur de l'œil.

■ Nerf optique

Il s'étend de la lame criblée de l'œil au chiasma. C'est un prolongement du système nerveux central, entouré par des enveloppes méningées qui limitent un espace sous-arachnoïdien rempli de liquide céphalorachidien. Artère et veine centrales de la rétine parcourent la partie centrale du tiers antérieur du nerf.

On distingue trois portions :

- la portion intraorbitaire, sinueuse pour permettre les mouvements du globe oculaire ;
- la portion intracanaulaire, dans le canal optique ;
- la portion intracrânienne au-dessus du diaphragme sellaire, dans l'axe de l'orbite, il mesure 4 mm de diamètre (plus ou moins 1 mm).

■ Muscles

Six muscles assurent les mouvements du globe. Quatre droits (supérieur, inférieur, interne et externe) et deux obliques (grand et petit). Ils forment un cône à base antérieure, dont le sommet correspond au trou optique. Les quatre muscles droits et le muscle releveur de la paupière s'insèrent au fond de l'orbite sur le tendon de Zinn, écran fibreux qui s'insère au-dessous de la racine inférieure de la petite aile du sphénoïde et qui occupe la partie la plus large, donc interne, de la fente sphénoïdale.

À ce niveau, le tendon de Zinn donne naissance au tendon des muscles droits médial, inférieur et externe ; ce dernier présente deux branches d'origine, ménageant un espace (l'anneau de Zinn), qui livre un passage aux nerfs moteur oculaire commun, moteur oculaire externe et nasal, ainsi qu'à la veine ophtalmique moyenne.

C'est en dehors de l'anneau de Zinn que pénètrent les nerfs pathétique, lacrymal et frontal.

Le grand oblique s'insère à l'apex orbitaire, longe la paroi supérieure de l'orbite et se réfléchit au niveau de sa poulie. Le petit oblique naît du plancher de l'orbite. Les quatre muscles droits s'insèrent sur la sclère en avant de l'équateur. Les deux obliques s'insèrent, eux, en arrière de l'équateur.

Ils sont solidarisés entre eux par des formations fibreuses : la capsule de Tenon entoure également le nerf optique et l'épislère du globe oculaire.

■ Vaisseaux et nerfs

L'artère ophtalmique pénètre dans l'orbite par le canal optique, située dans ce canal en dessous du nerf optique.

En dehors de l'artère, près du sommet de l'orbite, se trouve le nerf moteur oculaire externe (VI) qui s'enfonce dans la partie postérieure du muscle droit latéral.

Au-dessus du nerf optique, passent, avec l'artère ophtalmique, le nerf nasal (branche du nerf ophtalmique), sensitif, la veine ophtalmique supérieure qui décrit une courbe à convexité antéroexterne et se dirige vers la fente sphénoïdale qu'elle traverse en dehors de l'anneau de Zinn, l'artère musculaire supérieure et la branche supérieure du nerf moteur oculaire commun (III), motrice pour le droit supérieur et releveur de la paupière supérieure.

Au-dessus du nerf optique, cheminent la veine ophtalmique inférieure, l'artère musculaire inférieure et les rameaux de la branche inférieure du nerf moteur oculaire commun (III), pour le droit inférieur, le droit médial et le petit oblique.

Autour du nerf optique et dans son voisinage immédiat, cheminent des artères ciliaires longues et courtes, branches de l'artère ophtalmique et des nerfs ciliaires longs et courts. L'artère centrale de la rétine, branche de l'artère ophtalmique, pénètre dans le nerf optique 1 cm en arrière du globe oculaire.

L'espace extraconique est parcouru en haut, en dessous du toit de l'orbite, par les nerfs frontal et lacrymal, sensitifs, par le nerf pathétique (IV) pour le grand oblique et les artères sus-orbitaires et lacrymales. La partie interne de l'espace extraconique est parcourue par les artères ethmoïdales. Dans la portion antéro-supéro-interne de l'espace extraconique, l'artère nasale continue l'artère ophtalmique et s'anastomose avec l'artère faciale qui a pris le nom d'artère angulaire.

■ **Glande lacrymale**

De chaque côté, à l'angle supéroexterne de l'orbite, se situe la glande lacrymale principale. Il existe aussi des glandes lacrymales accessoires.

Échographie

HISTORIQUE

L'échographie est la meilleure méthode pour l'exploration de l'œil. La biométrie oculaire et le calcul de la puissance d'un implant intraoculaire avant intervention pour cataracte, le diagnostic et la localisation des corps étrangers intraoculaires, l'évaluation des décollements de rétine et des anomalies vitréorétiniennes, ainsi que le diagnostic et le suivi post-thérapeutiques des tumeurs oculaires sont au mieux évalués par l'échographie. L'échographie est également très utile pour l'étude de la pathologie orbitaire.

Il est impossible d'étudier le rôle et les indications de l'échographie sans rappeler brièvement l'évolution de cette technique. Les premières publications datent de plus de 30 ans : celles de Mundt et Hughes en 1956, Oksala et Lehtinen pour le mode A en 1957 et Baum et Greenwood pour le mode B en 1958. L'échographie, à cette époque, n'intéressait qu'un très petit groupe d'ophtalmologistes. Pendant une longue période, c'est essentiellement le mode A qui se développa, les images B étant alors de trop médiocre qualité et, au début des années 1970, Ossoinig et al proposaient une séméiologie A des principales pathologies intraoculaires et orbitaires. Cependant, le développement du mode A resta limité car l'aspect de ces courbes et de ces pics apparaissait bien ésothérique aux non initiés. Quelques années plus tard, de nombreux centres aux États-Unis, en Europe et au Japon développaient des appareils de mode B. C'était le début de la popularité de l'échographie en ophtalmologie. L'échographie devint une technique fiable, simple, rapide, non agressive, avec de plus en plus d'indications.

L'échographie est habituellement pratiquée par des ophtalmologistes, juste après leur examen clinique. On trouve maintenant dans les services de radiologie des machines avec une bonne échelle de gris, une image numérisée, des sondes de hautes fréquences, électroniques à focalisation variable, de grande

puissance et avec une excellente résolution spatiale (RS). Les images obtenues par ces nouvelles machines sont de si grande qualité que l'échographie peut maintenant rivaliser avec le scanner et l'IRM pour l'évaluation morphologique et topographique des lésions oculaires et des tumeurs orbitaires. De plus, ces machines permettent souvent d'associer un doppler couleur et un doppler pulsé. Une coopération étroite entre les ophtalmologistes et les services d'imagerie médicale pourrait étendre les applications de l'échographie orbitaire et le rendement de l'imagerie médicale en ophtalmologie. Quant à l'approche de la caractérisation tissulaire, le mode B est maintenant aussi performant que le mode A et supérieur au scanner et à l'IRM.

PRINCIPES PHYSIQUES

L'échographie utilise les propriétés de la propagation, de réflexion et d'atténuation d'ondes (ultra) sonores. L'oreille humaine peut percevoir des sons de fréquence comprise entre 16 et 20 000 Hz. La fréquence des ultrasons utilisés en diagnostic médical varie de 2 à 20 MHz (1 MHz = 10⁶ Hz). En pratique, les ultrasons sont produits en appliquant un courant électrique alternatif sur un quartz (ou une céramique) piézoélectrique. Sous l'influence du courant électrique, le cristal se dilate et se contracte selon la polarité du courant, entre en vibration et entraîne la formation d'ondes acoustiques. La sonde peut être émettrice et réceptrice. L'émission est extrêmement brève (une émission de quelques microsecondes toutes les millisecondes). Le reste du temps, la sonde analyse les échos réfléchis, l'appareil ensuite les amplifie, les traite et les représente sous la forme d'une image.

La fréquence ultrasonore émise est toujours la même pour une sonde donnée. L'œil et l'orbite étant des structures superficielles, on peut utiliser des sondes de « haute fréquence », qui ont une bonne résolution longitudinale (0,1 mm à 8 MHz), mais, en revanche, ont une pénétration limitée (≈ 6 cm à 7,5 MHz). L'optimum est d'utiliser une sonde de 7,5 MHz pour l'exploration de l'orbite, et de 10 à 15 MHz pour le globe oculaire. L'intensité d'un ultrason s'exprime en W/cm². Cependant, il est plus utile d'utiliser une unité de mesure relative, le décibel (dB).

Quand il atteint une interface avec un milieu de propriété acoustique différente, un ultrason peut être réfléchi, réfracté ou diffracté, de façon similaire à la propagation de la lumière au travers de milieux d'indices de réfraction différents. La caractéristique acoustique d'un milieu est l'impédance acoustique qui dépend de la célérité des ultrasons dans ce milieu et de la masse volumique de ce milieu. La réflexion des ultrasons est maximale quand le faisceau est perpendiculaire à l'interface. Quand le faisceau ultrasonore progresse dans un milieu microscopiquement hétérogène, un autre phénomène apparaît : la diffusion qui participe à l'atténuation du faisceau ultrasonore.

MODES DE REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS

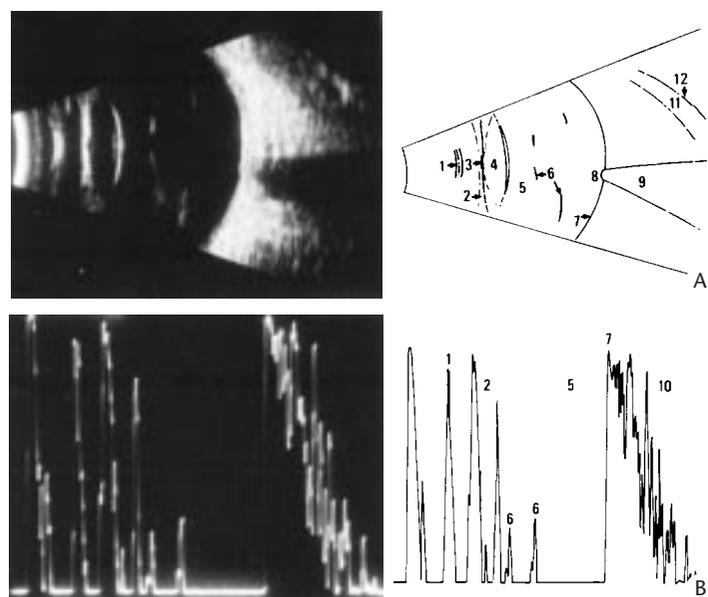
Il existe différents modes de représentation des résultats.

■ **Mode A**

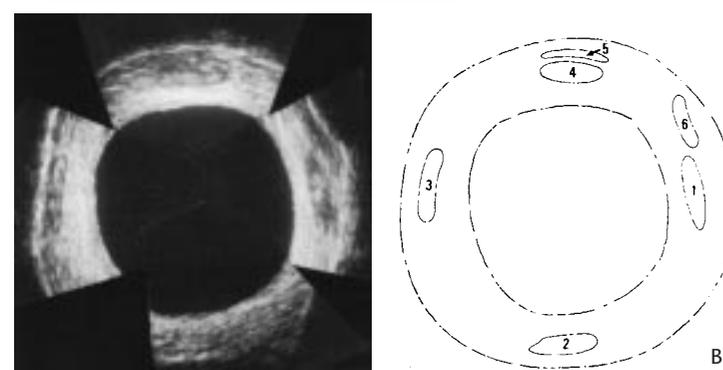
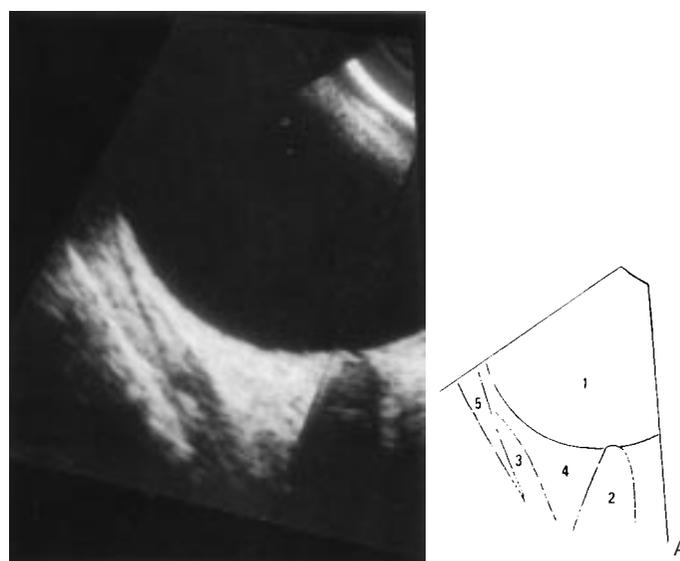
Le mode A (amplitude) (*fig 1B*) : sur l'écran, l'abscisse représente l'axe des temps. Les mesures sont exprimées en microsecondes (μs). Connaissant la vitesse moyenne des ultrasons dans les tissus mous, on peut y substituer une échelle millimétrique. L'ordonnée est l'axe des amplitudes. C'est la représentation unidimensionnelle du signal sous la forme de déflexions, de pics plus ou moins hauts suivant l'importance des échos réfléchis.

■ **Mode B**

Le mode B (brillance) (*fig 1A*) : il s'agit d'une représentation bidimensionnelle des signaux sous la forme de points. L'échelle de gris permet d'avoir une notion d'amplitude en attribuant à chaque point un gris plus ou moins foncé selon l'amplitude de l'écho. Au fur et à mesure de sa progression dans les tissus, l'énergie du faisceau



- 1 A. Échographie, mode B : coupe axiale normale.
 B. Échographie, mode A : incidence axiale normale (cette incidence permet de mesurer la longueur axiale). 1. Cornée avec deux interfaces (la plus antérieure correspond à l'épithélium et à la membrane de Bowman, la plus profonde correspond à l'endothélium et à la membrane de Descemet) ; 2. iris (il se confond souvent avec la capsule antérieure du cristallin) ; 3. pupille au centre du diaphragme irien ; 4. cristallin ; 5. vitré ; 6. artefacts de répétition de la cornée et du cristallin ; 7. paroi postérieure du globe oculaire (interface vitréorétinienne) ; 8. papille ou tête du nerf optique ; 9. nerf optique, conique et anéchogène à gain standard ; 10. graisse orbitaire rétrobulbaire hyperéchogène ; 11. muscle droit latéral, hypoéchogène ; 12. paroi externe de l'orbite (la paroi orbitaire interne n'est pas visible car le faisceau ultrasonore lui est parallèle).



- 2 A. Échographie, mode B, coupe longitudinale d'un muscle oculomoteur (ici, le droit médial) ; reconstruction à partir de deux images explorant l'une la partie antérieure, l'autre le ventre du muscle ; la partie antérieure apparaît échogène, et le ventre (qui ne peut être perpendiculaire au faisceau ultrasonore) est hypoéchogène. Le tendon et la capsule de Tenon qui entourent le muscle sont peu échogènes. 1. Globe oculaire ; 2. nerf optique ; 3. droit médial ; 4. graisse orbitaire intraconique ; 5. graisse orbitaire extraconique.
 B. Échographie, mode B, image composée de quatre coupes coronales démontrant cinq des six muscles oculomoteurs. 1. Droit médial ; 2. droit inférieur ; 3. droit latéral ; 4. droit supérieur ; 5. releveur de la paupière supérieure ; 6. grand oblique.

ultrasonore diminue. Cette atténuation est due à la réflexion, à la réfraction et à l'absorption. La courbe d'atténuation est exponentielle, dépendant de l'impédance acoustique du milieu et surtout de la fréquence de la sonde. Le coefficient d'atténuation est un paramètre de la caractérisation tissulaire (Price et al, 1980 ; Coleman et al, 1985 ; Felepa et al, 1986 ; Thijssen, 1988). Pour l'imagerie seule, cette atténuation est corrigée par une amplification électronique des échos réfléchis. Cette amplification peut être linéaire, logarithmique ou « spéciale » (courbe en « S », décrite par Ossoinig). On peut ajouter une amplification sélective pour compenser l'atténuation des échos lointains. Cette modulation est représentée par la courbe de gain (TGC ou *time gain compensation*). L'échographe doit comprendre tous ces paramètres pour interpréter correctement les images obtenues. Une focalisation acoustique ou électronique du faisceau ultrasonore est nécessaire pour avoir une bonne résolution latérale sur tout le champ d'exploration.

RÉALISATION PRATIQUE DE L'EXAMEN

L'examen n'est pas douloureux, si l'on met quelques gouttes de collyre anesthésique dans chaque œil avant l'examen. La sonde est placée directement sur la conjonctive ou sur la paupière fermée et, dans ce cas, couplée par l'intermédiaire d'un gel de méthylcellulose. La sonde doit être relativement petite afin de pouvoir explorer l'ensemble du volume orbitaire. Il est utile d'avoir un repère sur la sonde afin d'éviter de se tromper de localisation.

Il convient de rappeler quelques notions de base.

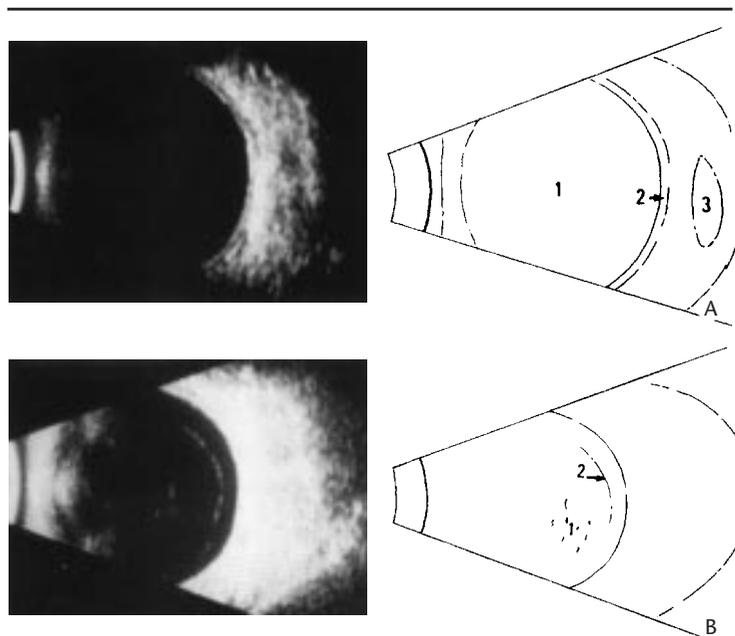
Le mode B donne une vue bidimensionnelle des structures sur une coupe analogue à une coupe anatomique. En règle générale, pour étudier correctement une structure, il faut que le faisceau ultrasonore soit perpendiculaire à cette structure (c'est le cas idéal où le faisceau US est réfléchi ou transmis, mais où il n'y a ni réfraction ni diffraction) (fig 2, 3).

Dans certains cas, au contraire, on préfère utiliser un faisceau US oblique à la structure recherchée (de manière à la faire

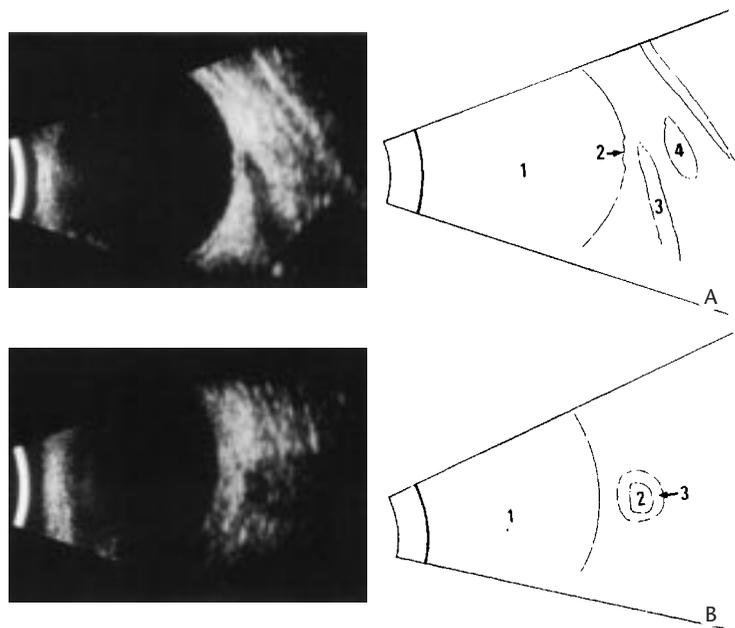
artificiellement « sortir » de son environnement) (fig 4). C'est le cas de l'exploration de la papille et de la macula, ainsi que de la recherche des corps étrangers. En rapport avec la forme (sphérique) du globe oculaire et (pyramidale) de la cavité orbitaire, l'exploration doit comprendre de nombreuses coupes transoculaires et paraoculaires, pour étudier de façon systématique toutes les structures oculaires et orbitaires. La reconstruction du volume se fait ensuite mentalement. Les coupes transoculaires étudient parfaitement l'œil et l'espace rétrobulbaire ; les coupes paraoculaires sont utiles pour l'étude des lésions antérieures et périoculaires.

Un bain d'eau est habituellement inutile pour l'exploration de l'œil et de l'orbite. Pour l'étude de l'espace rétrobulbaire, c'est l'œil lui-même qui joue le rôle de poche à eau. Pour l'étude du segment antérieur de l'œil, afin de placer la zone à étudier dans la zone focale, une étude en immersion (avec une grande quantité de gel), les paupières ouvertes, est très utile. Pour l'étude des lésions orbitaires antérieures, il faut, là aussi, poser la sonde sur un épais matelas de gel sur les paupières. Ces « ruses » techniques ne sont plus autant indispensables avec les nouvelles sondes électroniques à focalisation variable.

Après une coupe axiale (fig 1A) (qu'il vaut mieux réaliser en immersion, pour éviter les artefacts dus aux paupières), il convient d'explorer toujours quatre méridiens (fig 2A) et quatre champs (fig 2B, 3A, B), en tournant autour du globe et en angulant la sonde autour de son axe.



3 Échographie normale, mode B, coupes transvitréennes.
 A. À gain standard, démontrant la paroi du globe et les structures orbitaires.
 1. Globe oculaire ; 2. paroi postérieure du globe ; 3. droit médial.
 B. À gain élevé, analysant bien le vitré. 1. Corps flottants intravitréens ; 2. décollement de la hyaloïde postérieure.



4 Échographie, mode B, coupes obliques.
 A. Étude de la papille.
 B. Étude du nerf optique. 1. Globe oculaire ; 2. papille ; 3. nerf optique ; 4. espaces sous-arachnoïdiens.

Quand une lésion est découverte, il faut faire deux coupes orthogonales pour la mesurer précisément dans les trois plans de l'espace. Enfin, il faut des incidences spéciales pour explorer certaines structures comme la papille et la macula, le nerf optique rétrobulbaire et les vaisseaux de l'orbite. L'exploration en mode B constitue la partie essentielle de l'exploration échographique oculaire et orbitaire. Le mode A n'est utile que pour préciser les caractéristiques d'une lésion : caractérisation tissulaire d'une tumeur, biométrie précise d'une lésion ou d'une structure anatomique normale (longueur axiale du globe oculaire, nerf optique, muscle oculomoteur).

Il est indispensable, pour l'approche de la caractérisation tissulaire, que les paramètres de la courbe de gain soient identiques d'un cas à l'autre. Il est recommandé de commencer l'examen à « gain stan-

dard »^[1] (fig 3A). Des coupes à gain faible et élevé (fig 3B) sont ensuite habituellement utiles : la structure interne est parfois mieux appréciée sur les coupes à gain élevé et, en revanche, les limites d'un processus sont parfois mieux analysables sur les coupes à gain réduit.

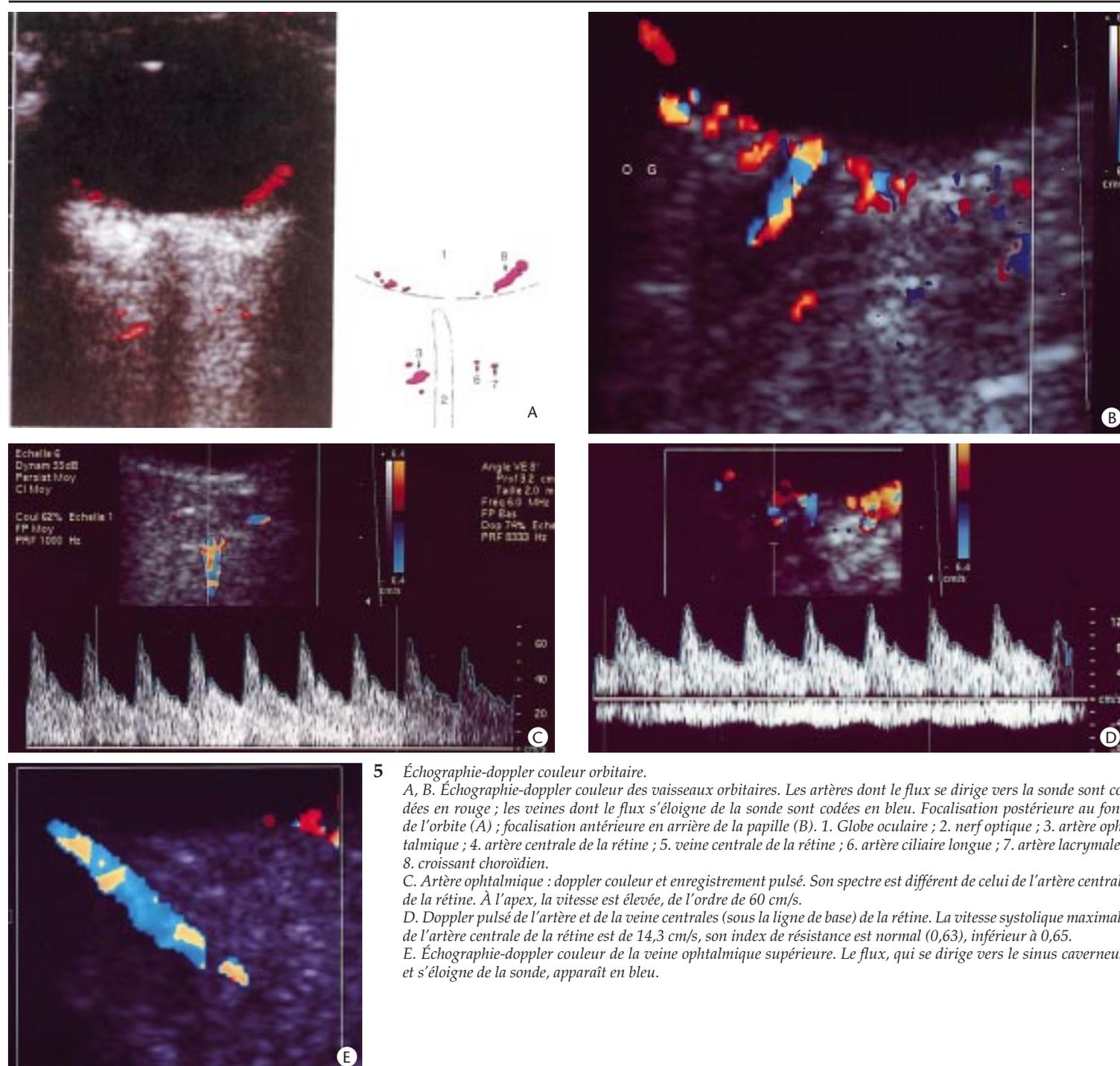
ÉCHOGRAPHIE-DOPPLER COULEUR

L'échographie-doppler couleur (fig 5) permet de coupler à une imagerie B de grande qualité une imagerie des flux vasculaires. Un système de codage des couleurs permet de connaître la direction de ces flux ; par exemple, le rouge (et/ou l'orange) pour les flux qui se dirigent vers le capteur, le bleu (et/ou le vert) pour les flux qui s'éloignent. Dans l'orbite, la plupart des vaisseaux dont le flux se dirige vers la sonde sont des artères qui sont codées habituellement et arbitrairement en rouge, et la plupart des vaisseaux dont les flux s'éloignent de la sonde sont des veines qui sont codées en bleu. Plus l'axe du vaisseau coïncide avec l'axe du tir doppler, plus le signal est élevé. Il y a parfois un compromis à trouver entre la qualité des images B, qui sont meilleures quand l'interface est perpendiculaire au faisceau ultrasonore et la qualité des images des flux vasculaires. En plaçant une petite porte doppler à l'intérieur du vaisseau démontré sur le doppler couleur, on peut enregistrer les spectres et connaître ainsi la vitesse systolique maximale et calculer des index traduisant la résistance du territoire perfusé et la pulsativité du vaisseau. Le doppler couleur et pulsé est principalement utile pour analyser le caractère vasculaire d'une lésion et pour étudier la pathologie vasculaire, en particulier les fistules carotidocaverneuses.

INDICATIONS

Les indications d'une échographie sont nombreuses en ophtalmologie (tableaux I, II). La biométrie oculaire et le calcul d'implant avant chirurgie de la cataracte, le diagnostic et la localisation des corps étrangers intraoculaires, l'évaluation du segment postérieur, en particulier en cas d'opacité des milieux transparents, ainsi que le diagnostic et le suivi post-thérapeutique des tumeurs oculaires sont au mieux évalués par l'échographie.

La précision des mesures de la longueur axiale et donc la qualité de l'acuité visuelle postopératoire ne s'obtiennent que par une pratique rigoureuse et régulière. En pathologie oculaire ou orbitaire, la précision du diagnostic et la qualité des informations fournies au clinicien passent obligatoirement par une formation sérieuse et par une technique d'examen parfaite. L'analyse séméiologique doit être rigoureuse, se fondant sur les règles de propagation du faisceau US et sur la connaissance des situations cliniques, de la pathologie et des renseignements utiles recherchés par le clinicien-chirurgien. En pathologie du segment postérieur, on peut rencontrer des échos punctiformes ou des membranes (tableaux III, IV). L'échographie est un examen dynamique, en temps réel ; c'est là son avantage principal par rapport aux autres techniques d'imagerie médicale. C'est l'étude de la réflectivité de ces échos (échographie quantitative), de leur situation et de leur morphologie (échographie topographique), mais également de leur mobilité (échographie cinétique) qui permet un diagnostic fiable et précis. Les progrès technologiques récents et à venir permettent et permettront encore davantage de donner des renseignements utiles quand les milieux sont clairs. C'est le cas en particulier des lésions du segment antérieur étudiées par la biomicroscopie ultrasonore avec des sondes



5 Échographie-doppler couleur orbitaire.

A, B. Échographie-doppler couleur des vaisseaux orbitaires. Les artères dont le flux se dirige vers la sonde sont codées en rouge ; les veines dont le flux s'éloigne de la sonde sont codées en bleu. Focalisation postérieure au fond de l'orbite (A) ; focalisation antérieure en arrière de la papille (B). 1. Globe oculaire ; 2. nerf optique ; 3. artère ophthalmique ; 4. artère centrale de la rétine ; 5. veine centrale de la rétine ; 6. artère ciliaire longue ; 7. artère lacrymale ; 8. croissant choroïdien.

C. Artère ophthalmique : doppler couleur et enregistrement pulsé. Son spectre est différent de celui de l'artère centrale de la rétine. À l'apex, la vitesse est élevée, de l'ordre de 60 cm/s.

D. Doppler pulsé de l'artère et de la veine centrales (sous la ligne de base) de la rétine. La vitesse systolique maximale de l'artère centrale de la rétine est de 14,3 cm/s, son index de résistance est normal (0,63), inférieur à 0,65.

E. Échographie-doppler couleur de la veine ophthalmique supérieure. Le flux, qui se dirige vers le sinus caverneux et s'éloigne de la sonde, apparaît en bleu.

de très haute fréquence et des lésions du pôle postérieur où l'échographie permet, non seulement d'étudier la lésion, mais également d'analyser l'interface devant la lésion.

LOCALISATION

La localisation précise de la lésion et ses rapports avec les structures anatomiques normales est un élément capital pour arriver au diagnostic exact. La lésion peut être intraconique, développée ou non aux dépens du nerf optique, affecter un ou plusieurs muscles oculomoteurs, être extraconique, intra- et extraconique ou diffuse ou bien encore à cheval sur l'orbite et les espaces environnants. Elle peut être au contact ou bien séparée du nerf optique ou d'un muscle oculomoteur.

MORPHOLOGIE DE LA LÉSION

Il faut noter sa forme, souvent ronde ou ovale, quand elle est intraconique, lenticulaire quand elle est extraconique, ses contours

réguliers, lobulés ou irréguliers et ses limites : bien, moyennement ou mal limitée. Parfois, la partie postérieure de la lésion est difficile à apprécier en échographie, en particulier quand la lésion atténue fortement le faisceau ultrasonore. Ceci est plus rare si l'on utilise des sondes de 7,5 MHz, de haute énergie, à focalisation variable.

APPROCHE DE LA CARACTÉRISATION TISSULAIRE DE LA LÉSION

Elle se fonde sur l'échographie quantitative. En routine, elle étudie de façon semi-quantitative deux paramètres : la réflectivité et l'atténuation. La réflectivité et l'atténuation peuvent maintenant s'apprécier aussi bien avec les nouveaux échographes en mode B avec une très bonne échelle de gris qu'avec les anciens échographes en mode A. Dans tous les cas, il faut pour cela travailler à « gain tissulaire ». Certains appareils utilisant des ordinateurs puissants peuvent calculer le vrai coefficient d'atténuation des processus.

Tableau I. – Indications d'une échographie en ophtalmologie.

- **Biométrie**
 - Pour calculer la puissance de l'implant avec chirurgie de la cataracte
 - Mode >> mode B (myopie)
 - Devrait comprendre une étude systématique du segment postérieur en mode B
- **Étude du segment antérieur**
 - Au mieux : très haute fréquence, 50-100 MHz, dans tous les cas en immersion
 - Étude de la cornée, de l'angle iridocristallinien, des lésions et des tumeurs de l'iris et du corps ciliaire
- **Étude de la pathologie non tumorale du segment postérieur, principalement en cas d'opacité des milieux transparents**
 - Opacité de la cornée (traumatismes, infections)
 - Opacité de la chambre antérieure (hyphéma, hypopion)
 - Séclusion pupillaire
 - Cataracte
 - Trouble du vitré (sénescence, réflectivité de l'espace intravitréen et rétrohyaloïdien (hyphéma postérieur), organisation, membrane cyclitique, rapports vitréorétiniens, décollement partiel ou total de la hyaloïde postérieure, collapsus du gel vitréen)
 - Étude de la rétine (décollement : extension, stade, prolifération vitréorétinienne, cause, contrôle postopératoire)
 - Étude de la choroïde (décollement : espace suprachoroïdien et supracillaire, état de la rétine ; épaisseur)
 - Étude de la sclère (amincissement, épaissement [orbite])
 - Étude de la papille (excavation, saillie du nerf optique, colobome)
 - Étude de la macula (œdème, dégénérescence, trou : interface vitréorétinienne)
- **Pathologie traumatique**
 - Contusions, plaies pénétrantes : cf supra
 - Corps étrangers : toujours après des radiographies standards, détection, localisation (+++), lésions associées ± scanner (si doute)
- **Diagnostic des leucocories chez l'enfant**
 - Rétinoblastome (endophytique, exophytique, diffus, classification de Reese, extension)
 - Pseudogliome : rétinite de Coats, rétinopathie des prématurés, persistance hyperplasique du vitré primitif, malformations vitréorétiniennes, dysplasies rétinienne, uvéites à pseudogliome, décollement de la rétine et plis rétinien de l'enfant, *Toxocara canis*
- **Masses oculaires de l'adulte**
 - Au mieux associée à une échographie-doppler couleur
 - Mélanome malin de l'uvée (diagnostic + et différentiel [hyporéflectivité, excavation choroïdienne, vascularisation], mesures avant traitement conservateur, longueur axiale du globe oculaire, extension [sclère, nerf optique] [IRM], futur : caractérisation tissulaire, 3D, ± suivi post-thérapeutique [réflectivité, épaisseur, vascularisation])
 - Métastase
 - Hémangiome choroïdien
 - Phakome
 - Tumeurs de la papille (mélanocytome)
 - Granulome (tuberculeux, toxoplasmose...)
 - Hématome choroïdien et sous-rétinien (dégénérescence maculaire liée à l'âge pseudotumorale)
- **Pathologie orbitaire**
 - Cf arbres de décision diagnostique, scanner, IRM
 - Au mieux après l'analyse des signes cliniques pour orienter vers un scanner ou une IRM (un seul examen étant le plus souvent suffisant)
 - Au mieux associée à une échographie-doppler couleur
 - Biopsie sous contrôle échographique (tumeurs « non chirurgicales » : métastases, lymphomes...)

IRM : imagerie par résonance magnétique.

CRITÈRES CINÉTIQUES ET VASCULAIRES ÉVENTUELS DE LA LÉSION

Il est facile d'étudier la consistance d'une lésion en étudiant sa forme, inchangée ou modifiée après compression ou après certaines manœuvres comme celle de Valsalva. Il était parfois possible de détecter des flux vasculaires à l'intérieur d'une lésion en mode B ou en mode A. Mais, depuis l'avènement du doppler couleur, ce renseignement est devenu facile à mettre en évidence, et l'étude de ces flux en doppler pulsé permet d'ajouter un élément quantitatif pour le diagnostic différentiel. On conçoit qu'il est facile de différencier un kyste d'une lésion tumorale solide, vascularisée. Il faut savoir cependant que certaines tumeurs vasculaires comme l'angiome caverneux ne présente pas de flux interne.

Le doppler permet également de diagnostiquer aisément et de bien étudier les fistules carotidocaverneuses, surtout les fistules dures de la loge caverneuse à faible débit. Enfin, le doppler permet

Tableau II.

Diagnostic positif et différentiel des mélanomes malins de l'uvée
Suivi après traitement conservateur des mélanomes malins de l'uvée
Étude de la pathologie vasculaire oculaire et orbitaire (athérome, diabète, glaucome, myopie, maladie de Horton...)
Caractérisation des processus occupant l'espace orbitaire par l'étude de leur vascularisation

- Sans flux : kystes, angiome caverneux...
- Flux + : méningiome, lymphome...
- Flux +++ : hémangi endothéliome bénin du nourrisson
- Périphérie : capsule, encocheillage
- Retentissement sur les vaisseaux normaux (artère ophtalmique, artère centrale de la rétine...)

Diagnostic positif et suivi post-thérapeutique des fistules carotidocaverneuses

Tableau III. – Causes des échos punctiformes multiples du segment postérieur du globe oculaire.

- Dégénérescence
- Hémorragie
- Hyalite
- Hyalitis astéroïdes
- Synchisis étincelant
- Après ablation de silicone
- Microcorps étrangers multiples
- Essaimage tumoral

Tableau IV. – Diagnostic d'une membrane intraoculaire.

- Membrane vitréenne
- Hyaloïde postérieure
- Rétinoschisis
- Déchirure
- Décollement de rétine
- Décollement séreux de l'épithélium pigmentaire
- Décollement choroïdien
- Pseudomembrane (hyphéma postérieur)

d'étudier parfaitement la vascularisation artérielle et veineuse orbitaire et de rechercher le retentissement sur ces vaisseaux d'un processus orbitaire ou intracrânien.

À l'issue de l'examen échographique, on peut décider s'il est nécessaire de pratiquer d'autres examens : scanner et/ou IRM. Il est très important de connaître l'extension exacte de la lésion. Quand la lésion est purement orbitaire et spécialement lorsqu'elle est intraconique, l'échographie est suffisante. Quand la lésion touche les parois de l'orbite, la déformation, l'érosion ou encore la destruction osseuse sont mieux appréciées par le scanner. Quand la lésion s'étend dans les espaces environnants, l'IRM apprécie bien cette extension.

Scanner (examen tomodynamométrique) (fig 6 à 9)

Le scanner à rayons X est une technique devenue classique. Depuis ses débuts, les progrès furent constants, permettant d'améliorer régulièrement la qualité des images et donc des informations obtenues, d'augmenter ses possibilités et de diminuer le temps d'acquisition (TA). Pour arriver au diagnostic le plus précis possible, il convient de bien comprendre les éléments qui conditionnent la qualité de l'image et d'avoir une technique d'examen rigoureuse (tableau V).

Contrairement à la tomographie conventionnelle où l'ensemble de l'organe est irradié à chaque coupe, en tomodynamométrie, seul le volume étudié est atteint par le rayonnement. En mode incrémentiel, c'est-à-dire acquisition coupe par coupe, on distingue les coupes jointives pour lesquelles se produit une légère diffusion du



6 Topogramme de profil avec programmation de la pile de coupes de l'acquisition hélicoïdale. Noter la faisabilité de l'examen dans d'excellentes conditions, malgré les dents plombées, source d'artefacts pour les coupes coronales.

Tableau V. – Indications du scanner en ophtalmologie.

- **Rétinoblastomes**
 - Calcifications tumorales
 - Extension de la tumeur (+++) (nerf optique, orbite, chiasma et voies optiques rétrochiasmatiques, métastases cérébro-méningées et osseuses)
 - Surveillance après traitement
- **Microphthalmies**
 - Taille, forme et structure du globe et des structures orbitaires
 - Retentissement sur la cavité orbitaire : 3D (+++), malformations associées
- **Corps étrangers**
 - Oculaires : multiples (+++)
 - Orbitaires végétaux (+++)
- **Fractures**
 - Coronales directes (+++)
 - Reconstructions 2D (coronales, sagittales et coronales obliques)
 - 3D
- **Malformations orbitaires, craniosténoses, cranio-fascio-sténoses et syndromes fissuraires**
 - 3D
- **Pathologie orbitaire**

(Cf arbres de décision diagnostique, ± échographie, ± IRM)

 - Maladie de Basedow, inflammations orbitaires, varices
 - POE intraorbitaires diffus, mal limités
 - POE antérieurs
 - POE de l'apex et à cheval sur l'orbite et les espaces environnants
 - Atteinte orbitaire des maladies générales (± 3D)
 - Contrôle après chirurgie
- **Paralysies oculomotrices**
 - Après une IRM ± artériographie
 - Anévrismes, traumatismes, tumeurs...
- **Pathologie des voies visuelles**
 - Chiasma, voies optiques rétrochiasmatiques
 - Après une IRM
 - Étude des lésions osseuses (+++)

POE : processus occupant de l'espace ; IRM : imagerie par résonance magnétique.

rayonnement d'une couche sur la couche voisine, des coupes chevauchées où l'on note un accroissement de la dose en fonction du degré de chevauchement. La dose délivrée au cristallin, qui est le plus radiosensible, n'excède habituellement pas plus de 40 cGy. En mode hélicoïdal ou volumique, l'irradiation est nettement inférieure par rapport à l'acquisition de coupes chevauchées tout en permettant la réalisation d'images reconstruites dont l'incrément est faible.

PRINCIPES PHYSIQUES

La résolution en densité exprime les plus faibles contrastes de densité décelables. Elle est limitée par le bruit quantique, c'est-à-dire le caractère aléatoire de l'émission des rayons X. Quand le nombre de photons détectés augmente, le bruit diminue et le rapport signal/bruit (RSB) s'accroît. Si le faisceau de rayons X devient plus étroit, le débit de dose restant constant, le nombre de photons X qui frappent les détecteurs diminue. Pour une même dose, une coupe fine par rapport à une coupe épaisse se traduit par une moins bonne capacité du système à différencier des structures de densité voisine. La résolution spatiale exprime la plus petite structure décelable. C'est la raison pour laquelle le choix d'un champ de vue adapté à la structure anatomique étudiée (de l'ordre de 210 mm pour les orbites) est nécessaire puisque la taille du pixel est définie par la matrice (ici 512 x 512) et le champ de vue. Si l'on diminue la taille, de façon importante, la taille du pixel et donc du voxel, la dose absorbée par le voxel diminue, ce qui conduit à diminuer le RSB, produisant ainsi des images de moins bonne qualité.

CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES

L'exploration tomodynamométrique de l'orbite doit être rigoureuse. Comme l'espace à étudier est une pyramide occupée en avant par une sphère, le globe oculaire, et centrée par une structure arrondie, le nerf optique, il apparaît donc évident d'étudier l'orbite par des coupes fines de 1 ou 2 mm de diamètre de façon à éviter les effets de volume partiel, dans un plan axial et un plan perpendiculaire, en mode incrémentiel, avec un espacement des coupes de 2 à 4 mm, pour étudier l'ensemble du volume orbitaire. Toujours selon l'acquisition incrémentielle, l'étude d'une structure fine, dans son grand axe, comme le nerf optique, nécessite des coupes jointives, voire chevauchées.

L'acquisition hélicoïdale, qui ne peut être réalisée que sur un appareil à rotation continue, multibarrettes, permet l'étude d'un volume par l'avance continue à vitesse constante de la table d'examen, lors de l'acquisition des données et la rotation concomitante, selon une vitesse et un sens constants, du tube et des détecteurs. Les coupes peuvent être reconstruites en tout point de ce volume. Ainsi, les coupes reconstruites peuvent être perpendiculaires au plan axial ou sagittales obliques selon le grand axe du nerf optique.

Dans certaines applications, on peut ainsi réaliser des reconstructions curvilignes, épousant fidèlement le contour d'une structure anatomique. Les avantages d'une telle méthode d'examen sont nombreuses. Elle permet de choisir un petit incrément de reconstruction qui permet de compenser les effets de volume partiel. Elle améliore la détection des petites lésions et la précision de leur mesure, optimise la qualité des reconstructions multiplanaires et des représentations tridimensionnelles.

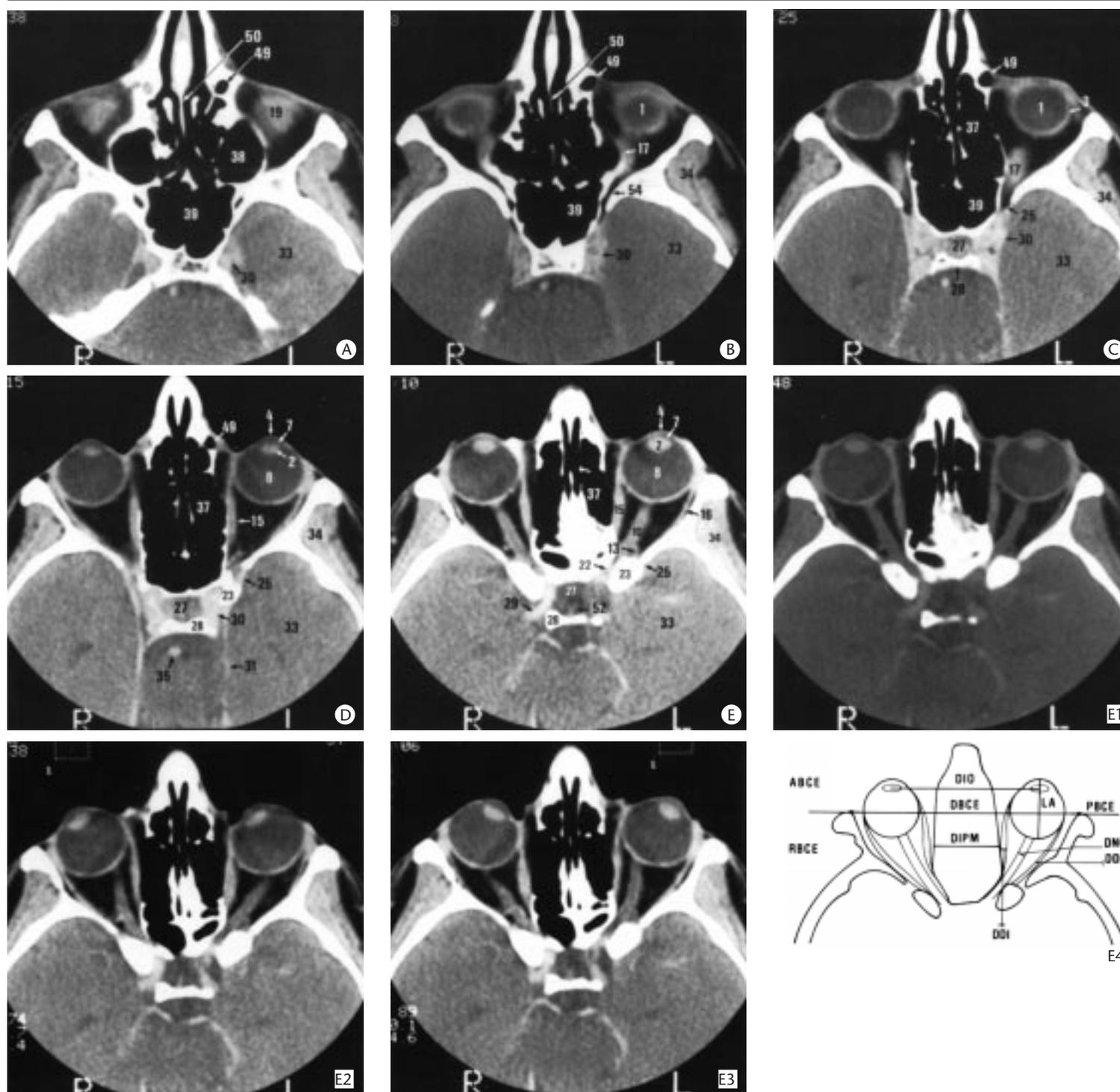
Enfin, la réduction de l'incrément (s'agissant d'un paramètre de reconstruction et non d'acquisition), n'entraîne pas de modification de la durée d'acquisition ni d'augmentation de la dose totale délivrée. La rapidité d'acquisition permet l'exploration de la totalité du volume orbitaire, durant la même phase vasculaire et réduit les artefacts de mouvements. Néanmoins, l'avancée technologique décrite ici ne permet pas d'éviter le problème de l'immobilité stricte des yeux que l'on doit exiger du patient pour un examen d'excellente qualité. L'utilité d'un point de fixation matérialisé est démontrée.

Les limites d'une telle technique sont essentiellement d'ordre technologique : nécessité d'un tube très performant et capacités informatiques puissantes.

Ainsi, si l'on peut disposer d'un appareil à rotation continue, nous recommandons le mode hélicoïdal pour l'étude des orbites dans la majorité des indications cliniques.

CHOIX DES PARAMÈTRES D'ACQUISITION

En mode incrémentiel, il faut définir une épaisseur de coupes (1 à 2 mm), un incrément de 4 mm (sauf pour l'étude du nerf optique où des coupes jointives, voire chevauchées sont nécessaires) sur



- 7 Scanner, coupes axiales sériees, dans le plan neuro-oculaire.
- A. Coupe toute inférieure passant par l'oblique inférieur.
- B, C. Coupes inférieures passant par le droit inférieur.
- D. Coupe inférieure située en dessous du nerf optique.
- E, E1. Coupes passant par le nerf optique. E. Fenêtres parenchymateuses. E1. fenêtre osseuse.
- E2, E3. Coupes passant par le nerf optique, regard à droite (E2), et à gauche (E3)
- E4. Schéma d'une coupe axiale passant par le plan neuro-oculaire, références biométriques (d'après Cabanis et al).
- Le plan bicanthale externe (PBCE) sépare l'orbite en un espace antérieur (ABCE) et postérieur (PBCE) à ce plan. On le trace en joignant le point antérieur des deux piliers orbitaires externes dans le plan neuro-oculaire (PNO).
- La distance bicanthale externe (DBCE) mesure l'écart existant entre l'extrémité antérieure des deux piliers orbitaires externes, $DBCE = 97,52 \text{ mm} \pm 4,43$.
- La distance interoculaire (DIO) sépare le point central des deux cristallins dans le PNO. $DIO = 63,73 \pm 3,62$.
- La distance interplanale maximale (DIPM) sépare les deux parois orbitaires internes en regard de l'éventuelle convexité temporale de celles-ci. $DIPM = 28,70 \pm 2,67$. La longueur axiale du globe oculaire (LA) est mesurée depuis la

cornée jusqu'à la macula. La macula est située à 3 mm en dehors de la papille. Il faut noter que cet axe visuel du globe n'est pas le même que l'axe géométrique du globe : centre de la cornée-papille. $LA = 23,5 \pm 1,03$.

Le segment prébicanthale du globe oculaire répond à la perpendiculaire élevée depuis le PBCE jusqu'au centre de la cornée. Valeurs moyennes : $OD = 15,89$; $OG = 15,77$.

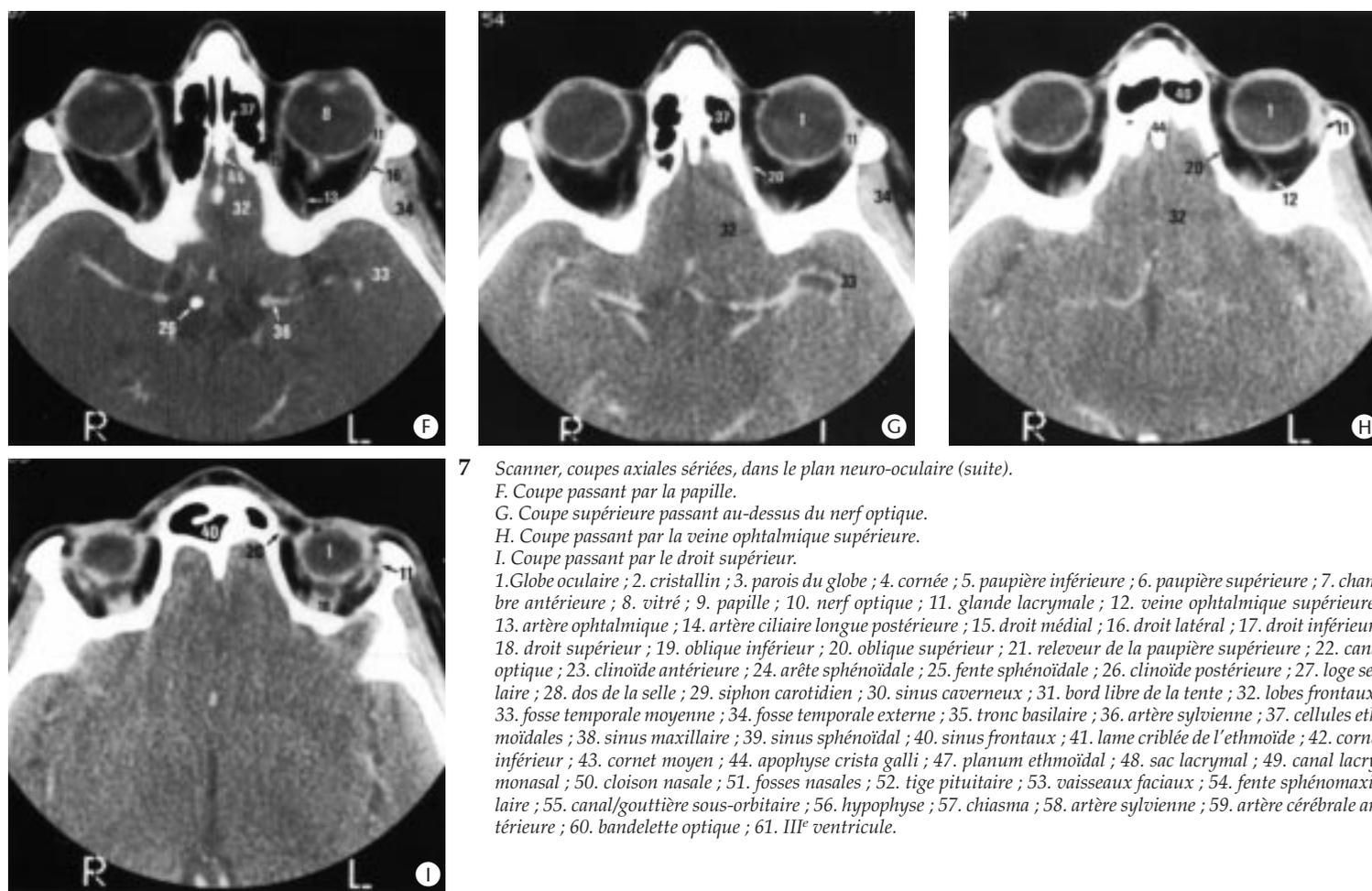
Le segment rétrobicanthale externe du globe correspond à la mesure complémentaire.

Le diamètre transversal du nerf optique (DNO) est mesuré à la partie moyenne de son segment intraorbitaire. $DNO = 3,5 \text{ mm}$ (→).

Le diamètre transversal des muscles droits médial et externe est mesuré en position primaire du regard, $DDI = 3,5$ (→) ; $DDE = 1,9$ (→).

On peut mesurer également l'indice neuro-oculaire, rapportant le diamètre moyen du nerf optique à celui du diamètre transversal du globe oculaire, l'indice oculo-orbitaire (IOO) ou l'indice d'exophtalmie, rapportant la valeur moyenne du segment prébicanthale externe des deux globes oculaires à la valeur moyenne de la longueur axiale du globe oculaire, l'indice oculaire bicanthale externe, l'indice de distance interoculaire, l'indice de télorbitisme.

On peut mesurer également l'angle des deux nerfs optiques - $ANO = 51^\circ 40'$, l'angle des muscles droits latéraux, l'angle d'ouverture orbitaire externe et l'angle des parois externes.



7 Scanner, coupes axiales sériées, dans le plan neuro-oculaire (suite).

F. Coupe passant par la papille.

G. Coupe supérieure passant au-dessus du nerf optique.

H. Coupe passant par la veine ophtalmique supérieure.

I. Coupe passant par le droit supérieur.

1. Globe oculaire ; 2. cristallin ; 3. parois du globe ; 4. cornée ; 5. paupière inférieure ; 6. paupière supérieure ; 7. chambre antérieure ; 8. vitré ; 9. papille ; 10. nerf optique ; 11. glande lacrymale ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 13. artère ophtalmique ; 14. artère ciliaire longue postérieure ; 15. droit médial ; 16. droit latéral ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 19. oblique inférieur ; 20. oblique supérieur ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 22. canal optique ; 23. clinioïde antérieure ; 24. arête sphénoïdale ; 25. fente sphénoïdale ; 26. clinioïde postérieure ; 27. loge sellaire ; 28. dos de la selle ; 29. siphon carotidien ; 30. sinus caverneux ; 31. bord libre de la tente ; 32. lobes frontaux ; 33. fosse temporale moyenne ; 34. fosse temporale externe ; 35. tronc basilaire ; 36. artère syloienne ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 39. sinus sphénoïdal ; 40. sinus frontaux ; 41. lame criblée de l'ethmoïde ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen ; 44. apophyse crista galli ; 47. planum ethmoïdal ; 48. sac lacrymal ; 49. canal lacrymonasal ; 50. cloison nasale ; 51. fosses nasales ; 52. tige pituitaire ; 53. vaisseaux faciaux ; 54. fente sphéno-maxillaire ; 55. canal/gouttière sous-orbitaire ; 56. hypophyse ; 57. chiasma ; 58. artère syloienne ; 59. artère cérébrale antérieure ; 60. bandelette optique ; 61. III^e ventricule.

un temps de pose assez long (de l'ordre de 6 s) et des paramètres de reconstructions que sont le filtre de convolution (en général filtre de résolution en densité, parfois filtre de résolution spatiale si l'on veut privilégier l'étude fine des parois osseuses) et le champ de reconstruction de l'ordre de 210 mm, une matrice de 512 x 512.

En mode hélicoïdal, de nouveaux paramètres sont introduits, notamment le pitch, qui est défini par le rapport de la distance parcourue par la table lors d'une rotation d'un tube sur l'épaisseur nominale de coupe. La notion de pitch décrit l'étirement de l'hélice et donc la longueur du volume exploré en un temps donné. La notion d'interpolation intervient dans les paramètres de reconstruction de l'image en raison du caractère propre de l'acquisition hélicoïdale qui entraîne un déplacement du patient pendant l'acquisition des données.

Si l'on veut un pitch de 0,7, une épaisseur nominale (e.n.) de coupe de 11 et un incrément de 0,5 mm, le volume exploré sera assez faible (31 mm), mais ce protocole permet une étude très fine des structures anatomiques avec des possibilités optimales de reconstruction. Ce type de protocole est utilisé pour l'examen des petits vaisseaux intracrâniens, avec reconstructions de type angiographique. À l'inverse, le choix d'un pitch de 1, d'une e.n. de coupe de 6,5 et d'un incrément de 6 mm permet l'étude d'un volume plus étendue (305 mm) et un temps relativement court, de l'ordre de 32 secondes, pour des examens ne nécessitant pas de reconstructions (exemple : abdomen ou thorax). Pour l'étude des orbites, le protocole retenu est le suivant : pitch 1, e.n. 3,2, incrément 1,6 ; la durée d'acquisition est de 32 secondes et le volume étudié est de 60 mm. Les reconstructions étudiées sont de bonne qualité (fig 8, 9).

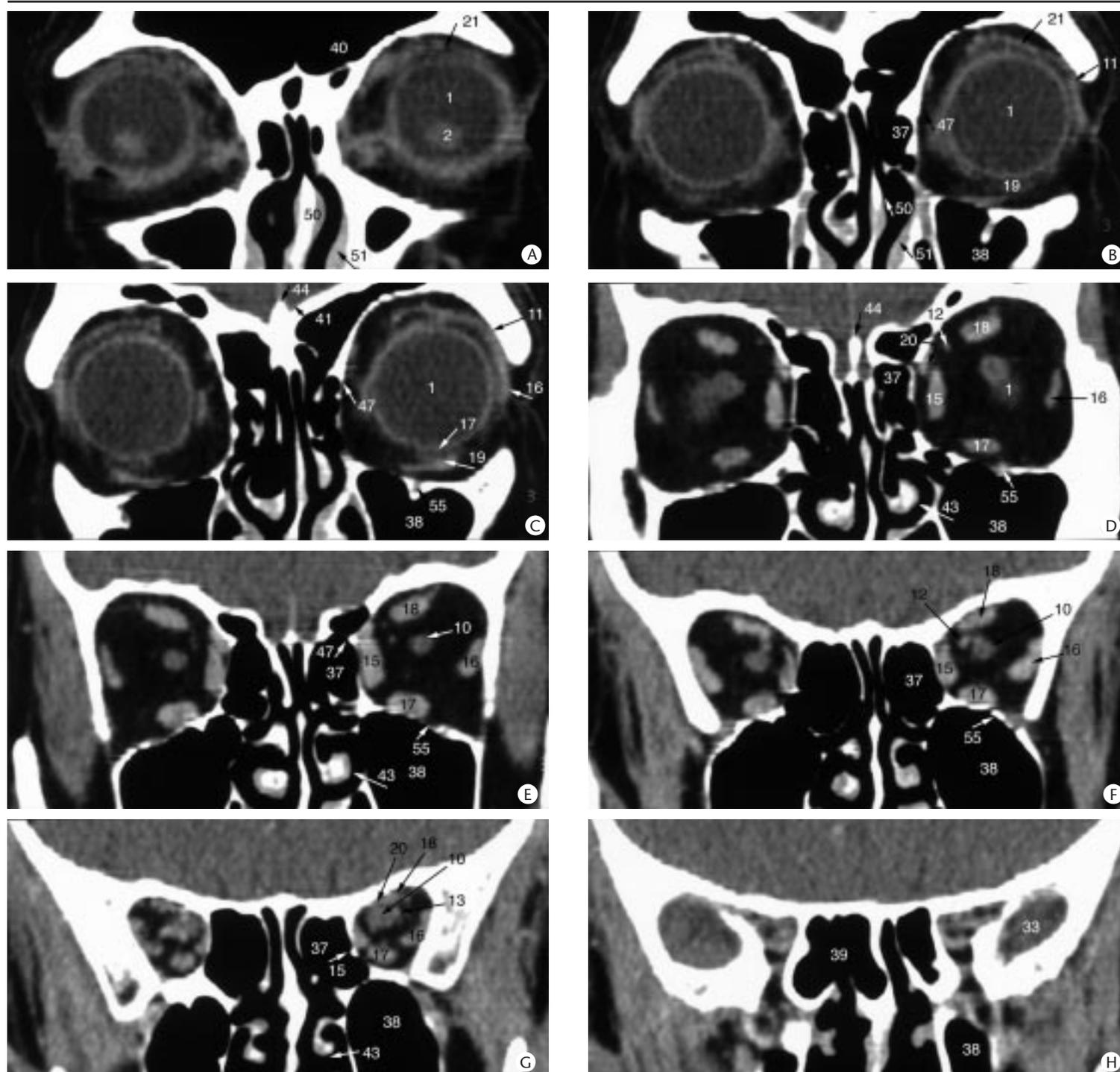
RÉALISATION PRATIQUE DE L'EXAMEN

L'examen débute par un scanogramme, qui correspond à une image numérisée du crâne, le profil permettant de positionner précisément la « pile de coupes » choisie pour le volume à étudier. Le patient est

positionné de telle façon que les coupes soient acquises dans le plan neuro-oculaire (PNO) au mieux, cependant, si tel n'est pas le cas, il sera toujours possible de reconstruire des coupes axiales de qualité dans le plan PNO.

La densitométrie des lésions orbitaires, ainsi que l'étude de leur prise de contraste, sont un des éléments du diagnostic. Il convient donc de pratiquer l'examen sans, puis après injection intraveineuse de produit de contraste iodé. Cette injection est cependant le plus souvent inutile en cas de traumatisme ou de maladie de Basedow. Bien entendu, un examen tomодensitométrique ne se conçoit qu'en étroite relation avec les signes cliniques présentés par le patient et il faut rattacher les signes observés sur l'examen à ceux constatés lors de l'examen clinique.

Le déroulement de l'acquisition hélicoïdale est bref, de l'ordre de 30 secondes ; on vérifie la position des première et dernière coupes, pour s'assurer que le volume orbitaire est bien couvert. Il faut, en effet, que la première coupe de la pile soit positionnée au niveau moyen des sinus maxillaires et la dernière coupe au niveau des sinus frontaux (fig 6). Puis, une fois la reconstruction des coupes axiales natives achevée (en quelques minutes), l'ensemble des données acquises est transféré sur une console secondaire où sont réalisées les reconstructions multiplanaires, notamment coronales, sagittales dans l'axe du nerf optique, et éventuellement axiales, dans le plan PNO strict, s'il n'a pu être obtenu d'emblée sur les coupes natives. Un traitement d'image est disponible, permettant d'agrandir l'image, de mesurer des densités, des distances. Il est également possible de traiter les données selon la technique du MIP (*maximum intensity projection*), permettant des représentations en trois dimensions (3 D) (fig 9B) de surface, avec le choix du seuillage de densité, représentation préférentielle des structures osseuses, des structures parenchymateuses ou des reliefs cutanés. Ceci présente un intérêt dans les applications suivantes : chirurgie des tumeurs à cheval sur l'orbite et les espaces environnants, chirurgie correctrice



8 Scanner, coupes coronales reconstruites.

A. Coupe passant par le cristallin.

1. Globe oculaire ; 2. cristallin ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 40. sinus frontaux ; 50. cloison nasale ; 51. fosses nasales.

B. Coupe passant par l'équateur du globe.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 19. petit oblique ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 47. planum ethmoïdal ; 50. cloison nasale ; 51. fosses nasales.

C. Coupe passant par l'avant de la papille.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 19. petit oblique ; 38. sinus maxillaire ; 41. lame criblée de l'ethmoïde ; 44. apophyse crista galli ; 47. planum ethmoïdal ; 55. canal/gouttière sous-orbitaire.

D. Coupe passant par le pôle postérieur.

1. Globe oculaire ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 37. cellules

ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 43. cornet moyen ; 44. apophyse crista galli ; 55. canal/gouttière sous-orbitaire.

E. Coupe passant en arrière du globe oculaire.

10. Nerf optique ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 43. cornet moyen ; 47. planum ethmoïdal ; 55. canal/gouttière sous-orbitaire.

F. Coupe passant en arrière du globe oculaire.

10. Nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 55. canal/gouttière sous-orbitaire.

G. Coupe passant en arrière du globe oculaire.

10. Nerf optique ; 13. artère ophtalmique ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 43. cornet moyen.

H. Coupe passant à l'apex orbitaire.

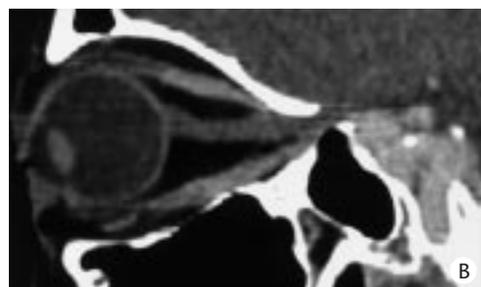
33. Fosse temporale moyenne ; 38. sinus maxillaire ; 39. sinus sphénoïdal.

des malformations cervicofaciales et des lésions traumatiques. Ce type de représentation présente un avantage indéniable pour la

conceptualisation spatiale des anomalies morphologiques et aide ainsi le chirurgien à mieux planifier le geste opératoire (voie d'abord,



9 A. Image en trois dimensions (3D) du massif facial et des orbites, vue de face. Cas pathologique d'une histiocytose X avec deux localisations (en jaune) : une orbitaire supérieure et une sphénoïdale.



B. Coupe sagittale oblique reconstruite à partir de l'acquisition hélicoidale (cf fig 6).

matériel de plastie à prévoir), mais ne constitue pas un apport diagnostique complémentaire par rapport à l'ensemble de l'examen.

Imagerie par résonance magnétique

PRINCIPES PHYSIQUES (fig 10)

L'IRM courante est fondée sur l'étude du noyau de l'atome d'hydrogène, constitué d'un seul proton. Cette charge électrique positive, tournante, induit un microchamp magnétique appelé spin et représentable par un moment magnétique m . À l'état nature, les protons ont une orientation quelconque. Mis en présence d'un champ magnétique B_0 , ils s'alignent sur celui-ci formant ainsi un moment magnétique résultant M .

■ Phénomène de résonance magnétique

L'application d'une impulsion de radiofréquence (IRF), de l'ordre de 1 à 100 MHz, comme les ondes radiophoniques, perpendiculaire

à B_0 , perturbe l'équilibre des protons. Par transfert d'énergie, les axes de protons basculent (excitation), d'un angle variable avec l'amplitude et la durée de l'IRF. Quand l'IRF cesse, les protons restituent l'énergie absorbée pour revenir à l'état d'équilibre initial (relaxation). Cette énergie est restituée sous forme d'un mouvement vibratoire, ou signal, qui décroît avec le temps : mouvement décrit par une constante de temps qui est le temps de relaxation. Le signal, recueilli par une antenne, est traité par ordinateur pour former l'image.

Signal

Il dépend de trois paramètres principaux, la densité de protons (ρ) et des temps de relaxation T1 et T2.

• Densité de protons

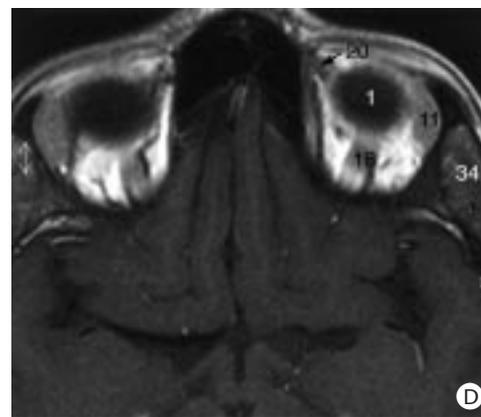
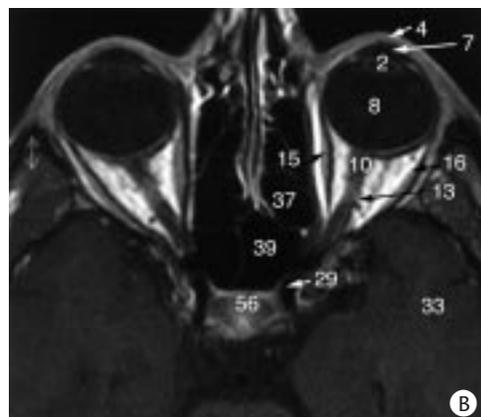
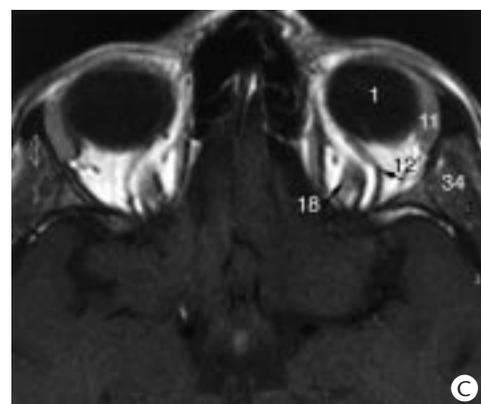
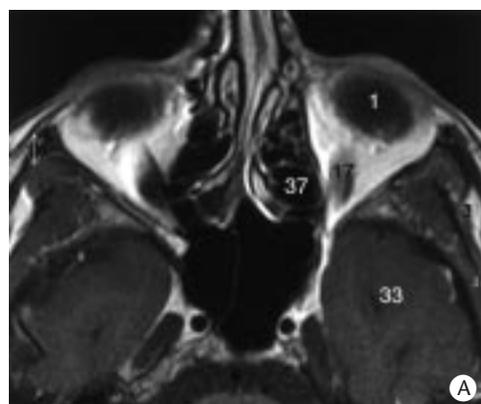
Elle représente le nombre de protons par unité de volume, ρ étant très faible dans l'air et la corticale osseuse. Ces éléments se traduisent par un signal nul. En revanche, il est élevé dans les tissus mous, mais varie peu d'un tissu à l'autre. Ainsi, ρ conditionne l'existence du signal, mais n'est pas un facteur de contraste important.

• Temps de relaxation T1 et T2

La relaxation est le retour à l'équilibre des protons après excitation par une IRF. Le temps de relaxation caractérise la vitesse à laquelle se produit ce retour à l'équilibre. On lui décrit deux composantes : T1 et T2.

T1 représente la croissance d'un moment magnétique M , basculé après excitation, le long de B_0 , c'est-à-dire selon l'axe longitudinal. C'est le temps mis par la composante longitudinale de M , M_z , pour atteindre 63 % de sa valeur initiale. On appelle T1, le temps de relaxation longitudinal. C'est aussi, plus concrètement, le temps de relaxation spin réseau, T1 résultant d'interactions entre les protons (spins) excités et leur environnement moléculaire ou réseau. En effet, T1 caractérise la capacité de l'environnement à reprendre l'énergie des protons excités. T1 est court en cas de capacité élevée (graisse) et long dans le cas contraire (liquides purs).

T2 représente la décroissance de M dans un plan perpendiculaire à B_0 , d'où son nom de temps de relaxation transversal. C'est le temps



10 Imagerie par résonance magnétique (IRM), coupes axiales, séquence d'écho de spin pondérée T1, après injection de gadolinium. Noter le rehaussement normal des structures musculaires.

A. Coupe passant par le droit inférieur.

1. Globe oculaire ; 17. droit inférieur ; 33. fosse temporale moyenne ; 37. cellules ethmoïdales.

B. Coupe passant par le plan neuro-oculaire.

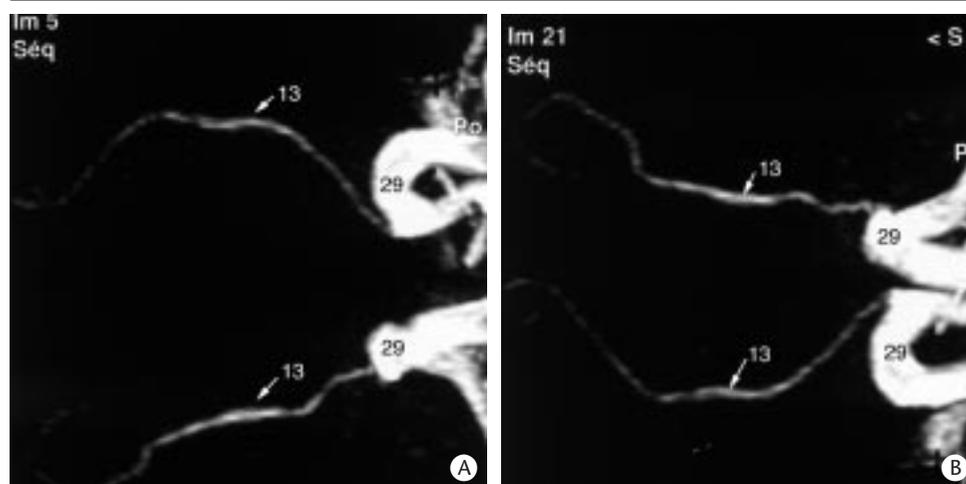
2. Cristallin ; 4. cornée ; 7. chambre antérieure ; 8. vitré ; 10. nerf optique ; 13. artère ophtalmique ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 29. siphon carotidien ; 33. fosse temporale moyenne ; 37. cellules ethmoïdales ; 39. sinus sphénoïdal ; 56. hypophyse.

C. Coupe passant par les veines ophtalmiques.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 18. droit supérieur ; 34. fosse temporale externe.

D. Coupe passant par le droit supérieur.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 16. droit externe ; 20. grand oblique ; 34. fosse temporale externe.



11 Séquences angiographiques (ARM).
 A. Incidence dégageant l'origine de l'artère ophtalmique droite.
 13. Artère ophtalmique ; 29. siphon carotidien.
 B. Incidence dégageant l'origine de l'artère ophtalmique gauche.
 13. Artère ophtalmique ; 29. siphon carotidien.

mis par la composante transversale de M , M_{xy} , pour prendre 63 % de sa valeur initiale. On appelle également T_2 , temps de relaxation spin spin, car il résulte d'interactions entre protons voisins. En effet, chaque proton crée un microchamp magnétique m qui perturbe ses voisins. En cas de microvariations importantes, comme dans la graisse, T_2 est court. Inversement, si ces microvariations sont faibles, comme dans les liquides purs, T_2 est long.

Ainsi T_1 et T_2 dépendent de la composition moléculaire des tissus. Chaque tissu, dans un état donné, est caractérisé par un T_1 et un T_2 donnés. T_1 et T_2 constituent les éléments déterminants de contraste entre tissus dans les images IRM.

Séquences d'impulsions

• Écho de spin

Il est possible de doser la proportion relative de ρ , T_1 et T_2 dans chaque image, c'est-à-dire d'obtenir une image pondérée en ρ ($SP\rho$), T_1 (SPT_1) ou T_2 (SPT_2) : les images pondérées en T_1 ou T_2 étant plus contrastées, donc plus informatives. Ceci s'effectue en combinant différemment des IRF d'amplitude et de durée variables, définissant ainsi des séquences d'impulsions. Parmi elles, les plus courantes sont celles dites : écho de spin et imagerie rapide.

Cette séquence est formée de deux IRF : l'une dite de 90° entraînant une bascule du moment magnétique résultant M des protons, de 90° par rapport au champ magnétique principal B_0 , puis l'autre de 180° faisant basculer M de 180° par rapport à B_0 . Chaque séquence est répétée un certain nombre de fois. Entre les IRF s'écoulent des intervalles de temps : TR et TE . TR , ou temps de répétition, représente le temps qui sépare le début de deux séquences successives ; TE , ou temps d'écho, est un temps interne à la séquence. En effet, un premier signal émis après IRF de 90° n'est pas utilisable mais renvoyé sous forme d'un signal qui est à l'origine de l'image. TE sépare l'IRF de 90° et le milieu de l'écho. TR et TE sont réglables par l'opérateur de façon à doser les proportions respectives de ρ , T_1 et T_2 dans l'image. Une amélioration de la séquence de base d'écho de spin est représentée par la séquence multiéchos comportant un certain nombre d'IRF 180° pouvant aller jusqu'à 8. Pour la même coupe, on a alors une image de « premier écho », puis de « deuxième écho », etc. Le TE s'allongeant, l'image est de plus en plus pondérée en T_2 , mais le signal devient également de plus en plus faible (diminution du RSB).

• Imagerie rapide

Plusieurs approches permettent de raccourcir le TA :

- diminution du nombre de données recueillies ;
- balayage rapide du plan de Fourier (Écho-planar) ;
- diminution du TR .

L'acquisition des signaux dans les deux directions de la coupe (codage par la phase et codage par la fréquence) permet l'obtention

d'une matrice de signaux qui, après transformation de Fourier (artifice mathématique), donne l'image de la coupe.

En imagerie usuelle, le $TA = TR \times Ny \times N_{acc}$.

N_{acc} est le nombre d'accumulations ou d'excitations et Ny représente le nombre de codages par phase effectuée (donc le nombre de lignes de la matrice).

Si N_{acc} est réduit à 1 (au lieu de 4 ou 6) ou si Ny est réduit à 128 (au lieu de 256) et enfin si l'on balaye partiellement le plan de Fourier, le gain de temps est appréciable, sans perte d'information, puisque les données manquantes de la matrice sont ensuite déduites par symétrie.

La technique de l'Écho-planar consiste à balayer la totalité du plan de Fourier en un seul signal. Ceci implique une inversion très rapide du gradient pendant la lecture du signal (peu de machines de ce type sont actuellement disponibles).

La diminution du TR permet la réalisation de séquences d'écho de gradient, qui est définie par TR , TE (l'écho étant obtenu par une astuce technologique : l'inversion de gradient) et l'angle de bascule de l'impulsion entre 5 et 90° . En fonction de ces paramètres, le contraste de l'image est variable, plus ou moins fortement « pondéré » T_1 ou T_2 .

• Imagerie des flux (fig 11)

Il est possible d'utiliser des séquences particulières, permettant d'étudier les vaisseaux par deux méthodes : « temps de vol » et « contraste de phase ».

Ainsi, on peut étudier les vaisseaux du polygone de Willis, mais également l'artère ophtalmique et ses branches, selon des images proches de celles obtenues en angiographie conventionnelle.

■ Contraintes pratiques

De nombreux articles ont été consacrés à l'intérêt de l'IRM en pathologie oculaire et orbitaire. La place exacte de l'IRM par rapport aux autres techniques d'imagerie n'est pas encore totalement clairement définie ; l'évolution et le perfectionnement des appareils changeront peut-être ultérieurement le rôle que nous lui attribuons aujourd'hui.

Les avantages de l'IRM, par rapport aux autres techniques, sont :

- son excellente résolution en contraste des tissus mous ;
- son caractère non invasif ;
- l'absence de radiation ionisante ;
- et, enfin, la possibilité d'obtenir des images dans n'importe quel plan de l'espace sans bouger le patient ; des limitations, voire des contre-indications, existent aussi cependant.

Les limites de l'IRM sont essentiellement liées à la longueur des séquences à rapporter à l'immobilité oculaire exigée, l'analyse insuffisante des structures ne contenant pas ou peu de protons mobiles, en particulier les corticales osseuses.

■ **Longueur des séquences**

Les nouveaux appareils disponibles ont permis de raccourcir de façon sensible la longueur des séquences, notamment pour la séquence pondérée T2. Mais la coopération du patient est probablement le facteur déterminant pour la réussite d'un examen IRM de l'orbite. En effet, tout mouvement de la tête ou des yeux est susceptible d'artéfacter toutes les coupes (acquises simultanément) d'une séquence. Ainsi, le patient, au mieux, doit garder les yeux ouverts et fixer son image dans un miroir pendant toute la durée de la séquence en cours. L'exploration des jeunes enfants est possible après sédation.

■ **Artefacts**

Outre les artefacts de mouvements, des artefacts liés à la présence du matériel dentaire para- ou ferromagnétique peuvent être extrêmement gênants. D'autres artefacts, dus au maquillage, peuvent être facilement évités en démaquillant soigneusement les paupières et les cils. On peut voir également des artefacts de déplacement chimique, d'*aliasing* ou de troncature. Si on a la notion de traumatisme ancien ou d'intervention neurochirurgicale, une radiographie du crâne doit être pratiquée à la recherche d'un clip ou d'un corps étranger ferromagnétique, qui contre-indiquerait, de même que le port d'un pacemaker, la réalisation de l'examen.

■ **Rapport signal/bruit**

La qualité de l'image dépend du RSB qui doit être le plus élevé possible, mais aussi de la résolution spatiale, dont l'amélioration se fait souvent aux dépens du RSB. Enfin, le TA de l'image ne doit pas être trop long, afin de diminuer le risque de mouvements du patient, source d'artefacts, retentissant alors sur la qualité de l'image. Ces trois facteurs interfèrent entre eux et il s'agit de trouver le meilleur compromis, fonction de l'organe et de la pathologie explorés.

RÉALISATION PRATIQUE DE L'EXAMEN

Des choix techniques déterminant ces différents facteurs sont ainsi à effectuer et portent :

- sur l'antenne réceptrice ;
- le champ de vue ;
- l'épaisseur de coupe ;
- la taille de la matrice ;
- le nombre d'accumulations.

Selon la machine dont on dispose, on utilise de façon préférentielle des antennes de surface (uni- ou bilatérale) ou l'antenne « tête ». Si l'on souhaite comparer les deux orbites, l'antenne de surface à utiliser est une antenne bilatérale.

Si les signes cliniques évoquent une pathologie du chiasma, des voies optiques rétrochiasmatiques et des voies de l'oculomotricité, ou si la lésion est volumineuse et à cheval sur l'orbite et les structures environnantes, il convient de réaliser également des coupes explorant les voies optiques et le tronc cérébral avec une antenne tête.

Avec une antenne de surface, les choix d'une matrice asymétrique de 205 x 256, d'un champ de vue de l'ordre de 210 mm et d'une épaisseur de coupe de 3 mm sont un bon compromis pour obtenir un bon RSB, sans trop altérer la résolution spatiale. Par ailleurs, le TR joue également pour la valeur du TA. Enfin, le RSB est d'autant plus élevé que le champ magnétique principal B_0 est élevé.

Le nombre de séquences et les incidences varient suivant les pathologies à explorer, l'analyse minutieuse des signes cliniques présentés par le patient et les résultats fournis par l'échographie aident à en limiter le nombre en choisissant les plus adaptées.

■ **Coupes SPT1**

Il est indispensable de réaliser des coupes pondérées en T1 (SPT1). Les coupes en écho de spin ont une très bonne résolution, avec un

TR équivalent à peu près à 300 ms et seulement deux excitations, le TA est d'environ 3 minutes, ce qui permet d'obtenir le plus souvent une bonne coopération du patient et d'éviter les artefacts dus aux mouvements du globe oculaire. Ce TA court permet, le plus souvent, de réaliser des coupes SPT1 dans les trois plans de l'espace :

- en incidence axiale (*fig 10*), parallèle au plan du nerf optique intraorbitaire en regard primaire ;
- en incidence coronale ou coronale oblique (*fig 12*), perpendiculaire au grand axe de l'orbite ;
- en incidence sagittale oblique (*fig 13*), parallèle au plan du nerf optique rétrobulbaire (grand axe de l'orbite).

■ **Coupes en T2/TSE**

Il s'agit de coupes généralement obtenues dans le plan coronal (*fig 14*), voire axial, avec étude des voies optiques jusqu'au niveau des loges cavernueuses. La séquence dure 5 minutes et les paramètres d'acquisition sont TR 2 975, TE 120, FOV 116 mm, six excitations. L'épaisseur de coupes est faible de 2 mm.

■ **Coupes après injection de gadolinium**

On peut pratiquer des coupes avant et après injection de produit de contraste : le gadolinium complexé est un chélateur, l'acide diéthylène triamine penta acétique (DTPA) ou DOTA. C'est une substance paramagnétique, c'est-à-dire aimantée quand elle est placée dans un champ magnétique, entraînant ainsi un raccourcissement du T1 des tissus prenant le contraste et donc une augmentation de l'intensité du signal en T1. Injecté par voie intraveineuse, sa cinétique est proche de celle de l'iode utilisé en radiologie. En particulier, les tumeurs vascularisées fixent le gadolinium en hyperintensité du signal sur les séquences pondérées en T1 gadolinium. Les coupes après injection de gadolinium mettent bien en évidence les différents compartiments d'une lésion hétérogène (kystique/solide par exemple).

Il est préférable d'utiliser des séquences avec suppression de graisse (*fig 15, 16*), en particulier pour les examens après injection de gadolinium et tout spécialement pour l'étude du nerf optique.

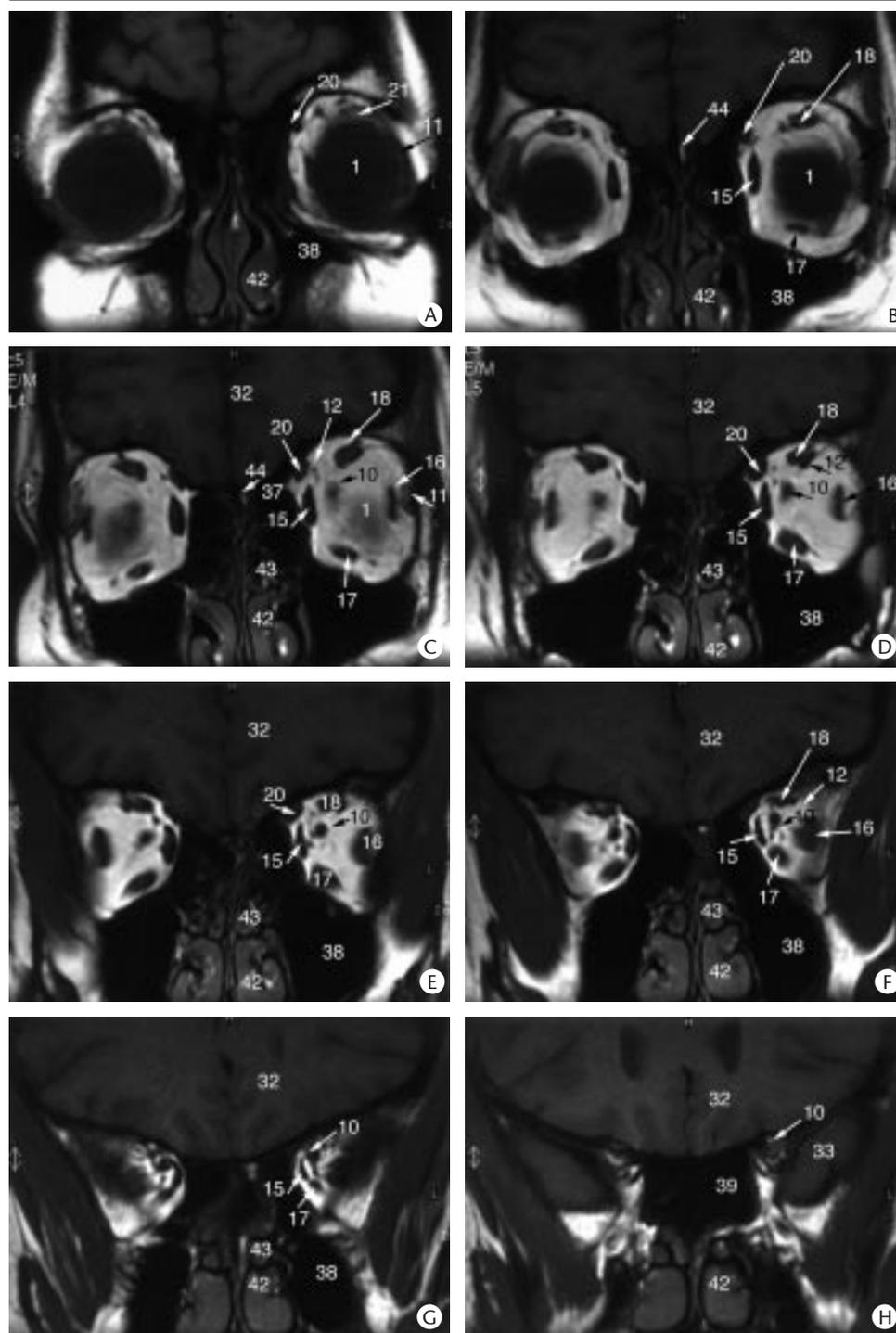
INDICATIONS

Les progrès de l'IRM sont quotidiens et les indications en ophtalmologie sont plus nombreuses chaque jour. L'amélioration de la résolution spatiale couplée à l'excellence de la résolution en contraste, la réalisation de séquences après gadolinium, en particulier avec suppression de graisse orbitaire, une très bonne approche de la caractérisation tissulaire et la possibilité d'obtenir des coupes dans n'importe quel plan de l'espace en font un examen de choix pour l'exploration de la pathologie orbitaire. Les lésions du nerf optique, l'étude des relations et extensions d'un processus orbitaire sont au mieux étudiées en IRM. De plus, une pathologie des voies visuelles doit être explorée en première intention par une IRM (*tableau VI*).

Selon l'expression clinique de la paralysie oculomotrice et notamment le mode d'installation du trouble et son évolution, l'ordre et le type d'examen sont différents (tomodensitométrie \pm angioscanner, IRM \pm ARM, artériographie).

CRITÈRES D'ANALYSE

La pathologie orbitaire est variée. Il s'agit très souvent de résoudre le problème d'une exophtalmie (*tableau VII*). Après une analyse soignée de la symptomatologie clinique, il est logique et économique de débiter l'imagerie médicale de l'œil et de l'orbite par une échographie. C'est un examen rapide, peu onéreux, indolore et non agressif, lié à la compétence de l'examineur et à la qualité de l'appareillage. Il est indispensable ensuite de suivre des arbres de décision diagnostique (*fig 17*), qui dépendent : de la localisation et du diagnostic clinicoéchographique du processus, des possibilités



12 Imagerie par résonance magnétique, coupes coronales (écho de spin T1).

A. Coupe passant par l'équateur du globe oculaire.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 20. grand oblique ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur.

B. Coupe passant en arrière de l'équateur du globe oculaire.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 15. droit interne ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 44. apophyse crista galli.

C. Coupe passant immédiatement en arrière des globes oculaires.

1. Globe oculaire ; 10. nerf optique ; 11. glande lacrymale ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 32. lobes frontaux ; 37. cellules ethmoïdales ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen ; 44. apophyse crista galli.

D. Coupe passant par les nerfs optiques rétrobulbaires.

10. Nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 32. lobes frontaux ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

E. Coupe passant par la deuxième portion de Benedikt.

10. Nerf optique ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 32. lobes frontaux ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

F, G. Coupes passant à l'apex orbitaire.

10. Nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 32. lobes frontaux ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

H. Coupe passant par les canaux optiques.

10. Nerf optique ; 32. lobes frontaux ; 33. fosse temporale moyenne ; 39. sinus sphénoïdal ; 42. cornet inférieur.

en matériel diagnostique, de la compétence des radiologistes (formation), des possibilités chirurgicales locales (chirurgie orbitaire isolée ou en équipe multidisciplinaire avec des neurochirurgiens, des oto-rhino-laryngologistes, des chirurgiens maxillofaciaux, des chirurgiens plasticiens). L'échographie a un rôle d'orientateur au sommet de ces arbres de décision diagnostique et permet de décider si l'examen est suffisant ou si l'on doit pratiquer un scanner ou une IRM (en pratique, il est souvent inutile de pratiquer les deux).

Quelle que soit la technique d'imagerie, il est nécessaire d'établir des critères d'analyse (tableau VIII).

Radiographies standards

Malgré la banalisation du scanner, les radiographies standards ont encore une place pour l'exploration des malformations craniofaciales et celle des traumatismes (fractures et corps étrangers). Par ailleurs,

il importe de pouvoir diagnostiquer une pathologie orbitaire méconnue sur une radiographie faite pour une toute autre raison. Le seul intérêt des tomographies reste l'exploration des voies lacrymales.

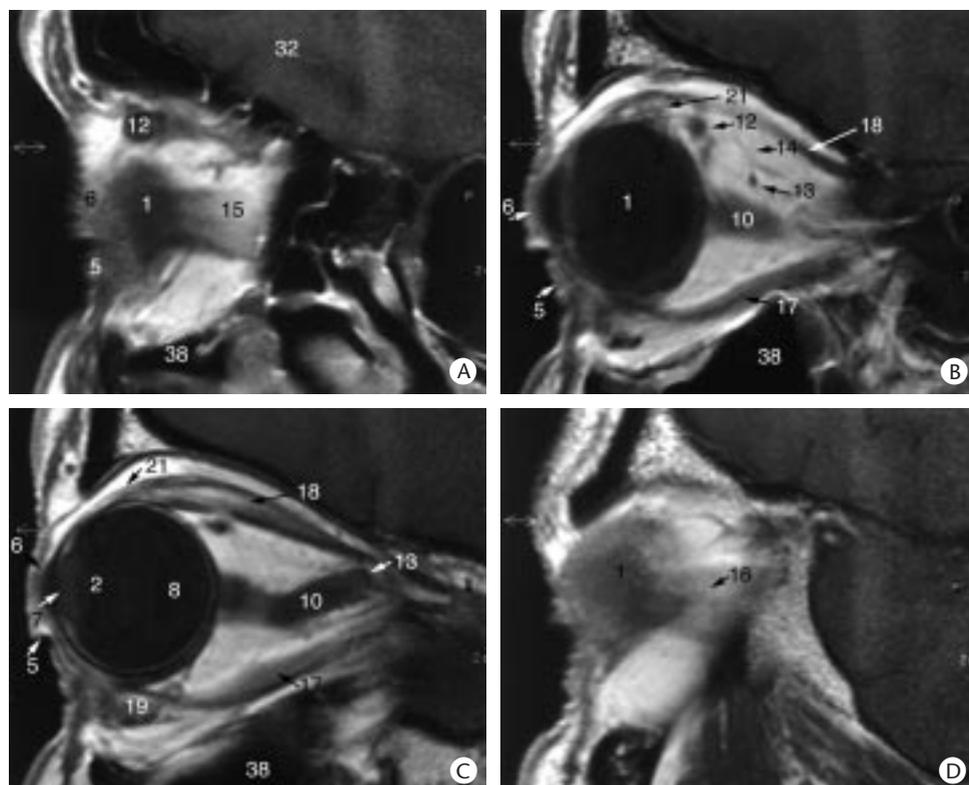
Les incidences standards les plus utiles sont (fig 18) :

- l'incidence de profil prenant l'ensemble du crâne (fig 19) ou au contraire localisée, sur un film sans écran pour la recherche de corps étranger ; elle superpose les deux orbites mais donne une vue générale du crâne et de ses différentes structures osseuses, en particulier le crâne, la selle turcique, la voûte ;

- l'incidence orbite de face ou plancher d'orbite (fig 20) : S = 0° ; OM = - 35° ; le plancher d'orbite est abordé tangentiellement par le rayonnement ; il est dégagé du rocher et se projette à la jonction tiers supérieur et tiers moyen du sinus maxillaire ;

- l'incidence de face haute : S = 0° ; OM = - 25° ;

- l'incidence de Blondeau : S = 0° ; OM = - 50° ;



13 Imagerie par résonance magnétique, coupes sagittales obliques dans l'axe de l'orbite (écho de spin T1) : aspect normal.

A. Coupe interne.

1. Globe oculaire ; 5. paupière inférieure ; 6. paupière supérieure ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 32. lobes frontaux ; 38. sinus maxillaire.

B. Coupe passant par le droit supérieur et le droit inférieur. Coupe paramédiane.

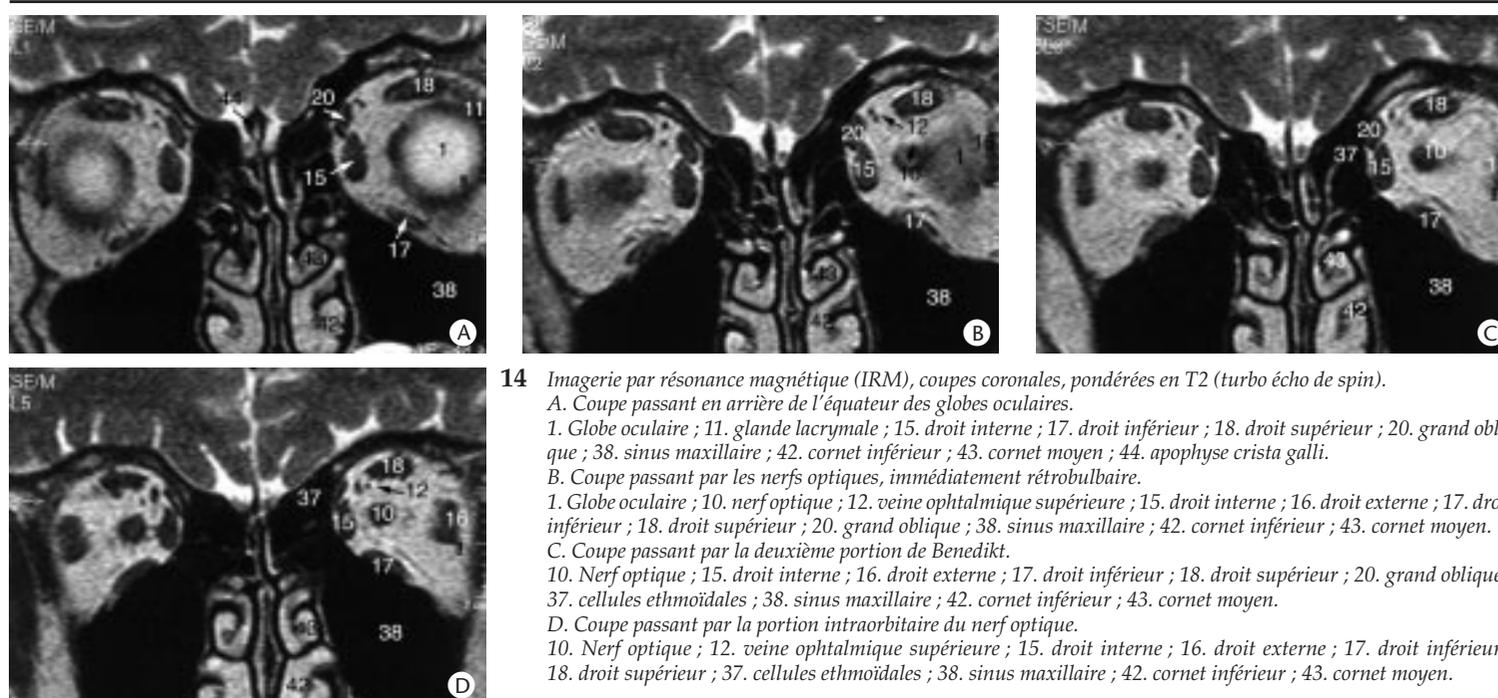
1. Globe oculaire ; 5. paupière inférieure ; 6. paupière supérieure ; 10. nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 13. artère ophtalmique ; 14. artère ciliaire longue postérieure ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 38. sinus maxillaire.

C. Coupe passant par le nerf optique et le cristallin.

2. Cristallin ; 5. paupière inférieure ; 6. paupière supérieure ; 7. chambre antérieure ; 8. vitré ; 10. nerf optique ; 13. artère ophtalmique ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 19. petit oblique ; 21. releveur de la paupière supérieure ; 38. sinus maxillaire.

D. Coupe externe.

1. Globe oculaire ; 16. droit externe.



14 Imagerie par résonance magnétique (IRM), coupes coronales, pondérées en T2 (turbo écho de spin).

A. Coupe passant en arrière de l'équateur des globes oculaires.

1. Globe oculaire ; 11. glande lacrymale ; 15. droit interne ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen ; 44. apophyse crista galli.

B. Coupe passant par les nerfs optiques, immédiatement rétrobulbaire.

1. Globe oculaire ; 10. nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

C. Coupe passant par la deuxième portion de Benedikt.

10. Nerf optique ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 20. grand oblique ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

D. Coupe passant par la portion intraorbitaire du nerf optique.

10. Nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

– les clichés localisés en incidence de Vogt de face et de profil, sur films dentaires, sans écran, pour la recherche de corps étrangers localisés dans le segment antérieur du globe oculaire (fig 21).

Angiographies

Les artères de l'orbite sont issues de la carotide interne et de la carotide externe.

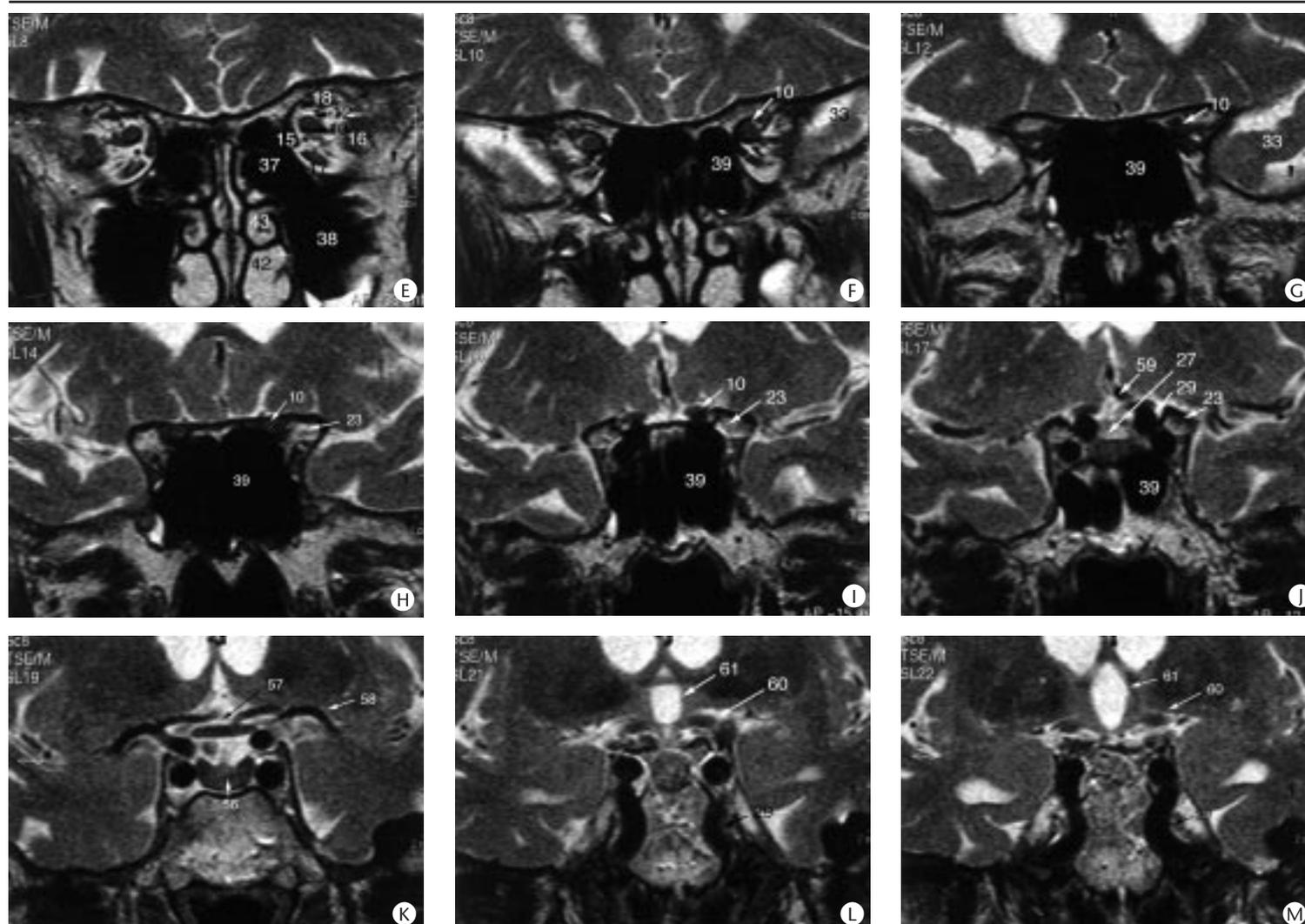
Les artériographies sélectives mettent en évidence l'ensemble du réseau artériel.

Les veines de l'orbite sont en connexion en avant avec les veines de la face et en arrière avec le sinus caverneux. Elles drainent le sang du contenu orbitaire, mais aussi celui de la face, des sinus et des fosses nasales.

Elles sont opacifiées :

– soit par injection dans une veine collatérale du système veineux ophtalmique : c'est la phlébographie orbitaire ;

– soit au temps de retour veineux d'une artériographie de la carotide externe, ou mieux, de sa branche faciale ou maxillaire interne cathétérisée de façon sélective : par cette technique, seules les voies principales sont visibles, et souvent de façon unilatérale.



14 Imagerie par résonance magnétique (IRM), coupes coronales, pondérées en T2 (turbo écho de spin) (suite).

E. Coupe passant par l'apex orbitaire.

10. Nerf optique ; 12. veine ophtalmique supérieure ; 15. droit interne ; 16. droit externe ; 17. droit inférieur ; 18. droit supérieur ; 37. cellules ethmoïdales ; 38. sinus maxillaire ; 42. cornet inférieur ; 43. cornet moyen.

F, G. Coupes passant par le canal optique.

10. Nerf optique ; 33. fosse temporale moyenne ; 39. sinus sphénoïdal.

H, I. Coupes passant par les clinoides antérieures.

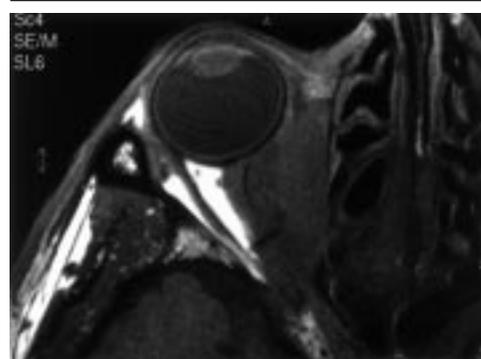
10. Nerf optique ; 23. clinotide antérieure ; 39. sinus sphénoïdal.

J, K. Coupes passant par la loge sellaire, l'hypophyse et le chiasma optique.

23. Clinotide antérieure ; 27. loge sellaire ; 29. siphon carotidien ; 39. sinus sphénoïdal ; 56. hypophyse ; 57. chiasma optique ; 58. artère sylvienne gauche ; 59. artère cérébrale antérieure gauche.

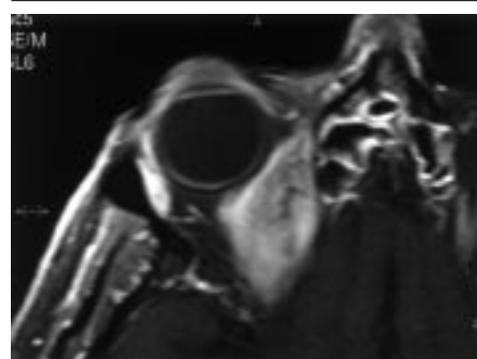
L, M. Coupes passant en arrière du chiasma optique.

29. Siphon carotidien ; 60. bandelette optique ; 61. III^e ventricule.



15 Imagerie par résonance magnétique (IRM), coupe axiale pondérée en T1.

On met en évidence une lésion hypo-intense en T1, assez homogène. Le signal de la graisse (blanc) dans l'espace intraconique, en dehors du nerf optique, « flashe » un peu.



16 Séquence SPIR, coupe axiale, après injection de gadolinium.

Seules les structures rehaussées par le gadolinium sont bien visibles en hypersignal, au sein de la graisse dont le signal est supprimé (noir). On individualise la prise de contraste de la tumeur (ici myxome orbitaire).

Sur le plan technique, les angiographies orbitaires bénéficient de l'agrandissement direct, de la numérisation de l'image avec soustraction automatique.

ARTÉRIOGRAPHIES

Depuis l'avènement du scanner, de l'IRM, les progrès de l'échographie et l'apparition de l'échographie-doppler couleur, le rôle diagnostique de l'artériographie a disparu.

La supersélectivité du cathétérisme, développée en France par Djindjian, permet d'injecter le produit de contraste le plus près possible du territoire à explorer.

L'exploration de la carotide externe, en plus de celle de la carotide interne, est indispensable pour une étude complète des vaisseaux de l'orbite (fig 22, 23).

Tableau VI. – Indications de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) en ophtalmologie.

- **Pathologie du segment postérieur du globe oculaire**
 - Recherche de récurrence de décollement de rétine après chirurgie (tamponnement interne par gaz ou bulle de silicone)
- **Tumeurs du globe oculaire**
 - Extension de la sclère, à l'orbite et au nerf optique des mélanomes malins de l'uvéa
 - Surveillance des rétinoblastomes après traitement
- **Fractures**
 - Après un scanner, si complications postchirurgicales
 - Coupes sagittales obliques (+++)
- **Prothèses en hydroxyapatite**
 - Reconstruction après énucléation
 - Étude de la vascularisation de la bille avant de fixer l'épiprothèse
- **Pathologie orbitaire**

(Cf arbres de décision diagnostique, ± échographie, ± scanner)

 - Processus intraconiques bien limités, lésions du nerf optique (+++)
 - POE de l'apex et à cheval sur l'orbite et les espaces environnants
- **Paralysies oculomotrices**
 - En premier, ± scanner, ± artériographie
- **Pathologie des voies visuelles**
 - En premier, ± scanner

POE : processus occupant de l'espace.

Tableau VII. – Principales causes des exophtalmies.

- Pseudoexophtalmie myopique
- Lésions du nerf optique : gliome, méningiome...
- Processus occupant de l'espace (POE)
 - Masses vasculaires
 - Tumeurs fibreuses
 - Tumeurs nerveuses
 - POE kystiques
- Orbitopathie basedowienne
- Inflammation orbitaire idiopathique/lymphomes
- Tumeurs malignes (primitives, métastatiques, propagées)
- Granulome, abcès, hématome
- Atteinte orbitaire des maladies générales (neurofibromatoses, réticuloses...)

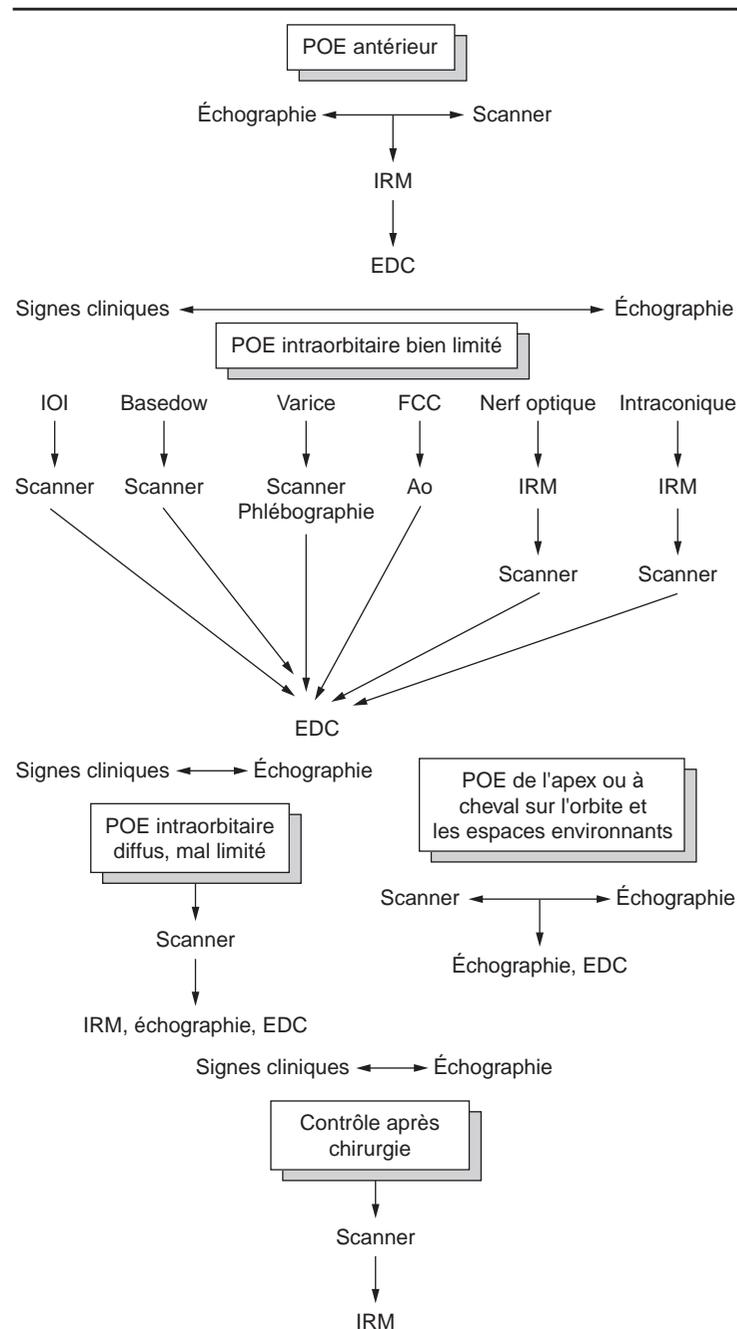
Tableau VIII. – Comparaison des renseignements topographiques, quantitatifs et cinétiques fournis par l'échographie, le scanner et l'imagerie par résonance magnétique.

		Échographie	Scanner	IRM
Topographie	Localisation			
	Morphologie	+	++	++
Quantification	Limites			
	Échostructure	+++		
	Réflectivité			
Cinétique	Atténuation			
	Densité		+	
Cinétique	Prise de contraste			
	Intensité du signal ρ , T1, T2			++
Cinétique	Compressibilité	++	+/-	+/-
	Vascularisation			

IRM : imagerie par résonance magnétique.

L'embolisation thérapeutique permet d'oblitérer les pédicules vasculaires d'une tumeur (par exemple un méningiome orbitosphénoïdal) ou d'une malformation vasculaire (par exemple une fistule carotidocaverneuse).

L'échographie-doppler couleur permet de visualiser la plupart des artères orbitaires : l'artère ophtalmique à partir de sa troisième portion intraorbitaire, les artères ciliaires longues, l'artère centrale de la rétine, le blush choroïdien, l'artère lacrymale, l'artère sus-orbitaire, l'artère ethmoïdale antérieure et l'artère sous-orbitaire. La vitesse systolique maximale et les spectres doppler sont différents d'une artère à l'autre.



17 Arbres de décision diagnostique d'un processus occupant de l'espace orbitaire (POE).

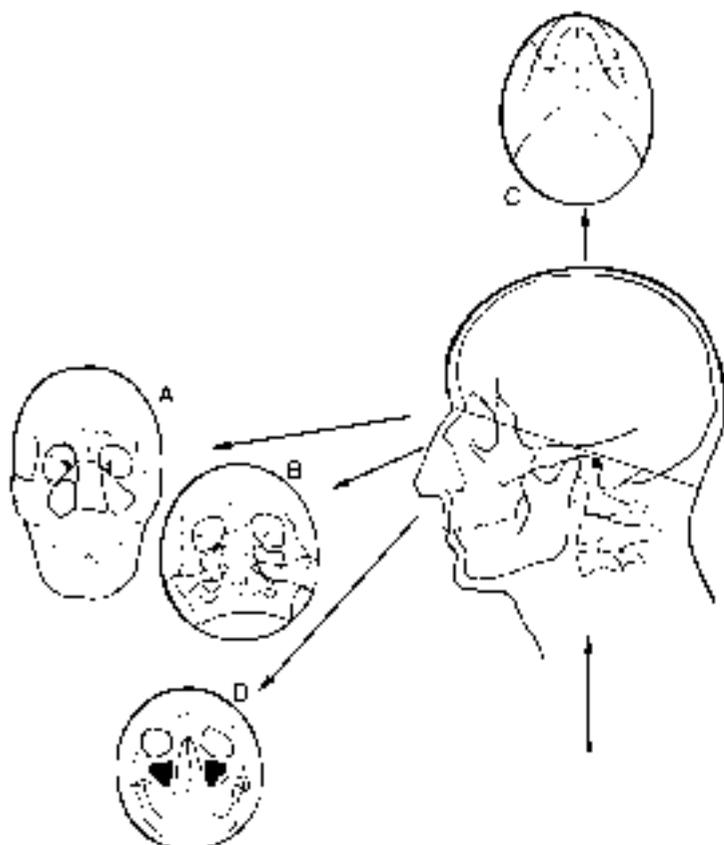
IOI : inflammation orbitaire idiopathique ; EDC : échographie-doppler couleur ; FCC : fistule carotidocaverneuse ; Ao : artériographie ; IRM : imagerie par résonance magnétique.

■ Artère ophtalmique

Origine

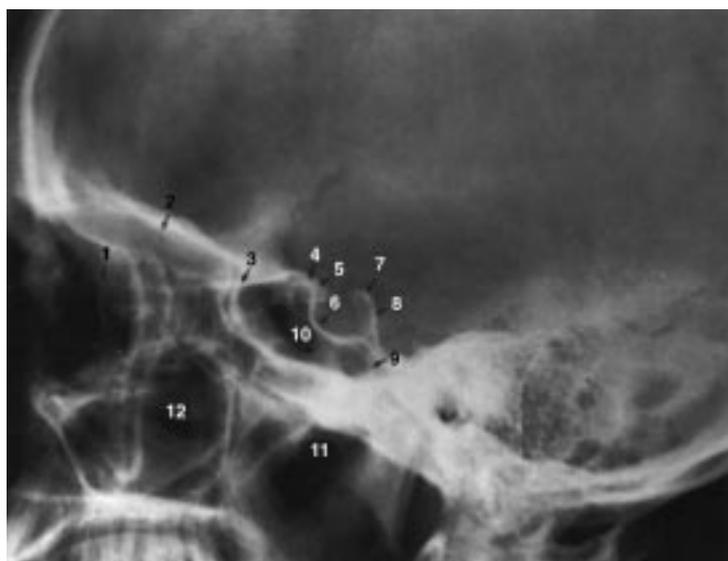
L'artère ophtalmique naît de la portion supraclinoidienne du siphon, juste après son émergence de la loge caverneuse. Plusieurs variantes peuvent exister :

- origine de l'artère méningée moyenne totale ou partielle, par régression des deux artères ophtalmiques primitives ;
- origine de la portion C4 du siphon par régression de l'artère ophtalmique ventrale ;
- origine de l'artère cérébrale antérieure, par absence de migration de l'artère ophtalmique primitive ventrale ;
- origine double des portions C2 et C4 du siphon carotidien par absence de régression de l'artère ophtalmique dorsale.



18 Principales incidences bilatérales et symétriques en ophthalmologie.

- A. Face haute, OM = - 25°.
 B. Plancher d'orbite, OM = - 35°.
 C. Blondeau, OM = - 50°.
 D. Axiale, OM = 105°.



19 Incidence de profil.

1. Lame criblée ; 2. toits des orbites ; 3. jugum ; 4. tubercule de la selle ; 5. clinoides antérieures ; 6. selle turcique ; 7. clinoides postérieures ; 8. lame quadrilatère ; 9. clivus ; 10. sinus sphénoïdaux ; 11. cavum ; 12. sinus maxillaire.

Trajet

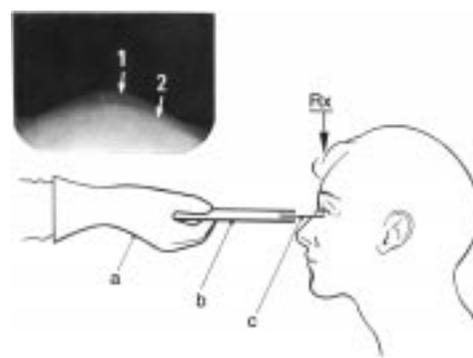
L'artère ophtalmique comprend trois segments : intracrânien, intracanalair et intraorbitaire, ce dernier divisé en trois parties :

- une première portion infraoptique qui longe la partie inférieure du nerf optique (fig 24A) ;
- une deuxième portion latéro-optique qui croise le nerf optique de bas en haut ;



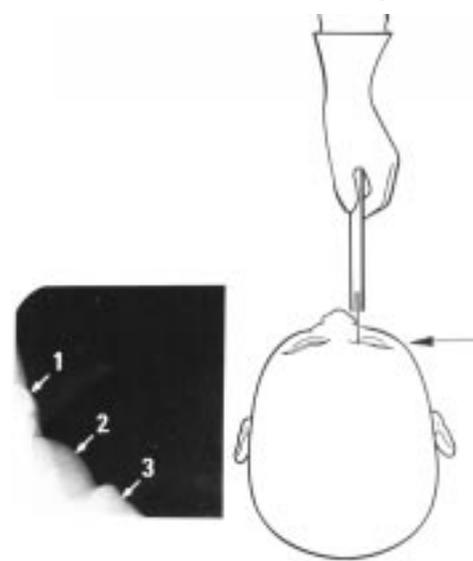
20 Incidence plancher d'orbite.

1. Os planum ; 2. plancher orbitaire ; 3. canal sous-orbitaire ; 4. malaire.



21 Incidence de Vogt (face et profil).

- A. 1. Cornée ; 2. paupière. a. Gant plombé ; b. porte-film ; c. film dentaire.
 B. 1. Paupière supérieure ; 2. cornée ; 3. paupière inférieure.



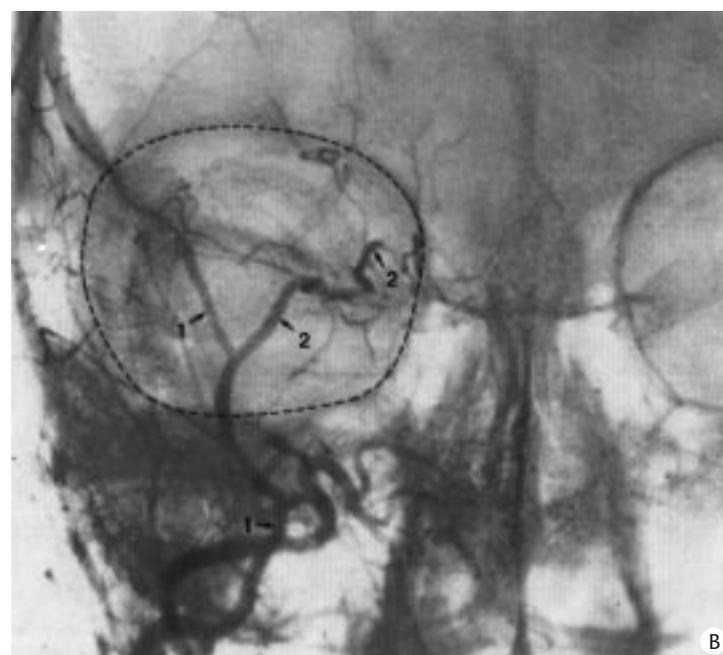
- une troisième portion qui quitte le cône musculoaponévrotique pour suivre la partie interne de l'orbite.

• Segment intracrânien

L'artère ophtalmique suit la face inférieure du nerf optique intracrânien et pénètre dans le canal optique. Ce court segment est oblique en haut et en avant sur les radiographies de profil ; en vue axiale, il se dirige en avant et en dedans.

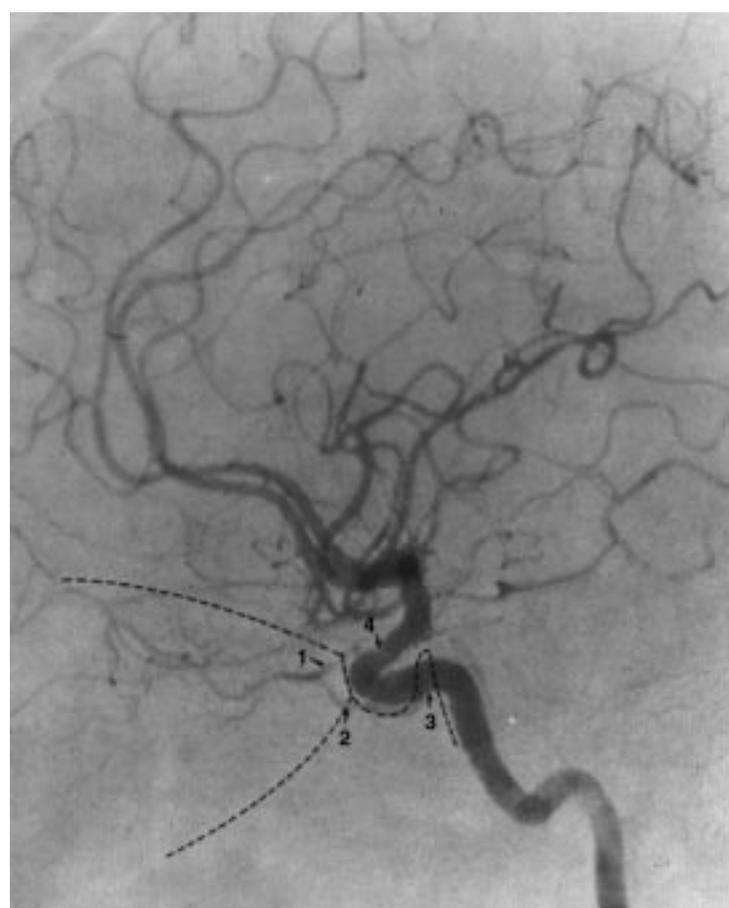
• Segment intracanalair

L'artère suit la face inféroexterne du nerf optique. De profil, ce segment paraît rectiligne, avec un calibre quelquefois un peu réduit. En incidence axiale, ce segment est oblique en avant et en dehors et à la même direction que celle du canal optique.



22 Artériographie carotidienne externe de profil (A) et de face (B). L'artère ophtalmique naît de l'artère méningée moyenne dans la fosse temporale et pénètre dans l'orbite par la fente sphénoïdale.

1. Artère ophtalmique ; 2. artère méningée moyenne.



23 Il existe deux artères ophtalmiques, l'une naissant de la portion C2 du siphon, l'autre de la portion C4 (cliché du docteur Hasso).

1. Artère ophtalmique ventrale ; 2. artère ophtalmique dorsale ; 3. portion C4 du siphon ; 4. portion C2 du siphon.

• Segment intraorbitaire

Première portion

Elle est infraoptique. L'artère ophtalmique traverse l'anneau de Zinn

et pénètre dans la partie postérieure du cône musculoaponévrotique. À ce niveau, l'artère ophtalmique chemine sur 10 à 15 mm ; cette portion est rectiligne ou légèrement sinueuse, prolongeant la direction du segment intracanalair (fig 24A) ; de face, les segments intracrâniens et intracanalair, associés à cette première portion intraorbitaire, déterminent une ligne continue oblique en bas et en dehors (fig 24B).

Deuxième portion

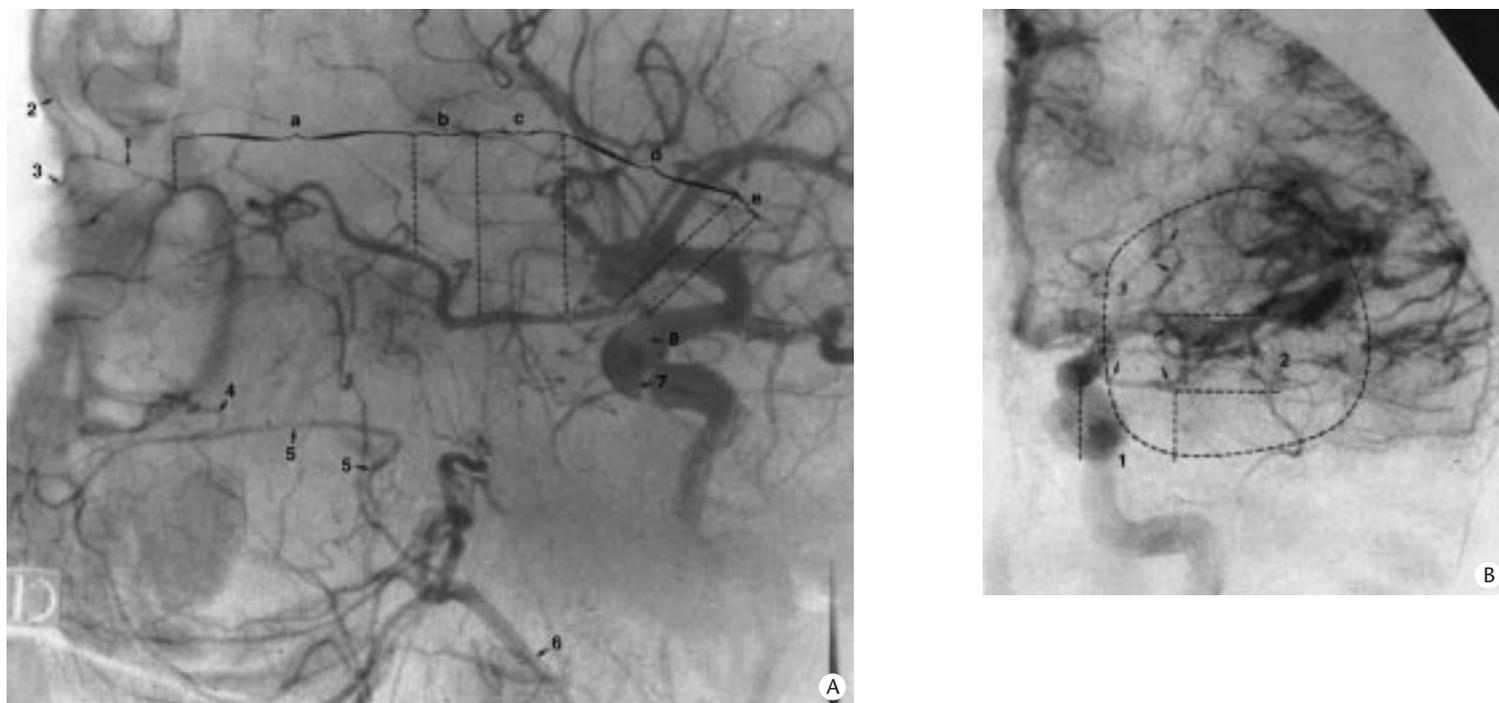
À ce niveau, l'artère croise le nerf optique de bas en haut, l'artère peut contourner le nerf optique, soit sur sa partie externe, soit sur sa face interne.

Le croisement externe (fig 25A) est la variété la plus fréquemment rencontrée (83 % dans 491 cas rapportés dans la littérature d'après les études anatomiques). L'artère quitte la face inférieure du nerf optique, se redresse (premier coude) pour contourner la face externe du nerf optique, soit verticalement, soit obliquement en avant. Ainsi, sur les incidences de profil, l'angle projeté du premier coude sera obtus ou droit. Puis, l'artère se recourbe à nouveau (deuxième coude), croisant la face supérieure du nerf optique pour se diriger vers la partie interne de l'orbite. L'aspect radiologique est le suivant :

- de face : boucle à concavité interne ;
- de profil : classique « baïonnette » ; il n'est pas possible sur cette seule incidence de préciser la variété ;
- en incidence axiale : concavité interne.

Le croisement sur le versant interne (fig 25B, C) du nerf optique s'observe dans 17 % des cas étudiés. L'artère quitte la face inférieure du nerf optique et se dirige en dedans. Puis, elle se redresse et croise la face interne du nerf optique. Deux possibilités s'offrent alors : soit l'artère s'éloigne du nerf optique pour gagner la partie interne de l'orbite (type I), soit l'artère décrit une sinuosité au-dessus du nerf optique (type II), puis gagne la partie interne de l'orbite. Dans les deux cas :

- en incidence frontale : le croisement latéral avec le nerf optique est marqué par une concavité externe ; demi-boucle incomplète dans le type I, complète dans le type II ;
- de profil, la « baïonnette » existe dans le type II, identique à celle de la variété latéro-optique externe ; dans le type I, elle n'existe pas ;
- en incidence axiale : on observe une concavité externe plus ou moins accentuée selon le type.



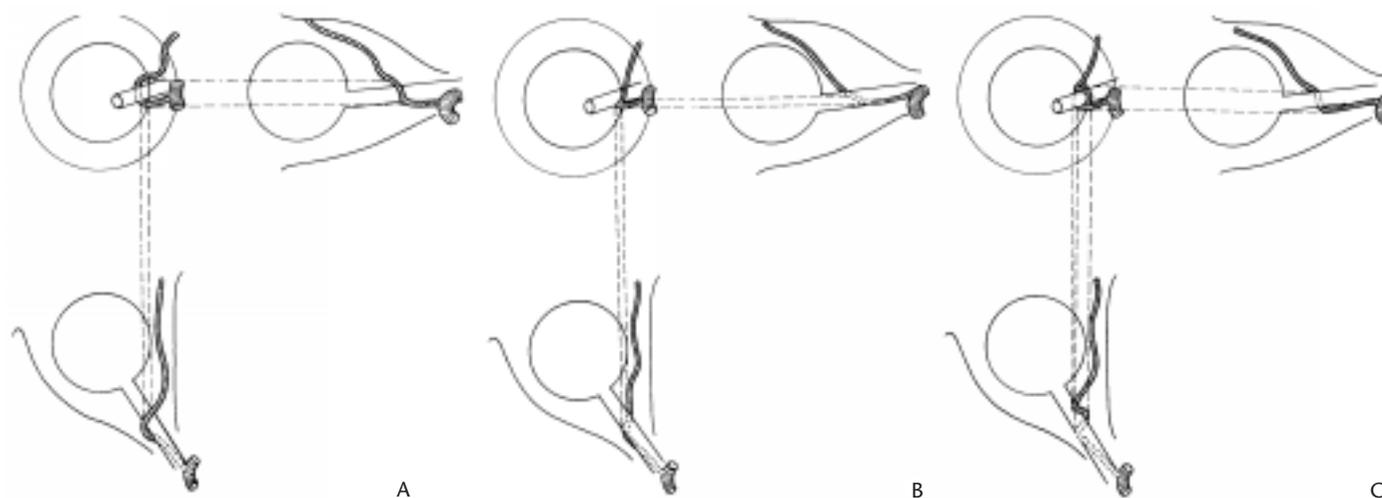
24 Artériographie carotidienne interne de profil (A) et de face (B) montrant les différents segments de l'artère ophtalmique.

L'artère ophtalmique est en variété latéro-optique externe.

A. De profil. 1. Branches terminales ; 2. artère frontale ; 3. artère nasale ; 4. rameau orbitaire ; 5. artère sous-orbitaire ; 6. artère maxillaire interne ; 7. siphon carotidien ; 8. portion C2.

a. Segment intraorbitaire, troisième portion ; b. segment intraorbitaire, deuxième portion ; c. segment intraorbitaire, première portion ; d. segment intracanalair ; e. segment intracrânien.

B. De face. 1. Projection des segments intracrâniens, intracanalair et de la première portion du segment intraorbitaire ; 2. deuxième portion du segment intraorbitaire.



25 Représentation schématique des variétés de croisement de l'artère ophtalmique par rapport au nerf optique. Projection de profil, de face et en Hirtz.

A. Variété latéro-optique externe.

B. Variété latéro-optique interne, type I.

C. Variété latéro-optique interne, type II.

Troisième portion

L'artère s'infléchit en avant selon un angle projeté droit ou obtus, formant une deuxième partie de la « baïonnette » (sauf dans la variété latéro-optique interne type I). Elle décrit plusieurs sinuosités ; passe entre droit latéral et droit supérieur pour quitter le cône musculaire. Elle se termine en s'anastomosant largement avec l'artère frontale et l'artère angulaire tributaire de la carotide externe. Sur les artériographies :

- de profil, la dernière sinuosité correspond au passage de l'artère sous la poulie du grand oblique ;
- de face, l'artère se dirige en dedans et en haut ;
- en incidence axiale, elle paraît parallèle à la paroi interne de l'orbite qu'elle longe.

■ Artères terminales

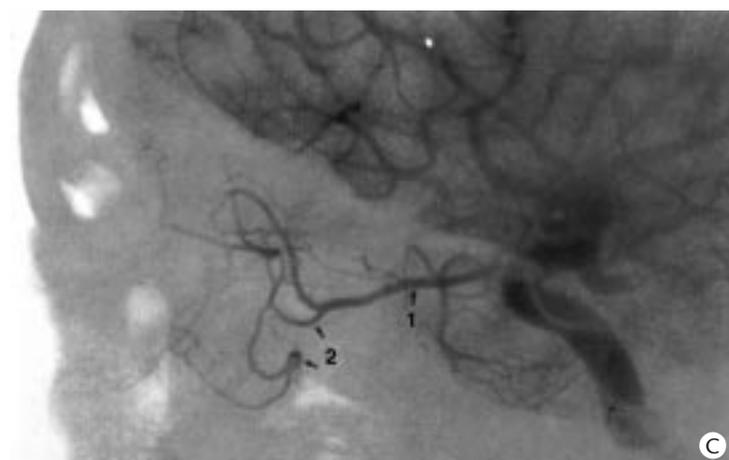
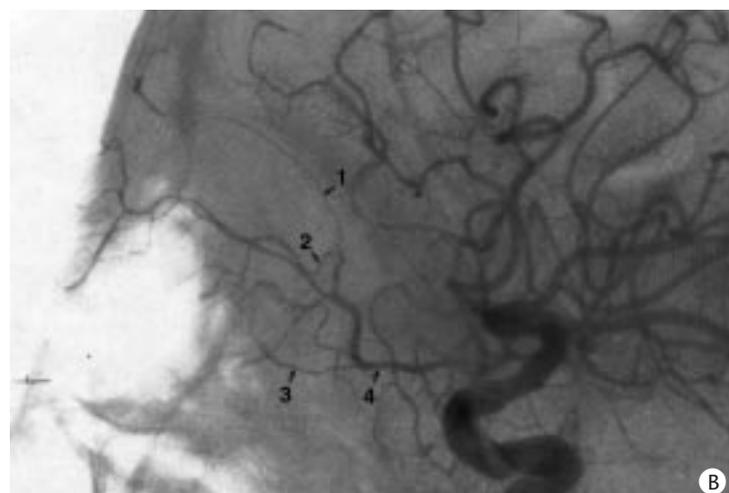
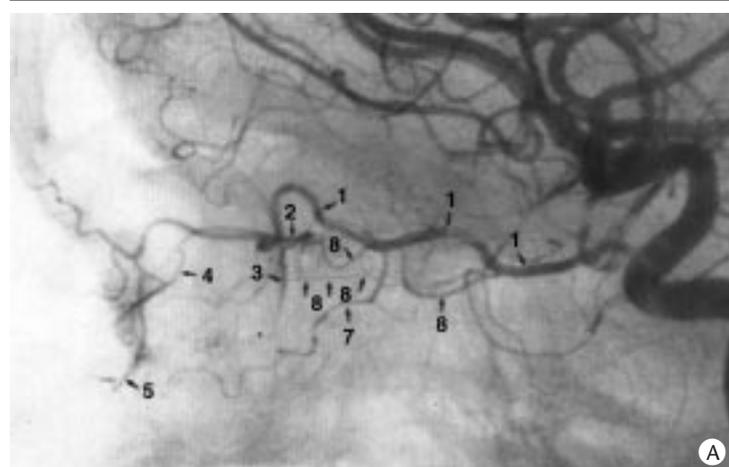
Elles correspondent à l'artère frontale qui s'anastomose avec un rameau de l'artère temporale superficielle et à l'artère nasale qui s'anastomose avec l'artère faciale (fig 24A).

■ Radioanatomie des branches de l'artère ophtalmique

Branches collatérales de l'artère ophtalmique

Leur calibre est trop petit pour être visible radiologiquement. Les artères ciliaires (fig 26A, B) regroupent :

- les artères ciliaires postérieures ou ciliaires longues destinées à la choroïde ; elles sont au nombre de deux : ciliaire postéro-interne et ciliaire postéro-externe ; elles peuvent naître, soit isolément, soit ensemble et associées ou non à l'artère centrale de la rétine. Elles



26 Trois artériographies carotidiennes internes de profil centrées sur l'orbite en agrandissement direct ont été sélectionnées pour montrer l'identification des principales branches collatérales de l'artère ophtalmique et du croissant choroïdien.

A. 1. Artère ophtalmique ; 2. artère ethmoïdale antérieure ; 3. croissant choroïdien ; 4. artère nasale interne ; 5. artère palpébrale ; 6. artère centrale de la rétine ; 7. artère musculaire inféro-interne ; 8. artère ciliaire postéro-interne.

B. 1. Artère sus-orbitaire ; 2. artère lacrymale ; 3. artère ciliaire postéro-interne ; 4. artère ophtalmique.

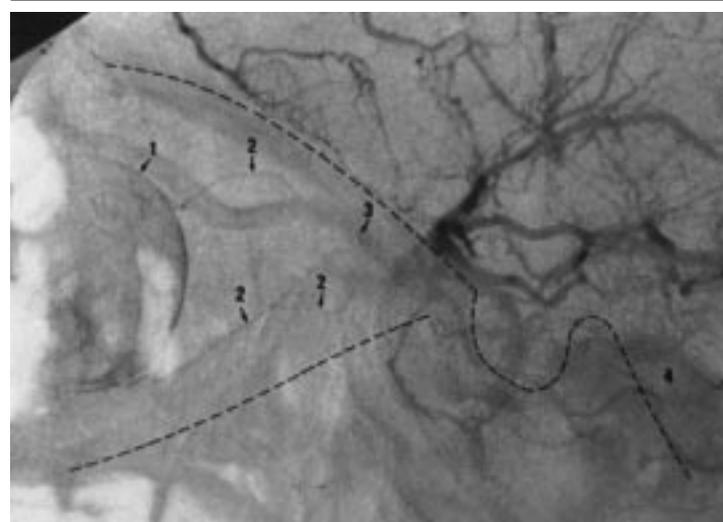
C. 1. Artère ophtalmique ; 2. artère musculaire inféroexterne.

peuvent être rectilignes ou décrire une ou deux boucles de court rayon, à concavité inférieure, et se terminent à distance du *blush* choroïdien dont l'intensité est proportionnelle à la qualité d'opacification des artères ciliaires au temps précoce ;

– les artères ciliaires courtes (de diamètre inférieur à 0,3 mm), en nombre variable, sont souvent visibles.

Artère centrale de la rétine

Son diamètre est inférieur à 0,3 mm. Le plus souvent rectiligne, elle



27 Temps tardif d'une artériographie carotidienne interne de profil. Les veines vortiqueuses sont visibles. Le croissant choroïdien est bien opacifié. De plus, visibilité de la veine ophtalmique supérieure dans ce cas pathologique de blocage du sinus caverneux par une tumeur à myélopaxe du sphénoïde.

1. Croissant choroïdien ; 2. veine vortiqueuse ; 3. veine ophtalmique supérieure ; 4. opacité tumorale.

est parfois sinueuse, mais ne décrit jamais de boucle aussi importante que les artères ciliaires postérieures. Elle naît de l'artère ophtalmique ou d'une artère ciliaire au niveau de la portion latéro-optique de l'artère ophtalmique. Elle présente une « baïonnette » lors de la pénétration dans le nerf optique. Elle se termine au contact, voire au-delà du *blush* choroïdien. Ce trajet particulier permet quelquefois de l'identifier parmi les autres ciliaires (fig 26A).

« Blush » choroïdien

Visible sur les temps tardifs de l'artériographie, il représente l'opacification de la choroïde et se présente de face sous la forme d'un cercle, de profil sous forme d'un croissant (fig 27). De face, il est rarement visible. Pour le mettre en évidence, l'injection d'une quantité importante de produit de contraste est nécessaire.

Artère lacrymale

Elle peut naître, soit de l'artère ophtalmique (70 % des cas), soit de l'artère méningée moyenne (30 % des cas). Dans le premier cas, elle est reliée à l'artère méningée moyenne par l'artère récurrente méningée qui traverse la fente sphénoïdale. Dans le deuxième cas, elle pénètre par le canal de Hyrtl, situé sur la grande aile du sphénoïde en dehors de la fente sphénoïdale.

L'artère lacrymale de profil est souvent difficile à isoler des artères ciliaires postérieures, mais elle dépasse du *blush* choroïdien. Elle se divise en trois rameaux : glandulaire, glandulopalpébral et anastomotique. De face, par artériographie de la carotide interne, seule sa portion initiale est identifiable, en revanche, elle est visible sans superposition après opacification de la carotide externe.

Artère sus-orbitaire

Elle est anastomotiquement absente dans 30 % des cas. Elle naît de la troisième portion de l'artère ophtalmique. Radiologiquement, elle est souvent visible et se détache du tronc principal en regard de l'artère musculaire postéro-interne (fig 26B).

Elle est plaquée contre le toit de l'orbite, dont elle fixe la limite angiographique sur les clichés de profil. Elle s'anastomose dans l'échancrure des orbites à un rameau de l'artère temporale superficielle.

Artères ethmoïdales

L'artère ethmoïdale postérieure naît au même niveau que l'artère sus-orbitaire. Elle est surtout visible sur les clichés de face d'une artériographie de la carotide externe.

L'artère ethmoïdale antérieure quitte l'orbite très en avant par le canal ethmoïdal antérieur. Elle est toujours visible et se divise en

plusieurs branches nasales, ethmoïdales et méningées pour la partie antérieure de la convexité et de la faux du cerveau.

Artères musculaires

Seuls les rameaux destinés aux groupes musculaires inférieurs sont identifiables avec certitude. Les artères musculaires sont au nombre de deux : l'artère musculaire postéroexterne et l'artère musculaire postéro-interne.

L'artère musculaire postéro-interne est toujours opacifiée et naît de la troisième portion de l'artère ophtalmique (fig 26A).

L'artère musculaire postéroexterne n'est présente qu'en variété latéro-optique externe ; elle naît habituellement de la deuxième ou de la troisième portion de l'artère ophtalmique (fig 26C).

Rameaux artériels orbitaires provenant de l'artère carotide externe

Outre l'artère méningée moyenne, d'autres artères s'anastomosent avec le système vasculaire ophtalmique.

L'artère temporale profonde antérieure est toujours visible radiologiquement. Elle chemine en extracrânien à la face profonde du muscle temporal, dans sa partie antérieure. De sa portion initiale se détache un rameau orbitaire transmaxillaire qui va s'anastomoser avec l'artère lacrymale.

L'artère sous-orbitaire anatomiquement intraorbitaire chemine dans la fente sphéno-maxillaire qu'elle quitte par le canal sous-orbitaire. À sa sortie, elle s'anastomose avec l'artère transverse de la face et l'artère alvéolaire supérieure et donne un ou plusieurs rameaux palpébraux inférieurs. Ils se distribuent aux muscles de la région inféroexterne de l'orbite et aux paupières inférieures et s'anastomosent avec les artères musculaires inférieures et l'artère lacrymale.

L'artère transverse de la face et l'artère alvéolaire supérieure fournissent un rameau palpébral inférieur, parfois visible.

Les branches nasales de l'artère sphéno-palatine s'anastomosent avec les rameaux homologues nés des artères ethmoïdales.

L'artère temporale superficielle s'anastomose avec l'artère sus-orbitaire par un rameau frontal souvent visible.

PHLÉBOGRAPHIES

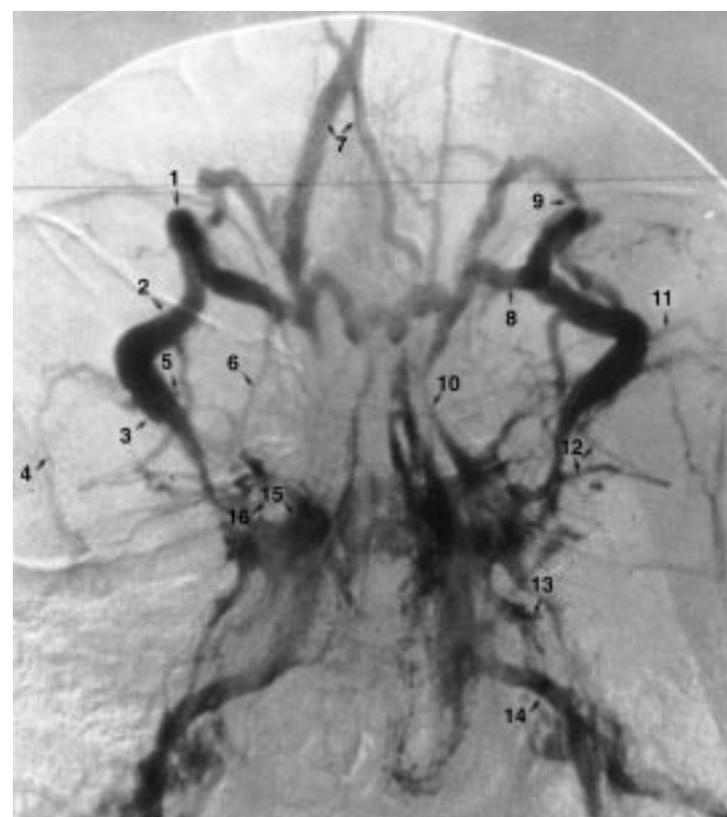
■ Phlébogramme de retour d'une artériographie

Les veines ophtalmiques supérieures, quelquefois les veines ophtalmiques inférieures et les veines absidales, sont visibles sur les temps tardifs d'une artériographie de la carotide externe. Et sur les temps tardifs d'une artériographie sélective de la carotide interne, on peut quelquefois identifier les veines vortiqueuses. L'échographie-doppler couleur permet de visualiser la veine ophtalmique supérieure et, de façon moins constante, la veine ophtalmique inférieure et la veine absidale interne. L'échographie-doppler couleur montre également bien les veines vortiqueuses et la veine centrale de la rétine. Son avantage est de pouvoir apprécier la direction des flux au repos dans les circonstances physiologiques et après certaines manœuvres et d'analyser leurs spectres. Cependant, l'étude précise des systèmes veineux orbitaires requiert leur opacification directe. Les indications de cet examen sont actuellement très réduites : essentiellement en cas de varice orbitaire accessible à un traitement chirurgical, et donc essentiellement les varices antérieures.

■ Phlébogramme orbitaire et du sinus caverneux

Cet examen permet d'opacifier les veines orbitaires et les sinus caverneux. Il est réalisé de façon ambulatoire et nécessite, sauf chez les enfants, une prémédication.

La voie d'abord antérieure est actuellement la seule utilisée. La méthode la plus fréquemment utilisée est la ponction percutanée d'une veine du front. La dénudation de la veine faciale sous le maxillaire inférieur est exceptionnelle : elle n'est pratiquée qu'en cas d'échec de cette méthode. Pour diriger le produit de contraste vers les veines de l'orbite, les collatérales frontales et temporales sont comprimées à l'aide d'une bande d'Esmarch et les veines angulaires à l'aide d'une règle en plastique évitant ainsi la réplétion des veines faciales tout au long de leur trajet (fig 27).



28 Phlébographie orbitaire de face.

1. Veine ophtalmique supérieure (premier segment) ; 2. veine ophtalmique supérieure (deuxième segment) ; 3. veine ophtalmique supérieure (troisième segment) ; 4. veine absidale postérieure externe ; 5. veine absidale postérieure interne ; 6. veine absidale antérieure interne ; 7. veines frontales ; 8. racine inférieure ; 9. racine supérieure ; 10. veine angulaire ; 11. veine lacrymale ; 12. veine ophtalmique inférieure ; 13. veine de Nühm ; 14. sinus pétreux inférieur ; 15. sinus caverneux ; 16. carotide interne (siphon).

Les sériographies sont systématiquement prises selon trois incidences :

- en face haute ;
- en axiale ;
- de profil strict : les deux orbites sont alors superposées ; il est préférable d'opacifier successivement un côté après l'autre.

Normalement, la phlébographie opacifie les veines ophtalmiques supérieure et inférieure. Ces veines, reliées entre elles par le système des veines absidales (ou communicantes), drainent le sang de l'orbite et de l'œil avant de se réunir au fond de l'orbite et se jeter par un tronc commun dans le sinus caverneux.

Veine ophtalmique supérieure

- De face (fig 28)

On lui décrit deux racines et trois segments principaux :

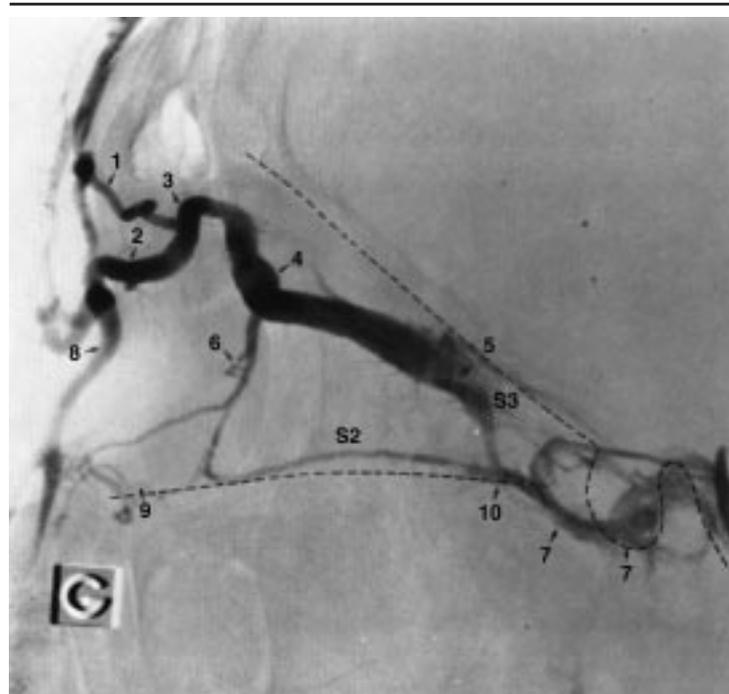
- la racine supérieure, branche d'une veine du front, court segment vertical situé à la partie antérieure et interne de l'orbite ;
- la racine inférieure, branche de la racine angulaire oblique en haut, en dehors et un peu en arrière.

Les deux racines se réunissent pour former les trois segments principaux :

- le premier segment (S1) court, extraconique, est dans le prolongement de la racine inférieure.

La jonction des premier et deuxième segments est le point fixe P1, correspondant à la pénétration de la veine dans le cône musculoaponévrotique entre les muscles droit supérieur et droit médial ;

- le deuxième segment (S2), qui fait suite au précédent, est oblique en bas, en dehors et en arrière, présentant une concavité supérieure



29 Phlébographie orbitaire de profil. Un seul côté est opacifié grâce à la compression à distance des racines de la veine ophtalmique supérieure controlatérale.
1. Racine supérieure ; 2. racine inférieure ; 3. veine ophtalmique supérieure (premier segment) ; 4. veine ophtalmique supérieure (deuxième segment) ; 5. veine ophtalmique supérieure (troisième segment) ; 6. veine absidale ; 7. sinus caverneux ; 8. veine angulaire ; 9. veine ophtalmique inférieure ; 10. tronc commun : veine ophtalmique supérieure et veine ophtalmique inférieure.

due au passage de la veine à la face inférieure du muscle droit supérieur. C'est un segment intraconique qui se laisse aisément déformer par un processus occupant intraconique et a donc une grande valeur localisatrice.

La fonction des deuxième et troisième segments correspond au point P2 (émergence du cône de la veine entre droit supérieur et droit latéral) ;

– le troisième segment (S3) juxtaconique est oblique en bas, en dedans et en arrière, occupant le tiers postérieur de l'orbite. Dans l'ensemble rectiligne, il se rétrécit à son tiers postérieur, rétrécissement correspondant au passage de la veine dans un canal fibreux bordant la berge inféroexterne de la fente sphénoïdale.

À la partie toute postérieure, un tronc commun l'unit à la veine ophtalmique inférieure qui se jette dans la partie antéro-inférieure du sinus caverneux.

• *De profil (fig 29)*

On retrouve :

- la racine supérieure, segment vertical un peu oblique en bas et en arrière ;
- la racine inférieure légèrement oblique en haut et en arrière ;
- le premier segment extraconique court, presque horizontal ;
- le deuxième segment avec sa concavité supérieure ;
- le troisième segment qui lui fait suite avec sa concavité inférieure dont la partie postérieure presque verticale en bas, forme avec la veine ophtalmique inférieure, le tronc commun avant de se jeter dans le sinus caverneux.

En incidence axiale, on individualise mal les racines supérieure et inférieure de la veine ophtalmique supérieure.

Le deuxième segment est encore en dehors.

Le troisième segment rectiligne, oblique en arrière et en dedans, rejoint le sinus caverneux dont l'incidence axiale étudiée au mieux la morphologie avec, en négatif, le defect de la carotide.

Les collatérales du sinus caverneux sont parfaitement mises en évidence sur cette incidence : sinus de Breschet, veines du trou ovale, sinus pétreux inférieur.

La veine ophtalmique inférieure se superpose à la veine ophtalmique supérieure ou la borde en dedans.

Veine ophtalmique inférieure

Sa topographie est moins constante que celle de la veine ophtalmique supérieure. On peut cependant la décrire.

• *De face*

On retrouve :

- un premier segment (S1) antérieur, né de l'anastomose avec la veine faciale et les veines absidales ;
- un point fixe P, à la jonction des premier et deuxième segments de la veine où s'anastomose fréquemment une veine absidale postérieure ;
- un deuxième segment (S2) qui rejoint la partie postérieure du troisième segment de la veine ophtalmique supérieure à laquelle il s'unit pour former le tronc commun avant de traverser la fente sphénoïdale.

• *De profil (fig 29)*

On retrouve :

- inconstamment, le premier segment antérieur ;
- le deuxième segment bien visible, oblique en arrière et un peu en bas, l'angle formé par les deux veines au fond de l'orbite est proche de 90°, sinon plus aigu.

Veines absidales

Le système des veines absidales interne et externe, contournant le globe en dedans et en dehors, réunit les deux veines ophtalmiques décrites ci-dessus.

Branches collatérales

Elles comprennent la veine lacrymale, les veines ethmoïdales, les réseaux musculaires, le canal collatéral interne. Les veines vortiqueuses et le croissant choroïdien ne sont visibles qu'en cas d'hypervascularisation en amont du blocage.

L'interprétation de la phlébographie doit toujours être comparative, surtout lorsqu'on veut apprécier un déplacement.

Références

- [1] Berges O. Exploration de l'œil et de l'orbite. In : Boulin A, Vignaud J éd. Tomodensitométrie crano-encéphalique. Paris : Vigot, 1987 : 503-550-618-631
- [2] Berges O, Torrent M. Échographie de l'œil et de l'orbite Paris : Vigot, 1986
- [3] Bilaniuk LT, Newton H. Radiology of the eye and orbit. Modern neuroradiology. In : Clavadel Book. New York : Raven Press, 1990
- [4] Blum A, Regent D. Scanner hélicoïdal : principes et modalités pratiques d'utilisation. Paris : Masson, 1995
- [5] Doyon D, Cabanis EA, Laval-Jeantet M, Frija J, Pariente D, Idi-Peretti I. Imagerie par résonance magnétique. Abrégés. Paris : Masson, 1994
- [6] Jones IS, Jakobiec FA. Diseases of the orbit. London : Harper and Row, 1979
- [7] Mafee MF. Imaging in ophthalmology. Part I and II. In : The radiologic clinic of North America. Philadelphia : WB Saunders, may and july 1987
- [8] Scott WA, Bilaniuk LT, Zimmermann RA. The orbit. In : Stark DD, Bradley WG eds. Magnetic resonance imaging. St Louis : CV Mosby, 1988 : 570-614
- [9] Vignaud J, Clay CL, Salvolini U, Bilaniuk LT. Radio-ophtalmologie. In : Fischgold H éd. Traité de radiologie. Paris : Masson, 1982