

Les nouveaux outils de dissection virtuelle pour l'étude anatomique du système vasculaire

New virtual dissection tools for the study of venous anatomy

Jean-François Uhl^{1, 2}, Sylvain Ordureau^{2, 3}, Vincent Delmas².

1. Centre de chirurgie des varices, 113 avenue Charles-de-Gaule, 92200 Neuilly.

2. Unité d'anatomie numérique - Biomédicale des Saints-Pères, Université Paris Descartes.

3. Société Usefulprogress, 45 rue des Saints Pères, 75006 Paris.:

Mots clés

- ◆ Anatomie
- ◆ reconstruction 3D
- ◆ dissection virtuelle

Résumé

L'objectif de ce travail est de montrer le rôle majeur joué par les nouveaux outils de l'imagerie médicale avec reconstruction tridimensionnelle dans le domaine vasculaire. Ces techniques viennent enrichir les méthodes classiques d'étude de l'anatomie (dissection, corrosion, plastination). La modélisation 3D par volume rendering direct est déjà entrée dans la pratique quotidienne pour l'investigation des patients. Elle servira de base à la morphométrie quantitative, outil majeur pour nos évaluations diagnostique, pronostique et thérapeutique. C'est aussi un bel outil pédagogique qui facilite la compréhension de l'anatomie vasculaire et permet de réaliser des dissections virtuelles.

Keywords

- ◆ Anatomy
- ◆ 3D reconstruction
- ◆ virtual dissection

Summary

The aim of this paper is to demonstrate the major role played by the new computerized imaging tools available today in the fields of morphology and vessel's anatomy. For anatomical studies or educational purpose, they enhance the classical techniques (dissection, corrosion, plastination). The 3D reconstruction by direct volume rendering, already used in daily clinical practice, will be the basis for computation of validated volumetric protocols enhancing our diagnosis, prognosis and therapeutic means. It is also a fantastic educational tool: the interactivity and virtual dissection makes it simple, efficient, attractive and easily understandable, particularly in the field of venous anatomy.

Bref historique de l'anatomie des vaisseaux

Si la découverte de l'existence des vaisseaux est très ancienne datant probablement de l'époque égyptienne, leur description précise peut être attribuée au médecin arabe Ibn al-Nafis (1250).

Puis, il faut attendre la renaissance avec André Vésale (1543) avec son fameux « *de motu cordis* » et Fabrice d'Acquapendente (1574). Le premier à donner une description anatomofonctionnelle des valvules veineuses est William Harvey en 1628.

Les outils disponibles pour étudier l'anatomie des vaisseaux

Les techniques traditionnelles pour étudier l'anatomie des vaisseaux

Dissection cadavérique

Les techniques traditionnelles sont dominées par la dissection cadavérique. C'est la technique de base pour apprendre l'anatomie (1). Adaptée à l'étude du système veineux, Claude Gillot a mis au point une méthode qui consiste à réaliser une segmentation colorée des veines du membre inférieur (2) :

Correspondance :

jf.uhl@wanadoo.fr



Figure 1 - Peinture du réseau veineux après injection au latex et dissection par Claude Gillot (méthode d'identification par segmentation colorée).

après injection de latex vert, puis dissection anatomique minutieuse et identification, on peint les veines (fig. 1) en utilisant différents codes de couleurs. Les coupes anatomiques et les schémas viennent compléter les photos et les dessins anatomiques qui suivent la dissection.

Plastination

Créée en 1977 par l'anatomiste Gunther von Hagens, la plastination est une technique visant à préserver des tissus biologiques en remplaçant les différents liquides organiques par du silicone.

Un exemple célèbre est celui du cavalier et de sa monture réalisé par Fragonard qui est visible au musée de l'école vétérinaire de Maisons-Alfort (fig. 2).

Corrosion

C'est une technique qui consiste à injecter un organe ou un système (vasculaire, bronchique, foie, tube digestif...) puis à corroder l'ensemble des tissus à l'acide concentré : il ne subsiste alors que le moule des structures que l'on a injecté (fig. 3).

Les nouveaux outils de l'anatomie numérique utilisant la réalité virtuelle (3-5)

L'utilisation en imagerie médicale de la réalité virtuelle rend possible, chez l'individu vivant, de véritables dissections virtuelles des structures anatomiques du corps humain : os, muscles, et vaisseaux.

Utilisant ces techniques, l'acquisition par phléboscaner hélicoïdal sans injection (6), ou plutôt avec injection de contraste dilué, permet de réaliser une reconstruction tridimensionnelle de l'anatomie du système veineux (7-9).

Grâce à des logiciels informatiques dédiés (Vitrea® [Vital Images], Voxar® de Barco.com et Volviz® sur plateforme Windows et Osirix® (10) sur plateforme OsX Apple), on peut aisément obtenir une modélisation 3D interactive des structures anatomiques, qui sont distinguées les unes des autres par leur densité.

Grâce à d'autres logiciels informatiques, et en particulier à Quicktime « virtual reality » d'Apple® (11), on peut faire varier la transparence des tissus et le point de vue (zoom, rotation), et ainsi réaliser une véritable dissection virtuelle du membre inférieur : c'est bel et bien une étude anatomique *live* du système veineux de la jambe et du pied en visualisant ses rapports avec les éléments osseux et les muscles.

Bien que ne fournissant aucune information hémodynamique,

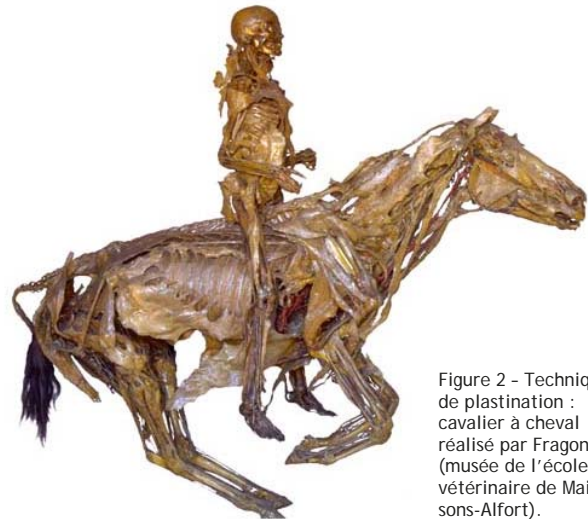


Figure 2 - Technique de plastination : cavalier à cheval réalisé par Fragonard (musée de l'école vétérinaire de Maisons-Alfort).

on conçoit l'intérêt majeur de telles techniques pour étudier les détails de l'anatomie.

Méthodes de reconstruction du modèle 3D

- La reconstruction 3D vectorielle, dite aussi surfacique (ou *surface rendering*), nécessite une segmentation manuelle, en général par seuillage de l'image. Elle utilise des logiciels spécifiques (Mimics, Analyse, Osirix). Le résultat de ce type de modélisation est un nuage de points, ensemble vectoriel qui décrit les contours des structures anatomiques, et qui permet de bâtir un maillage 3D de la structure anatomique étudiée.
- La reconstruction 3D volumique directe ou *volume rendering* (VRT) (12) utilise la technique dite du *ray-tracing des voxels* (fig. 4).
- Les logiciels de VRT disponibles sont légion, presque tous destinés à des radiologues et vendus par les constructeurs (GE, Siemens, Philips, Toshiba...). Leur avantage est la rapidité et la simplicité, automatisant la segmentation. Ils permettent aussi une utilisation plus complète des données d'acquisition.
- Par quelle technique informatique peut-on ainsi manipuler



Figure 3 - Technique de corrosion. Système vasculaire d'un fœtus humain (musée Delmas-Orfila-Rouvière, Paris Faculté de Médecine).

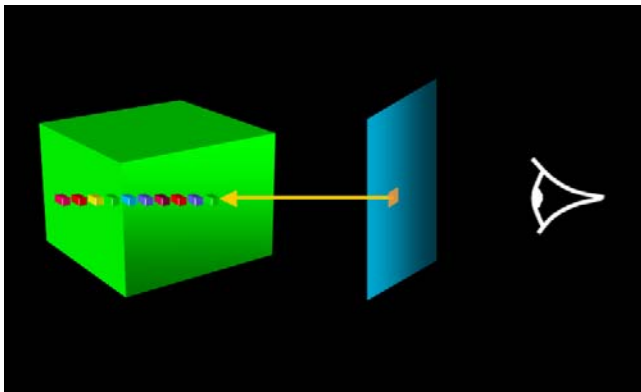


Figure 4 - Technique of the *voxel ray tracing*. Pour l'œil de l'observateur qui regarde l'écran, chaque point est la résultante (couleur, transparence) des projections de tous les voxels* traversés par le rayon lumineux.
*Voxel: (*volume element*) : petit cube élémentaire qui compose le volume d'acquisition.

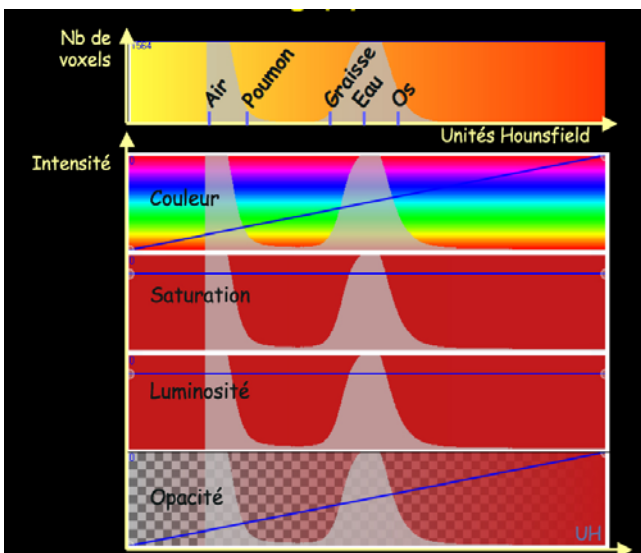


Figure 5 - Technique du seuillage (LUT) utilisée dans le *volume rendering direct* : mise en correspondance des niveaux d'opacité (unités Hounsfield) et des couleurs, saturation, luminosité, transparence.

les tissus et faire varier leur transparence ? C'est par la technique du seuillage, en mettant en correspondance les différentes densités des tissus avec une couleur, une transparence et une luminosité pour chaque voxel du modèle 3D reconstruit.

Considérons l'histogramme de répartition des voxels selon leur densité en unités Hounsfield (UH) d'un scanner avec injection (fig. 5 en haut à droite). Nous observons 2 pics de densité : à gauche celui de l'air, vers +1000 UH, à droite les tissus mous 0-200 UH. Les tissus plus denses 400-1000 correspondent à l'os et à l'injection de contraste.

La figure 6a montre le résultat du modèle avec « rendu cutané » ; la figure 6b montre le résultat du rendu en rendant la peau transparente, visualisant le plan musculaire et les veines superficielles ; la figure 6c montre seulement les tissus denses : os (coloré en blanc) et vaisseaux injectés (colorés en orange).

Visualisation et utilisation du modèle 3D

Quelle que soit la méthode de reconstruction, le résultat obtenu par cette modélisation 3D a pour objet, après plaquage de textures et éclairage, de permettre une visualisation inte-

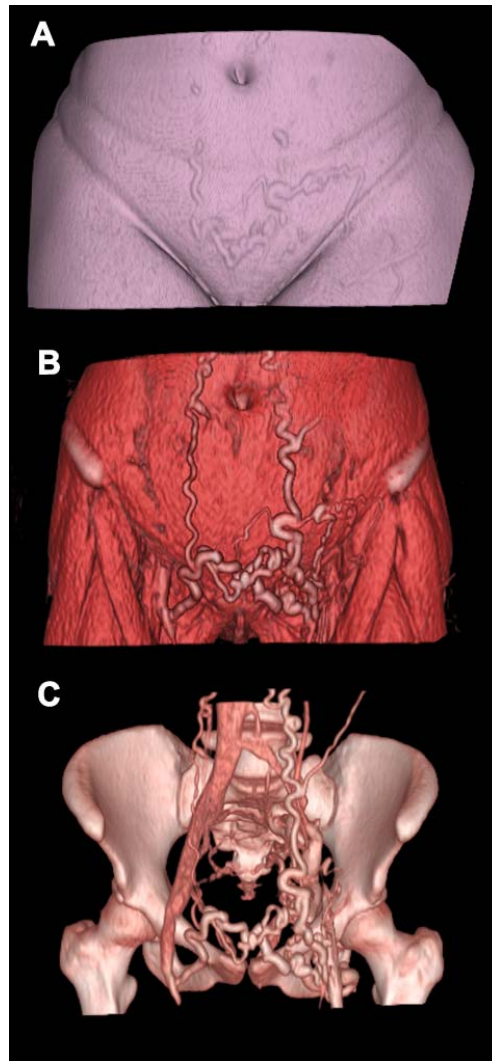


Figure 6 - Exemple de l'utilisation de la table des correspondances pour un phléboscaner pelvien.

ractive très réaliste des éléments anatomiques : rotation du modèle, zoom, angulations diverses et modifications de la transparence des tissus, ce qui réalise une véritable « dissection virtuelle anatomique ».

Ces nouvelles techniques d'imagerie utilisant la modélisation 3D des structures anatomiques sont d'un apport considérable en angiologie. À partir d'une acquisition par scanner hélicoïdal avec injection, des logiciels spécifiques permettent en effet une reconstruction tridimensionnelle très précise de l'anatomie vasculaire. Cela peut être utilisé aussi bien dans le domaine artériel que veineux, et permet une étude morphologique détaillée.

Ces techniques viennent dans certains cas compléter les informations anatomiques et hémodynamiques indispensables fournies par le Duplex couleur, qui reste l'exploration de référence au quotidien.

Principaux domaines d'application de ces nouveaux outils

Investigation des patients

Pour l'investigation des patients, la modélisation est utile en pathologie vasculaire pour le bilan préopératoire :

- en pathologie artérielle : bilan avant et après traitement

chirurgical ou endoluminal.

- en pathologie veineuse : bilan d'une varicose complexe ou récidivée, en particulier au niveau de la fosse poplitée, malformations vasculaires.

Dans tous ces cas, il est évidemment indispensable d'associer une investigation par duplex couleur qui fournit des informations hémodynamiques.

Enseignement de l'anatomie

La reconstruction 3D du système vasculaire est un outil pédagogique de première valeur, en particulier dans le domaine veineux, où la complexité et la variabilité anatomique sont la règle. C'est ici que les animations et les manipulations interactives du modèle 3D complétées par des promenades virtuelles sont d'une aide précieuse.

Recherche

La modélisation des structures anatomiques permet d'accéder à une étude morphométrique précise, à une quantification des volumes et ouvre la voie à des simulations thérapeutiques.

Exemples

Trois exemples cliniques utilisant le logiciel Volviz® sont illustrés par des vidéos :

- un contrôle postopératoire de stent aorto-bi-iliaque (vidéo1 : stentaorte) ;
- un bilan artériel pour impuissance (vidéo 2 pelvis) ;
- un phléboscaner explorant un syndrome post-thrombotique par occlusion de la veine iliaque externe gauche (Prufer_bleu)

Conclusion

Les progrès de l'informatique donnent aujourd'hui accès à de nouveaux outils de modélisation 3D des structures anatomiques du corps humain, en particulier pour l'étude de l'anatomie des vaisseaux.

Par la dissection virtuelle interactive et leur diffusion sur internet, elles constituent un outil pédagogique hors pair (13).

Par la modélisation 3D vectorielle, elles permettront de mieux quantifier les résultats de l'imagerie constituant un immense progrès pour le pronostic et la thérapeutique.

Dans un futur très proche, ces outils ouvrent la voie des simulations thérapeutiques et de la chirurgie assistée (14) ou du training préopératoire qui sera pour les jeunes chirurgiens (15) ce qu'est le simulateur de vol pour les apprentis pilotes.

Références

1. Gunderman RB, Wilson PK. Viewpoint: exploring the human interior: the roles of cadaver dissection and radiologic imaging in teaching anatomy. *Acad Med* 2005;80:745-9.
2. Gillot C. Atlas anatomique du réseau superficiel des membres inférieurs. Editions Phlébologiques Françaises (version CD-Rom interactive Uhl J.F Laboratoires Ganzoni).
3. Uhl JF. Intérêt de la réalité virtuelle en anatomie. *Actualités vasculaires Internationales* juin 1998; n° 62: 6-7.
4. Uhl JF, Plaisant O, Martin-Bouyer Y, Verdeille S. Virtual reality in anatomy: value and limitations. *Surg Radiol Anat* 1998;20:76.
5. Uhl JF, Plaisant O, Ami O, Delmas V. La modélisation tridimensionnelle en morphologie : méthodes, intérêt et résultats. *Morphologie*. 2006;90:5-20.
6. Caggiati A, Ricci S, Laghi A, Luccichenti G, Pavone P. Three-dimensional contrastless varicography by spiral computed tomography. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2001;21:374-6.
7. Uhl JF, Verdeille S, Martin-Bouyer Y. Three-dimensional spiral CT venography for the pre-operative assessment of varicose patients. *Vasa* 2003;32:91-4.
8. Uhl JF, Verdeille S, Martin-Bouyer Y. Springer Verlag Ed pavone, Debatin Pre-operative assessment of varicose patients by veno-CT with 3D reconstruction. 3rd International workshop on multislice CT 3D imaging; 2003. p. 51-53.
9. Uhl JF, Caggiati A. 3D evaluation of the venous system in varicose limbs by multidetector spiral CT. Multidetector row CT angiography. Springer Catalano C, Passariello R. (Eds.) 2005:199-206.
10. Rosset A, Spadola L, Ratib O. OsiriX: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images. *Journal of Digital Imaging* 2004;17:205-16. <http://homepage.mac.com/rossetantoine/osirix/Index2.html>
11. Nieder GL, Scott JN, Anderson MD. Using QuickTime virtual reality objects in computer-assisted instruction of gross anatomy: Yorick-the VR Skull. *Clin Anat* 2000;13:287-93.
12. Upton C, Keeler M. Visible volume rendering. *Computer Graphics* 1988;22:59-65.
13. Temkin B, Acosta E, Malvankar A, Vaidyanath S. An interactive three-dimensional virtual body structures system for anatomical training over the internet. *Clin Anat* 2006;19:267-74.
14. Marescaux J, Rubino F. Telesurgery, telementoring, virtual surgery, and telerobotics. *Curr Urol Rep* 2003;4:109-13.
15. Seymour NE, Gallagher AG, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double blinded study. *Ann Surg* 2002;236:458-63.

Video nommée stentaorto

Video 1 - Contrôle postopératoire de stent aorto-bi-iliaque.

Video nommée pelvis

Video 2 - Bilan artériel pour impuissance.

Video nommée Prufer_bleu

Video 3 - Phléboscaner explorant un syndrome post-thrombotique par occlusion de la veine iliaque externe gauche.