



HAL
open science

Étude anatomique des veines vertébrales dans le canal des foramens transverse en dissection, histologie et IRM haute résolution : apport dans le diagnostic différentiel des dissections de l'artère vertébrale

Elsa Magro

► To cite this version:

Elsa Magro. Étude anatomique des veines vertébrales dans le canal des foramens transverse en dissection, histologie et IRM haute résolution : apport dans le diagnostic différentiel des dissections de l'artère vertébrale. Chirurgie. 2012. dumas-00714228

HAL Id: dumas-00714228

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00714228>

Submitted on 3 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE BREST-BRETAGNE OCCIDENTALE

Faculté de Médecine

Année 2012

N°

**THESE DE
DOCTORAT en MEDECINE
DIPLOME D'ETAT**

Par

MAGRO Elsa

Née le 9 Novembre 1981 à Marseille

Présentée et soutenue publiquement le 29 Juin 2012

*«Etude anatomique des veines vertébrales dans le canal des
foramens transverse en dissection, histologie et IRM haute
résolution : apport dans le diagnostic différentiel des dissections de
l'artère vertébrale »*

Président

Monsieur le Professeur Dam-Hieu

Membres du jury

Monsieur le Professeur Senecail

Monsieur le Professeur Gouny

Monsieur le Professeur Nonent

Monsieur le Docteur Seizeur

TABLE DES MATIERES

Problématique.....	3
Mise au point sur l'apport de l'embryologie à la compréhension de l'anatomie des veines dans le canal des foramens transverses.....	4
Données de l'embryologie	4
Mise en place du réseau veineux primitif et du système cave supérieur.....	4
Mise en place du système cardinal veineux.....	6
Mise en place du système veineux encéphalique.....	6
Données de l'anatomie.....	8
Les veines vertébrales parmi les veines du rachis	8
Les veines vertébrales parmi les veines cervicales.....	12
Synthèse sur l'embryologie et l'anatomie des veines vertébrales.....	15
«Etude anatomique des veines vertébrales dans le canal des foramens transverses en dissection, histologie et IRM haute résolution : apport dans le diagnostic différentiel des dissections de l'artère vertébrale	17
Résumé	17
Introduction	18
Matériel et méthode.....	20
Etude en dissections.....	20
Etude histologique	29
Etude en imagerie par résonance magnétique.....	30
Résultats.....	31
Etude en dissections.....	31
Etude histologique	40
Etude en imagerie par résonance magnétique.....	43
Comparaison radio-anatomique	48
Discussion	52
Discussion des principaux résultats de l'étude.....	52
Analyse comparative des résultats en fonction des méthodes utilisées	54
Comparaison des résultats aux données embryologiques et anatomiques « classiques »	57
Comparaison des résultats aux données de la littérature	58
Apports de cette étude	61
Conclusions.....	64
Annexe 1	65
Références.....	67

« La richesse et la précision de la langue anatomique, la syntaxe si particulière qu'elle utilise dans la description des organes, demandent un long apprentissage à qui veut la parler couramment »

André Delmas

Préface du livre « Nomenclature anatomique illustrée », M. Guntz, 1975, Masson, Paris.

Remarques sur les nomenclatures anatomiques utilisées:

Le travail présenté dans cette thèse s'appuie sur des données anatomiques issues de traités anciens mais également d'articles de la littérature plus récente. Dans ces descriptions anatomiques on trouve un vocabulaire anatomique qui s'est constitué progressivement au cours du temps et qui est donc un mélange de termes grecs, latins et de mots de la langue moderne. L'usage de la nomenclature anatomique ou plutôt « des » nomenclatures anatomiques a donc été nécessaire à une uniformisation du langage. Il existe une nomenclature internationale (9), qui est actuellement utilisée en France afin de permettre une communication simple avec les anglo-saxons notamment. Toutefois, la nomenclature anatomique française, enseignée il y a encore une dizaine d'années, demeure d'utilisation courante. Dans ce travail, les différents termes ont été vérifiés dans l'Atlas d'anatomie humaine de J. Sobotta (38) et dans l'ouvrage de nomenclature illustrée de M. Guntz (13). Malgré cela, pour certains termes qui sont de l'ordre du détail anatomique, le terme consacré est parfois difficile à définir de façon tout à fait précise. Ainsi pour exemple, ce que nous nommerons « veines longitudinales ventrales des plexus intrarachidiens » tout au long dans ce travail, est nommé « plexus veineux intrarachidien antérieur » (13) ou « plexus veineux vertébraux interne ventral » (38) en fonction des sources utilisées.

PROBLEMATIQUE

La disposition anatomique des veines vertébrales dans le canal transversaire¹ est un sujet de controverse qui opposait déjà Trolard (43), Labbé (21) et Walther (46). Plusieurs ouvrages anatomiques publiés depuis (11;30;32;35;40) montrent des descriptions différentes (*figure 1*), certains décrivant une veine vertébrale unique, d'autres une veine unique dédoublée par places, ou encore une confluence des veines en plexus.

Figure 1 : **A** : Veine vertébrale d'après Poirier (32).
B : Veine vertébrale d'après Gérard (11), inspiré de Walther.

Les séquences d'imagerie par résonance magnétique (IRM) sont utilisées pour faire le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale. La présence des veines vertébrales dans le canal des foramens transverses est source de faux positifs pour ce diagnostic. Les séquences d'IRM haute résolution (HR) permettent d'explorer in vivo et de façon détaillée les veines vertébrales dans le canal transversaire (25). Malgré le développement de ces séquences des doutes diagnostiques persistent (*figure 2*). C'est dans ce sens que la connaissance précise de l'organisation anatomique des veines vertébrales peut être une aide au diagnostic différentiel de dissection de l'artère vertébrale.

Figure 2 : Exemple d'après Naggara et al. (25). Coupes axiales en IRM-HR passant le corps d'une vertèbre cervicale et montrant le canal transversaire contenant l'artère vertébrale en hypersignal. En **A** une veine vertébrale en hyposignal (flèche), en **B** une dissection de l'artère vertébrale en hyposignal (flèche).

Cette étude a plusieurs intérêts :

- Mieux caractériser l'organisation des veines vertébrales dans le canal des foramens transverses, afin d'apporter des éléments utiles au diagnostic différentiel de dissection de l'artère vertébrale.
- Compléter les connaissances anatomiques du chirurgien qui réalise un abord du rachis cervical par voie antérieure, et qui est rapidement confronté à un saignement veineux important lorsqu'il s'approche trop de la partie latérale des corps vertébraux, à proximité du canal transversaire.
- Apporter des éléments de discussion à la théorie d'un sinus vertébro-transversaire, c'est à dire faire une distinction entre sinus et veine.

Après une mise au point sur l'apport de l'embryologie à la compréhension de l'anatomie des veines dans le canal des foramens transverses, nous détaillerons une étude basée sur des dissections classiques, des coupes histologiques et de l'IRM-HR.

¹ Tout au long de ce travail, la dénomination de canal transversaire est utilisée indifféremment de celle de canal des foramens transverses, c'est deux dénominations ayant la même signification.

MISE AU POINT SUR L'APPORT DE L'EMBRYOLOGIE A LA COMPREHENSION DE L'ANATOMIE DES VEINES DANS LE CANAL DES FORAMENS TRANSVERSES

DONNEES DE L'EMBRYOLOGIE

La connaissance de l'embryologie du système veineux est un pré-requis à une étude anatomique de l'organisation veineuse. Les différentes descriptions embryologiques détaillées ici sont concordantes entre elles et parfois complémentaires (19;20;29;44). Elles ne détaillent pas de façon précise le développement des veines vertébrales mais permettent de mieux comprendre les données de l'anatomie qui seront exposées par la suite. Nous insisterons principalement sur la mise en place du système veineux, mais des données sur le système artériel sont utiles à la compréhension générale et seront rapidement exposées.

MISE EN PLACE DU RESEAU VEINEUX PRIMITIF ET DU SYSTEME CAVE SUPERIEUR

D'après Herbert Tuchmann-Duplessis (44), Ben Pansky (29), et Jan Langman (19) qui proposaient dans leurs ouvrages des descriptions assez proches, **le système circulatoire primitif** est réalisé par la mise en place quasi simultanée du cœur et de trois réseaux : intra-embryonnaire, vitellin et ombilico-allantoïdien (*figure 3*).

Ces réseaux vasculaires se forment à partir d'ilots vasculo-sanguins nés au sein du mésenchyme. Ces ilots se creusent pour donner des plexus capillaires dans lesquels se dessinent précocement des courants préférentiels. Par la suite, ces vaisseaux primitifs reçoivent du mésenchyme avoisinant leurs tuniques musculaires et conjonctives.

- **Le réseau intra-embryonnaire** est constitué par les veines cardinales ventrales et dorsales qui sont paires. Elles se développent un peu plus tard mais selon le même processus que les aortes, à savoir : dans la région ventrale, dans chaque arc branchial, se creusent successivement cinq veines joignant les veines cardinales ventrales et dorsales. Au niveau du cœur, les veines cardinales confluent en donnant les veines cardinales communes (canaux de Cuvier), qui se jettent dans le sinus veineux, à proximité des veines vitellines et ombilicales.
- **Le réseau vitellin** est développé à la surface de la vésicule vitelline, surtout dans sa moitié caudale. Les deux veines vitellines cheminent ventralement dans l'embryon et vont se jeter dans le sinus veineux.

- **Le réseau placentaire** est développé dans le mésenchyme autour de l'allantoïde. Les deux veines ombilicales qui se jettent dans le sinus veineux confluent très précocement en un tronc unique au niveau du cordon ombilical.

Figure 3 : Aspect général des réseaux primitifs. Embryon humain de 25 jours.
D'après Tuchmann-Duplessis (44).

Figure 4 : Système cardio-vasculaire primitif à la 3^{ème} semaine. D'après Pansky (29).

Dans son ouvrage, Pansky (29) ne détaillait pas spécifiquement le développement des veines vertébrales, mais apportait des éléments sur l'organisation segmentaire de cette vascularisation grâce au schéma rapporté en **figure 4**.

L'évolution du système circulatoire primitif se fait vers la mise en place d'un réseau veineux primitif, puis le développement des systèmes caves.

Le réseau veineux primitif : à la 4^{ème} semaine (**figure 5 A**), le système veineux de l'embryon comprend :

- un **réseau systémique dorsal**, ramenant le sang intra-embryonnaire, formé par les veines cardinales ventrales qui, par l'intermédiaire des veines cardinales communes, gagnent le sinus veineux.
- un double réseau nutritionnel ramenant le sang extra-embryonnaire :
 - **le réseau omphalo-mésentérique** pour le sang venu de la vésicule vitelline.
 - **le réseau ombilico-allantoïdien** pour le sang venu du placenta.

Ces réseaux sont initialement pairs et symétriques mais, par un système d'anastomoses transversales, ils vont se résoudre en troncs principaux impairs, décalés vers la moitié droite de l'embryon vers la 6^{ème} semaine (**figure 5 B**).

Figure 5 : Les réseaux veineux à la 4^{ème} (A) et 6^{ème} (B) semaine.
D'après Tuchmann-Duplessis (44).

Figure 6 : Les réseaux veineux à la 8^{ème} (A) et 9^{ème} (B) semaine.
D'après Tuchmann-Duplessis (44).

Le développement du système cave crânial:

A la 8^{ème} semaine (**figure 6 A**) une volumineuse anastomose dérivée des veines thymiques et thyroïdiennes dévie le sang de la veine cardinale crâniale gauche vers la droite : c'est le futur tronc veineux brachio-céphalique gauche. Au dessus de cette anastomose, les veines cardinales ventrales deviennent les veines jugulaires internes. Les veines ventrales de la région mandibulaire donneront les veines jugulaires externes. Les plexus veineux du membre thoracique fusionnent pour donner la veine sub-clavière. La veine cave crâniale est finalement formée par la veine cardinale commune droite et la partie proximale de la veine cardinale ventrale droite (**figure 6 B**).

MISE EN PLACE DU SYSTEME CARDINAL VEINEUX

Dans son ouvrage, William Larsen (20) décrivait de façon plus détaillée le système veineux de la tête et du cou : *le système cardinal veineux*, qui fait partie du réseau intra-embryonnaire décrit précédemment.

Le système cardinal recueille le sang de la tête, du cou et de la paroi du corps. Ce système bilatéral et initialement symétrique se compose des veines cardinales ventrales et dorsales, qui forment près du cœur les veines cardinales communes (*figure 7*).

- **Les veines cardinales ventrales** drainent le sang de la tête et du cou. Les portions crânielles des veines cardinales ventrales sont à l'origine, dans la région cervicale, des veines jugulaires internes alors que des plexus capillaires de la face rejoignent ces dernières pour constituer les veines jugulaires externes. Simultanément, une anastomose médiane unissant les veines cardinales ventrales droite et gauche se développe à partir des veines thymiques et thyroïdiennes. Tout le sang du côté gauche de la tête et du cou est envoyé dans la veine cardinale ventrale droite par l'intermédiaire de cette anastomose.
- **Les veines cardinales dorsales** drainent le sang de la paroi du corps. Elles sont suppléées, et plus tard largement remplacées par deux paires de veines : les subcardinales et les supracardinales. Ces veines apparaissent dans le corps médialement aux veines cardinales dorsales. Le système subcardinal draine des structures médiadorsales de la paroi du corps, principalement les reins et les gonades. Il est à l'origine d'une portion de la veine cave caudale et du segment du système azygos qui draine la paroi thoracique.

Figure 7 : Développement des veines systémiques à partir des quatre veines cardinales à 28 jours (A), 35 jours (B), 50 jours (C), 56 jours (D) et dans sa forme définitive (E).

D'après Larsen (20).

MISE EN PLACE DU SYSTEME VEINEUX ENCEPHALIQUE

Dans son traité, Georges Paturet (30) apportait une description du développement du système veineux encéphalique. Pansky (29) apportait également des éléments sur la formation des plexus cérébraux sous forme de schémas représentés *figure 8*.

Le développement des sinus veineux de la dure-mère est lié au développement et à l'évolution de la future masse encéphalique (vésicules cérébrales), de la boîte crânienne et des veines cardinales ventrales. Primitivement, dans le mésenchyme qui entoure les vésicules cérébrales, se développent trois plexus veineux dorsaux rostral, moyen et caudal, se drainant dans l'extrémité encéphalique de la veine cardinale ventrale appelée veine latérale de la tête ou *vena capitis prima* (*figure 9A*).

Le plexus rostral ramène le sang veineux du prosencéphale (cerveau antérieur) et du mésencéphale (cerveau moyen). Le prosencéphale donne le télencéphale (futurs hémisphères cérébraux) et le diencephale (donnant la vésicule optique, le thalamus, l'hypothalamus, l'épiphyse et les corps mamillaires). Le mésencéphale donne les pédoncules cérébraux et cérébelleux supérieurs, les colliculus, les noyaux rouges et la substance noire.

Le plexus moyen collecte le sang de la partie du rhombencéphale² (cerveau postérieur) qui donne le métencéphale (les pédoncules cérébelleux moyens, le cervelet et le pont).

Le plexus caudal draine le sang de la partie du rhombencéphale qui donne le myélocéphale et la partie crâniale de la moelle spinale cervicale. Le myélocéphale, donne lui-même la moelle allongée et les pédoncules cérébelleux inférieurs.

Vers la fin du 2^{ème} mois, on voit apparaître une anastomose entre les plexus postérieur et moyen, qui se place au dessus et en arrière de la vésicule auditive, alors que simultanément on voit régresser la partie ventrale de la veine latérale de la tête (**figure 9 B**). L'évolution de cette anastomose aboutit à la formation de la portion sigmoïdienne du sinus latéral, tandis que la partie de la *vena capitis prima* située en avant du ganglion trijéminal donne naissance au sinus caveux dans lequel s'abouche la veine ophtalmique. Le sang veineux de la base est alors drainé vers la veine cardinale ventrale, future veine jugulaire interne. Il existe cependant deux voies secondaires de dérivation : la veine émissaire mastoïdienne qui sort du crâne par le foramen mastoïdien et le sinus pétro-squameux. Ces voies veineuses représentent des anastomoses entre le sinus latéral et le système jugulaire externe. Par la suite ces veines émissaires s'atrophient, et il persiste une petite portion de la veine émissaire mastoïdienne qui s'anastomose avec le plexus sub-occipital à l'origine des veines vertébrales.

Figure 8 : Développement du système veineux et des plexus cérébraux à la 4^{ème} (A), 6^{ème} (B) et 7^{ème} (C) semaine. D'après Pansky (29).

Figure 9 : Développement des sinus veineux de la dure-mère. A : disposition des plexus veineux durs antérieur, moyen et postérieur et de la veine latérale de la tête (embryon de 14 mm). B : formation des sinus sigmoïde, longitudinal supérieur et caveux (embryon de 24 mm). C : connexions des sinus veineux de la dure mère avec l'encéphale (embryon de 50 mm). D : sinus veineux à la naissance. D'après Paturet (30).

² Le rhombencéphale (cerveau postérieur) donne le métencéphale et le myélocéphale.

DONNEES DE L'ANATOMIE

La disposition des veines vertébrales dans le canal formé par les processus transverses des vertèbres cervicales demeure un sujet de controverse. Trolard (43) prônait l'hypothèse d'un sinus veineux vertébro-transversaire ayant une organisation proche des sinus veineux intracrâniens. Labbé (21), Walther (46) et Gérard (11) décrivaient une confluence des veines en plexus. Poirier (32) et Paturet (30) relataient la présence d'une veine vertébrale unique dédoublée par places. Testut (40) et Rouvière (35) quant à eux décrivaient une veine vertébrale unique dans le canal transversaire. Des conceptions différentes sont rapportées dans leurs différents ouvrages, le but du travail descriptif qui suit est de noter les particularités de chacune de ces conceptions pour les mettre ensuite en relation avec nos propres constatations en dissection, en histologie et en IRM.

LES VEINES VERTEBRALES PARMIS LES VEINES DU RACHIS

Dans leurs traités, Paul Poirier (32), Léo Testut et André Latarjet (40), classaient les veines vertébrales parmi les veines du rachis. Les descriptions de ces deux ouvrages sont assez proches et sont rapportées ici en notant en référence les différences pour chacun.

Le système veineux rachidien y était décrit en trois parties : plexus intrarachidiens, plexus extrarachidiens, et veines émissaires ou collectrices. Au cou, les veines vertébrales et jugulaires dorsales font partie des veines émissaires ou collectrices qui versent le sang des plexus dans le système cave crânial.

Les veines émissaires ou collectrices :

Pour la région cervicale, les troncs collecteurs des plexus rachidiens sont la veine vertébrale et la veine jugulaire dorsale.

❖ **La veine vertébrale**, bien que satellite de l'artère vertébrale ne correspond qu'à la partie cervicale de ce vaisseau (*figure 10*). Ordinairement unique, mais fréquemment dédoublée par places ou même accompagnée de veines secondaires, elle est située dans son trajet en dehors de l'artère, « dont elle embrasse la face latérale dans la concavité de son croissant » (32). Elle présente en effet sur la plupart des coupes une forme semi-lunaire.

- **Origine** : la veine vertébrale a pour origine principale l'extrémité supérieure des plexus intrarachidiens. Elle commence près de la ligne médiane, en avant du ligament

occipito-atloïdien dorsal et se dirige d'abord horizontalement en dehors jusqu'au foramen transverse de l'atlas (32). Elle naît au-dessous du foramen magnum en s'échappant comme veine la jugulaire dorsale du confluent occipito-vertébral qui la met en relation avec les veines intrarachidiennes et avec la circulation des sinus crâniens (40).

- **Trajet et terminaison:** à ce niveau, la veine vertébrale se coude à angle droit et descend verticalement dans le canal des processus transverses à côté de l'artère (32). Dans ce trajet, l'artère est située en dedans de la veine qui « l'entoure dans les deux tiers de sa circonférence » (40). Elle sort avec elle au-dessous du foramen de la 6^{ème} vertèbre cervicale et reçoit le plexus veineux du 7^{ème} foramen transverse. Devenue libre, elle s'incline en avant, chemine derrière la veine jugulaire interne sur la partie ventrale et latérale de l'artère vertébrale et se jette dans le tronc veineux brachio-céphalique. Cette jonction se fait en arrière de la veine jugulaire interne, souvent par un tronc commun avec la jugulaire dorsale, elle est constamment munie d'une valvule simple ou double. D'après Walther (46), les veines vertébrales seraient toujours multiples et ce ne serait qu'à la partie caudale qu'on trouverait un tronc vertébral unique.
- **Branches collatérales :** les plexus veineux prévertébraux, les veines émissaires des plexus profonds de la nuque, les anastomoses avec la veine jugulaire dorsale et la cervicale profonde, les plexus des foramens intervertébraux. Toutes ces premières collatérales sont disposées de façon régulière et s'ouvrent dans le tronc collecteur au niveau de chaque foramen intervertébral. Dans sa partie libre elle reçoit : le plexus veineux du 7^{ème} foramen intervertébral, le réseau du plexus brachial, les veines cervicales ascendante et profonde; avec ces deux dernières elle forme selon quelques auteurs un tronc commun appelé veine vertébrale commune. La veine vertébrale communique avec les veines cervicales ascendante et profonde à chaque niveau, c'est donc une triple voie de drainage le long des processus transverses.

Le canal transversaire : il est formé par la superposition des foramens transverses des vertèbres cervicales. Entre ces foramens, le canal se poursuit, constitué d'un tissu fibreux et d'insertions de petits ligaments qui relient les processus transverses, c'est donc un tunnel ostéo-fibreux. La veine vertébrale est béante sur tout son trajet, dans le canal ostéo-fibreux elle est fixée au périoste et aux fascias voisins par des « travées fibreuses rayonnantes » (32).

Figure 10 : Veine vertébrale, trajet, terminaison et branches collatérales.
D'après Poirier (32).

- ❖ **La veine jugulaire dorsale** est une veine profonde de la nuque (*figure 10*). Son calibre est généralement inverse de celui de la veine vertébrale, à laquelle elle sert de voie auxiliaire.

Les plexus intrarachidiens :

Ils se composent de quatre plexus longitudinaux disposés symétriquement deux par deux, les uns ventraux les autres dorsaux, et d'une série de plexus transverses régulièrement échelonnés au nombre de quatre, un ventral, un dorsal et deux latéraux. En s'unissant aux plexus longitudinaux, ces plexus transverses forment un anneau veineux épidural. Les plexus du foramen intervertébral font également partie des plexus intrarachidiens.

- ❖ **Les plexus longitudinaux ventraux ou veines longitudinales ventrales** sont situés symétriquement en dedans du pédicule des vertèbres et du foramen intervertébral, en dehors du ligament longitudinal dorsal. Ce sont de grosses veines flexueuses parmi lesquelles on distingue une veine principale et des veines accessoires. Ces veines forment des plexus à mailles étroites qui sont plus volumineux au niveau des corps vertébraux et se rétrécissent au niveau des disques (*figure 11 A*). Leur direction n'est pas rectiligne, c'est une série d'arcades qui suit la courbe du pédicule de la vertèbre dans sa concavité latérale, tandis que les extrémités plongent dans le foramen intervertébral. Sans être de véritables sinus, les veines longitudinales ventrales en possèdent certains caractères. A leur ouverture on observe des « brides filamenteuses ou même des cloisons aréolaires » (32), et elles sont fixes et béantes. Le système ligamenteux qu'elles longent émet des expansions latérales qui recouvrent ces veines, les fixent et leur donnent une certaine rigidité (32). Ces veines ne constituent pas un conduit régulier et présentent des dédoublements qui créent des anastomoses entre elles, de telle sorte que la dénomination plus exacte serait celle de plexus longitudinal ventral (40).
- ❖ **Les plexus transverses ventraux** s'étendent horizontalement d'un plexus longitudinal ventral à l'autre sur la face dorsale du corps de chaque vertèbre (*figure 11 A*). Ils sont situés entre la surface osseuse et le ligament longitudinal dorsal.
- ❖ **Les plexus du foramen intervertébral** drainent presque tout le sang des plexus intrarachidiens. Le foramen intervertébral est un large canal qui contient un plexus veineux du même nom, un rameau médullaire artériel, les deux racines spinales ventrale et

dorsale. Au cou, ces plexus veineux débouchent latéralement dans les veines vertébrales. Le rôle de ces plexus est des plus importants, ils permettent en se vidant « l'expansion systolique de la moelle spinale et le déplacement du liquide cérébro-spinal » (32).

- ❖ **Les plexus du foramen magnum** constituent l'extrémité crâniale des veines intrarachidiennes. Ils sont formés de larges et nombreuses veines sinusiennes anastomosées et disposées en couronne. Ils reçoivent les veines de la moelle allongée, des anastomoses du plexus basilaire ou sinus occipital ventral et des sinus occipitaux dorsaux, mais aussi des anastomoses du plexus du nerf hypoglosse. Ils se déversent de chaque côté dans l'origine de la veine vertébrale et de la veine jugulaire dorsale (*figure 11 B*).

Ces différents vaisseaux sont en partie purement veineux c'est-à-dire mous et affaissés, en partie sinusiens et comme tels rigides et béants. Plus on s'éloigne du crâne, et dans chaque vertèbre plus on s'éloigne du corps vertébral, plus le caractère sinusien s'affaiblit. Ainsi, les veines longitudinales ventrales sont décrites comme étant « sinusiennes au cou, demi-sinusiennes à la région dorsale et veineuses aux lombes et au sacrum » (32).

Les veines vertébrales réalisent un système anastomotique entre les plexus intra et extrarachidiens. Du fait de cette disposition, les veines vertébrales qui assurent également un drainage de paroi, ont un rôle dans la régulation de la pression intra-rachidienne.

Figure 11 : A : Plexus intrarachidiens, partie ventrale montrant les plexus longitudinaux ventraux, les plexus transverses ventraux et les veines du foramen intervertébral. D'après Poirier (32).

B : Extrémité crâniale des plexus intrarachidiens, coupe sagittale montrant les anastomoses des sinus crâniens avec les plexus rachidiens. D'après Poirier (32).

Les plexus extrarachidiens :

Ils sont divisés en plexus ventral et dorsal par les processus transverses. Le plexus cervical ventral est situé en partie contre les vertèbres, en partie en avant des muscles prévertébraux. Il s'abouche latéralement, soit dans la veine vertébrale au niveau des foramens intervertébraux, soit dans la veine vertébrale ventrale.

Les veines du système veineux rachidien ont des parois minces et possèdent les trois tuniques habituelles, ce qui les distingue des sinus crâniens. On observe des valvules à l'embouchure des veines rachidiennes dans les veines vertébrales, intercostales et lombaires ; et à l'embouchure de ces dernières dans les gros troncs collecteurs, veines azygos, sub-clavières... Elles ont pour effet d'empêcher le sang extrarachidien de refluer dans le canal vertébral (32).

LES VEINES VERTEBRALES PARMIS LES VEINES CERVICALES

Dans leurs ouvrages, Gérard (11), Paturet, (30), Rouvière et Delmas (35) classaient, respectivement, les veines vertébrales parmi les veines du cou, parmi les veines du système cave crânial, et parmi les gros troncs veineux de la base du cou. Ces descriptions sont rapportées ici, et les différences qu'elles comportent sont notées en référence.

Lorsqu'elles sont classées parmi les veines du cou (11) ou les gros troncs veineux de la base du cou (35), c'est au même titre que les veines jugulaire interne, externe, ventrale et dorsale, et les veines thyroïdiennes caudales (*figure 12*). Elles appartiennent, avec les veines jugulaires dorsales, à la nuque et à la région rachidienne par opposition aux autres veines citées qui font partie de la région ventrale du cou. Chacun des troncs veineux du cou a un territoire de drainage distinct mais présente de nombreuses anastomoses avec les veines voisines. Lorsqu'elles sont classées parmi les veines du système cave crânial (30), ce sont des branches afférentes des troncs veineux brachio-céphaliques, s'abouchant à l'origine de ces troncs au niveau du confluent jugulo-sub-clavier (*figure 13*).

Figure 12 : Vue d'ensemble des veines de la tête et du cou (en pointillé, les voies de communication entre les circulations endocrâniennes et exocrâniennes). D'après Gérard (11).

Figure 13 : Veines du système cave supérieur, rapports des veines vertébrales avec les troncs veineux brachio-céphaliques. D'après Paturet (30).

❖ **Le confluent veineux occipito-vertébral ou plexus veineux sub-occipital :**

Les veines vertébrales sont, avec les veines jugulaires dorsales, les principales voies d'écoulement des plexus veineux intra et extrarachidiens. Au cou, le plexus extrarachidien dorsal est particulièrement développé dans l'espace compris entre l'occipital et l'atlas, où il prend le nom de confluent veineux occipito-vertébral (*figure 12 et 14*). C'est dans ce confluent, anastomosé d'une part avec les plexus intrarachidiens et les sinus crâniens, d'autre part avec le réseau sous-cutané, que les veines vertébrales et jugulaires dorsales prennent leur principale origine (35).

Figure 14 : Plexus occipito-vertébral, anastomoses entre les circulations endocrâniennes et exocrâniennes.
D'après Gérard (11).

- ❖ **La veine vertébrale ou veine vertébrale interne:** elle n'accompagne l'artère que dans sa portion cervicale. Rouvière décrit une veine vertébrale unique (35), Paturet une veine généralement unique souvent dédoublée par place (30) et Gérard plusieurs troncs, entourant l'artère homonyme en plexus (11).
- **Origine :** elle naît du plexus sub-occipital et reçoit à son origine des anastomoses venant des veines condyliennes dorsales, de la veine jugulaire dorsale, de la veine occipitale et de la veine émissaire mastoïdienne (*figure 15*).
 - **Trajet et terminaison :** elle se dirige latéralement, au-dessus de l'artère homonyme qui la sépare du premier nerf spinal cervical, puis au niveau du processus transverse de l'atlas elle se coude à angle droit pour descendre verticalement avec l'artère dans les foramens transverses des vertèbres cervicales. Dans le canal transversaire elle se place en dehors de l'artère (11;30;35), accompagnée du nerf vertébral (de François Franck). Pour Paturet, elle sort du foramen transverse de la 7^{ème} vertèbre cervicale, plus rarement de la 6^{ème} (30). Rouvière la décrivait comme sortant du foramen de la 6^{ème} vertèbre cervicale (35). Après sa sortie du foramen transverse, elle s'infléchit ventralement et caudalement, se plaçant en dehors et ventralement à son artère homonyme. Elle passe avec elle ventralement au ganglion cervical caudal du sympathique, et à gauche dorsalement à la crosse du conduit thoracique (35). Puis, elle passe crânialement de l'artère sub-clavière et se termine à la base du cou, se jetant isolément ou par un tronc commun avec la veine jugulaire dorsale dans le confluent jugulo-sub-clavier (30). Parfois, elle forme un tronc commun avec la veine vertébrale ventrale, dit tronc veineux cervico-vertébral, qui se jette alors à la face dorso-caudale de la veine sub-clavière. Elle est pourvue d'une valvule à sa terminaison, et dans toute l'étendue de son trajet la veine vertébrale est maintenue béante (30). Gérard la décrivait comme ne présentant pas de valvule (11).
 - **Branches afférentes** (30): dans son trajet la veine vertébrale reçoit : les branches anastomotiques d'origine, les branches musculaires ventrales des plexus prévertébraux, des branches musculaires dorsales, les veines émissaires des foramens intervertébraux; celle du 7^{ème} foramen intervertébral se jette dans la veine à sa sortie du canal transversaire; des rameaux spinaux venant des plexus intrarachidiens (35), la veine cervicale profonde (veine vertébrale dorsale) et la veine cervicale descendante (veine vertébrale ventrale (de Lauth)).
 - **Anastomoses** (35): la veine vertébrale est anastomosée par ses branches d'origine avec les sinus crâniens et la veine occipitale. Elle est anastomosée au niveau de chaque

foramen intervertébral avec la veine jugulaire dorsale. Elle communique avec les plexus rachidiens par ses branches d'origine et ses rameaux spinaux. De la veine vertébrale, à son origine, avec le sinus latéral dans son segment mastoïdien, via la veine émissaire mastoïdienne. Avec la veine jugulaire externe par les ramifications profondes des veines occipitales.

- ❖ **La veine vertébrale externe ou trachélienne de Breschet** (11): elle est décrite par Gérard dans le même paragraphe que la veine vertébrale qu'il nomme interne. La veine vertébrale externe est inconstante, et descend dorsalement aux processus articulaires des vertèbres cervicales. Les veines vertébrales interne et externe sont réunies entre elles par de multiples anastomoses en échelle.

- ❖ **La veine jugulaire dorsale** naît, entre l'occipital et l'atlas, de multiples branches : veines du confluent occipito-vertébral (*figure 14*), unissant les plexus intrarachidiens aux grosses veines musculaires de la nuque, veines occipitales profondes, plexus du foramen magnum, et surtout la veine mastoïdienne grossie de la veine condylienne dorsale. Elle reçoit les innombrables plexus de la nuque qui courent entre les plans musculaires. Elle est reliée à la veine jugulaire interne par une large anastomose, aux veines vertébrales au niveau de chaque foramen intervertébral, aux plexus intrarachidiens sous chacune des lames vertébrales, à la veine jugulaire dorsale du côté opposé par une arcade transverse d'où naît la veine azygos dorsale (de Godman), qui suit la crête des épineuses (11).

Figure 15 : Veines émissaires des orifices de la base du crâne et plexus veineux du foramen magnum.

D'après Paturet (30).

SYNTHESE SUR L'EMBRYOLOGIE ET L'ANATOMIE DES VEINES VERTEBRALES

Les ouvrages d'embryologie apportent des descriptions détaillées de la mise en place des veines encéphaliques (29;30) et des veines du système cave crânial (19;20;29;44). En ce qui concerne les veines du rachis d'une manière générale, et la portion cervicale des veines vertébrales en particulier, les descriptions ne sont pas suffisamment détaillées pour connaître de manière précise la mise en place des veines vertébrales dans le canal des foramens transverses. Paturet (30) dans sa description du système veineux encéphalique, au sujet du drainage du sang veineux de la base du crâne par des voies secondaires, apporte des éléments d'explication sur l'origine principale des veines vertébrales qui est le plexus sous-occipital.

La connaissance de l'embryologie apporte des éléments de compréhension sur le développement segmentaire des veines vertébrales, notamment dans le parallèle que l'on peut faire avec le développement de l'artère vertébrale. Ainsi, si aucune description n'est assez précise pour exposer le développement à priori segmentaire des veines vertébrales, celui des artères est bien détaillé. D'après Larsen : « Dans la région cervicale, les artères inter-segmentaires s'anastomosent les unes aux autres. Les artères vertébrales, paires, proviennent d'anastomoses longitudinales qui s'unissent pour former un vaisseau qui perd secondairement ses connexions inter-segmentaires avec l'aorte. ».

De la même manière, la connaissance de l'embryologie du système veineux apporte des éléments de compréhension sur la disposition plexiforme des veines vertébrales(30). En effet, le plexus veineux dural dorsal qui draine initialement le bulbe et la partie haute de la moelle spinale cervicale, passe, comme les autres sinus crâniens, par un stade plexiforme au cours de son développement. Ce stade plexiforme explique la présence de vestiges constitués par le système trabéculaire interne qui forme ces sinus. Il apparaît que l'ensemble du système veineux encéphalique présente initialement une organisation plexiforme (29;30). Les veines vertébrales sont issues en majeure partie du plexus sub-occipital qui est extra-crânien, mais présente également une organisation plexiforme. Dans ce contexte, l'hypothèse émise par Trolard (21) d'un sinus vertébro-transversaire semble à ré-envisager.

La synthèse des descriptions des veines vertébrales, issues de ces différents ouvrages d'anatomie, a permis de constater que ces veines auraient plutôt une organisation plexiforme. En effet, seul Rouvière fait état d'une veine unique dans sa description. Poirier et Paturet la

décrivent comme étant unique mais dédoublée par place, ce qui peut tout à fait correspondre à une organisation plexiforme. Testut, qui la décrivait également unique, citait toutefois dans son traité les travaux de Walther (46) qui la décrivait toujours multiple avec un tronc unique à la partie inférieure. Enfin, Gérard décrivait plusieurs troncs entourant l'artère en plexus.

Par ailleurs, compte tenu des données de l'embryologie sur le développement crânio-caudal de l'embryon en général et du système nerveux en particulier (44), il semble logique d'observer une organisation des veines longitudinales ventrales « sinusiennes au cou, demi-sinusiennes à la région dorsale et veineuses aux lombes et au sacrum » comme le décrivait Poirier (32). De la même manière, les veines vertébrales sont issues de plexus, et notamment du plexus sub-occipital, et se terminent en un tronc veineux unique qui se jette dans la veine sub-clavière. Ainsi, là encore on observe une organisation particulière du système veineux vertébral qui évolue dans le sens crânio-caudal.

Pour ce qui est de la position de ces veines dans le canal transversaire, les descriptions qui ont été exposées auparavant s'accordent pour les situer en position latérale par rapport à l'artère vertébrale. Poirier détaillait cette description en la plaçant « à la face externe de l'artère dans la concavité de son croissant, présentant sur la plupart des coupes une forme semi-lunaire ». Cet élément de description est capital dans le contexte de ce travail pour la distinction entre dissection de l'artère vertébrale et veines vertébrales. L'étude qui suit a, entre autres, pour but de caractériser l'organisation anatomique précise des veines dans le canal afin d'apporter des éléments de diagnostic différentiel dans les cas de suspicion de dissection de l'artère vertébrale.

«ETUDE ANATOMIQUE DES VEINES VERTEBRALES DANS LE CANAL DES FORAMENS TRANSVERSES EN DISSECTION, HISTOLOGIE ET IRM HAUTE RESOLUTION : APPORT DANS LE DIAGNOSTIC DIFFERENTIEL DES DISSECTIONS DE L'ARTERE VERTEBRALE »

RESUME

L'organisation des veines vertébrales dans le canal transversaire a été peu étudiée et demeure un sujet de controverse opposant la conception d'une veine vertébrale unique à celle d'une confluence des veines en plexus. La connaissance précise de la disposition de ces veines peut avoir un impact direct en pathologie dans le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale, du fait des faux positifs liés à la présence de veines, mais également en chirurgie pour les voies d'abord du rachis cervical. Cette étude a également pour but d'apporter des éléments de discussion à la théorie d'un sinus vertébro-transversaire que prônait Trolard. Il s'agissait d'une étude anatomo-radiologique : dix huit spécimens ont été analysés (dix sur des dissections classiques après injection et huit après injection-corrosion), des coupes histologiques ont été réalisées suite aux dissections, et une étude par IRM haute résolution en séquence 2D TOF MRV a été conduite sur dix volontaires sains. Les résultats sont concordants pour l'ensemble des techniques d'exploration utilisées. Ils montrent que les veines vertébrales sont disposées de façon plexiforme dans le canal transversaire, notamment à sa partie haute, avant de se résoudre en une veine unique accompagnant l'artère à sa sortie du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale. Ce système veineux se situe préférentiellement en situation ventrolatérale par rapport à l'artère vertébrale. Cette organisation est la plupart du temps symétrique, ce qui peut aider à l'interprétation radiologique notamment. Les anastomoses des veines vertébrales avec les veines longitudinales ventrales sont constantes et disposées de façon segmentaire à chaque niveau vertébral. Ces résultats confirment certaines descriptions anatomiques récentes ou plus anciennes et en infirment d'autres. On ne peut pas proposer une modélisation des veines vertébrales qui soit applicable à tous les sujets, mais une description précise doit apporter au clinicien comme à l'anatomiste des éléments utiles à la compréhension de cette organisation.

INTRODUCTION

La mise au point sur l'embryologie et l'anatomie des veines vertébrales réalisée précédemment a permis de montrer que les traités d'anatomie anciens ne s'accordaient pas tous sur la description des veines vertébrales dans le canal transversaire. Des données plus récentes issues d'études en dissection montrent la persistance de discordances majeures, avec des conceptions totalement opposées, allant d'une possible veine unique (23), à un véritable sinus vertébro-transversaire (21;28), en passant par la confluence de plusieurs veines en plexus (3).

Par ailleurs, d'autres éléments de description nous semblent importants à préciser, comme la position du système veineux dans le canal transversaire et sa disposition autour ou à côté de l'artère vertébrale. Ainsi, la description faite par Poirier (32) d'un plexus veineux situé à la face latérale de l'artère « dans la concavité de son croissant, et présentant sur la plupart des coupes une forme semi-lunaire », est à préciser du fait de son importance en pathologie. En effet, la présence des veines vertébrales dans le canal peut entraîner des cas de faux positifs dans le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale en IRM (25;33). Les dissections de l'artère vertébrale surviennent principalement chez l'adulte jeune et peuvent être responsables d'accidents ischémiques cérébelleux et/ou du tronc cérébral. La description clinique classique de cette pathologie n'est pas toujours complète (4;18), et un doute diagnostique en imagerie du fait de faux positifs liés aux veines (25), peut avoir un retentissement direct. En effet, une anticoagulation au long cours doit être entreprise dès le diagnostic établi (8;37). Le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale ayant un impact thérapeutique direct, il est impératif de réduire le taux de faux positifs.

La connaissance précise des anastomoses qui existent entre les veines longitudinales ventrales et les veines vertébrales, doit permettre au chirurgien de juguler les difficultés liées au saignement veineux dans les abords antérieurs du rachis cervical (23). De la même manière, les précisions anatomiques apportées par cette étude doivent aider le chirurgien à éviter les lésions traumatiques de l'artère vertébrale qui demeurent rares mais potentiellement gravissimes (1;31).

Cette étude a donc plusieurs buts, préciser l'organisation des veines vertébrales dans le canal transversaire pour apporter des éléments utiles au radiologue dans le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale. Elle doit permettre de préciser les connaissances anatomiques du

chirurgien qui réalise un abord du rachis cervical par voie antérieure. Enfin, en se basant sur les résultats histologiques, il s'agit de faire une distinction entre paroi sinusienne ou veineuse, afin d'apporter des éléments de discussion à la théorie d'un sinus vertébro-transversaire de Trolard (43).

Ainsi, il s'agit d'une étude anatomo-radiologique, se basant à la fois sur les données de dissection cadavériques, sur des coupes histologiques, et sur des images en veinographie par résonance magnétique (magnetic resonance venography : MRV) acquises en haute résolution (HR).

MATERIEL ET METHODE

ETUDE EN DISSECTIONS

Les dissections ont été réalisées au laboratoire d'anatomie de la Faculté de médecine de Brest. La collection de spécimens d'injection-corrosion du système veineux de la tête et du cou du musée du laboratoire d'anatomie de la Faculté de médecine d'Angers a été gracieusement mise à notre disposition.

DISSECTIONS REALISEES AU LABORATOIRE D'ANATOMIE DE BREST

Spécimens: Dix cadavres (six femmes et quatre hommes) frais congelés ont été injectés puis disséqués.

Préparation des injections vasculaires :

Après dissection des vaisseaux cervicaux, la veine jugulaire interne droite et les artères carotides interne droite étaient ligaturées à leur jonction avec les troncs brachio-céphaliques. Une solution d'ammoniaque diluée à 30% était injectée pour rincer les vaisseaux. Ensuite, du latex dilué avec 5% d'ammoniaque, et coloré en bleu était injecté via la veine jugulaire interne, et du latex dilué avec 5% d'ammoniaque, et coloré en rouge était injecté via l'artère carotide interne. Les spécimens étaient ensuite congelés pendant les deux jours nécessaires à la solidification du latex, puis décongelés.

Microdissections des veines vertébrales :

Une dissection cervicale bilatérale avec laryngectomie était réalisée. Puis on exposait les artères et les veines vertébrales au niveau des forams transverses de C6 et C7 de façon bilatérale (*figure 16*). La partie ventrale du rachis cervical de C1 à C7 était exposée, les muscles longs du cou et les processus transverses étaient ensuite disséqués (*figure 17*).

Les dissections ont été réalisées sous magnification optique (7×—36×; microscope WILD M360, Heerbrugg), on réalisait une ouverture de la partie ventrale et latérale des forams transverses permettant d'exposer la partie ventro-latérale des veines vertébrales (*figure 18*), ainsi que les rameaux veineux spinaux ou cervicaux (*figure 19*). Puis, on réalisait un fraisage des corps vertébraux de C7 à C3 afin d'exposer la partie dorso-médiale des veines vertébrales (*figure 20*) et leurs anastomoses avec les veines longitudinales ventrales (*figure 21*). Ce fraisage n'avait pas été réalisé pour le spécimen n°1, les données concernant les anastomoses

avec les veines longitudinales ne sont donc pas analysables dans ce cas. On réalisait des photographies sous microscope (appareil numérique NIKON D 100, Japon).

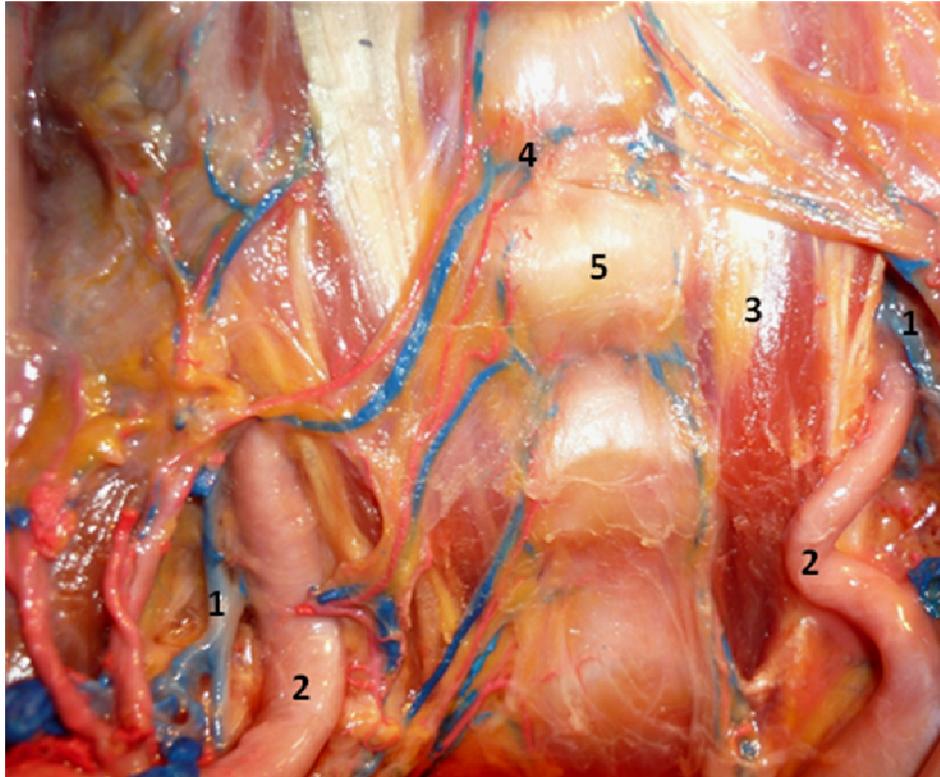
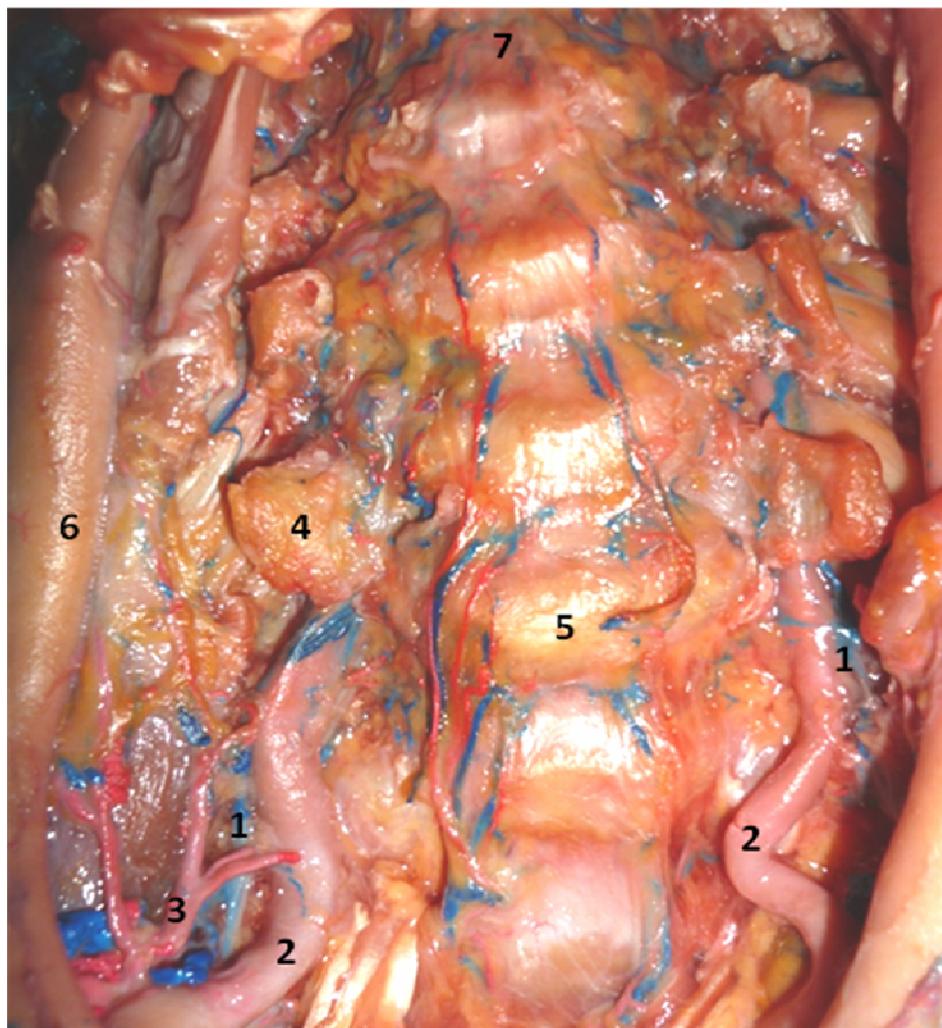


Figure 16: Dissection spécimen n°2, vue ventrale du rachis cervical caudal.

- 1 : veines vertébrales
- 2 : artères vertébrales
- 3 : muscle long du cou gauche
- 4 : plexus extrarachidien ventral
- 5 : disque intervertébral C5-C6



crânial
 ↑
 gauche →

Figure 17: Dissection spécimen n°2, vue ventrale du rachis cervical.

- 1 : veines vertébrales
- 2 : artères vertébrales
- 3 : artère cervicale ascendante
- 4 : processus transverse droit de C5
- 5 : disque intervertébral C5-C6
- 6 : carotide commune droite
- 7 : processus odontoïde

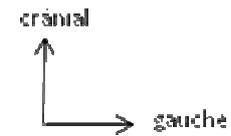
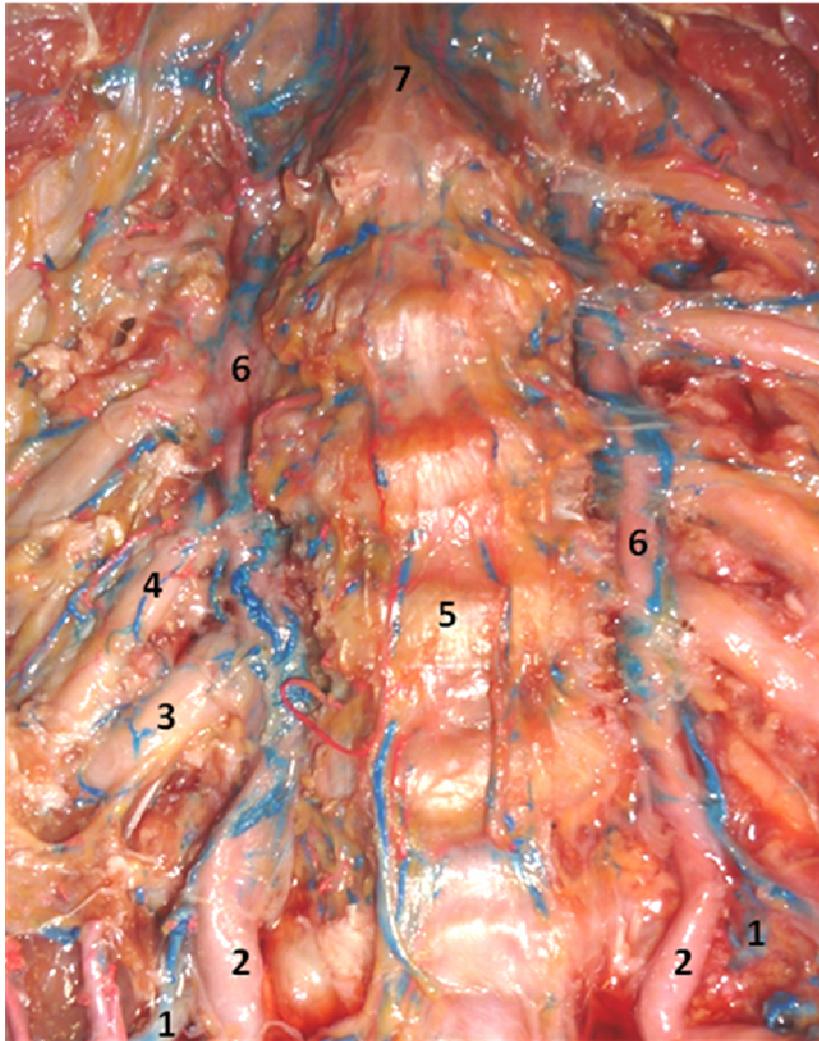


Figure 18: Dissection spécimen n°2, vue ventrale du rachis cervical.

- 1 : veines vertébrales
- 2 : artères vertébrales
- 3 : branche ventrale droite du 6^{ème} nerf spinal
- 4 : branche ventrale droite du 5^{ème} nerf spinal
- 5 : disque intervertébral C5-C6
- 6 : artères et veines vertébrales dans le canal des foramens transverses ouvert
- 7 : processus odontoïde

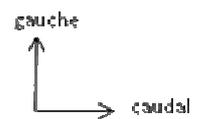
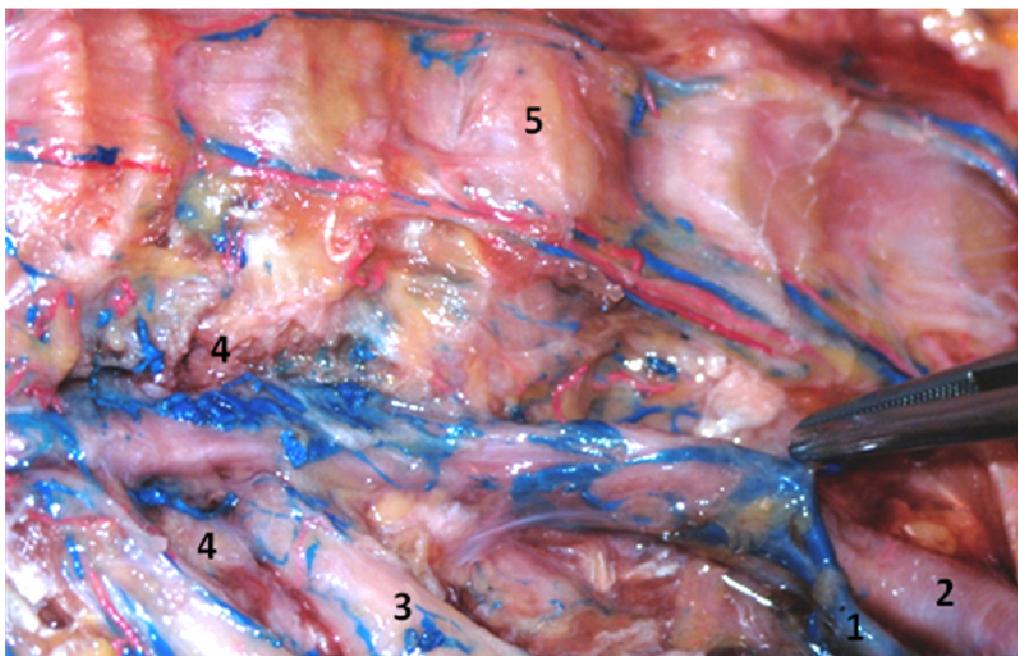


Figure 19: Dissection spécimen n°3, vue ventro-latérale droite du rachis cervical bas.

- 1 : veine vertébrale droite
- 2 : artères vertébrale droite
- 3 : branche ventrale droite du 5^{ème} nerf spinal
- 4 : processus transverse droit de C4 réséqué
- 5 : disque C5-C6.

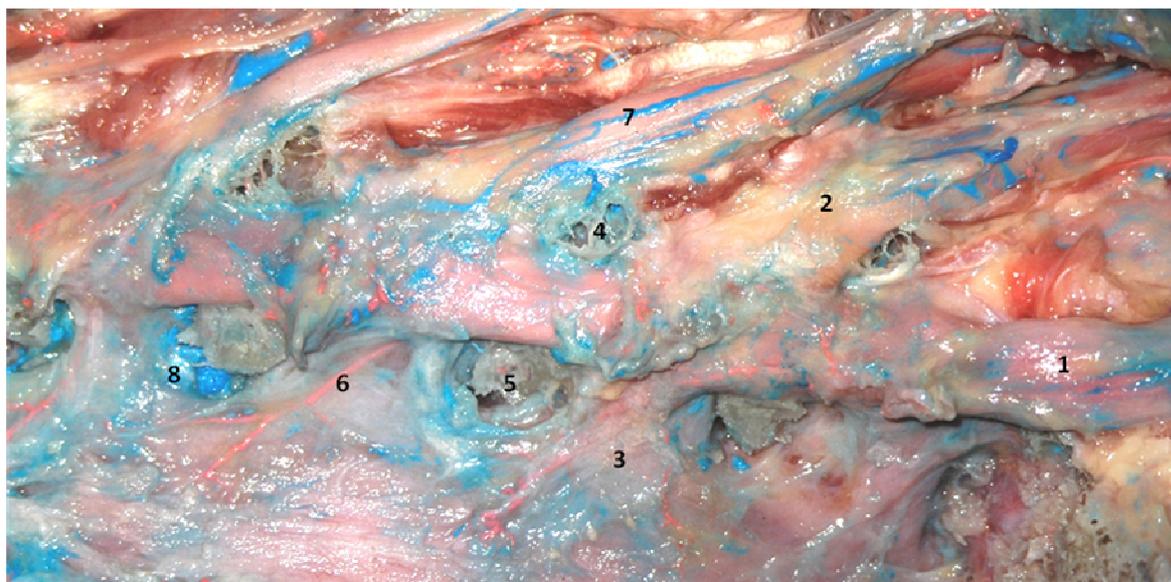


Figure 20: Dissection spécimen n°5, vue ventro-latérale droite de la partie gauche du rachis cervical bas.

- 1 : veine vertébrale gauche engainant en plexus l'artère homonyme
- 2 : branche ventrale gauche du 5^{ème} nerf spinal
- 3 : 5^{ème} racine ventrale cervicale gauche
- 4 : processus transverse gauche de C4 réséquée
- 5 : pédicule de C4
- 6 : rameau spinal ou cervical de C4
- 7 : rameau veineux du 4^{ème} nerf spinal
- 8 : veine longitudinale ventrale gauche et ses anastomoses avec les veines vertébrales

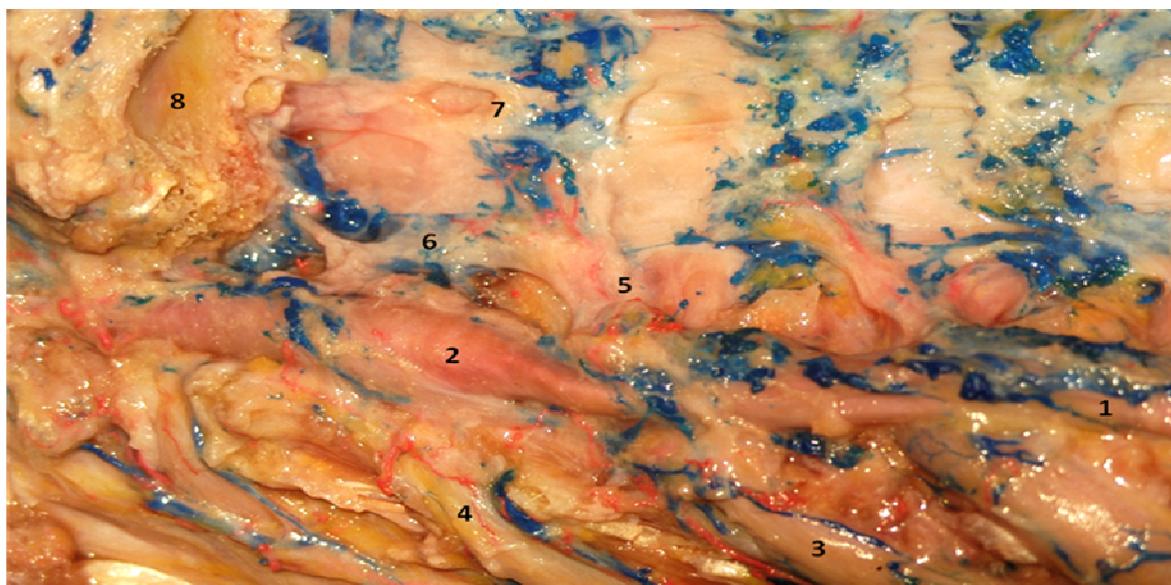


Figure 21: Dissection spécimen n°6, vue ventro-latérale droite de la partie droite du rachis cervical.

- 1 : veine vertébrale droite engainant en plexus l'artère homonyme
- 2 : artère vertébrale droite
- 3 : 5^{ème} racine ventrale cervicale droite
- 4 : 4^{ème} racine ventrale cervicale droite
- 5 : branche ventrale droite du 5^{ème} nerf spinal et son rameau spinal
- 6 : veine longitudinale ventrale droite
- 7 : plexus transverse ventral
- 8 : face caudale du corps vertébral de C2

COLLECTION DE MUSEE DU LABORATOIRE D'ANATOMIE D'ANGERS

Spécimens : Huit spécimens en injection-corrosion ont été mis à notre disposition par le musée du laboratoire d'anatomie d'Angers afin que nous puissions en analyser les veines vertébrales et leurs anastomoses. Parmi les spécimens, on comptait cinq adultes, un enfant et deux embryons (*figures 22 et 23*), pour lesquels on ne connaît pas le stade évolutif.

Description générale de la technique d'injection corrosion qui avait été utilisée pour cette collection de musée :

- ❖ Injections vasculaires : après dissection des vaisseaux cervicaux, une veine jugulaire interne et une artère carotide commune homolatérale étaient ligaturées à leur jonction avec les troncs brachio-céphaliques. Une solution d'ammoniacale diluée à 30% était injectée pour rincer les vaisseaux. Ensuite, du méthacrylate de méthyle, l'altufix, associé à un catalyseur et coloré en bleu était injecté via la veine jugulaire interne, de la même manière l'altufix associé à un catalyseur et coloré en rouge était injecté via l'artère carotide commune. La liquéfaction initiale du mélange altufix, catalyseur et colorant, par réchauffement au bain-marie entraîne une accélération de la polymérisation du produit. A température ambiante, il faut compter environ 5 à 6 heures afin que la polymérisation soit complète. Dans quatre cas (pour les spécimens 12, 13, 14 et 17), seules les veines ont été injectées.
- ❖ Corrosion : après avoir respecté le temps nécessaire à la polymérisation de l'altufix dans les vaisseaux, la globalité des tissus comprenant les vaisseaux à étudier est plongée dans une solution d'acide sulfurique dilué à 50% avec de l'eau. Les tissus sont sortis de ce mélange toutes les 24 heures et soigneusement rincées à l'eau tiède avant d'être replongés dans un mélange identique. Cette manipulation doit être réalisée jusqu'à corrosion complète des tissus permettant de ne garder que le contenu injecté des vaisseaux. Pour la partie cervicale, cette étape de corrosion dure en moyenne 15 jours.

Les spécimens réalisés en injection –corrosion sont d'une grande fragilité, et dans certains cas les éléments veineux étaient abimés, rendant l'analyse impossible.

Les photographies ont été réalisées sous microscope (magnification optique de 7×—36×; WILD M360, Heerbrugg), avec un appareil photo numérique NIKON D 80 (Japon).

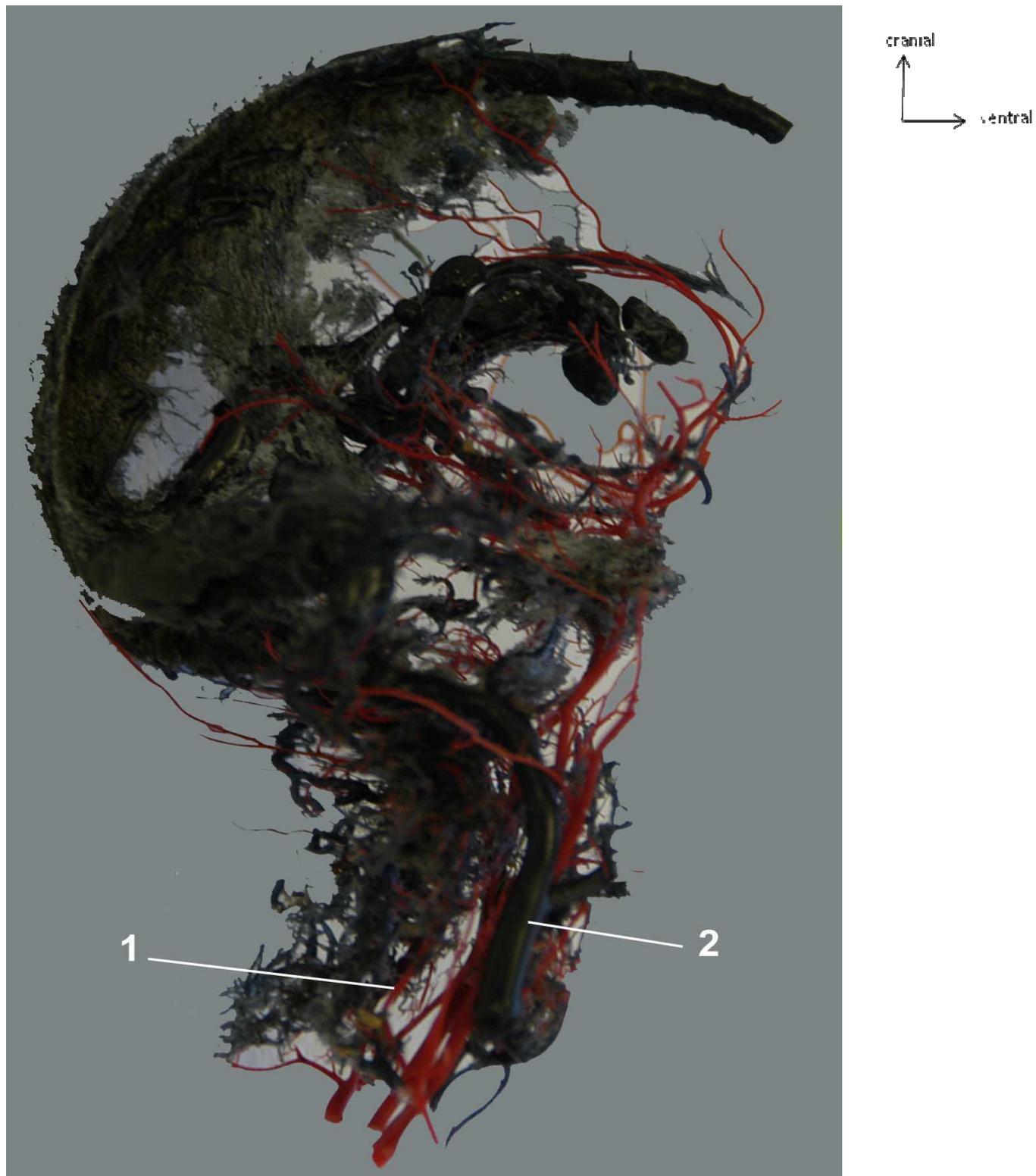


Figure 22 : Collection musée d'Angers, spécimen n°8. Vue latérale droite du réseau veineux et artériel de l'extrémité céphalique d'un embryon après injection-corrosion.
(1 : artère vertébrale droite; 2 : veine jugulaire interne droite).

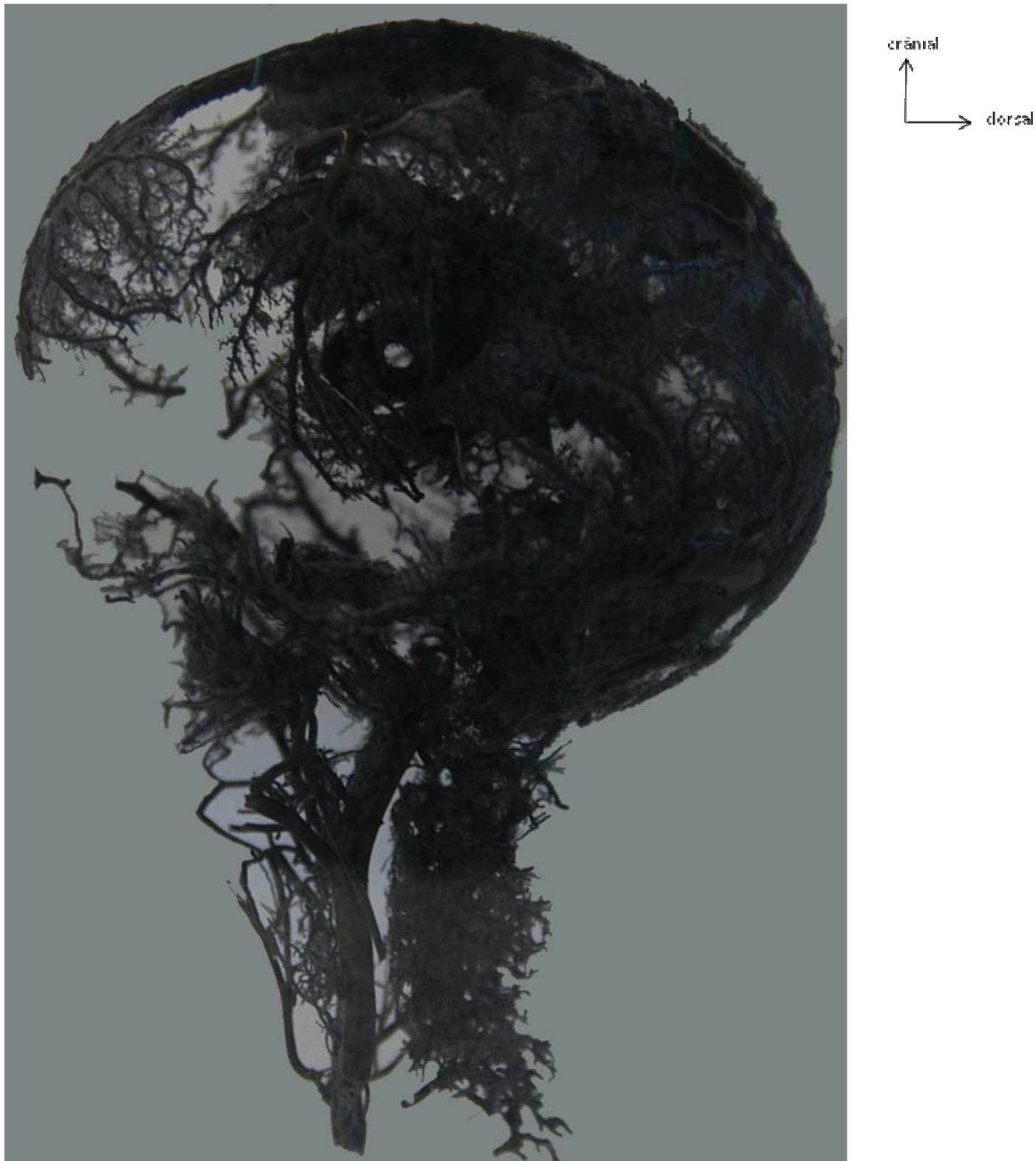


Figure 23 : Collection musée d'Angers, spécimen n°4. Vue latérale gauche du réseau veineux de l'extrémité céphalique d'un embryon après injection-corrosion.

RECUEIL DE DONNEES

Il était réalisé à l'aide d'une fiche d'interprétation (**Annexe 1**) à remplir pour chaque spécimen. Les éléments qui ont été notés portaient sur :

- Une description générale des veines vertébrales dans le canal transversaire à droite puis à gauche.
 - mise en évidence d'une organisation plexiforme et/ou présence d'une veine ou de deux veines prédominantes ?
 - prédominance des veines à droite ou à gauche, ou absence de prédominance ?

- Une description détaillée des veines vertébrales dans le canal transversaire:
 - ❖ En cas d'organisation plexiforme :
 - Existe-t-il une localisation prédominante des plexus veineux en position ventrale, dorsale, médiale, latérale ou pas de prédominance?
 - L'organisation est-elle segmentaire ? À chaque niveau vertébral ou seulement sur certains niveaux ?
 - ❖ Si des veines sont individualisées dans le canal transversaire, quelle position prédominante ont-elles : ventrale, dorsale, médiale ou latérale?

- Une description des veines longitudinales ventrales :
 - mise en évidence d'une veine ou d'un plexus veineux ?
 - prédominance à droite ou à gauche ou absence de prédominance ?
 - présence d'anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche ?
 - si oui, à quels niveaux?

- Une description des anastomoses entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales à droite et à gauche:
 - présence d'anastomoses ? à quels niveaux ?
 - prédominance des veines vertébrales ou des veines longitudinales ventrales, de C2 à C6 ? et à la sortie des veines du canal transversaire?

- Une description du segment cervical de l'artère vertébrale dans le canal transversaire (V2), portant sur la prédominance à droite ou à gauche de celle-ci, ou l'absence de prédominance.

ETUDE HISTOLOGIQUE

Les prélèvements ont été réalisés sur des spécimens disséqués du laboratoire d'anatomie de Brest. Ils ont ensuite été analysés au laboratoire universitaire d'histologie du CHU de Brest.

Technique de prélèvement

Suite aux dissections anatomiques, des blocs de fragments tissulaires ont été prélevés sur trois des dix spécimens, avec dans un cas un prélèvement bilatéral. Les prélèvements ont été réalisés emportant en bloc les éléments contenus dans le canal transversaire aux niveaux C2-C3 et C5-C6.

Technique d'analyse

Les fragments tissulaires ont été fixés au formol acétique pendant 24 heures. Ils ont ensuite été coupés au microtome perpendiculairement à l'axe de l'artère vertébrale puis inclus dans des blocs de paraffine permettant la réalisation de coupes tissulaires (épaisseur 3 µm) colorées en HES (Hématéine-Eosine-Safran) (*figures 34 à 38*).

Les photographies ont été réalisées sous microscope (magnification optique de 25×—200×; ZEISS AX10 Imager.A2), avec une caméra AxioCam ICc3.

ETUDE EN IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE

L'étude en imagerie par résonance magnétique (IRM) a été conduite au CHU de Brest dans le service de radiologie.

Témoins : Dix sujets volontaires sains ont participé à cette étude. Aucun ne présentait d'antécédents de maladie vasculaire ou neurologique. Leur consentement avait été obtenu après qu'ils aient été informés de l'étude. La confidentialité était respectée par une anonymisation des données.

Acquisition des données :

Les données ont été acquises sur un scanner IRM Philips Achieva 3T TX system (Philips Medical System, Best, The Netherlands), l'antenne cervico-encéphalique utilisée était la SENSE NV 16 en configuration HNACPC (utilisation des 16 canaux).

Il s'agissait d'une veinographie par résonance magnétique en 2 dimensions (2D) utilisant une séquence en temps de vol (time of flight : TOF).

Le protocole d'acquisition était basé sur les paramètres suivants : temps de répétition 18 ms, temps d'écho 3.45 ms, temps d'acquisition 9 min 17s, angle de bascule 25°, FOV 200 mm, taille d'un voxel 0.5 mm.

Recueil de données :

Le recueil de données a été réalisé en double aveugle par deux radiologues du CHU de Brest, un senior et un junior. De la même manière que pour l'étude en dissection, il était réalisé à l'aide d'une fiche d'interprétation à remplir pour chaque IRM. La fiche d'interprétation était identique à celle utilisée pour les dissections (Annexe 1).

Analyse des données:

Les données obtenues par la lecture des deux radiologues ont été comparées, puis une lecture commune a été réalisée pour les données divergentes.

RESULTATS

ETUDE EN DISSECTIONS

Les résultats ont été obtenus à partir du recueil de données réalisé grâce aux fiches d'interprétation (**Annexe 1**), et ont été analysés de façon descriptive. Les données issues des dissections réalisées à Brest et des spécimens d'Angers ont permis d'analyser 18 cas, soit 36 côtés. Les résultats sont résumés dans les **Tableaux I et II**.

- ❖ La description générale des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait:
 - Une organisation plexiforme (*figures 24, 25, 26, 29, 30 et 33*) dans 16 cas sur 18, et la présence d'une veine prédominante dans les 2 autres cas de façon bilatérale.
 - La présence d'une veine prédominante au sein du plexus pour 15 côtés sur 36 et deux veines prédominantes pour un autre côté.
 - On ne montrait pas de prédominance entre la droite et la gauche dans 11 cas sur 18, et une prédominance à droite dans les sept autres cas.

- ❖ La description du segment cervical de l'artère vertébrale (V2) montrait :
 - Une prédominance du côté gauche par rapport au droit dans neuf cas sur 14, une prédominance droite dans un cas et l'absence de prédominance dans les quatre autres cas (dans les quatre cas où une technique d'injection/corrosion a été réalisée, les artères n'ont pas été injectées et n'étaient donc pas analysables).
 - On notait une relation inverse entre les prédominances artérielle et veineuse dans la plupart des cas. Toutefois, dans un cas où l'artère vertébrale était particulièrement grêle à gauche, on notait une prédominance artérielle et veineuse à droite.
 - Dans les 4 cas pour lesquels on notait une absence de prédominance artérielle, on observait également une absence de prédominance veineuse.

- ❖ La description détaillée des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait:

- Une localisation privilégiée ventrale pour 15 côtés, latérale pour sept, ventrolatérale pour cinq, médiale pour quatre, ventromédiale pour deux, et une absence de prédominance pour trois côtés.
 - Une disposition segmentaire des éléments veineux à chaque niveau vertébral pour 11 cas sur 18.
- ❖ La description des veines longitudinales ventrales montrait:
- Une veine prédominante (*figure 24 et 25*) pour 25 côtés et la présence d'un plexus veineux associé à une veine pour un cas, une organisation plexiforme pour les huit autres cas (deux côtés d'un même spécimen n'étaient pas analysables).
 - On relevait une prédominance de la veine longitudinale ventrale à droite dans cinq cas sur 10, à gauche dans 4 cas et l'absence de prédominance dans les huit autres cas (un cas n'était pas analysable).
 - On n'observait pas de relation entre la prédominance des veines longitudinales ventrales et celles des artères et des veines vertébrales.
 - On notait la présence d'anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche (*figure 25, 26 et 32*) dans 13 cas sur 17 à chaque niveau vertébral, dans un cas seulement à certains niveaux, et l'absence d'anastomoses dans trois cas (un cas n'était pas analysable).
- ❖ La description des anastomoses (*figure 27 et 28*) entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales montrait :
- La présence d'anastomoses dans 16 cas sur 17 de façon bilatérale (un cas n'était pas analysable).
 - Ces anastomoses étaient observées de façon segmentaire à chaque niveau vertébral pour 30 côtés, et seulement à certains niveaux pour deux côtés.
- ❖ Sur la hauteur du canal transversaire on notait une prédominance de calibre des veines longitudinales ventrales par rapport aux veines vertébrales pour 24 côtés sur 34 (un cas n'était pas analysable).
- ❖ A la sortie du canal des foramens transverses on relevait une prédominance de calibre des veines vertébrales par rapport aux veines longitudinales ventrales pour 17 côtés sur 30 (trois cas n'étaient pas analysables).

❖ Symétrie de la disposition des éléments anatomiques:

- On notait un calibre symétrique, sans prédominance, des artères et des veines vertébrales dans 4 cas sur 18, une symétrie des veines dans 4 autres cas où les artères n'étaient pas analysables. Par contre, dans sept autres cas, on observait une asymétrie entre les calibres des veines et des artères vertébrales.
- De la même manière, on notait une asymétrie de calibre pour les veines longitudinales ventrales dans neuf cas sur 17 (un cas n'était pas analysable).
- On relevait une organisation symétrique dans 16 cas sur 18 pour la disposition générale, plexiforme et/ou avec une veine prédominante.
- On notait six cas de divergence sur 18 dans la localisation privilégiée des veines vertébrales entre les côtés droit et gauche. Ces divergences se résumaient en une localisation latérale d'un côté contre une localisation ventrolatérale de l'autre pour trois cas.
- On observait une organisation symétrique de la disposition segmentaire des veines vertébrales à chaque niveau dans 17 cas sur 18.
- On relevait une organisation symétrique de la disposition des veines longitudinales ventrales dans 14 cas sur 17 (un cas n'était pas analysable).
- On notait la présence d'anastomoses de façon symétrique à chaque niveau vertébral entre les veines longitudinales ventrales et les veines vertébrales dans 14 cas sur 17 (un cas n'était pas analysable).
- On observait une symétrie dans 13 cas sur 17 sur les veines ayant un calibre prédominant sur la hauteur du canal transversaire (un cas n'était pas analysable).
- Enfin, on observait une symétrie dans 11 cas sur 15 sur les veines ayant un calibre prédominant à la sortie du canal transversaire (trois cas n'étaient pas analysables).

Les dissections réalisées ont confirmé la sortie des veines vertébrales avec l'artère homonyme au dessous du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale. Ces veines vertébrales recevaient ensuite le plexus veineux du 7^{ème} foramen transverse (*figure 31*).

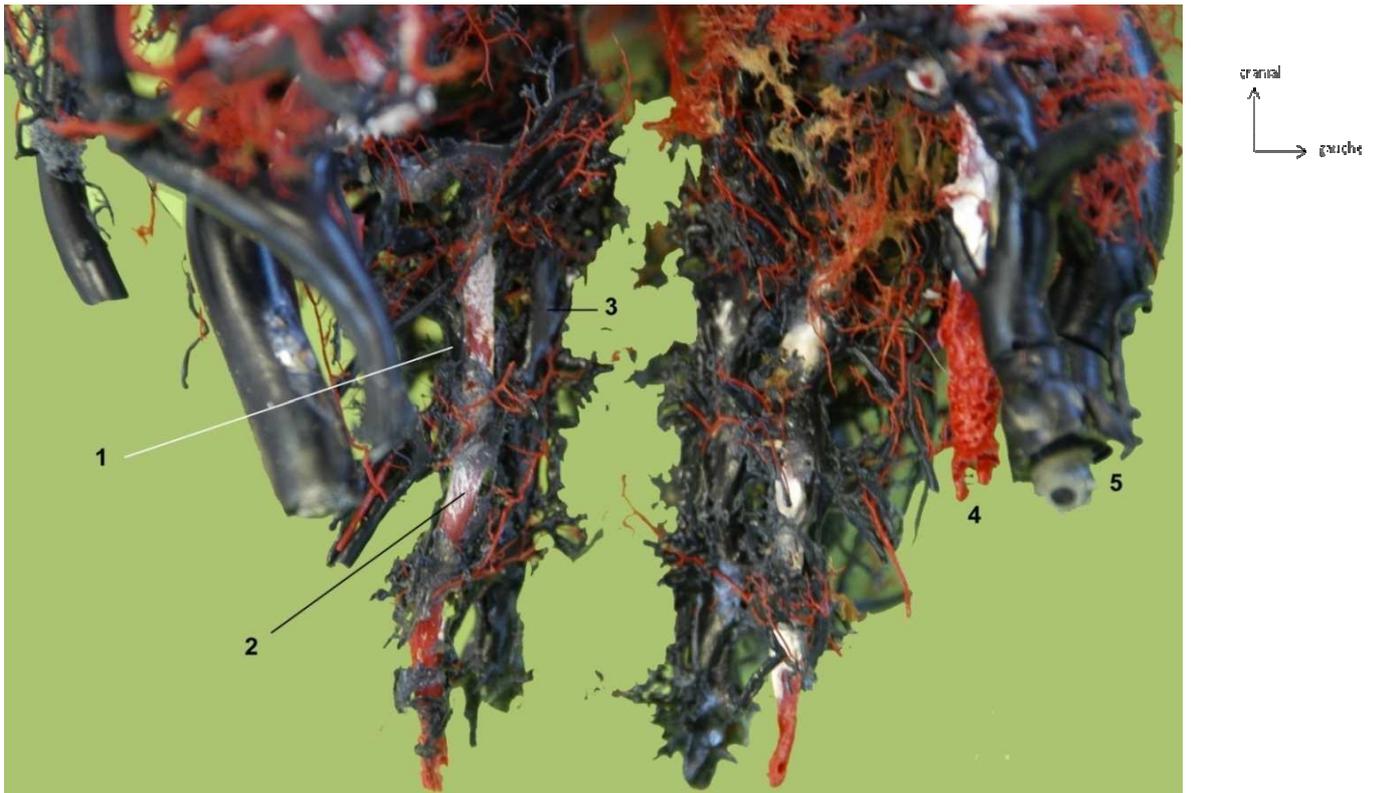


Figure 24 : Collection musée d'Angers, spécimen n°11. Vue ventrale du réseau veineux vertébral.

- 1 : veine vertébrale droite
- 2 : artère vertébrale droite
- 3 : veine longitudinale ventrale droite
- 4 : artère carotide interne gauche
- 5 : veine jugulaire interne gauche



Figure 25 : Collection musée d'Angers, spécimen n°11. Vue ventro-médiale droite du réseau veineux vertébral après injection-corrosion.

- 1 : veine vertébrale droite
- 2 : artère vertébrale droite
- 3 : veine longitudinale ventrale droite
- 4 : anastomose transversale des veines longitudinales

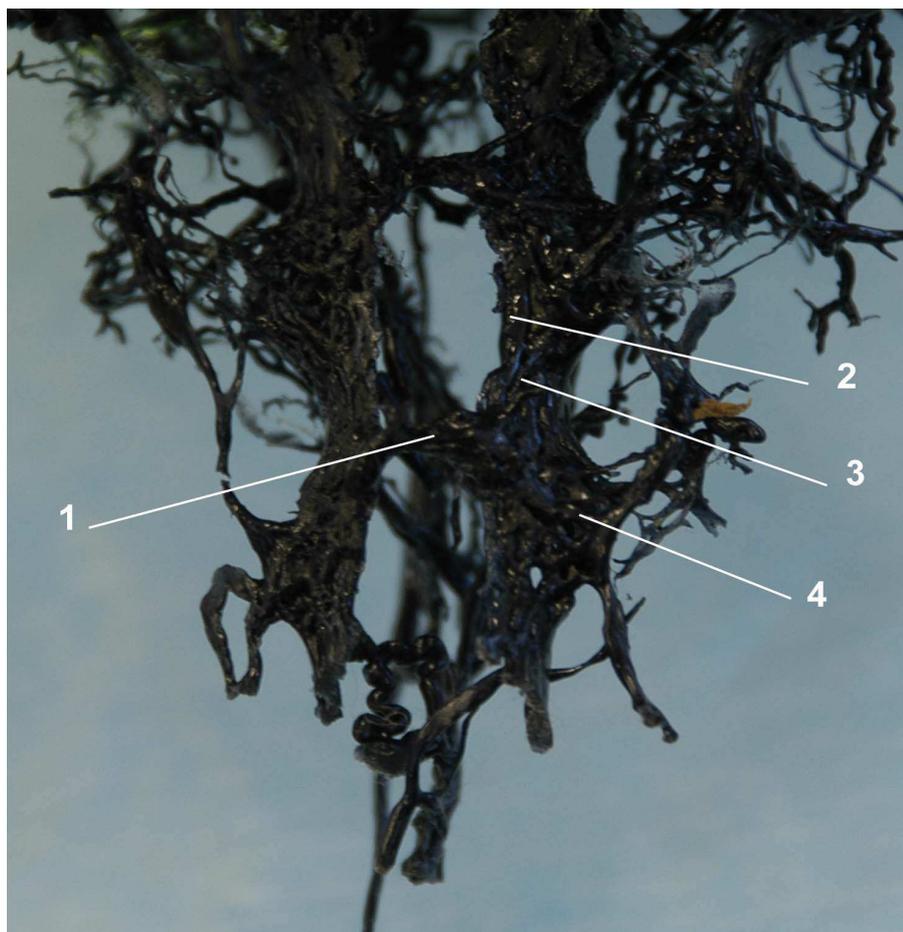


Figure 26 : Collection musée d' Angers, spécimen n°12.

Vue ventrale du réseau veineux vertébral après injection-corrosion.

- 1 : anastomose transversale des veines longitudinales
- 2 : veine longitudinale ventrale gauche
- 3 : réseau veineux vertébral gauche
- 4 : veine d'un nerf spinal gauche

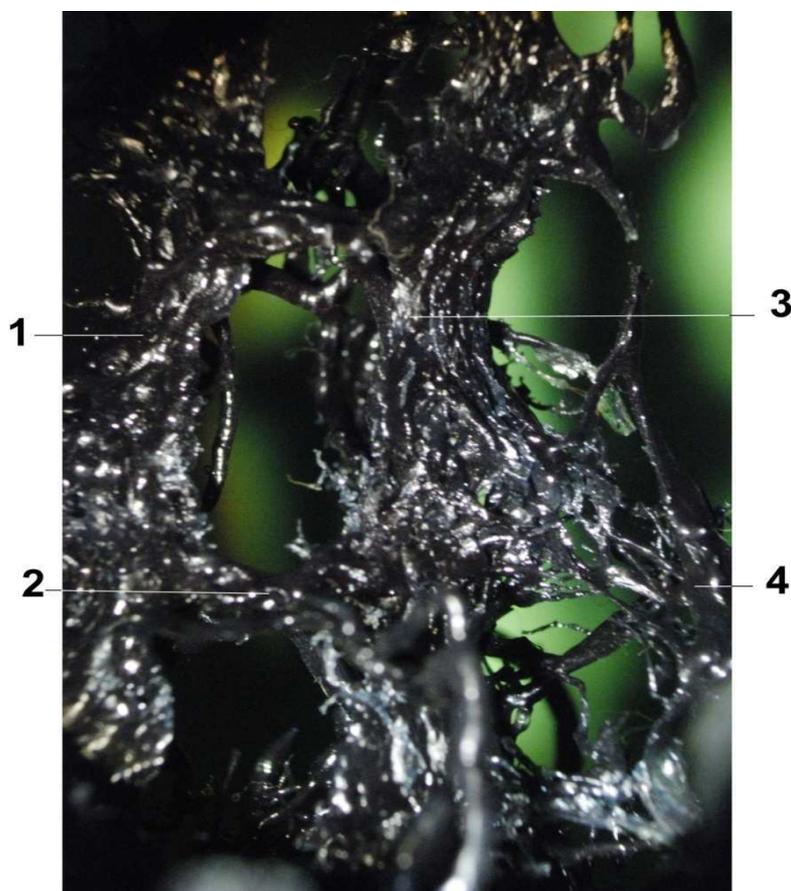
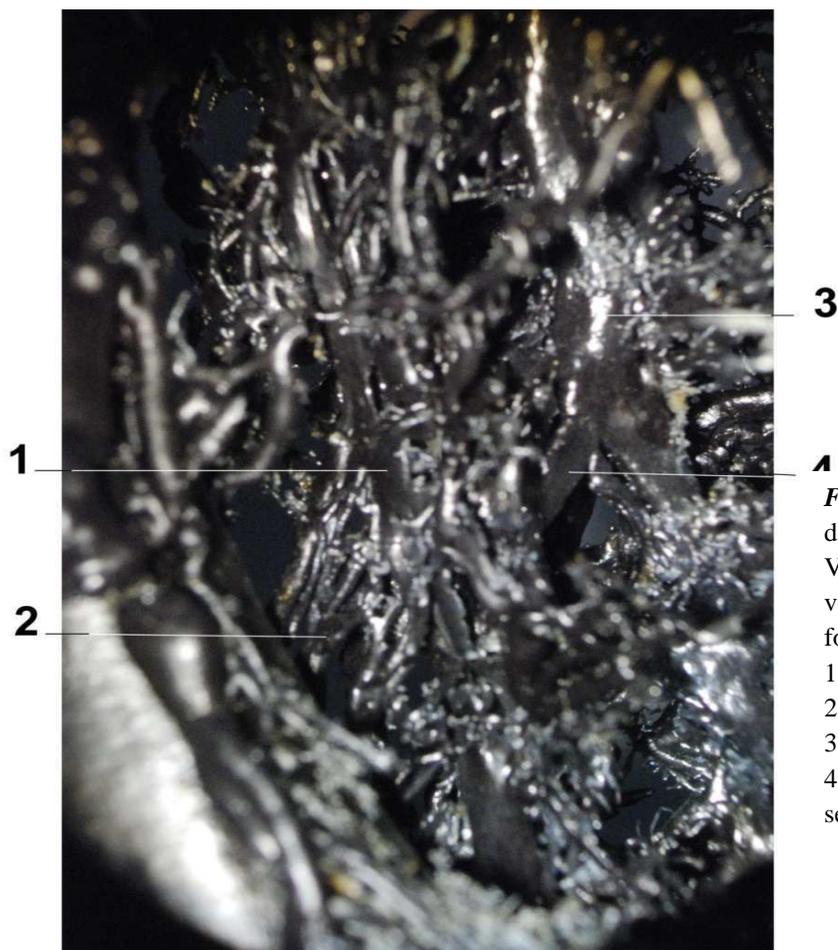


Figure 27 : Collection musée d' Angers, spécimen n°12.

Vue ventro-médiale gauche du réseau veineux vertébral après injection-corrosion à fort grossissement.

- 1 : veine longitudinale ventrale gauche
- 2 : anastomose épидуро-vertébrale segmentaire gauche
- 3 : réseau veineux vertébral gauche
- 4 : veine d'un nerf spinal gauche



crânial
↑
gauche →

3

4

Figure 28 : Collection musée d'Angers, spécimen n°13.

Vue ventrale droite du réseau veineux vertébral après injection-corrosion à fort grossissement.

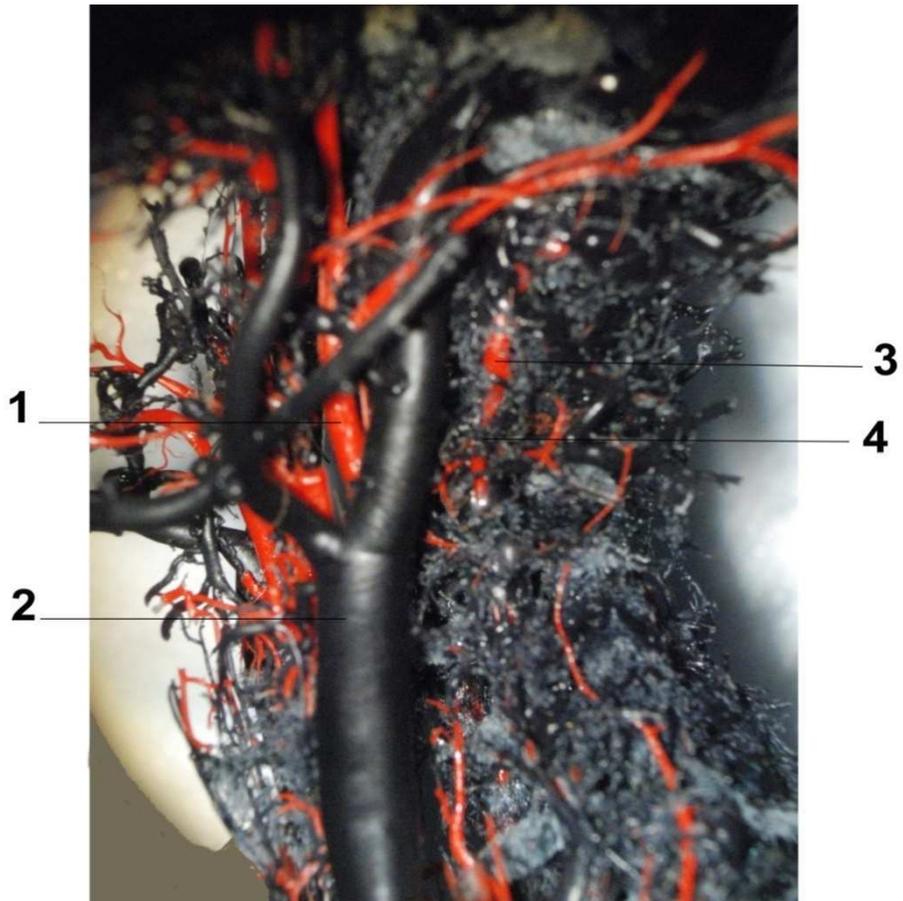
- 1 : veine vertébrale droite
- 2 : veines d'un nerf spinal droit
- 3 : veine longitudinale ventrale droite
- 4 : anastomose épидуро-vertébrale segmentaire droite

crânial
↑
dorsal →

Figure 29 : Collection musée d'Angers, spécimen n°15.

Vue latérale gauche du réseau veineux de l'extrémité céphalique après injection-corrosion à fort grossissement..

- 1 : artère carotide commune gauche
- 2 : veine jugulaire interne gauche
- 3 : artère vertébrale gauche
- 4 : réseau veineux vertébral gauche



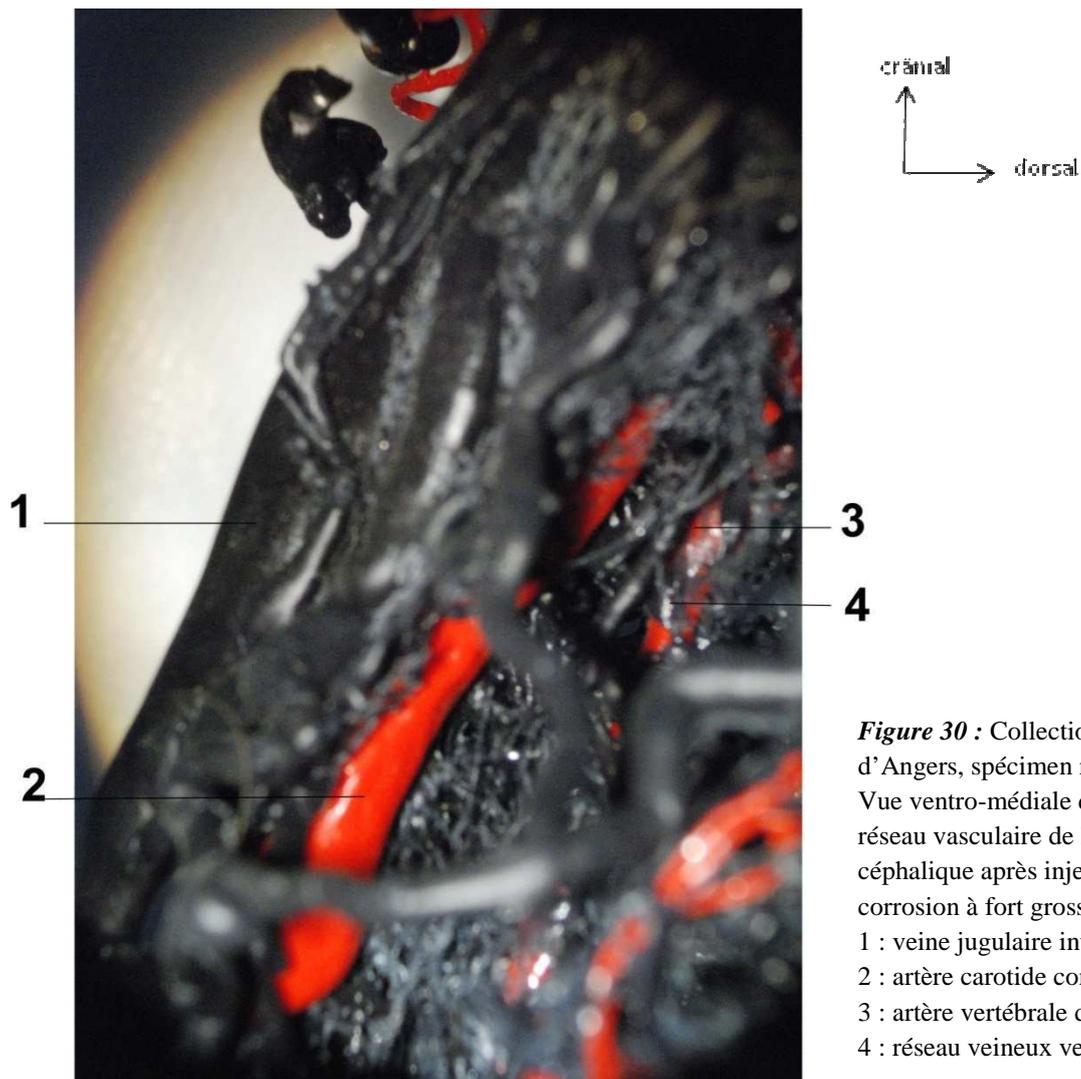


Figure 30 : Collection musée d'Angers, spécimen n°16. Vue ventro-médiale droite du réseau vasculaire de l'extrémité céphalique après injection-corrosion à fort grossissement.
1 : veine jugulaire interne droite
2 : artère carotide commune droite
3 : artère vertébrale droite
4 : réseau veineux vertébral droit

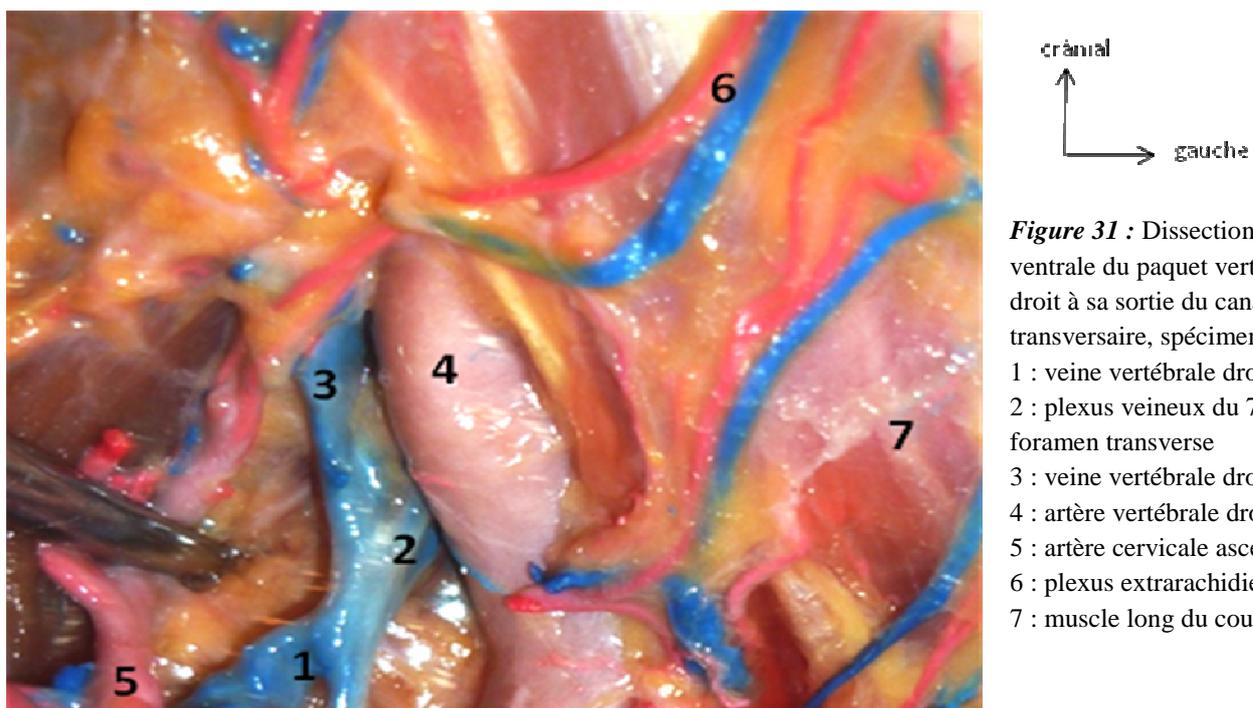


Figure 31 : Dissection, vue ventrale du paquet vertébral droit à sa sortie du canal transversaire, spécimen n°2.
1 : veine vertébrale droite
2 : plexus veineux du 7^{ème} foramen transverse
3 : veine vertébrale droite
4 : artère vertébrale droite
5 : artère cervicale ascendante
6 : plexus extrarachidien ventral
7 : muscle long du cou droit

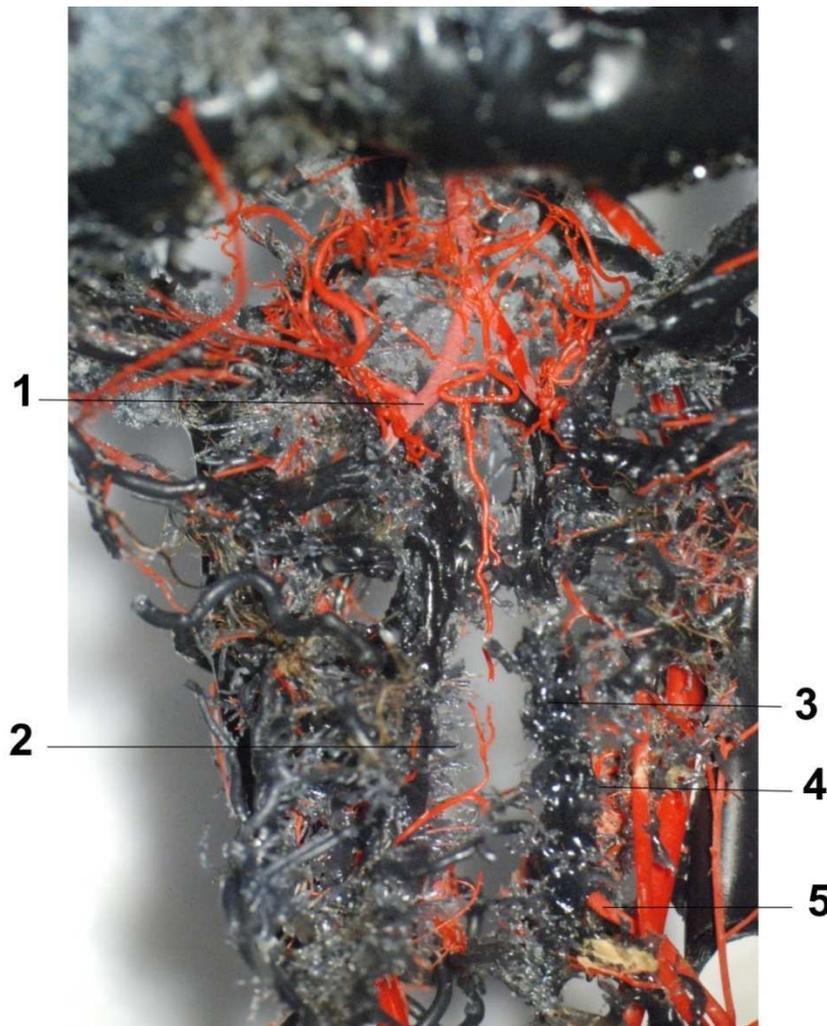


Figure 32 : Collection musée d'Angers, spécimen n°18. Vue ventrale du réseau veineux et artériel de l'extrémité céphalique d'un embryon après injection-corrosion à fort grossissement.
 1 : artère vertébrale droite
 2 : anastomose transversale des veines longitudinales du côté droit
 3 : réseau veineux épidual gauche
 4 : réseau veineux vertébral gauche
 5 : artère vertébrale gauche.

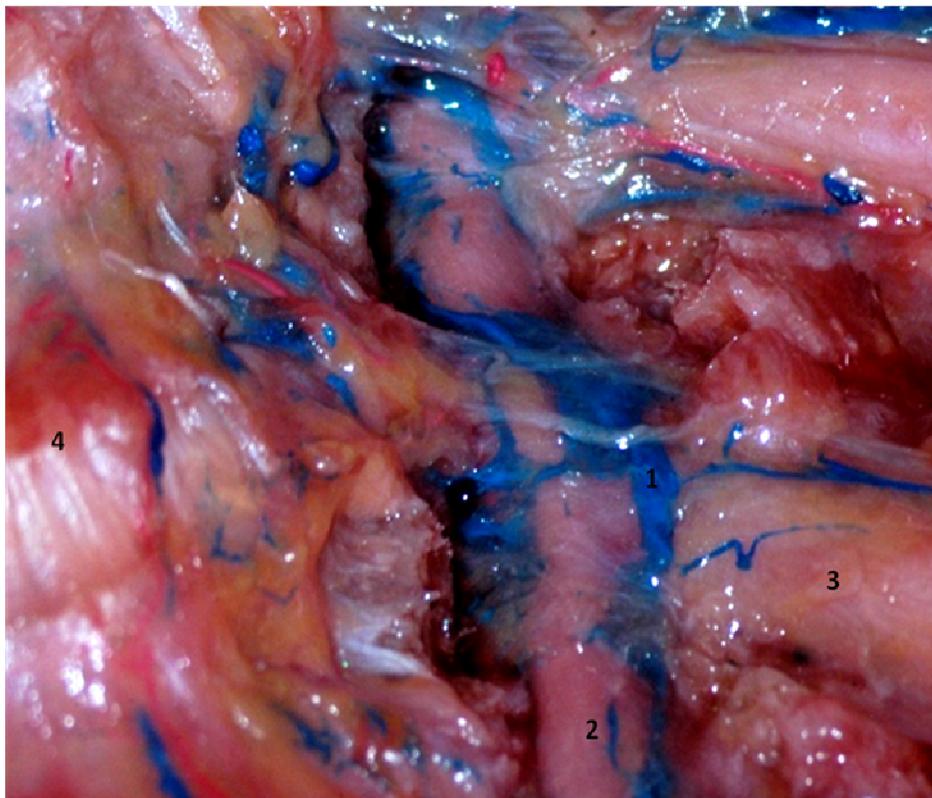


Figure 33 : Dissection, vue ventrale du canal transversaire, spécimen n°2.
 1 : veine vertébrale gauche
 2 : artère vertébrale gauche
 3 : branche ventrale gauche du 5^{ème} nerf spinal
 4: disque intervertébral C4-C5

 ETUDE HISTOLOGIQUE

Les prélèvements effectués et transmis au laboratoire universitaire d'histologie n'ont pas pu être tous analysés du fait de l'altération des tissus, rendant l'analyse histologique ininterprétable.

Pour blocs prélevés sur des spécimens différents et pour lesquels l'analyse a pu être réalisée, on montrait une organisation similaire des veines autour de l'artère vertébrale.

Sur les prélèvements réalisés au niveau de la 3^{ème} vertèbre cervicale on notait la présence de fragments de tissu fibro-adipeux (périoste) centrés par l'artère vertébrale. On notait l'absence de veine individualisable, mais la présence d'un réseau vasculaire péri-artériel circonférentiel (*figure 34, 35 et 36*) à type de sinus veineux (*figure 37*): multiples cavités, anfractueuses, anastomosées, à bordure endothéliale reposant directement sur le tissu fibreux de voisinage.

Au niveau de la sortie de l'artère vertébrale du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale, on notait la présence de fragments de tissu fibro-adipeux (périoste) centrés par l'artère vertébrale, qui était associée à une veine satellite dont la paroi est bien individualisable (*figure 38*).

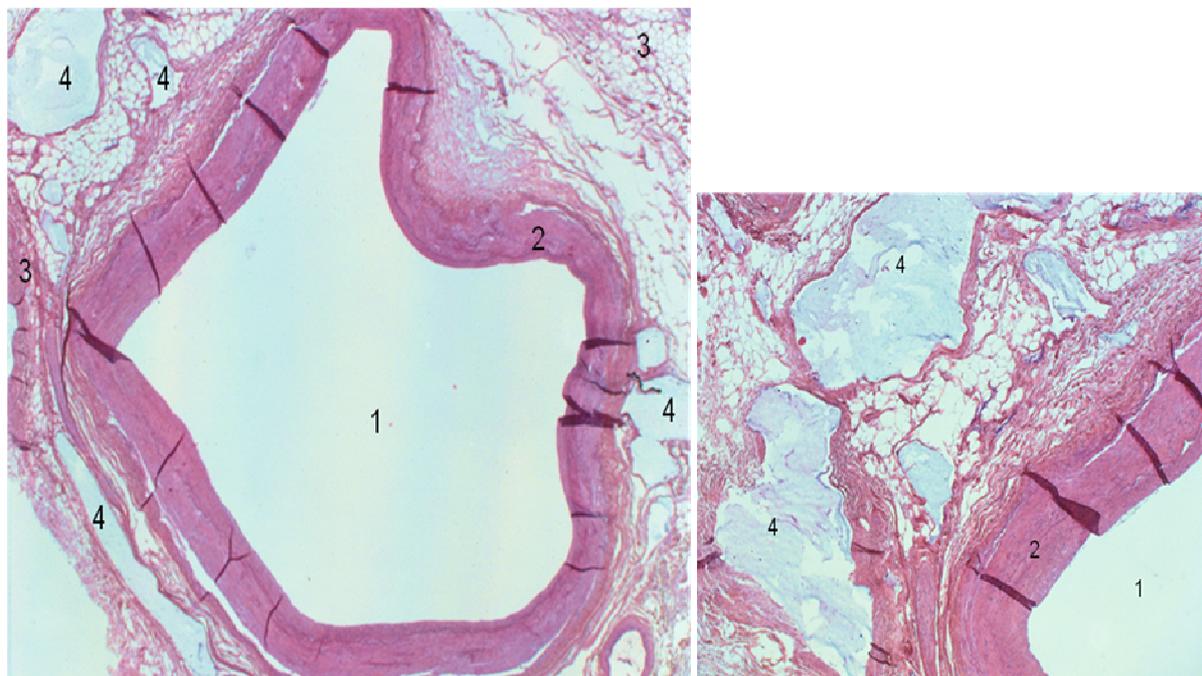


Figure 34 : Coupes histologiques, coloration HES, montrant les éléments présents dans le canal transverse en C3, grossissement x 25. Spécimen 7. 1 : lumière artérielle de l'artère vertébrale, 2 : paroi artérielle, 3 : périoste, 4 : sinus veineux péri-artériel (circonférentiel).



Figure 35 : Coupe histologique, coloration HES, montrant les éléments présents dans le canal transversaire en C3, grossissement x 25. Spécimen 8. 1 : lumière artérielle de l'artère vertébrale, 2 : paroi artérielle, 3 : périoste, 4 : sinus veineux péri-artériel (circonférentiel).

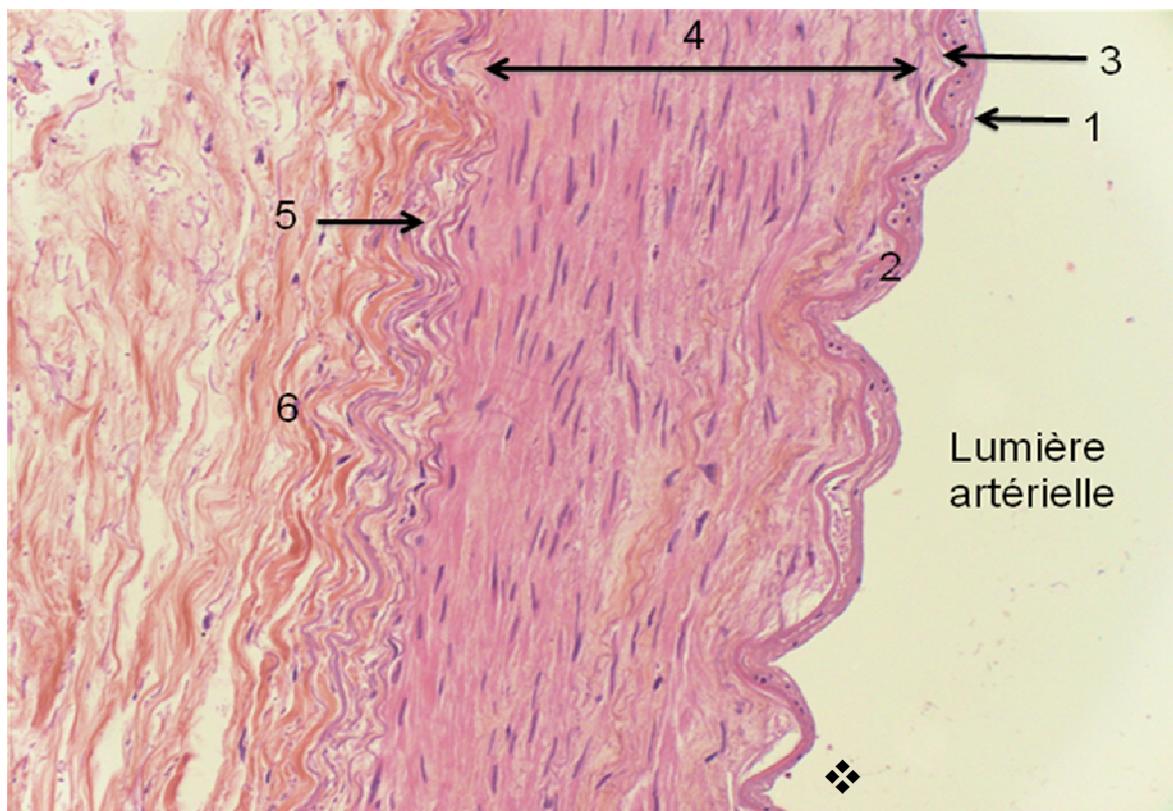


Figure 36 : Coupe histologique, coloration HES, à fort grossissement (x200) montrant le détail de la paroi artérielle indiquée sur la figure précédente (rotation à 90° dans le sens horaire). 1 : endothélium, 2 : intima, 3 : limitante élastique interne, 4 : média, 5 : limitante élastique externe, 6 : adventice.

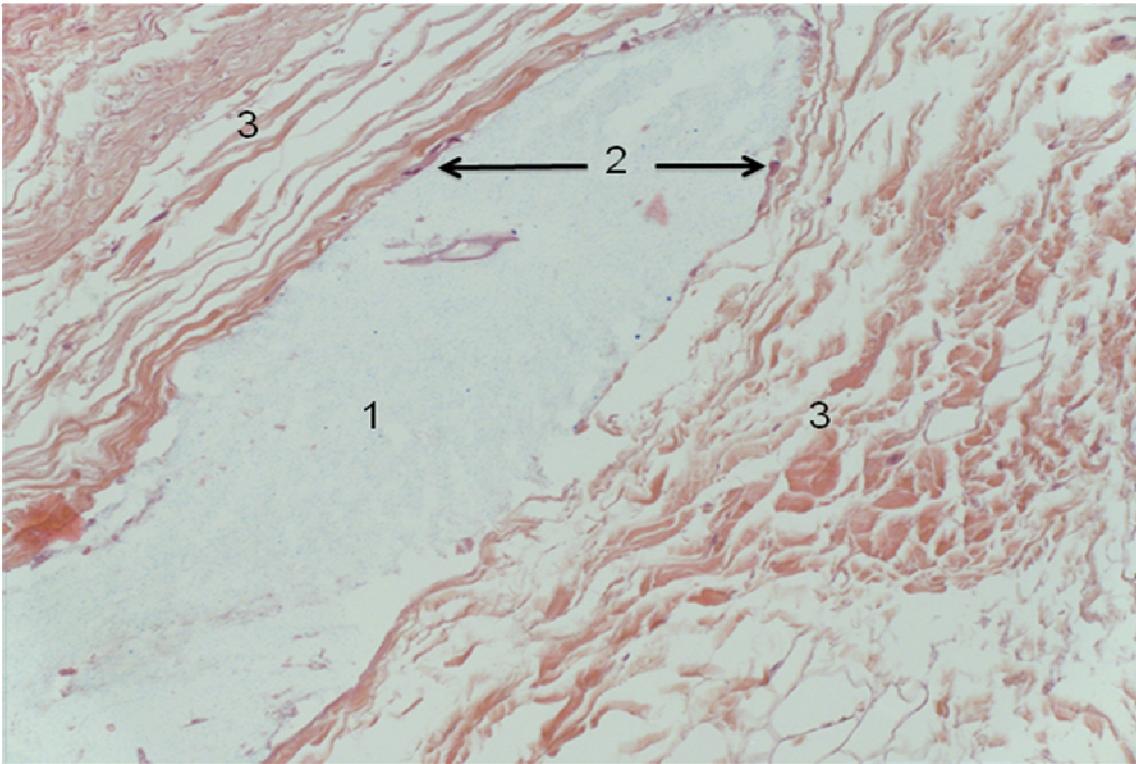


Figure 37 : Coupe histologique, coloration HES, montrant un détail du sinus veineux dans le canal transversaire en C3, grossissement x 200. Spécimen 8. 1 : lumière vasculaire, 2 : cellules endothéliales, 3 : périoste.

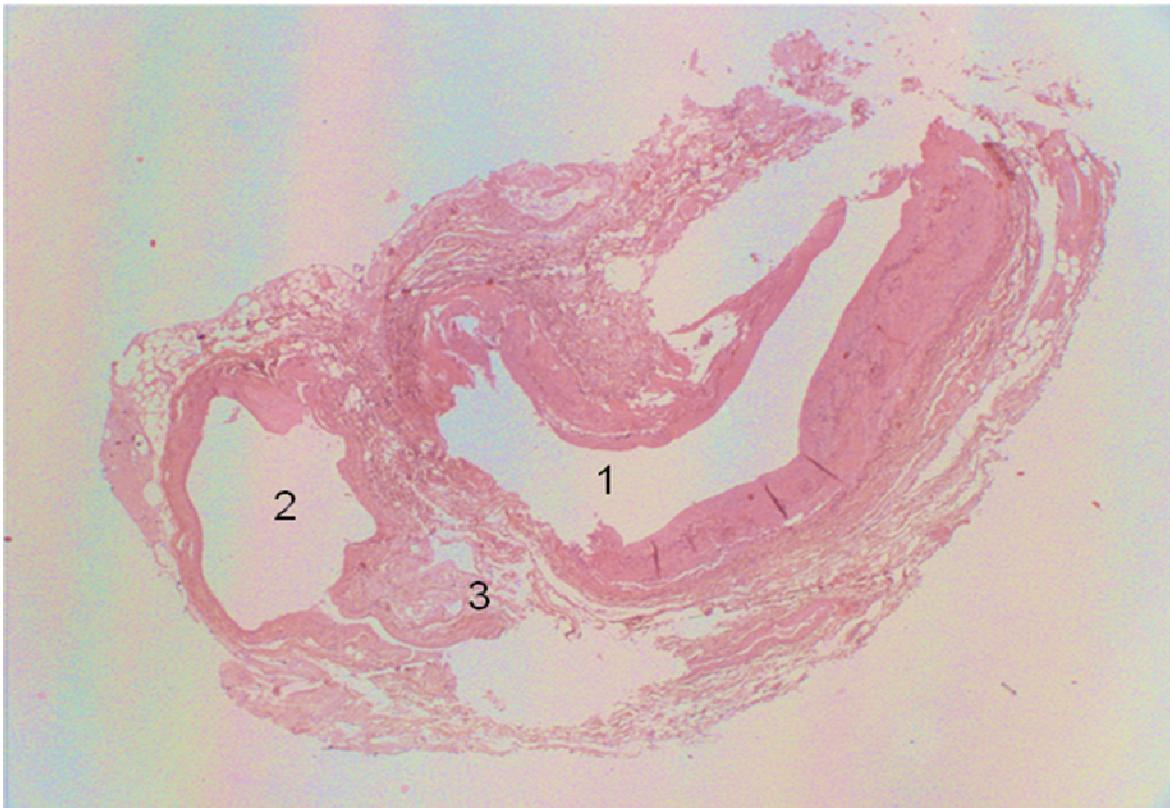


Figure 38 : Coupe histologique, coloration HES, l'artère et la veine vertébrale à leur sortie du canal transversaire en C6, grossissement x 25. Spécimen 7. 1 : lumière de l'artère vertébrale, 2 : veine vertébrale, 3 : périoste.

ETUDE EN IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE

De la même manière que pour l'étude en dissection, les résultats obtenus à partir du recueil de données réalisé ont également été analysés de façon descriptive. Il s'agissait de 10 cas, soit 20 côtés. Les résultats sont résumés dans les Tableaux I et II.

- ❖ La description générale des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait:
 - Une organisation plexiforme dans tous les cas à droite comme à gauche (*figure 39*).
 - La présence d'une veine prédominante au sein du plexus dans tous les cas à droite comme à gauche (*figure 40*).
 - On ne montrait pas de prédominance entre la droite et la gauche dans six cas sur 10, on notait une prédominance à droite dans deux cas et à gauche dans les deux autres cas.

- ❖ La description du segment cervical de l'artère vertébrale (V2) montrait :
 - Une prédominance du côté gauche par rapport au droit dans trois cas sur 10 (*figure 39*), une prédominance droite dans deux cas et l'absence de prédominance dans les cinq autres cas.
 - On notait une corrélation inverse entre la prédominance artérielle et la prédominance veineuse.
 - De même, dans les cinq cas pour lesquels on notait une absence de prédominance artérielle, on observait une absence de prédominance veineuse.

- ❖ La description détaillée des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait:
 - Une localisation privilégiée latérale et ventrolatérale des éléments veineux dans le canal des foramens transverses (*figure 39, 40 et 41*), avec : une disposition latérale pour 13 côtés sur 20 (droite et gauche confondus) et ventrolatérale pour les sept autres.
 - Une disposition segmentaire des éléments veineux à chaque niveau vertébral (*figure 43*).

- ❖ La description des veines longitudinales ventrales montrait:
 - une veine isolée pour 14 côtés sur 20 (droite et gauche confondus) (*figure 39*) et la présence d'un plexus veineux associé à une veine prédominante dans les autres cas (*figure 42*). Pour ces six côtés, il s'agissait de trois mêmes sujets ayant une disposition symétrique droite/gauche.

- On relevait une prédominance de la veine longitudinale ventrale à droite dans cinq cas sur 10 (*figure 43*), à gauche dans deux cas et l'absence de prédominance dans les trois autres cas.
 - On n'observait pas de relation entre la prédominance des veines longitudinales ventrales et celles des artères et des veines vertébrales.
 - On notait la présence d'anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche (*figure 42*) dans deux cas sur 10 à chaque niveau vertébral, dans trois cas seulement à certains niveaux, et l'absence d'anastomoses dans cinq cas.
- ❖ La description des anastomoses entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales montrait :
- La présence d'anastomoses dans tous les cas de façon bilatérale (*figure 40 et 42*).
 - Ces anastomoses étaient observées de façon segmentaire à chaque niveau vertébral (*figure 43*).
- ❖ Sur la hauteur du canal transversaire, on ne relevait pas de prédominance générale de calibre des veines vertébrales par rapport aux veines longitudinales ventrales, on notait 10 côtés de prédominance de calibre pour chaque type de veines (droite et gauche confondus).
- ❖ A la sortie du canal des foramens transverses on relevait une prédominance de calibre des veines vertébrales par rapport aux veines longitudinales ventrales pour 14 côtés sur 20 (droite et gauche confondus). On notait pour 4 côtés une prédominance de calibre des veines longitudinales ventrales et une absence de prédominance pour les deux autres.
- ❖ Symétrie de la disposition des éléments anatomiques:
- On notait un calibre symétrique, sans prédominance, des artères et des veines vertébrales dans cinq cas sur 10. Par contre dans les cinq autres cas, on observait une asymétrie entre les calibres des veines et des artères vertébrales.
 - De la même manière, on notait une asymétrie de calibre pour les veines longitudinales ventrales dans sept cas sur 10.
 - On relevait une organisation symétrique dans tous les cas pour la disposition plexiforme avec une veine prédominante au sein du plexus.

- On notait trois cas de divergence sur 10 dans la localisation privilégiée des veines vertébrales entre les côtés droit et gauche. Ces divergences se résument en une localisation latérale d'un côté contre une localisation ventrolatérale de l'autre.
- On observait une organisation symétrique de la disposition segmentaire des veines vertébrales à chaque niveau dans tous les cas.
- On relevait une organisation symétrique de la disposition des veines longitudinales ventrales dans tous les cas.
- On notait la présence d'anastomoses de façon symétrique à chaque niveau vertébral entre les veines longitudinales ventrales et les veines vertébrales.
- On observait une symétrie dans huit cas sur 10 sur les veines ayant un calibre prédominant sur la hauteur du canal transversaire.
- Enfin, on observait une symétrie dans sept cas sur 10 sur les veines ayant un calibre prédominant à la sortie du canal transversaire.

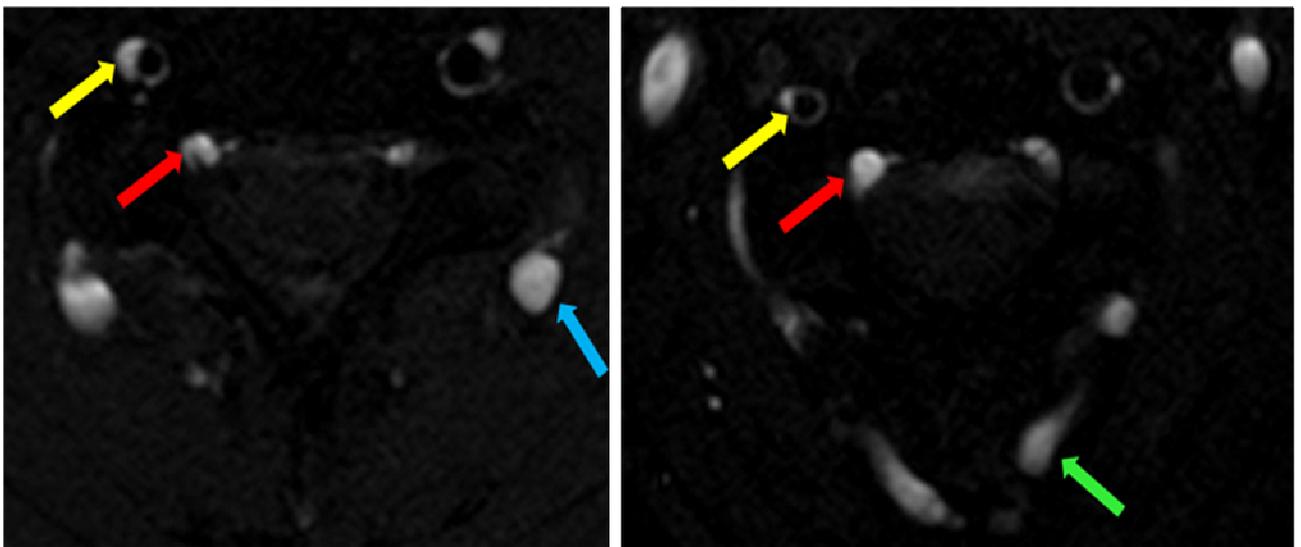


Figure 39 : MRV en séquence 2D TOF, coupes axiales, témoin 6. Disposition plexiforme des veines vertébrales (flèches jaune) avec présence d'une veine prédominante en position latérale. (flèches : rouge : veines longitudinales ventrales ; bleue : veine jugulaire dorsale ; verte : plexus occipito-vertébral).

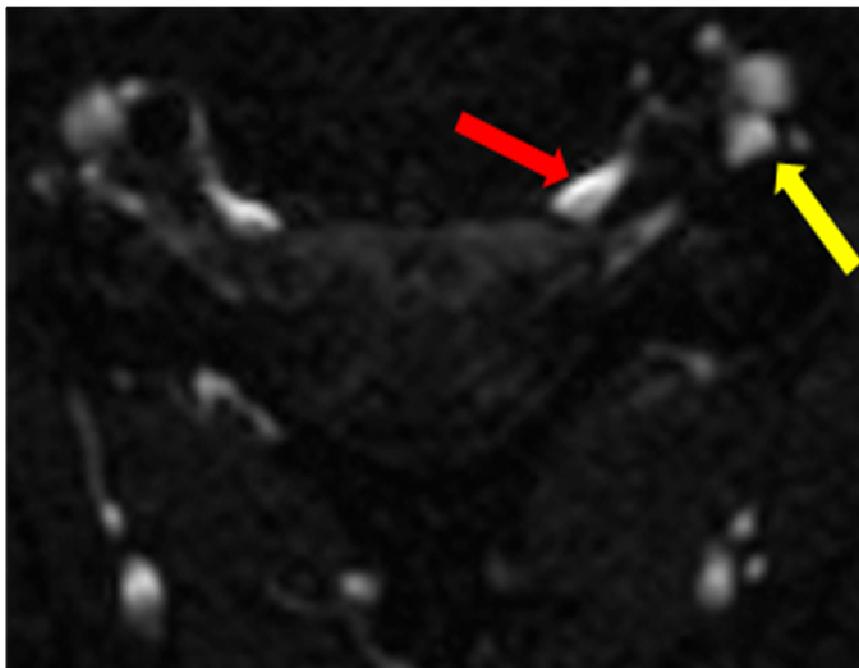


Figure 40 : MRV en séquence 2D TOF, coupes axiales, témoin 2. Disposition plexiforme des veines vertébrales (flèches jaunes) avec présence d'une veine prédominante en position latérale. (flèche rouge : veines longitudinales ventrales et anastomoses avec les veines vertébrales).

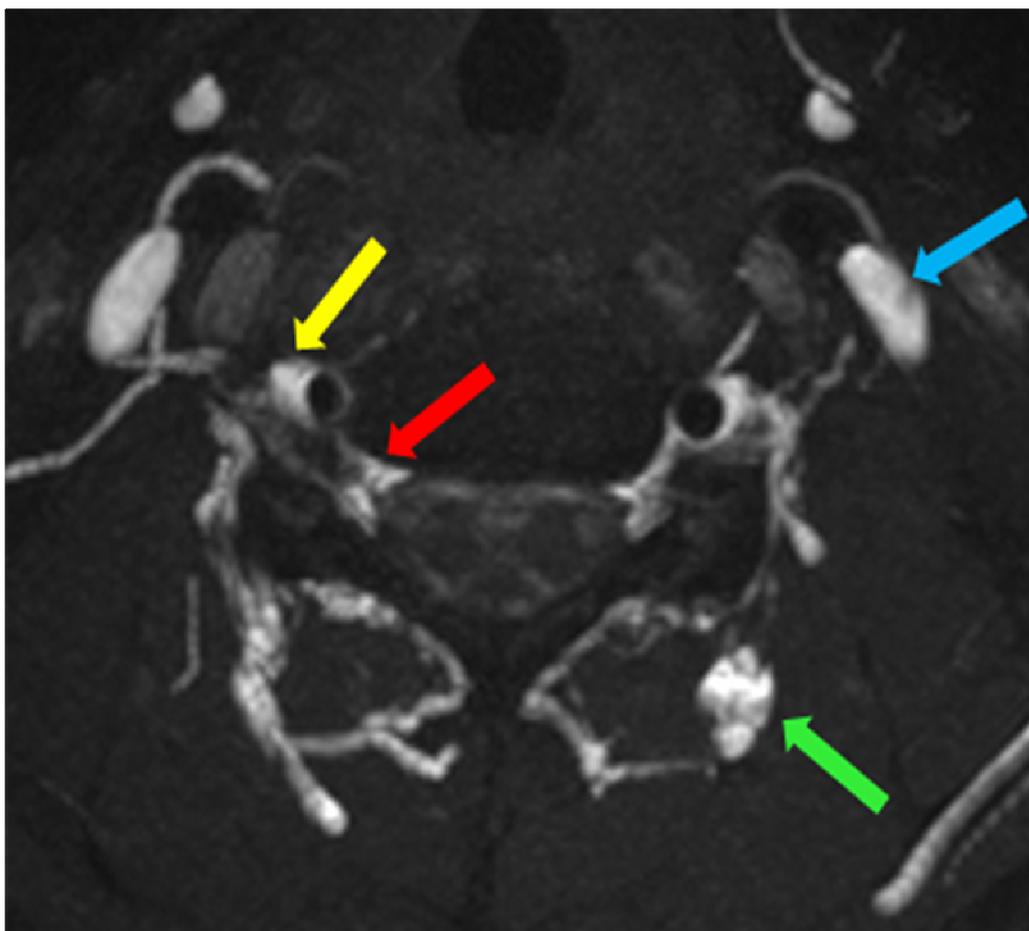


Figure 41 : MRV en séquence 2D TOF, coupes axiales, témoin 9. Disposition plexiforme des veines vertébrales en position latérale prédominante (flèche jaune). Anastomoses avec les veines longitudinales ventrales (flèche rouge). (flèches : bleue : veine jugulaire interne ; verte : veines jugulaire dorsales).

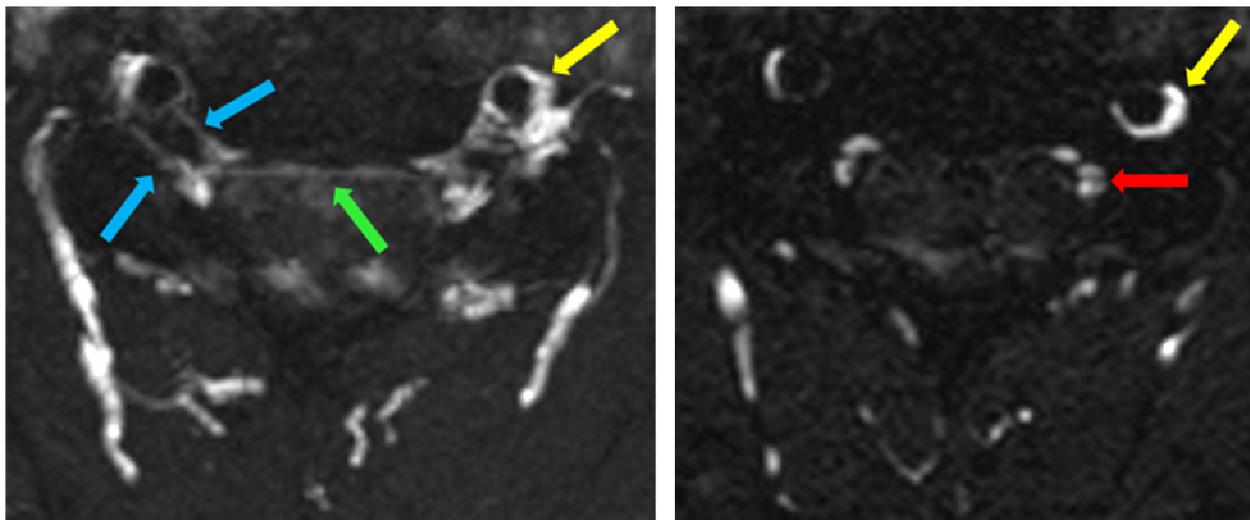


Figure 42 : MRV en séquence 2D TOF, coupes axiales, témoin 7. Disposition plexiforme des veines vertébrales en position latérale prédominante (flèche jaune). Anastomoses entre les veines vertébrales et longitudinales ventrales encadrant la racine (flèche bleue). Anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droites et gauches (flèche verte). Organisation plexiforme des veines longitudinales ventrales (flèche rouge).

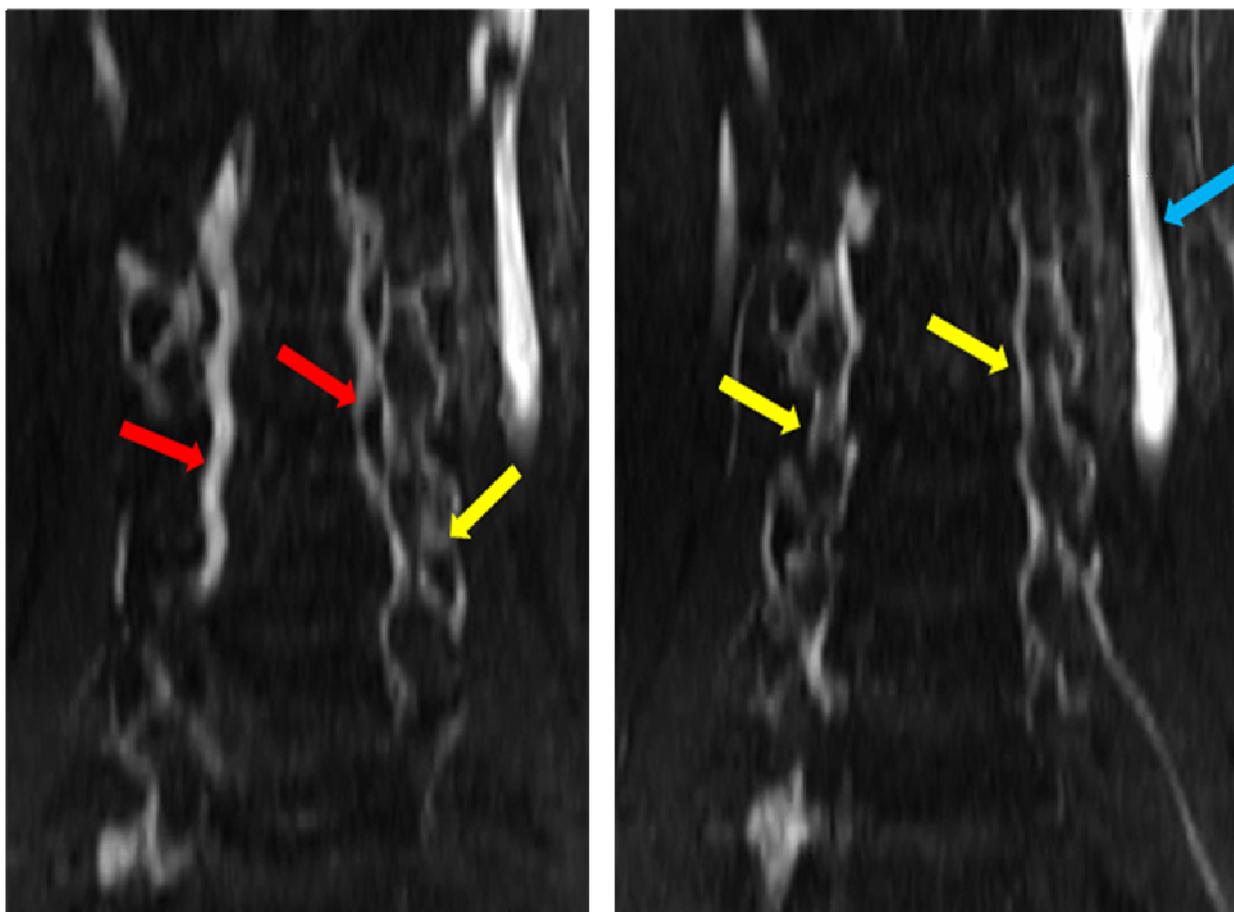


Figure 43 : MRV en séquence 2D TOF, coupes coronales, témoin 8. Disposition segmentaires des veines vertébrales dans le canal à chaque niveau vertébral (flèche jaune). Disposition segmentaire des anastomoses entre les veines vertébrales (flèche jaune) et longitudinales ventrales (flèche rouge) à chaque niveau vertébral. (flèche bleue : veine jugulaire interne).

COMPARAISON RADIO-ANATOMIQUE

La description générale des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait en dissection comme en IRM une organisation plexiforme des veines vertébrales dans le canal, avec une veine prédominante associée dans tous 72% des cas (dans tous les cas en IRM et dans plus de la moitié des cas en dissection). Pour ce qui est de la répartition à droite ou à gauche des veines vertébrales, on ne notait pas de différence importante entre les résultats obtenus en dissection et en IRM, à savoir pour chacun une absence de prédominance dans 50% des cas.

La description du segment cervical de l'artère vertébrale (V2) montrait une absence de prédominance dans près de la moitié des cas en IRM comme en dissection. En cas de prédominance, celle-ci se faisait majoritairement du côté gauche que ce soit en dissection ou en IRM.

La description détaillée des veines vertébrales dans le canal transversaire montrait une localisation privilégiée en position ventro-latérale dans 68% des cas (latérale, ventrale et ventrolatérale dans tous les cas en IRM et pour 29 côtés sur 36 en dissection). La disposition des éléments veineux était segmentaire à chaque niveau vertébral dans tous les cas en IRM et pour 21 côtés sur 36 en dissection.

La description des veines longitudinales ventrales montrait la présence d'une veine prédominante isolée dans 87% des cas en IRM et en dissection, et la présence d'une organisation plexiforme associée dans 27% des cas pour les deux techniques également. On n'observait pas de relation entre la prédominance des veines longitudinales ventrales et celle des artères et des veines vertébrales, que ce soit en IRM ou en dissection.

On notait la présence d'anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche dans 14 cas sur 17 en dissection et cinq cas sur 10 en IRM. Avec les deux techniques il y avait des cas où lorsque ces anastomoses n'étaient pas visibles, on s'interrogeait sur la présence d'anastomoses passant sous la dure-mère.

La description des anastomoses entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales montrait la présence d'anastomoses dans 95% des cas (dans tous les cas de façon bilatérale en IRM et dans tous les cas sauf un en dissection). Ces anastomoses étaient observées de façon segmentaire à chaque niveau vertébral dans tous les cas en IRM et dans 29 cas sur 34 en dissection.

Sur la hauteur du canal transversaire on notait une prédominance globale de calibre des veines longitudinales ventrales par rapport aux veines vertébrales en dissection, et pas de prédominance en IRM.

A la sortie du canal des foramens transverses on relevait une prédominance globale de calibre des veines vertébrales par rapport aux veines longitudinales ventrales que ce soit en IRM ou en dissection.

En ce qui concerne la symétrie observée dans la disposition des éléments anatomiques, on notait une asymétrie de calibre entre le côté droit et le côté gauche pour les artères et les veines vertébrales dans la moitié des cas que ce soit en IRM ou en dissection. De la même manière, on notait une asymétrie de calibre pour les veines longitudinales ventrales dans près de la moitié des cas avec les deux techniques. On relevait une organisation symétrique pour la disposition générale plexiforme et/ou avec une veine prédominante dans tous les cas en IRM et dans 16 cas sur 18 en dissection. On observait une organisation symétrique de la disposition segmentaire des veines vertébrales à chaque niveau dans tous les cas en IRM et dans 17 cas sur 18 en dissection. On relevait une organisation symétrique de la disposition des veines longitudinales ventrales dans tous les cas en IRM et dans 14 cas sur 17 en dissection. On notait la présence d'anastomoses de façon symétrique à chaque niveau vertébral entre les veines longitudinales ventrales et les veines vertébrales dans la plupart des cas pour les deux techniques. Enfin dans une grande majorité des cas on observait une symétrie pour les veines ayant un calibre prédominant sur la hauteur et à la sortie du canal transversaire.

Tableau I : Comparaison radio-anatomique des résultats (première partie).

Spécimens (Brest)	AV	VV	VL	OrgVVD	OrgVVG	PosVVD	SegmD	PosVVG	SegmG
1-A	G	D	NA	P+1V	P+1V	Lat/Ant	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous
2-A	G	D	G	P	P	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
3-A	G	D	D	P+1V	P	Ant	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous
4-A	O	O	O	P	P	Lat	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous
5-A	O	O	O	P	P	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
6-A	O	O	O	P+1V	P+1V	Ant	oui /tous	Ant	oui /tous
7-A	G	D	G	P+1V	P	Lat/Ant	non	Ant	non
8-A	G	O	G	P	P	Ant	non	Méd	non
9-A	D	D	D	1V	1V	Ant	oui /tous	Méd	oui /tous
10-A	G	D	G	1V	1V	Méd	oui /tous	Méd	oui /tous
(Angers)									
11-A	O	O	O	P	P	Ant	non	Ant	non
12-A	NA	O	O	P	P	O	oui /tous	Ant	oui /tous
13-A	NA	O	D	P+1V	P+ 2V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
14-B	NA	O	O	P+1V	P+1V	Ant	non	Ant	non
15-E	G	O	D	P+1V	P+1V	Ant	non	Ant	non
16-A	G	D	D	P+1V	P+1 V	Ant	non	Ant	non
17-A	NA	O	O	P+1V	P+1V	Ant/Méd	non	Ant/Méd	non
18-B	G	O	O	P	P	O	oui /tous	O	non
Témoins IRM									
2-A	D	G	G	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
3-A	O	O	O	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
4-A	G	D	D	P+1V	P+1V	Lat/Ant	oui /tous	Lat	oui /tous
5-A	G	D	O	P+1V	P+1V	Lat/Ant	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous
6-A	G	O	D	P+1V	P+1V	Lat/Ant	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous
7-A	D	G	D	P+1V	P+1V	Lat/Ant	oui /tous	Lat	oui /tous
8-A	O	O	D	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
9-A	O	O	O	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
10-A	O	O	D	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat	oui /tous
11-A	O	O	G	P+1V	P+1V	Lat	oui /tous	Lat/Ant	oui /tous

Pour chaque cas présenté, le numéro qui est donné est arbitraire, la lettre qui suit le numéro signifie : A : adulte ; E : enfant ; B : embryon.

Signification des termes employés dans le tableau : AV : artère vertébrale ; VV : veine vertébrale ; VL : veine longitudinale ventrale ; G : gauche ; D : droite ; O : pas de prédominance ; NA : non analysable ; OrgVVD et OrgVVG : organisation des veines vertébrales droites et gauche, respectivement. Présence d'un plexus (P), d'une veine (1V) et deux veines (2V). PosVVD et PosVVG : position prédominante des veines vertébrales dans le canal à droite et à gauche, respectivement. Lat : latérale ; Ant : antérieure ; Méd : médiale. SegmD et SegmG : caractère segmentaire de l'organisation des veines vertébrales à droite et à gauche, respectivement. Si organisation segmentaire, le terme « tous » signifie que c'est le cas à chaque niveau vertébral.

Tableau II : Comparaison radio-anatomique des résultats (seconde partie).

Spécimens (Brest)	VLD	VLG	AnaVL	AnaVV/VLD	AnaVV/VLG	Cal HD	Cal SD	Cal HG	Cal SG
1-A	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2-A	P	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VL	VV
3-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VL	VV
4-A	1V	1V	non	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VL	VV
5-A	P	P	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VL	VV
6-A	1V	1V	non	non	non	VV	VV	VV	VV
7-A	P	1V	non	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VL	VL
8-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
9-A	1V	1V	oui /tous	oui C3	non	VL	VL	VV	VV
10-A	1V	1V	oui C3	oui /tous	oui C4	VV	VV	VL	VL
(Angers)									
11-A	1V	1V+P	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
12-A	P	P	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	NA	VL	NA
13-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
14-B	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VV	NA	VV	NA
15-E	P	P	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VV	VV
16-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VV
17-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
18-B	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
Témoin IRM									
2-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VL	VL	VL
3-A	1V+P	1V+P	non	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VV	VV
4-A	1V	1V	non	oui /tous	oui /tous	VV	O	VL	VL
5-A	1V	1V	oui /tous	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VL	VL
6-A	1V	1V	oui C5 C6	oui /tous	oui /tous	VL	O	VL	VV
7-A	1V+P	V+P	non	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VV	VV
8-A	1V	1V	non	oui /tous	oui /tous	VL	VV	VL	VV
9-A	1V+P	1V+P	oui C3	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VV	VV
10-A	1V	1V	non	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VV	VV
11-A	1V	1V	oui C4 C5	oui /tous	oui /tous	VV	VV	VV	VV

Idem que tableau I pour la présentation des cas.

Signification des termes employés dans le tableau : VV : veine vertébrale ; VL veine longitudinale ventrale ; G : gauche ; D : droite ; O : pas de prédominance ; NA : non analysable. Présence d'un plexus (P), d'une veine (1V) et deux veines (2V). AnaVL : présence d'anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche. Le terme « tous » signifie que c'est le cas à chaque niveau vertébral. Sinon le niveau est précisé : exemple « C4 » pour la quatrième vertèbre cervicale. AnaVV/VL D et G : présence d'anastomoses entre les veines vertébrales et longitudinales ventrales à droite et à gauche, respectivement (idem pour les niveaux concernés). Cal HD, HG, BD et BG : veine ayant le calibre prédominant sur la hauteur « H » du canal transversaire et à sa sortie « S » à droite et à gauche, respectivement.

DISCUSSION

DISCUSSION DES PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE

Cette étude a confirmé en dissection comme en IRM une organisation plexiforme des veines vertébrales dans le canal transversaire. On observait également dans la plupart des cas (72%), au sein de ce plexus, une veine ou un renflement du plexus pouvant correspondre à une veine. Cette étude confirmait également la disposition ventrolatérale des veines par rapport à l'artère dans le canal transversaire pour une majorité de cas (68%).

Pour ce qui est du deuxième segment de l'artère vertébrale (V2), cette étude confirmait une prédominance de calibre du côté gauche dans les cas où une prédominance existait. Dans les cas où l'artère vertébrale prédominait à gauche on observait des veines vertébrales plus volumineuses à droite. Mais dans la moitié des cas (50%), on ne notait pas de prédominance ni de l'artère ni de la veine vertébrale.

Concernant les veines longitudinales ventrales, cette étude a montré la présence d'une veine prédominante dans la majorité des cas en IRM et en dissection, avec une organisation plexiforme associée dans près d'un tiers des cas. Il s'agissait donc plutôt de « veines » longitudinales ventrales (87%) mais avec parfois une organisation plexiforme (27%), ce qui ne permettait pas de proposer une définition unique de ces veines. Par ailleurs, ces veines présentaient de multiples anastomoses, entre elles, ce sont les plexus transverses, et avec les veines vertébrales. Les plexus transverses qui relient les veines longitudinales ventrales droite et gauche n'étaient pas visibles dans tous les cas à chaque niveau vertébral. En dissection comme en IRM, on s'interrogeait parfois sur la présence de ces anastomoses passant en fait en position sous-durale. Chaynes et al. (2) ont montré dans une étude en dissection portant sur 7 spécimens que les anastomoses entre les veines longitudinales ventrales étaient rétrocorporéales, et se situaient souvent dans un « dédoublement du feuillet superficiel du ligament longitudinal dorsal » (LLD). Cette description anatomique montrait que ces anastomoses, lorsqu'elles n'étaient pas ventrales au LLD, ne passaient pas en position sous-durale, mais dans ce dédoublement du LLD. Dans le concept inter-périostéo-dural développé par François et al. (10), la dure-mère comprend deux feuillets, au niveau encéphalique (le

feuillet encéphalique et le feuillet périosté) mais également au niveau du canal rachidien (le feuillet de la dure-mère rachidienne et le feuillet périosté qui comprend le LLD). Dans notre étude, la séquence IRM utilisée ne permettait pas de dire avec suffisamment de précision si ces anastomoses étaient des veines accolées à la dure-mère, mais situées entre les deux feuillets du LLD, ou si ces veines passaient en position sous-durale accolée à l'intérieur de la dure-mère. En effet, la séquence 2D TOF utilisée permet de recueillir de façon optimale le signal des veines disposées dans le sens crânio-caudal (16). Le choix de cette séquence avait été fait pour recueillir un maximum de signal des veines dans le canal transversaire. Les anastomoses entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche étant disposées de façon perpendiculaire aux veines vertébrales, le signal recueilli était de moins bonne qualité pour ces anastomoses que pour les veines situées dans le sens crânio-caudal, ce qui expliquait les difficultés d'une interprétation très précise.

Par ailleurs, cette étude montrait des anastomoses entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales de façon bilatérale en IRM et en dissection pour la plupart des cas (95%). Ces anastomoses étaient organisées de façon segmentaire à chaque niveau vertébral dans 91% des cas.

Enfin, à la sortie des veines du canal transversaire on observait une prédominance globale de calibre des veines vertébrales par rapport aux veines longitudinales ventrales que ce soit en IRM ou en dissection, contre une absence de prédominance sur la hauteur du canal transversaire. Cet élément est en faveur, au niveau cervical, d'un drainage veineux allant des veines longitudinales ventrales vers les veines vertébrales. Par ailleurs, les dissections ont confirmé la sortie des veines vertébrales avec l'artère homonyme par le foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale, ce qui est discordant avec certaines descriptions (35) mais concordant avec d'autres (15;28;30;32). Enfin, cette étude montrait que les veines vertébrales recevaient les plexus veineux intrarachidiens issus du foramen transverse de la 7^{ème} vertèbre cervicale (*figure 31*).

Concernant la symétrie observée dans la disposition des éléments anatomiques, cette étude montrait une disposition relativement symétrique de la plupart des éléments. Cette symétrie est un point important de la description, car elle permet de se référer directement au côté controlatéral. Ainsi, cette étude montrait une symétrie de calibre entre le côté droit et le côté gauche pour les artères et les veines vertébrales dans la moitié des cas que ce soit en IRM ou en dissection. De la même manière, on notait une symétrie de calibre pour les veines

longitudinales ventrales dans près de la moitié des cas avec les deux techniques. On relevait une organisation symétrique pour la disposition plexiforme des veines vertébrales dans la plupart des cas, ainsi que pour la disposition segmentaire de ces veines à chaque niveau vertébral. On notait également une organisation symétrique de la disposition des veines longitudinales ventrales et de leurs anastomoses avec les veines vertébrales.

ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS EN FONCTION DES METHODES UTILISEES

Deux techniques différentes de dissection ont été décrites dans cette étude : l'injection-dissection, et l'injection-corrosion.

En injection-dissection, les injections étaient réalisées à l'aide de latex, puis une phase de congélation était nécessaire à la solidification de ce dernier. Cette phase de congélation abimait les tissus et notamment les tissus fragiles comme les veines. Par ailleurs, les injections n'étaient pas réalisées simultanément pour les artères et les veines, et un choix a dû être fait pour décider des premiers à injecter. Cette notion avait une importance particulière dans le cadre de cette étude. En effet, nous étudions des structures situées à l'intérieur d'un canal ostéo-fibreux, le canal transversaire, qui par définition n'est pas extensible. Si les artères étaient injectées en premier, du fait de la pression exercée au sein des vaisseaux par l'injection elle-même, et du fait de l'épaisseur de la paroi plus importante pour les artères que pour les veines (39), la place laissée aux veines aurait été artificiellement diminuée. A l'inverse, si les veines étaient injectées en premier, leur taille aurait pu être surévaluée par rapport à celle de l'artère. Dans le cas présent, nous étudions plus particulièrement le système veineux. Afin de maximiser les chances de le visualiser correctement, le choix avait été fait d'injecter d'abord les veines puis secondairement les artères. La technique d'injection-dissection avait comme avantage par rapport à l'injection-corrosion de conserver tous les repères anatomiques utiles à la description précise des éléments les uns par rapport aux autres. C'était le défaut principal de la technique d'injection-corrosion, qui pour mieux visualiser les éléments injectés éliminait les tissus environnants et donc les repères utiles à l'interprétation. Dans le cadre de cette étude, ce manque d'accès à l'anatomie a posé des difficultés pour se repérer et comparer notamment les niveaux vertébraux. Par ailleurs, les spécimens obtenus par « injection-corrosion » étaient d'une grande fragilité. Il s'agissait dans ce cas de pièces de musée bien

conservées mais qui pouvaient être cassées par endroit, limitant l'assurance d'une intégralité des données.

Pour ce qui était des données de l'histologie, elles apportaient à cette étude des éléments complémentaires sur l'organisation des veines au sein du canal transversaire. Cette étude en histologie a confirmé que les veines avaient une organisation plexiforme englobant l'artère. Il ne s'agissait pas d'une veine isolée courant à la partie latérale de l'artère, mais bien d'un plexus veineux qui enserrait l'artère sur toute sa longueur. A proximité de la sortie du canal transversaire, l'organisation changeait et on distinguait une veine vertébrale individualisée faisant suite au plexus. Enfin, les veines vertébrales n'avaient pas la même paroi à la partie haute du canal transversaire qu'à la partie basse. La paroi des veines à la partie haute ressemblait à une paroi de sinus comme en intracrânien, alors qu'à la partie basse ces parois se rapprochaient des parois classiques des veines. Ceci était un élément de plus sur l'organisation vraisemblablement crânio-caudale de ces veines.

Une des limites principales de cette étude histologique était l'altération des tissus par la phase de congélation/décongélation réalisée pour les injections. Une autre limite était l'injection de latex et d'ammoniaque qui altéraient l'endothélium des veines. De ce fait, certains blocs inclus pour l'analyse histologique n'ont pas pu être interprétés. De plus la présence de latex au sein de la lumière vasculaire rendait difficile la section des pièces au microtome, et avait rendu non analysable un des prélèvements.

Plusieurs techniques d'imagerie permettent d'explorer les vaisseaux. Historiquement, au milieu du siècle dernier, les premières imageries explorant les veines vertébrales étaient basées sur la phlébographie (41;42), technique qui n'est plus utilisée actuellement. La tomodensitométrie (TDM) avec injection de produit de contraste permet d'explorer de manière détaillée les éléments artériels dans le canal transversaire (7). L'exploration des éléments veineux et artériels dans le canal transversaire repose actuellement sur plusieurs techniques d'IRM. Les séquences d'angiographie par résonance magnétique (MRA) (6;22) sont utilisées pour explorer les suspicions de dissections de l'artère vertébrale. Toutefois, ces séquences montraient parfois des faux positifs liés à la présence des veines dans le canal transversaire, c'est pourquoi des séquences d'IRM haute résolution (IRM-HR) ont récemment été utilisées pour essayer d'y pallier (25). Nagarra et al. (25) montraient que les séquence d'IRM-HR permettaient de visualiser de façon précise les veines vertébrales dans le canal transversaire et d'autant plus en utilisant des antennes de surface (26). Par ailleurs, Miaux et

al. (24) montraient qu'en MRA, la présence des plexus vertébraux pouvait mimer un hématome intramural. Ainsi, d'autres séquences ont été utilisées pour explorer les veines spinales et intrarachidiennes comme celles basées sur le phénomène de susceptibilité magnétique. Ishizaka et al (14) avaient notamment utilisé cette technique pour explorer les veines spinales. Les séquences de susceptibilité magnétique ne permettaient pas de différencier le signal des artères de celui des veines (13). Ainsi ces séquences n'étaient pas utilisables dans cette étude ou veines et artères vertébrales sont intimement liées dans le canal transversaire. Provenzale et al. (33) proposaient une revue de la littérature sur les causes de faux positifs et de faux négatifs dans les dissections cervicales vertébrales et carotidiennes en TDM et en IRM, afin d'apporter une aide à l'interprétation de ces différentes techniques d'imagerie. Rodallec et al. proposaient de combiner les données des différentes méthodes d'imagerie, échographie, TDM et IRM dans le diagnostic de dissection vertébrale (34). En comparant angioTDM et angioIRM, Vertinsky et al. (45) montraient que la TMD permettait de mieux voir les dissections de l'artère vertébrale que l'IRM mais augmentait le nombre de faux positifs. Ils concluaient également que l'IRM avait l'avantage de permettre la recherche d'une complication cérébrale ischémique de façon concomitante.

Notre étude a été réalisée sur des sujets volontaires sains dans un but anatomique. Nous avons choisi une séquence d'IRM-HR ne nécessitant pas d'injection de produit de contraste : la veinographie par résonance magnétique (MRV). La MRV utilise une séquence en temps de vol basée sur le phénomène d'entrée de coupe (16). Ce phénomène est basé sur le fait que les tissus sont « stationnaires » alors que les vaisseaux circulent. Dans une coupe donnée à un temps « t » les protons qui composent les tissus stationnaires sont les mêmes qu'au temps « t-1 » alors que les protons situés à l'intérieur des vaisseaux sont différents du fait de leur déplacement par le flux sanguin. Ceci est d'autant plus vrai que les vaisseaux sont perpendiculaires au plan de coupe (16). Une des limites de cette technique était un artefact de flux lié à la présence du signal des veines jugulaires internes qui aurait pu gêner l'interprétation. Toutefois, les veines jugulaires internes étant située dans un plan plus ventral que le canal transversaire, l'analyse n'a pas été entravée. Enfin, le diamètre du canal transversaire étant de l'ordre du centimètre, l'utilisation d'une séquence en haute résolution avec une taille de voxel de 0.5mm était nécessaire à cette étude.

Les principaux résultats de cette étude, tous types de techniques utilisées confondus, ont montré qu'il existait une grande variabilité du système veineux au sein du canal transversaire. La variabilité de la disposition des veines dans l'ensemble du corps est une donnée connue

(32;35;40), et notamment en comparaison de la relative stabilité de la disposition des artères. Du fait de cette variabilité, il est impossible de proposer une disposition modale précise des veines vertébrales, mais on peut toutefois proposer une description générale qui sera nuancée de possibles variations. Ainsi, le système veineux disposé au sein du canal transversaire est organisé symétriquement de façon plexiforme, segmentaire et préférentiellement localisé de façon ventrolatérale à l'artère. Cette organisation plexiforme évolue, dans le sens crânio-caudal, vers une veine prédominante isolée sortant du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale. Ce système veineux présente des anastomoses segmentaires à chaque niveau vertébral avec les veines longitudinales ventrales.

COMPARAISON DES RESULTATS AUX DONNEES EMBRYOLOGIQUES ET ANATOMIQUES « CLASSIQUES »

Les données de l'embryologie apportent des éléments de compréhension sur le développement segmentaire des veines vertébrales qui était constaté dans cette étude. Les anastomoses qui existaient entre les veines vertébrales et les veines longitudinales ventrales, mais aussi celles entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche, avaient également une disposition segmentaire à chaque niveau vertébral. Les veines vertébrales présentaient des anastomoses longitudinales qui semblaient s'unir secondairement pour former le système veineux tel qu'on l'observe dans le canal transversaire.

La disposition plexiforme des veines vertébrales, confirmée par cette étude, est également en partie expliquée par l'embryologie du système veineux (30). Il apparaît que l'ensemble du système veineux encéphalique présente initialement une organisation plexiforme (29;30), de même que le plexus sub-occipital dont les veines vertébrales sont issues. Par ailleurs, Poirier (32) décrivait les veines longitudinales ventrales comme étant « sinusiennes au cou, demi-sinusiennes à la région dorsale et veineuses aux lombes et au sacrum ». Ces éléments de description suggéraient une organisation particulière du système veineux vertébral dans le sens cranio-caudal, et montraient l'importance de la connaissance de l'embryologie pour la compréhension de l'anatomie.

Les résultats de cette étude sont concordants avec certaines descriptions anatomiques et discordants avec d'autres. Les veines vertébrales auraient plutôt une organisation plexiforme

avec une veine à la sortie du canal transversaire, ce qui confirme la description de Walther (46) d'une veine toujours multiple avec un tronc unique à la partie inférieure, celle de Poirier (32) et Paturet (30) qui la décrivaient comme étant unique mais dédoublée par place, et celle de Gérard (11) qui décrivait plusieurs troncs entourant l'artère en plexus. Par contre, ce résultat va à l'encontre des descriptions Rouvière (35) et Testut (40) qui faisaient état d'une veine unique. Enfin, toutes les descriptions faisaient état d'une localisation latérale des veines par rapport à l'artère ce qui est également confirmé par notre étude.

COMPARAISON DES RESULTATS AUX DONNEES DE LA LITTERATURE

Dans la littérature récente, on relevait des études en dissections ne portant pas toujours spécifiquement sur l'anatomie des veines vertébrale mais apportant des éléments descriptifs sur celle-ci. Ainsi, Dubreuil et al. (5) rapportaient une étude en dissection réalisée au début du siècle dernier sur près de 100 spécimens montrant que dans de rares cas (3%) les vertèbres cervicales présentaient deux foramens plus ou moins distincts en lieu et place du canal transversaire. Ils décrivaient alors un canal veineux dans lequel passait une grosse veine vertébrale, ou plusieurs veines disposées en plexus, décrits comme étant fixés au périoste par des travées fibreuses. Ce canal veineux était situé en dehors du second canal dans lequel passait l'artère vertébrale accompagnée d'une petite veine et d'un nerf. Dans son exposé, Dubreuil faisait un parallèle en anatomie comparée avec d'autres mammifères (non précisé par l'auteur) pour lesquels le canal transversaire est systématiquement divisé par des lames osseuses. Parmi les spécimens de notre étude, aucun ne montrait cette disposition, qui reste rare mais intéressante dans le cadre de l'anatomie comparée. Dans une autre étude en dissection, datant du milieu du siècle dernier et portant sur quinze spécimens, Laux et al. (21) montraient qu'à l'ouverture du canal transversaire, on ne distinguait pas l'artère qui était enchâssée dans un étui fibreux qui occupait tout le canal osseux. L'ouverture de cette gaine fibreuse montrait que l'artère vertébrale était entourée d'une cavité aréolaire remplie de petits caillots. Laux décrivait un espace aréolaire périartériel dont les mailles étaient limitées par des tractus conjonctifs qui « rayonnaient de l'artère vers la gaine fibreuse ». Cette description était en accord avec les résultats de notre étude montrant un système veineux englobant l'artère vertébrale dans le canal. De la même manière, Chopard et al. (3) dans une étude en dissection

portant sur cinq spécimens, décrivaient le canal transversaire comme un « tunnel ostéo-fibreux tapissé d'une lame conjonctive en continuité avec le périoste, et faisant passage à l'artère entourée d'un plexus veineux ou accompagné de nombreuses veines ». Dans cette étude ils ne montraient aucun cas où une veine isolée accompagnait l'artère. Par contre, Lu et al. à l'issue de leurs dissections portant sur 21 spécimens, classaient les veines vertébrales en 3 types : présence d'une ou deux veines, d'un plexus, ou absence de veines (23). Ils décrivaient également les veines en position ventrolatérale ou ventromédiale indifféremment. Ces résultats sont discordants avec les nôtres, que ce soit sur la présence d'une veine unique dans le canal ou sur la position de celle-ci. L'étude de Palombi et al. (28) réalisée plus récemment sur six spécimens confirmait la description faite par Trolard d'un sinus vertébro-transversaire disposé en continuité avec le périoste du canal transversaire. Palombi et al. s'accordaient également avec les résultats de l'étude de Jovanovic et al. (15), portant sur 26 spécimens, qui confirmaient la sortie des veines vertébrales du foramen transverse de C6, et le drainage veineux des plexus intrarachidiens sortant du foramen transverse de C7 vers la veine vertébrale. Les résultats de notre étude sont concordants avec ceux de ces deux dernières. En effet, même si ce n'était pas le but initial de nos dissections, nous avons constaté que les veines vertébrales sortaient du foramen transverse de C6 et qu'une veine sortant de C7 venait s'y aboucher (*figure 31*), dans la plupart des cas. Enfin, Zhao et al. (47) dans une étude en imagerie par tomodensitométrie réalisée afin de préciser la taille et la localisation de l'artère dans le canal transversaire, ont montré que l'artère vertébrale était située médialement dans le canal. Ils décrivaient qu'elle n'occupe que la moitié de celui-ci, laissant une place autour d'elle vraisemblablement occupée par le système veineux qui n'était pas spécifiquement visualisé par ce type d'imagerie. Ces éléments sont là encore concordants avec les résultats de notre étude, l'artère étant placée médialement dans le canal et les veines latéralement à celle-ci.

En ce qui concerne les veines longitudinales ventrales et leurs anastomoses, Chaynes et al. (2) dans une étude en dissection portant sur les plexus veineux intrarachidiens de sept spécimens, montraient que les veines longitudinales ventrales étaient disposées à la partie ventrolatérale du canal vertébral par une ou deux veines. Ils montraient également que ces veines sont situées dans un dédoublement du feuillet superficiel du LLD, tout comme leurs anastomoses droite/gauche. Le feuillet superficiel était décrit accolé au périoste. Ces éléments de description sont en désaccord avec les constatations que nous avons faites en dissection sur deux cas, à savoir le passage des anastomoses droite/gauche des veines longitudinales

ventrales en position intradurale. Nathoo et al. (27) proposaient un article sur l'historique des plexus veineux vertébraux en général et des plexus intrarachidiens en particulier. Les veines longitudinales ventrales et leurs anastomoses y sont rapportées dans leurs premières descriptions il y a plusieurs siècles et dans les conceptions plus récentes où elles jouent un rôle fonctionnel majeur. En effet, le rôle des plexus veineux vertébraux dans la régulation de la pression intracrânienne, et notamment aux changements de position, est explicité, ainsi que leur rôle dans la dissémination des cellules cancéreuses pour les métastases vertébrales notamment au niveau sacro-lombaire (27). Zouaoui et al. (48) dans une étude sur les plexus veineux vertébraux cervicaux intra- et extrarachidiens, portant sur 50 spécimens, évoquaient leur rôle dans le drainage veineux de l'encéphale, du fait des nombreuses anastomoses existant avec le système veineux intracrânien.

En histologie, les études sont moins nombreuses. Quelques études en dissection citées précédemment ont toutefois réalisées des prélèvements en vue d'une analyse histologique, ce que nous avons également fait. Ainsi, Laux et al. (21) montraient un cloisonnement d'une veine primitive et non pas un système anastomotique de plusieurs veines. Ils décrivaient un lac veineux péri-artériel, qui n'avait pas l'aspect d'un plexus veineux, sinon chaque espace aurait eu une paroi veineuse propre (39), mais qui ressemblait à un sinus au centre duquel cheminait l'artère vertébrale. La conception de Trolard (28) d'un véritable sinus vertébro-transversaire est dans cette description tout à fait concordante et défendue par Laux. Chopard et al. (3) décrivaient quant à eux une lame conjonctive unissant l'artère vertébrale au périoste, et la présence d'une confluence de veines disposées en plexus autour de l'artère. Lu et al (23) qui ont réalisé des coupes histologiques sur les niveaux C4 C5 de plusieurs spécimens, observaient une structure veineuse autour de l'artère, et dans l'exemple qu'ils montraient en position ventrolatérale. Il n'y avait pas d'autres détails donnés dans les résultats histologiques. Enfin Palombi et al. (28) montraient, en accord avec Laux et al, que le système veineux dans le canal transversaire n'était pas le résultat de la confluence de plusieurs veines comme pour un plexus, mais qu'il s'agissait d'une organisation plus proche de celle d'un sinus veineux. Les résultats de notre étude histologique confirmaient l'absence de veine individualisable, et montraient la présence d'un réseau vasculaire péri-artériel circonférentiel à type de sinus veineux, constitué de multiples cavités, anfractueuses, anastomosées, à bordure endothéliale reposant directement sur le tissu fibreux de voisinage (39). Ces éléments sont en faveur de la conception du sinus veineux vertébro-transversaire.

APPORTS DE CETTE ETUDE

Cette étude avait pour avantage de s'appuyer sur des éléments descriptifs issus à la fois de dissections, de coupes histologiques et d'images en IRM-HR. Cela nous avait permis de confronter les résultats des différentes méthodes utilisées qui s'avéraient être tous concordants.

En pathologie, pour le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale et la notion de faux positifs liés à la présence de veines dans le canal transversaire, cette étude apporte des éléments intéressants. Les dissections de l'artère vertébrale sont une cause importante d'accident ischémique cérébelleux et du tronc cérébral, notamment chez l'adulte jeune. Les signes cliniques peuvent être discrets et le tableau classique, associant douleurs cervicales vives et signes neurologiques dans les suites d'un traumatisme du rachis cervical, n'est pas toujours retrouvé (4;18). Une fois le diagnostic de dissection de l'artère vertébrale établi, une anticoagulation au long cours doit être entreprise (8;37). Même s'il a été montré que cette anticoagulation est nécessaire en cas de diagnostic positif (37), on peut considérer que ce traitement est inutile et possiblement délétère en cas de faux positif. Ainsi ce diagnostic a une implication thérapeutique directe et la réduction du nombre de faux positifs est un enjeu majeur. C'est dans ce but qu'il nous a semblé utile que cette étude comporte un versant d'imagerie, afin de pouvoir proposer une comparaison anatomo-radiologique des données et apporter ainsi des éléments utiles à l'interprétation radiologique.

Pour les abords chirurgicaux du rachis cervical, notre étude avait un intérêt particulier car elle apportait une description anatomique précise des éléments veineux dans le canal transversaire mais aussi dans le canal vertébral. Lors d'un abord chirurgical par voie antérieure dans le cadre d'une uncoforaminotomie nécessaire à une libération radiculaire, le chirurgien est souvent confronté à un saignement veineux important lorsqu'il approche de la partie latérale du canal vertébral. Lu et al. (23) ont montré de façon précise en dissection que les veines vertébrales commençaient à la jonction avec les anastomoses avec les veines longitudinales ventrales. Ainsi lors de ces abords chirurgicaux, anatomiquement, on est d'abord confronté aux veines longitudinales ventrales puis, en allant en dehors vers le foramen intervertébral, à leurs anastomoses avec les veines vertébrales, avant d'arriver en avant et en dehors dans le canal transversaire au contact des plexus veineux englobant l'artère vertébrale. En effet, si un

saignement veineux peut être difficile à juguler, le risque principal est la lésion de l'artère vertébrale. Golfinos et al. (12) proposaient une revue de la littérature sur les lésions de l'artère vertébrale au cours des abords chirurgicaux du rachis cervical par voie antérieure. Ils montraient que ces lésions étaient rares mais potentiellement gravissimes, responsables de fistules artério-veineuses, de pseudoanévrismes, d'accidents ischémiques au niveau du cervelet et/ou du tronc cérébrale ou dans les cas plus grave encore, d'un décès du patient. Leur principale conclusion est la nécessité de garder en repère la ligne médiane tout au long de cette chirurgie. Burke et al. (1) dans une série rétrospective réalisée plus de dix ans après sur près de deux mille patients apportaient les mêmes conclusions. Peng et al. (31) réalisaient une revue de la littérature sur les lésions de l'artère vertébrale au cours des abords antérieurs et postérieurs du rachis cervical. En effet, suite au développement en traumatologie des techniques chirurgicales de vissage au niveau cervical, il a été constaté que dans de nombreux cas, la vis réalisait une effraction du canal transversaire sans pour autant entraîner de lésion de l'artère vertébrale. Ainsi, Zhao et al. (47) précisaient la taille et la localisation de l'artère dans le canal transversaire en TDM, montrant l'artère vertébrale située médialement dans le canal transversaire. Ils montraient que l'artère n'occupait en moyenne qu'environ 35% de celui-ci, laissant une place relative autour d'elle. Cette « place relative », qui correspondait à la place occupée par les veines vertébrales, expliquait que l'effraction du canal par une vis ne lésait pas de façon systématique l'artère. De la même manière, Russo et al (36) dans une étude en dissection, portant sur dix spécimens, réalisaient des mesures de la taille et de la position de l'artère vertébrale dans le canal transversaire, et confirmaient que l'artère était située médialement. Kawashima et al. (17) dans une étude en dissection, portant sur dix spécimens, proposaient une description précise de la position des artères, avec des mesures utiles en chirurgie par rapport à l'anatomie de voisinage, comme par exemple les muscles longs du cou pour les abords antérieurs.

Pour la connaissance de l'anatomie, cette étude apportait des éléments qui confirmaient les données d'un grand nombre de descriptions (3;11;15;21;28;30;32) et infirmaient les résultats de certaines autres (23;35;40). Nos résultats confirmaient que l'artère vertébrale était enchâssée dans un étui fibreux qui occupait tout le canal osseux (21), où elle était entourée d'une « cavité aréolaire » remplie de petits caillots, et que ce tunnel ostéo-fibreux était constitué d'une lame conjonctive et de collagène qui était en continuité avec le périoste (3), confirmant l'hypothèse de Trolard d'un sinus vertébro-transversaire (21;28). Le système veineux du canal transversaire avait donc une disposition sinusienne qui évoluait vers une

veine unique sortant du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale, en passant vraisemblablement par un stade plexiforme entre les deux. La variabilité de la disposition des veines d'une manière générale ne permettait pas de proposer une disposition modale des veines vertébrales qui soit applicable dans tous les cas.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de décrire l'organisation des veines vertébrales dans le canal transversaire. Cette organisation est principalement plexiforme, et il serait plus juste de nommer ces veines vertébrales : « plexus vertébral » voir « sinus vertébral ». Cette dénomination n'est pas adoptée dans les différentes nomenclatures (13;38), même si elle permettrait de mieux caractériser le système veineux dans le canal transversaire, qui avait déjà été décrit ou rapporté comme plexiforme dans certains anciens traités d'anatomie (11;40). On peut comprendre que si une telle dénomination était adoptée, elle serait source de confusion avec les « plexus vertébraux intra- et extrarachidien », qui sont eux dénommés comme tels dans la nomenclature. Le terme de « veine vertébrale » n'est parfaitement juste qu'après la sortie du foramen transverse de la 6^{ème} vertèbre cervicale. Pour le segment situé dans le canal transversaire, la dénomination de « plexus vertébro-transversaire » ou de « sinus vertébro-transversaire », tel que le décrivait Trolard (43), serait plus explicite et juste. Enfin, le choix entre la dénomination de « plexus » ou de « sinus » serait variable sur la hauteur du canal transversaire, avec une organisation plus volontiers sinusienne en haut, et plexiforme en bas, de la même façon que Poirier (32) l'exposait pour les veines longitudinales ventrales sur toute la hauteur du rachis.

Par ailleurs, il existe peu de travaux purement consacrés à l'étude des veines vertébrales, alors que la littérature sur l'artère vertébrale est très riche. Ce travail a permis de recueillir un grand nombre de descriptions différentes, qui souvent étudiaient principalement l'artère vertébrale et de façon accessoire les veines avoisinantes, et qui ne détaillaient pas toutes les mêmes éléments. L'ensemble de ces descriptions se recoupaient sur certains points, et ce travail de synthèse et de comparaison a permis de préciser l'organisation détaillée de ces veines. Il est impossible de proposer une disposition modale des veines vertébrales dans le canal transversaire et de leurs anastomoses, ce qui aurait simplifié la tâche du radiologue qui se trouve confronté à une suspicion radiologique de dissection de l'artère vertébrale. La description proposée dans ce travail doit pouvoir être utilisée dans ce sens, même si ce « modèle unique » n'existe pas.

ANNEXE 1

Etude anatomique des veines vertébrales dans les foramens transverses : organisation de C2 à C6 et anastomoses avec les veines longitudinales ventrales.

1. Description GÉNÉRALE des veines vertébrales dans le canal transversaire:

- **A droite**

- Pléxiforme
- Présence d'une veine prédominante
- Présence de 2 veines prédominantes

- **A gauche**

- Pléxiforme
- Présence d'une veine prédominante
- Présence de 2 veines prédominantes

Prédominance des veines : à droite à gauche pas de prédominance

2. Description DÉTAILLÉE des veines vertébrales dans le canal transversaire:

- **A droite**

- Si organisation plexiforme : prédominance d'une localisation privilégiée des plexus veineux au sein du canal transversaire ?

- antérieure postérieure médiale latérale
- pas de prédominance, répartition équilibrée

- Si organisation plexiforme au sein du canal transversaire: est elle segmentaire ?

- Oui Non

- Si Oui :

- à chaque niveau
- Seulement sur certains niveaux : C3 C4 C5 C6

- Si des veines sont individualisées dans le canal transversaire, quelle position prédominante ont-elles?

- antérieure postérieure médiale latérale

- **A gauche**

- Si organisation plexiforme : prédominance d'une localisation privilégiée des plexus veineux au sein du canal transversaire ?

- antérieure postérieure médiale latérale
- pas de prédominance, répartition équilibrée

- Si organisation plexiforme au sein du canal transversaire: est elle segmentaire ?

- Oui Non

- Si Oui :

- à chaque niveau
- Seulement sur certains niveaux : C3 C4 C5 C6

- Si des veines sont individualisées dans le canal transversaire, quelle position prédominante ont-elles?

- antérieure postérieure médiale latérale

3. Description des veines longitudinales ventrales :

- Existe-t-il **à droite** : une veine un plexus veineux
- Existe-t-il **à gauche** : une veine un plexus veineux
- Prédominance de la veine (ou du plexus) longitudinal ventral
 - droite gauche pas de prédominance
- Présence d'anastomoses ventrales entre les veines longitudinales ventrales droite et gauche : Oui Non
- Si Oui :
 - à chaque niveau
 - Seulement sur certains niveaux C3 C4 C5 C6

4. Anastomoses des veines vertébrales avec les veines longitudinales ventrales :

- **A droite**
 - Présence d'anastomoses ? Oui Non
 - Si oui : à chaque niveau
 - Seulement sur certains niveaux C3 C4 C5 C6
 - Prédominance de quelle veine ?
 - vertébrale longitudinale ventrale
 - Avant la sortie des veines vertébrales du foramen transverse en C6: quelle est la veine de plus gros calibre ?
 - vertébrale longitudinale ventrale
- **A gauche**
 - Présence d'anastomoses ? Oui Non
 - Si oui : à chaque niveau
 - Seulement sur certains niveaux : C3 C4 C5 C6
 - Prédominance de quelle veine ?
 - vertébrale longitudinale ventrale
 - Avant la sortie des veines vertébrales du foramen vertébral en C6: quelle est la veine de plus gros calibre ?
 - vertébrale longitudinale ventrale

5. Description de l'artère vertébrale segment V2

Prédominance : à droite à gauche Pas de prédominance

RÉFÉRENCES

1. Burke JP, Gerszten PC, Welch WC. Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery. *Spine J.* 2005;5(5):508-14.
2. Chaynes P, Verdier JC, Moscovici J, Zadeh J, Vaysse P, Becue J. Microsurgical anatomy of the internal vertebral venous plexuses. *Surg.Radiol.Anat.* 1998;20:47-51.
3. Chopard RP, Miranda Neto MH, Lucas GA, Chopard MR. The vertebral artery: its relationship with adjoining tissues in its course intra and inter transverse processes in man. *Rev.Paul Med.* 1992;110(6):245-50.
4. Debette S, Leys D. Cervical-artery dissections: predisposing factors, diagnosis, and outcome. *Lancet Neurol.* 2009;8(7):668-78.
5. Dubreuil-Chambardel L. Le canal veineux transversaire. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* 1907;5(8):52-7.
6. Dumas JL, Stanescu R, Goldlust D, Brugieres P. Vertebral vein imaging with MR angiography. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 1997;18(6):1190-2.
7. Eljovich L, Kazmi K, Gauvrit JY, Law M. The emerging role of multidetector row CT angiography in the diagnosis of cervical arterial dissection: preliminary study. *Neuroradiology* 2006;48(9):606-12.
8. Engelter ST, Brandt T, Debette S, Caso V, Lichy C, Pezzini A et al. Antiplatelets versus anticoagulation in cervical artery dissection. *Stroke* 2007;38(9):2605-11.
9. Federative Committee on Anatomical Terminology. *International Anatomical Terminology.* New York: Thieme; 1998.
10. Francois P, Travers N, Lescanne E, Arbeille B, Jan M, Velut S. The interperiosteodural concept applied to the perisellar compartment: a microanatomical and electron microscopic study. *J.Neurosurg.* 2010;113(5):1045-52.
11. Gérard G. *Manuel d'anatomie humaine.* Paris: Masson; 1921.
12. Golfinos JG, Dickman CA, Zabramski JM, Sonntag VK, Spetzler RF. Repair of vertebral artery injury during anterior cervical decompression. *Spine (Phila Pa 1976.)* 1994;19(22):2552-6.
13. Guntz M. *Nomenclature Anatomique Illustrée.* Paris: Masson; 1975.
14. Ishizaka K, Kudo K, Fujima N, Zaitzu Y, Yazu R, Tha KK et al. Detection of normal spinal veins by using susceptibility-weighted imaging. *J.Magn Reson.Imaging* 2010;31(1):32-8.
15. Jovanovic MS. A comparative study of the foramen transversarium of the sixth and seventh cervical vertebrae. *Surg.Radiol.Anat.* 1990;12(3):167-72.
16. Kastler B. *Imagerie du flux: Angiographie par résonance magnétique. Comprendre l'IRM.* Paris: Masson; 2006. p. 195-9.

17. Kawashima M, Tanriover N, Rhoton AL, Jr., Matsushima T. The transverse process, intertransverse space, and vertebral artery in anterior approaches to the lower cervical spine. *J.Neurosurg.* 2003;98(2 Suppl):188-94.
18. Kim YK, Schulman S. Cervical artery dissection: pathology, epidemiology and management. *Thromb.Res.* 2009;123(6):810-21.
19. Langman J, Sadler TW. *Langman's Medical Embryology.* 10ed. Baltimore: Lippincott,William and Wilkins; 2007.
20. Larsen WJ. *Human Embryology.* Elsevier Science; 2001.
21. Laux G, Guerrier Y, Paras C. Les veines vertébrales: Sinus vertébro-transversaire. *C.R.Association des Anatomistes 36ème réunion* 1949:416-8.
22. Leclerc X, Lucas C, Godefroy O, Nicol L, Moretti A, Leys D et al. Preliminary experience using contrast-enhanced MR angiography to assess vertebral artery structure for the follow-up of suspected dissection. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 1999;20(8):1482-90.
23. Lu J, Ebraheim NA, Ouyang J, Yeasting RA. Cervical venous structure in the inter-transverse and intra-transverse foraminal region: an anatomic study. *Am.J.Orthop.(Belle.Mead NJ)* 2000;29(3):196-8.
24. Miaux Y, Cognard C, Martin-Duverneuil N, Weill A, Savin D, Chiras J. Flow-related enhancement in the vertebral plexus mimicking an intramural hematoma. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 1996;17(1):191-2.
25. Naggara O, Louillet F, Touze E, Roy D, Leclerc X, Mas JL et al. Added value of high-resolution MR imaging in the diagnosis of vertebral artery dissection. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 2010;31(9):1707-12.
26. Naggara O, Oppenheim C, Toussaint JF, Calvet D, Touze E, Mas JL et al. Asymptomatic spontaneous acute vertebral artery dissection: diagnosis by high-resolution magnetic resonance images with a dedicated surface coil. *Eur.Radiol.* 2007;17(9):2434-5.
27. Nathoo N, Caris EC, Wiener JA, Mendel E. History of the vertebral venous plexus and the significant contributions of Breschet and Batson. *Neurosurgery* 2011;69:1007-14.
28. Palombi O, Fuentes S, Chaffanjon P, Passagia JG, Chirossel JP. Cervical venous organization in the transverse foramen. *Surg.Radiol.Anat.* 2006;28(1):66-70.
29. Pansky B. *Review of Medical Embryology.* New York: Macmillan publishing company; 1986.
30. Paturet G. *Traité d'anatomie humaine, appareil circulatoire (veines).* Paris: Masson; 1958.
31. Peng CW, Chou BT, Bendo JA, Spivak JM. Vertebral artery injury in cervical spine surgery: anatomical considerations, management, and preventive measures. *Spine J.* 2009;9(1):70-6.

32. Poirier P. *Traité d'anatomie humaine*. Paris: Masson; 1898.
33. Provenzale JM, Sarikaya B, Haccin-Bey L, Wintermark M. Causes of misinterpretation of cross-sectional imaging studies for dissection of the craniocervical arteries. *AJR Am.J.Roentgenol.* 2011;196(1):45-52.
34. Rodallec MH, Marteau V, Gerber S, Desmottes L, Zins M. Craniocervical arterial dissection: spectrum of imaging findings and differential diagnosis. *Radiographics* 2008;28(6):1711-28.
35. Rouvière H, Delmas A. *Anatomie humaine, Tête et cou*. Paris: Masson; 1978.
36. Russo VM, Graziano F, Peris-Celda M, Russo A, Ulm AJ. The V(2) segment of the vertebral artery: anatomical considerations and surgical implications. *J.Neurosurg.Spine* 2011;15(6):610-9.
37. Schwartz NE, Vertinsky AT, Hirsch KG, Albers GW. Clinical and radiographic natural history of cervical artery dissections. *J.Stroke Cerebrovasc.Dis.* 2009;18(6):416-23.
38. Sobotta J. *Atlas d'Anatomie Humaine*. Paris: Maloine; 1977.
39. Stevens A, Lowe J. *Histologie Humaine*. 2ed. De Boeck Université; 1998.
40. Testut L, Latarjet A. *Traité d'anatomie humaine, angéiologie - système nerveux central*. Paris: G. Doin & Cie; 1948.
41. Theron J, Djindjian R. Cervicovertebral phlebography using catheterization. A preliminary report. *Radiology* 1973;108(2):325-31.
42. Theron J, Moret J. *Cervical phlebography. Spinal phlebography*. Springer; 1978.
43. Trolard P. *Les sinus et les veines de la cavité rachidienne*. Alger 1892.
44. Tuchmann-Duplessis H. *Embryologie Travaux pratiques et enseignement dirigé*. 2ed. Paris: Masson; 1970.
45. Vertinsky AT, Schwartz NE, Fischbein NJ, Rosenberg J, Albers GW, Zaharchuk G. Comparison of multidetector CT angiography and MR imaging of cervical artery dissection. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 2008;29(9):1753-60.
46. Walther C. *Recherches anatomiques sur les veines du rachis*. Thèse de Doctorat.Paris 1885:60, (non consultable).
47. Zhao L, Xu R, Hu T, Ma W, Xia H, Wang G. Quantitative evaluation of the location of the vertebral artery in relation to the transverse foramen in the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976.)* 2008;33(4):373-8.
48. Zouaoui A, Hidden G. The cervical vertebral venous plexus, a drainage route for the brain. *Surg.Radiol.Anat.* 1989;11(1):79-80.