

Un modèle cadavérique humain revascularisé pulsatile et ventilé, adaptatif pour la simulation chirurgicale, testé en chirurgie coelioscopique bariatrique, en chirurgie cardio-thoracique et par l'EFPMO

Adaptive Dynamic Perfused and Ventilated Fresh Human Cadaver Model for Surgical Simulation

JP Richer [1,2], C Brèque [1,3], PO Delpech [4], D Oriot [1,5], DA Ghazali [1], Danion [1,2], JP Faure [1,2]

1. ABS Lab (Laboratoire d'Anatomie, Biomécanique et Simulation) - Faculté de Médecine et de Pharmacie - Université de Poitiers - 6, rue de la Milétrie - BP 199 - 86034 Poitiers Cedex - France.

2. Service de Chirurgie viscérale et endocrinienne - CHU de Poitiers - Université de Poitiers - 2, rue de la Milétrie - BP 577 - 86021 - Poitiers Cedex.

3. Institut Prime UPR 3346 - Université de Poitiers.

4. Service d'urologie - CHU de Poitiers - Université de Poitiers - 2, rue de la Milétrie - BP 577 - 86021 Poitiers Cedex.

5. Service de pédiatrie - CHU de Poitiers - Université de Poitiers - 2, rue de la Milétrie - BP 577 - 86021 Poitiers Cedex.

Mots clés

- ◆ Anatomie
- ◆ Simulation chirurgicale
- ◆ Don du corps
- ◆ Enseignement
- ◆ Recherche

Résumé

L'acquisition d'un savoir-faire est indispensable pour devenir chirurgien, de la même façon que l'on doit devenir compétent pour être pilote d'avion. Le modèle du compagnonnage selon Halsted « je vois, je fais, j'enseigne » n'est pas actuellement acceptable en raison de la demande et de la sécurité du patient, des contraintes socio-économiques, de la diminution du temps de travail des internes et de la réduction du temps dévolu à l'apprentissage des internes et des jeunes chirurgiens. Dans tous les pays, cela conduit à recourir à la pédagogie par simulation pour la formation des internes en chirurgie. De nombreux modèles sont disponibles : simulateur informatique, animal ou cadavre humain... La dissection cadavérique humaine est depuis longtemps utilisée pour enseigner l'anatomie chirurgicale. La chirurgie sur modèle cadavérique humain apporte le plus de fidélité pour le caractère haptique des procédures chirurgicales. L'apprentissage dans un contexte approprié et réaliste de simulation augmente le niveau d'acquisition des compétences de l'interne et diminue son stress et son anxiété. Nous présentons une technique de perfusion et de ventilation d'un cadavre humain frais qui restaure la circulation pulsatile et les mouvements respiratoires du modèle.

Keywords

- ◆ Anatomy
- ◆ Surgical simulation
- ◆ Body donation
- ◆ Teaching
- ◆ Research

Abstract

The acquisition of skill is necessary to become a surgeon, in the same manner that one acquires the skill to become a pilot. The model of Halsted "see one, do one, teach one" is not actually acceptable because of patient security and preference, increased financial pressure, limitation of resident work hours and time restraints of training young surgeons and residents. In all the country, these findings result in the need for supplemental education with surgical simulation. Many models may be used: computed-based simulators, animals and human cadaver... Human cadaveric dissection is used as a major tool in learning surgical anatomy. Human cadaveric surgery offers the highest fidelity in haptic experience for surgical procedure. Learning experience within the appropriate and realistic simulated context improves the skill and decrease resident stress and anxiety. We present a perfusion and ventilation technique that restores pulsatile blood flow and pressure, respiratory movements in a fresh human cadaveric model.

Jusqu'à maintenant l'apprentissage du geste chirurgical se fait sous le regard des « seniors » en partie au laboratoire d'anatomie sur sujet anatomiques (dissections anatomiques, voies d'abord) (1). Mais, le futur chirurgien est surtout formé et encadré au chevet du patient et au bloc opératoire sur le principe du compagnonnage (2,3).

Les contraintes actuelles socio-économiques, l'évolution du nombre et du statut des internes, les modifications des procédures et des techniques chirurgicales avec l'avènement de la vidéoscopie et de la robotique, l'amplification de la pression

médico-légale sur le monde chirurgical imposent actuellement de repenser la formation pratique (apprentissage) des chirurgiens au niveau national et international (4-7).

Or Dale a bien démontré que la meilleure modalité d'apprentissage est celle où les apprenants sont actifs et participatifs, moteurs et facilitateurs de leur propre formation (8).

Dans cet esprit, la pédagogie par simulation s'est donc imposée comme un outil essentiel dans la formation de toutes les professions à risque et par conséquent dans les professions de la santé (9). Ainsi, l'évolution de la formation pratique par la

Correspondance :

Jean-Pierre Richer, Service de chirurgie viscérale et digestive - Hôpital Jean Bernard - CHU Poitiers - 350, avenue Jacques Cœur BP 577 - 86021 Poitiers Cedex.

Tel : +33 (0) 5 49 44 43 21 / E-mail : Jean-Pierre.RICHER@chu-poitiers.fr

Disponible en ligne sur www.academie-chirurgie.fr

1634-0647 - © 2016 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

DOI : 10.14607/emem.2016.1.058

simulation dans les métiers de la santé, en particulier dans le monde chirurgical, outil pédagogique et outil d'évaluation précisant les « objectifs à atteindre », et non les « objectifs à enseigner », modifie les méthodes et les techniques de la formation pratique médicale, chirurgicale et paramédicale, à partir de l'expérience dans d'autres professions telles que dans l'aéronautique (10). L'objectif de cette méthode pédagogique par simulation est de « savoir-faire » et de « savoir-être », en définitif l'acquisition de compétences techniques et comportementales, pour des formations et des évaluations qui peuvent être aussi bien individuelles qu'en équipes pluridisciplinaires et multi-professionnelles (11). Dans la représentation pyramidale à quatre niveaux des programmes de formation, selon Donald Kirkpatrick, le premier niveau (réaction) explore le ressenti des étudiants, perception et satisfaction, notamment en ce qui concerne le réalisme du modèle utilisé pour la séance de simulation (12).

En chirurgie, différents modèles en simulation sont utilisés pour des procédures techniques complexes : les simulateurs par réalité virtuelle ou par réalité augmentée (13), le petit ou surtout le gros animal (14), le sujet anatomique humain ou cadavre humain (15,16)... Le modèle cadavérique humain, objet de notre recherche, est très proche de la réalité clinique et apparait ainsi l'un des plus adaptés à la formation chirurgicale technique (1,17). Pour être encore plus proche de la réalité du bloc opératoire, le sujet anatomique humain doit faire l'objet d'une revascularisation et d'une ventilation, être pertinent en chirurgie ouverte ou en vidéoscopie. Depuis la première réalisation technique d'un corps circulant en 2001 par Garrett, la littérature internationale reste très pauvre en de telles innovations (18). De plus les modèles proposés ne sont pas capables d'adaptation hémodynamiques ou ventilatoires, ni dans le cadre du scénario proposé ni en raison d'événements accidentels pouvant survenir pendant la séance de simulation.

Sur le plan historique, l'installation d'une partie des activités de biomécanique de la Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées et d'une activité de simulation médicale en 2009 au sein des locaux du Laboratoire d'Anatomie devait modifier progressivement le fonctionnement et les orientations du Laboratoire d'Anatomie et du Centre de Don du Corps (CDC) de Poitiers qui développait déjà des formations sur corps humain notamment dans le domaine chirurgical. D'autant que l'école de chirurgie était officiellement transférée en 2013 dans les locaux de ce laboratoire. Le développement d'un modèle cadavérique humain notamment pour la formation chirurgicale pratique devenait évident au sein d'un nouveau Laboratoire d'Anatomie-Biomécanique-Simulation (ABS Lab). Une **autorisation de l'ARS pour la recherche biomédicale** était délivrée pour l'ABS Lab, après évaluation du laboratoire et du dossier, le 28 janvier 2013 pour une durée de cinq ans.

L'objectif de ce travail collaboratif est de présenter un modèle de cadavre humain revascularisé pulsatile et ventilé adaptatif, mis au point au Laboratoire d'anatomie, biomécanique et simulation de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de l'Université de Poitiers et de son expertise en 2015 en terme de réalisme par l'Ecole Francophone de Prélèvement Multi-organe (EFPMO), par le groupe HUGO Grand Ouest des chirurgiens cardio-thoraciques pour la chirurgie ouverte et par les chirurgiens de l'obésité de la région Poitou-Charentes pour la chirurgie vidéoscopique. Ce modèle a été pensé et sera présenté ici dans le cadre de son intérêt pour la formation technique des futurs chirurgiens. Mais il peut être utilisé pour la formation en équipes pluridisciplinaires et multi-professionnelles, pour le développement d'habiletés comportementales. Il n'existe pas à notre connaissance de modèle apparenté sur le territoire nationale, européen et les quelques publications internationales sur le sujet rapportent des modèles de corps ou parties de corps revascularisés peu capables d'adaptation aux événements simulés.

Matériel et méthodes

Matériel

Le modèle associe un corps provenant d'un don du corps à la science, corps reçu au Centre de Don du Corps (CDC) de l'Université de Poitiers, préparé dans la perspective d'un scénario chirurgical en simulation, et un module externe de commande hémodynamique et respiratoire (module sujet du dépôt INPI de demande de brevet 2/11/2015 n°1 560488, n° soumission 1 000318748), module technique qui est adapté alors au corps le jour de la séance de formation par la pédagogie en simulation. Ce modèle peut être soumis à plusieurs scénarii en situation de bloc opératoire, pour le chirurgien et/ou son équipe.

Dix corps issus du CDC de l'Université de Poitiers ont été nécessaires à la mise au point initiale du modèle. Puis 21 corps préparés selon le principe initialement défini et adaptés au module technique ont été utilisés en situation de formation pratique pour des internes en chirurgie pour finaliser la partie technique et évaluer son réalisme.

Méthodes

Le cahier des charges concernant la réalisation de notre modèle cadavérique humain comportait quatre volets :

- Des impératifs techniques **hiérarchisés** pour le corps et le **module technique**
 - revascularisation du tronc (membres possibles) ;
 - revascularisation artérielle pulsatile ;
 - turgescence veineuse (retour veineux) ;
 - ventilation : mouvements de la cage thoracique et du diaphragme ;
 - coloration et température réalistes des organes ;
 - liquide de perfusion mimant le sang.
- Des capacités d'adaptation (en cours de réalisation avec l'aide de la région Poitou-Charentes) :
 - selon le scénario chirurgical ;
 - selon les événements indésirables au cours de la séance.
- Des capacités pédagogiques :
 - en chirurgie « ouverte » ;
 - en laparoscopie.
- Un coût contrôlé minimisé : utilisable par CDC, Ecoles de Chirurgie (chapitre non traité dans ce mémoire).

Enfin, le modèle devait être réaliste sur le plan de l'anatomie chirurgicale mais surtout par rapport à l'exercice chirurgical en simulation de bloc opératoire. Le modèle devait donc être testé en situation de formation pratique en condition de simulation.

Le modèle (et le concept) a été évalué de façon globale pour son réalisme sur des échelles de Likert de 1 à 10 (degrés de satisfaction progressive), chaque degré étant côté 1 point, sur des opérations de 4 heures, par :

- l'Ecole francophone de Prélèvement Multi-organe (prélèvements abdominaux et thoracique) : 4 séniors, 16 internes en formation ;
- les chirurgiens cardio-thoraciques du groupe Hugo Grand-Ouest (remplacement valvulaire aortique) : 4 séniors, 12 internes en formation ;
- des chirurgiens séniors de la Région Poitou-Charentes spécialisés en chirurgie de l'obésité par voie laparoscopique (sleeve et résection colique gauche) : 10 séniors.

Résultats

Le modèle

Arrivée du corps

Après vérifications des contraintes de conservation (classiquement moins de 24h après le décès), de l'identité du donateur et de la présence des documents administratifs et lé-

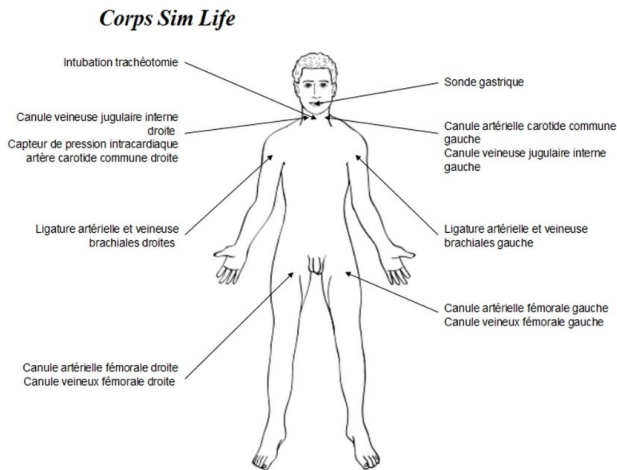


Figure 1. Schéma de mise en place des accès vasculaires et de l'intubation ou trachéotomie.



Figure 2. Canules vasculaires fémorales.



Figure 3. Canules vasculaires cervicales.

gaux inhérents au Don du Corps, des prélèvements virologiques sont pratiqués pour confirmer la sécurité sanitaire du corps, même si le dossier du donateur comporte déjà par définition des documents médico-légaux affirmant sa non contagiosité. Une ponction du sang intracardiaque permet une analyse immunosérologique virale ; virus de l'hépatite virale B et de l'hépatite C, virus de l'immunodéficience humaine (HIV) et Human T-cell Lymphotropic virus (HTLV I et II) Un cahier de Laboratoire est tenu. La négativité des tests autorisera l'utilisation des corps dans tous les protocoles du CDC, notamment l'orientation du corps vers une utilisation SimLife. Le corps devient anonyme, une traçabilité est cependant systématiquement organisée.

Une sélection des corps destinés à intégrer le protocole est réalisée. Sont éliminés les corps porteurs de cicatrices abdominales ou thoraciques non compatibles avec les scénarii chirurgicaux envisagés, les corps ayant subi des nécroses importantes, porteurs de risques infectieux évidents ou notés sur les données recueillies concernant le décès.

Préparation du corps

Plusieurs canules et un capteur sont donc positionnés (Fig 1), par plusieurs incisions bilatérales (cervicales, fémorales et brachiales), au niveau artériel et veineux :

- Dans les deux trigones fémoraux (artères et veines fémorales), les canules étant orientées soit à contre-courant vers la bifurcation aortique, soit dans le sens du courant veineux vers la convergence cave (Fig 2).
- Dans les deux gaines vasculaires du cou (artères carotides communes et veines jugulaires internes), les canules artérielles à contre-courant et veineuse dans le sens du flux sanguin étant orientées vers le cœur, un capteur de pression intracardiaque se substituant à la canule dans l'artère carotide droite et étant positionné soit dans les cavités cardiaques gauches soit dans l'arc aortique (Fig 3).
- L'extrémité céphalique et les extrémités des quatre membres sont exclues par ligature des axes vasculaires en aval des canules artérielles en amont des canules veineuses, au niveau cervical bilatéral d'une part, au niveau brachial et fémoral bilatéral d'autre part.

Cette exclusion distale et périphérique permet de contrôler de façon optimale le réseau vasculaire du tronc (thorax ou abdomen). Mais la position des canules et des ligatures peut être revue pour autoriser le cas échéant la revascularisation d'un membre.

Le réseau vasculaire du tronc est « lavé » du sang natif et des thrombus à l'eau, à faible pression (0,4 Bar), les premiers 2 litres d'abord à 20° avec de l'héparine (50 000 UI), puis 2 litres à 37° Celsius de façon antérograde par les canules artérielles mises en place selon le protocole (Fig 1). Le liquide est recueilli par les accès veineux. Quelques mobilisations et compressions du thorax et de l'abdomen favorise l'élimination des caillots. Le corps est en fin de procédure congelé à -20°C.

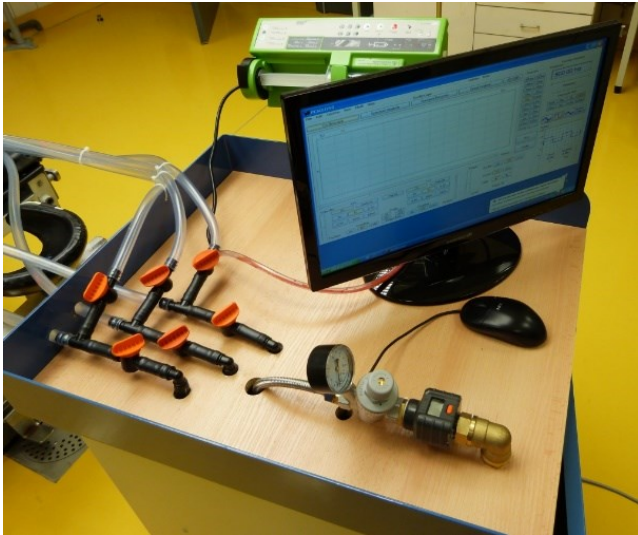
Le corps est intubé, mais ce geste est difficile sur un cadavre humain en raison de la rigidité et une trachéotomie peut se substituer à l'intubation trachéale notamment après décongélation. Une sonde naso-gastrique est mise en place pour évacuer le liquide de diffusion intragastrique lors du lavage vasculaire inaugural ou lors de l'utilisation du corps en simulation.

Utilisation en simulation

Le corps sera sur 3 jours décongelé en fonction de sa morphologie (taille/poids...) et du scénario envisagé. Des abaques à ce sujet sont en cours d'élaboration.

Les canules sont alors reliées à l'extérieur du corps à un module technique à l'aide de tuyaux de 10 mm de diamètre Les schémas du modules (hydraulique, électrique et pneumatique) sont présentés dans les figures Fig 4 et Fig 5.

Les entrées artérielles permettent de maintenir une colonne de pression dans le système artériel : eau du robinet à 37°C et colorant rouge branché en dérivation à l'aide d'une pompe. L'association d'une solution saline à 9% (30 ml/litre d'eau)



Figures 4 et 5. Module technique.

diminue l'œdème et les épanchements séreux. Des électrovannes sur les entrées artérielles assurent la dimension pulsatile de cette colonne de liquide, mimant ainsi pour le chirurgien les battements cardiaques transmis aux vaisseaux. Ces électrovannes fonctionnent de façon synchrone à l'aide actuellement d'un générateur basse fréquence (GBF à signal carré qui peut être réglé en fréquence et en pourcentage de période : électrovanne ouverte/électrovanne fermée, valve solénoïde) qui doit être remplacé par les instructions d'un ordinateur (logiciel en cours d'élaboration depuis décembre 2015).

Le passage du sang simulé dans les organes redonne à ceux-ci une recoloration, une température et une texture réalistes. L'absence de battement du cœur ne pose pas de problème pour la chirurgie cardiaque puisque celle-ci est réalisée en clinique humaine sous cardioplégie froide et CEC dans les scénarii proposés.

Le liquide perfusé par une ou plusieurs des canules artérielles, selon la perméabilité des axes vasculaires et le scénario envisagé, simule le sang en couleur, température (texture et viscosité en cours de recherche). Ce liquide de simulation emprunte le réseau artériel dans le sens anatomique et fonctionnel clas-

sique, gagne les viscères, les revascularise par les capillaires et revient vers les canules veineuses en suivant, là, le sens physiologique du sang (Fig 6 et 7). Il est alors éliminé du corps. Le corps est « utilisé » à environ 20°C en salle d'opération, température favorable à la compliance pulmonaire.

Le système respiratoire est branché sur un distributeur pneumatique (une soupape) qui correspond à une électrovanne commandée par un GBF (générateur basse fréquence à signal carré) pour obtenir des mouvements de la cage thoracique qui peuvent comme dans la réalité gêner l'exercice chirurgical. En inspiration simulée, de l'air est injecté sous la pression de 2 bars dans le système respiratoire fermé ; en expiration simulée, le système au repos s'ouvre vers l'extérieur pour évacuer l'air des poumons par l'intermédiaire d'un filtre biologique. Les alvéoles sont très fragiles, la compliance thoracique limitée, les pressions d'insufflation doivent être bien contrôlées.

Adaptations aux scénarii du modèle

La fréquence et le débit dans les vaisseaux et les mouvements respiratoires sont déterminés au début du scénario mais peuvent être adaptés par le module externe de commande méca-



Figure 6. Jet artériel pariétal (laparotomie).

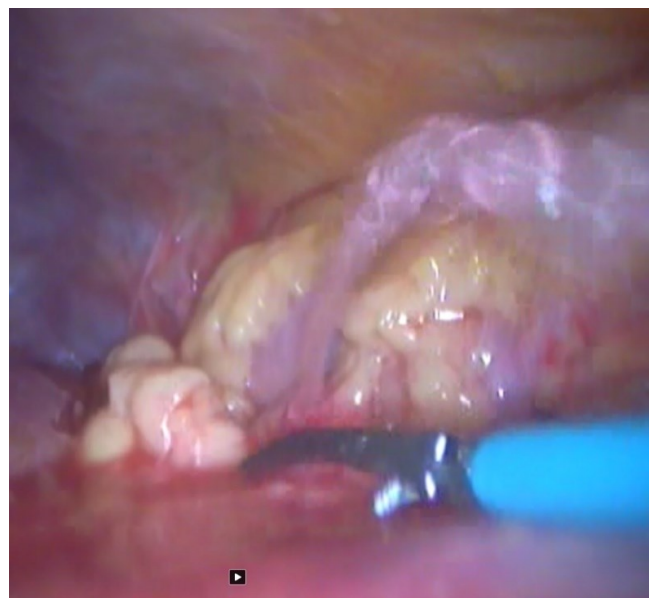


Figure 7. Jet artériel rénal (cœlioscopie).

nique, de façon manuelle actuellement, mais l'évolution du modèle doit s'effectuer vers une adaptation automatique et informatique. Ainsi, les événements vasculaires survenant pendant la procédure simulée sont dépités par le capteur de pression mis en place dans la carotide droite vers l'arc aortique et le débit du liquide injecté dans les canules artérielles. Ces événements peuvent être souhaités (par l'enseignant) dans les scénarii et donc programmés ou de survenue accidentelle (plaie vasculaire malencontreuse d'un interne). Dans les deux cas une réponse automatique du modèle est recherchée en termes de fréquence cardiaque, pression artérielle, fréquence respiratoire, affichage des données simulées sur moniteur d'anesthésie. La conception de plusieurs modèles de réponse du corps peut être modélisée.

Réalisme du modèle

Pour l'EFPMO (École Francophone de Prélèvement Multi-Organe) et les chirurgiens de l'obésité, le score moyen est de 8,3 sur l'échelle de Likert de 1 à 10, degrés de satisfaction croissante.

Pour les chirurgiens cardio-thoraciques, le réalisme obtient un score moyen de 9.

Discussion

Pour les Académies Nationales de Médecine et de Chirurgie en France, la formation des internes de chirurgie reposait, en 2005, sur trois piliers (19) :

- Un enseignement théorique à la Faculté ou par des cours de DESC
- Un apprentissage au sein des laboratoires (d'anatomie, de chirurgie expérimentale sur l'animal, de simulation)
- Un enseignement pratique clinique (au bloc opératoire et au chevet du patient)

Si la formation théorique notamment grâce au e-learning ne pose aucun problème, jusqu'à maintenant, la formation pratique des internes en chirurgie en France se fait selon le modèle du compagnonnage dans les services et au bloc opératoire. Ce modèle du compagnonnage chirurgical repose sur des principes définis au XIXe siècle par William Halsted (responsable pédagogique à la Faculté de Médecine de Colombia Baltimore - USA) et par Théodore Billroth (chirurgien allemand) (20).

Cependant, le traditionnel : « je vois », « je fais sous le contrôle d'un senior » puis « je fais en autonomie totale » sur le patient est de moins en moins applicable et accepté pour la formation pratique (21). En effet ce type de formation par compagnonnage a l'inconvénient d'être chronophage pour l'enseignant et l'établissement hospitalier soumis à des contraintes économiques (tarification à l'activité T2A), et de moins en moins accepté par les patients : « jamais sur le patient la première fois » (sans compter les conséquences médico-légales) (22).

C'est pourquoi, des recommandations nationales concernant l'utilisation de la pédagogie par simulation pour la formation pratique médicale ont été énoncées :

- Rapport de Mission. Etat de l'Art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. HAS janvier 2012 (22) ;
- Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé. HAS décembre 2012 (23) ;
- Instruction DGOS/PF2 n° 2013-383 du 19 novembre 2013 ;
- Stratégie Nationale de Santé, feuille de route BO Santé Protection Sociale Solidarité n° 2013/12 du 15 janvier 2014) : « jamais sur le patient la première fois » ;
- La sécurité des soins : circulaire DGOS/PF4 n° 2013-105 du 18 mars 2013 ;
- La réforme des études médicales (arrêté du 8 avril 2013 relatif au régime des études en vue du premier et du deuxième cycle des études médicales) qui intègre de fait la simulation dans les modalités de validation du certificat de compétence clinique.

Ainsi, compte tenu des contraintes de rentabilité de plus en plus importantes des blocs opératoires, de l'augmentation du nombre d'internes par rapport à la stabilité du nombre d'enseignants et de la réduction du temps de présence hospitalière des internes, les internes en chirurgie doivent avoir une formation chirurgicale technique « préclinique » en dehors du bloc opératoire (fortement suggérée par la réforme pédagogique de l'internat). Cette formation doit être structurée et obligatoire. Elle doit intégrer plusieurs méthodes de simulation, que ce soit sur simulateurs électroniques ou synthétiques, sur modèle animal ou humain (9). Les règles de l'apprentissage par simulation doivent être respectées (prérequis-briefing-scénario-débriefing et recommandations) grâce à l'encadrement par des chirurgiens seniors disponibles et formés à cette nouvelle pédagogie (9). Plus encore dans l'apprentissage des gestes en chirurgie, la fidélité du modèle à la réalité est essentielle au transfert des habiletés gestuelles et à leur rétention technique et psychologique par le jeune chirurgien en formation (24,25).

Le patient standardisé et le patient simulé, les jeux de rôles ont l'ambition de développer des compétences en matière de communication avec le patient, des habiletés relationnelles et d'analyser le raisonnement diagnostique de l'apprenant et sont éloignés de l'objet de notre recherche sur un modèle d'apprentissage technique de gestes chirurgicaux (9,26). Les mannequins, simulateurs de patients, basse ou haute-fidélité (matériel informatique et mécanique), et la simulation hybride peuvent être utilisés dans l'apprentissage de la séméiologie, des soins et d'un geste spécifique stéréotypé et simple, de conduite diagnostique et d'habileté comportementale. Mais malgré parfois leur réalisme anatomique externe et physiologique ils ne sont pas adaptés à l'apprentissage de gestes techniques intracorporels hiérarchisés en chirurgie générale ou de spécialité dans des scénarii complexes (9).

Les simulateurs de réalité virtuelle et/ou de réalité augmentée, évolution notable des simulateurs procéduraux, montrent pour certains leur efficacité pour la formation chirurgicale par vidéoscopie (27,28). Mais ils sont coûteux à l'achat et à la maintenance, de qualité visuelle inégale pour des scénarii souvent stéréotypés, sans rétroaction haptique pour certains appareils et souvent utilisés sans débriefing (29). Des simulateurs de chirurgie robotique sont déjà installés dans de nombreuses écoles de chirurgie en France, comme à Nancy et Strasbourg, et imposent que le jeune chirurgien se déplace pour des séminaires dans ces centres de référence (21).

Le modèle animal est principalement destiné à la chirurgie expérimentale et aux travaux de recherche fondamentale. Il a cependant été utilisé comme modèle pédagogique pour la formation chirurgicale (29). Son utilisation est soumise à une réglementation très stricte et nécessite une infrastructure coûteuse et adaptée. Il est abandonné comme modèle pédagogique dans les pays anglo-saxons pour des raisons éthiques et de sécurité sanitaire (30).

Les sujets anatomiques ou cadavres humains constituent le modèle historique pour la formation pratique en chirurgie ou en médecine interventionnelle (31). En effet, le cadavre humain frais ou embaumé est utilisé depuis plusieurs siècles comme outil d'apprentissage de l'anatomie clinique (32,33). Il constitue également pour beaucoup une source de réflexion éthique et d'analyse émotionnelle et psychologique des étudiants dans la formation comportementale médico-chirurgicale (34,35).

Les corps proviennent depuis la deuxième moitié du XXème siècle (années 1960) du don du Corps à la Science (36). La loi (ancienne) du 15 novembre 1887 concernant le choix des funérailles, toujours en vigueur, précise que tout homme peut régler de son vivant les modalités de ses funérailles, disposer de son corps en précisant sa destinée ; le don du corps à la science constituant une des possibilités (36).

Toutes les Universités ont donc créé un Centre de Don du Corps (CDC) à la Science, souvent rattaché à l'École de Chirurgie, parfois au laboratoire de simulation. En effet, le modèle cadavérique humain garde même en simulation une place importante qu'il avait prise de façon historique dans la formation du

futur chirurgien au laboratoire d'anatomie/Centre de Don du Corps (37,38).

Le Centre de Don du Corps de l'Université de Poitiers a déposé en 2008 un dossier au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation, Département Santé) et au Comité de Protection des Personnes « Ouest III » - ARS, dossier enregistré sous le n° DC-2008-137. Le CDC de l'Université de Poitiers a été accrédité pour les travaux pédagogiques et la recherche sur cadavres humains.

Le modèle cadavérique humain constitue dans les programmes de formation chirurgicale un modèle de haute-fidélité pour l'expérience haptique des procédures chirurgicales en raison du réalisme anatomique et tissulaire (39,40).

Deux grands types de mode de conservation de sujets anatomiques humains sont possibles ; corps embaumé selon différentes méthodes (formolé, Thiel...) et corps frais ou frais congelé (9,41). Les cadavres conservés à l'aide concentrations élevées mais variables de formaldéhyde sont en théorie protégés de la putréfaction et des risques biologiques pour un coût modeste. Cependant il existe des inconvénients car le formol engendre des modifications tissulaires surtout à haute concentration et une rigidité cadavérique accrue, et surtout expose les utilisateurs aux conséquences du formol sur le développement de certains cancers notamment ORL (42). La méthode de conservation de Walter Thiel du département d'anatomie de Graz en Autriche associe une perfusion artérielle d'une solution très allégée (< 0,6%) en formol et contenant beaucoup de sels et une immersion du corps dans un bain du même liquide à moindre concentration afin de favoriser l'imprégnation (43).

Les corps frais (éventuellement congelés puis décongelés) sont utilisés très rarement par les étudiants en Médecine (44) Ils sont plus classiquement réservés aux internes et chirurgiens, sur un mode « statique » non revascularisé (45). La littérature décrit peu de modèles cadavériques humains frais revascularisés en quelque sorte « dynamiques ». Garrett HE, un pionnier, ne revascularise que le réseau artériel, soit du tronc par l'aorte thoracique soit d'un membre par une artère proximale selon un système en boucle qui isole le réseau artériel concerné (18). Pour Arbatli H, le corps subit une sterno-laparotomie donnant accès à l'aorte thoraco-abdominale qui sera exclue et revascularisé isolément pour des formations en chirurgie vasculaire. Une prothèse en dacron branchée sur l'aorte permet l'accès vasculaire pour des techniques endovasculaires (46). D'autres auteurs réalisent à la fois un accès artériel, mais aussi veineux, fémoral autorisant de façon synchrone et parallèle une colonne pulsatile de liquides de couleurs différentes mimant le sang artériel et le sang veineux, tels les modèles de Vargas S. et Carey JN (47,48). Aboud E et ses collègues développent un modèle de revascularisation cervico-céphalique artériel et veineux, associé à un drainage de liquide cérébro-spinal, destiné à l'apprentissage de techniques neurochirurgicales (49). La même équipe élargie l'application de son modèle à l'ensemble du corps par la mise en place d'une canule dans une grosse artère reliée à une pompe extracorporelle. Un cathéter de gros calibre est également introduit dans la veine fémorale. La réalisation d'un flux artério-veineux est assuré par la réalisation d'un shunt artério-veineux soit au niveau de gros vaisseaux soit au niveau distal (50).

Conclusions

Il n'existe en Europe aucun modèle cadavérique humain revascularisé pulsatile à notre connaissance utilisable « à ciel ouvert » ou en vidéoscopie. De plus, aucun des modèles précédemment décrits n'est capable d'adaptation des pressions dans les vaisseaux et de la fréquence des pulsations en fonction du scénario ou de façon « réflexe » aux événements indésirables survenant au cours du scénario. Enfin l'association d'une ventilation respiratoire, délicate à contrôler (rupture des alvéoles en surpressions et défaut de compliance thoracique), à notre modèle, ajoute au réalisme en « gênant » les gestes chirurgi-

caux abdominaux. A l'ère de l'évolution souhaitée de notre modèle d'apprentissage, ce concept de cadavre humain « dynamique » et hautement réaliste constitue un outil formidable en simulation chirurgicale qui doit trouver sa place à côté d'autres méthodes pédagogiques.

Discussion en séance

Commentaire de JL Ribardière

Il souligne que l'expérience reste indispensable dans le cadre de la simulation

Réponse

Les directives nationales sont claires « jamais sur le patient la première fois ». Cela signifie qu'une partie de la formation pratique de l'interne ne doit pas se faire sur le patient, surtout au début de son apprentissage. Il faut donc définir d'autres méthodes de formation pratique préclinique parmi lesquelles la pédagogie par simulation avec sa méthodologie prend une place importante. Mais les formateurs qui construisent et qui encadrent ces séances et ces scénarios en simulation sont les séniors spécialistes de la pathologie, idéalement formés à la pédagogie par simulation. De plus, il y aura bien une première fois sur un patient au bloc encadré par un séniore mais par un jeune chirurgien qui aura déjà eu un apprentissage gestuel et en équipe en simulation avec un raccourcissement de sa courbe d'apprentissage et une amélioration de ses compétences (« savoir-faire et savoir être »). La simulation n'est pas exclusive et substitutive (JP Richer). Actuellement le compagnonnage pour l'EFPMO existe, mais l'apprentissage en simulation permet de gagner du temps sur la formation de l'interne et d'augmenter les connaissances et compétences de l'interne avant l'approche du patient (B Barrou).

Question de J Barbier

Que va devenir le soutien de la région avec le redécoupage régional ?

Réponse

Jusqu'à la fin 2015, la région Poitou-Charentes est intégrée à la grande région Hugo du grand-Ouest et nos hyper-spécialités poitevines en simulation notamment en chirurgie sont connues par le groupe Hugo-Copil en charge du recensement des activités des centres de simulation, d'autant que je suis membre de cette commission. Par ailleurs, une réunion s'est tenue en novembre 2015 dans les locaux de l'ARS de Bordeaux. Il a été évoqué l'évolution au niveau de la nouvelle région (Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes) de la simulation et des Centres de simulation, de leurs compétences respectives. J'ai constitué pour l'Université de Poitiers un dossier complet sur la simulation en particulier en chirurgie avec cette innovation sur le corps revascularisé pulsatile et ventilé. Ce dossier a été adressé par l'intermédiaire de l'ARS Poitou-Charentes 2015 qui doit disparaître dans sa forme actuelle en 2016 et pris en compte par la future ARS bordelaise de notre nouvelle grande région. Une inauguration de notre nouveau centre de simulation est programmée pour janvier 2016 avec la présence d'une représentation de la nouvelle ARS. Une simulation chirurgicale sur modèle cadavérique humain revascularisé et ventilé est prévue.

Références

1. Ghosh SK. Human cadaveric dissection: a historical account from ancient Greece to the modern era. *Anat Cell Biol* 2015;48:153-69.
2. Kron B. La formation du chirurgien au troisième millénaire et la filiarisation de l'internat. Quel avenir et quelles conséquences pour la prise en charge des urgences ? *E-Mem Acad Natle Chir* 2010;10(3):17-21.
3. Barbier J. Cent cinquante ans de chirurgie viscérale. *E-Mem Acad Natle Chir* 2003;2(1): 226-35.
4. Gauci MO. Chirurgie en 2025 : Quelle formation et quel avenir pour les jeunes chirurgiens. *E-Mem Acad Natle Chir* 2015;14(3):11-3.
5. Regenbogen SE, Greenberg CC, Studdert DM, Lipsitz SR, Zinner MJ, Gawande AA. Patterns of technical error among surgical mal-

- practice claims: an analysis of strategy to prevent injury to surgical patients. *Ann Surg* 2007;246:705-11.
6. Bridges M, Diamond DL. The financial impact of teaching surgical residents in the operative room; *Am J Surg* 1999;177:28-32.
 7. Chung RS, Ahmed N. The impact of minimally invasive surgery on residents' open operative experience: analysis of two decades of national data. *Ann Surg* 2010;251:205-12.
 8. Dale E. *Audio-visual method in teaching*, 3rd ed. Holt, Rinehart & Winston, New York 1969:108.
 9. Boet S, Granry JC, Savoldelli G. *La simulation en santé. De la théorie à la pratique*. Springer-Verlag ed. Paris. 2013, 442 pages.
 10. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, Erwin PJ, Hamstra SJ. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis *JAMA* 2011;306:978-88.
 11. Gaba DM. The future vision of simulation in healthcare. *Simul Healthc*. 2007;2:126-35.
 12. Kirkpatrick DL, Kirkpatrick JD. *Evaluating training programs: the four levels* (3rd ed.), San Francisco CA, Berrett Koehler Publishers 2006.
 13. Stefanidis D, Scerbo MW, Montero PN, Acker CE, Smith WD. Simulator training to automaticity leads to improve skill transfer compared with traditional proficiency-based training: a randomized controlled trial. *Ann Surg* 2012;255:30-7.
 14. Jacobs LM, Lorenzo C, Brautigam RT. Definitive surgical trauma care live porcine session: a technique for training in trauma surgery. *Conn Med* 2001;65:265-8.
 15. Sutherland LM, Middleton PF, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, Maddern GJ. Surgical simulation: a systematic review. *Ann Surg* 2006;243:291-300.
 16. Leblanc F, Champagne BJ, Augestad KM, Neary PC, Senagore AJ, Ellis CN, Delaney CP. A comparison of human cadaver and augmented reality simulator models for straight laparoscopic colorectal skills acquisition training. *J Am Coll Surg* 2010;211:250-5.
 17. Older J. Anatomy: a must for teaching the next generation. *Surgeon* 2004;2:79-90.
 18. Garrett HE. A human cadaveric circulation model. *J Vasc Surg* 2001;33:1128-30.
 19. Hollander L. Surgery in France. Recommendations of the National Academics of Medicine and Surgery. *Bull Acad Natle Med* 2005;189:1289-303.
 20. Carter BN. The fruition of Halsted's concept of surgical training *Surgery* 1952;32:518-27.
 21. Hubert J, Perrenot C, Trand N, Felblingere J, Perez M. Simulation chirurgicale (dv-trainer) et formation chirurgicale robotique. *E-Mem Acad Natle Chir.* 2012;11(1):80-4.
 22. Granry JC, Moll MC. Rapport de Mission. Etat de l'Art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. Dans le cadre du développement professionnel continu (DPC) et de la prévention des risques associés aux soins. Saint-Denis La Plaine ; HAS ; 2012.
 23. Haute Autorité de Santé. Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé. Evaluation et amélioration des pratiques. Saint-Denis La Plaine ; HAS ; 2012.
 24. Tsuda S, Scott D, Doyle J, Jones DB. Surgical skills training and simulation. *Curr Probl Surg* 2009;46:271-370.
 25. Norman G, Dore K, Grierson L. The minimal relationship between simulation fidelity and transfer of learning. *Med Educ* 2012;46:636-47.
 26. Adamo G. Simulated and standardized patients in OCSEs: achievements and challenges 1992-2003. *Med Teach* 2003;25:262-70.
 27. Palter VN, Grantcharov TP. Virtual reality in surgical skills training. *Surg Clin North Am* 2010;90:605-17.
 28. Diesen DL, Erhunmwunsee L, Bennett KM, Ben-David K, Yurcisin B et al. Effectiveness of laparoscopic computer simulator versus usage of box trainer for endoscopic surgery training of novices. *J Surg Educ* 2011;68:282-9.
 29. Varas J, Mejia R, Riquelme A, Maluenda F, Buckel E et al. Significant transfer of surgical skills obtained with an advanced laparoscopic training program to laparoscopic jejunostomy in a live porcine model : feasibility of learning advanced laparoscopy in a general surgery residency. *Surgical endoscopy* 2012;26:3486-94.
 30. Tan SS, Sarker SK. Simulation in surgery: a review. *Scot Med J* 2011;56:104-9.
 31. Aziz MA, McKenzie JC, Wilson JS, Cowie RJ, Ayeni SA, Dunn BK. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec* 2002;269:20-32.
 32. Magee R. Art macabre: resurrectionists and anatomists. *ANZ J Surg* 2001;71:377-80.
 33. Garment A, Lederer S, Rogers N, Boulton L. Let the dead teach the living: the rise of body bequeathal in 20th-century America. *Acad Med* 2007;82:1000-5.
 34. Tseng WT, Lin YP. « Detached concern » of medical students in a cadaver dissection course: a phenomenological study *Anat Sci Educ* 2015 (sous presse).
 35. Rizzolo LJ. Human dissection: an approach to interweaving the traditional and humanistic goals of medical education. *Anat Rec* 2002;269:242-8.
 36. Delmas V Le don du corps à la science. *Bull Acad Natle Med* 2001;185:849-56.
 37. Saltarelli AJ, Roseth CJ, Saltarelli WA. Human cadavers Vs. multimedia simulation: a study of student learning in anatomy. *Anat Sci Educ* 2014;7:331-9.
 38. Bergman EM, de Bruin AB, Herrler A, Verheijen IW, Scherpbier AJ, van der Vleuten CP. Students' perceptions of anatomy across the undergraduate problem-based learning medical curriculum: a phenomenographical study. *BMC Med Educ* 2013;13:152.
 39. Nematollahi S, Kaplan SJ, Knapp CM, Ho H, Alvarado J, Viscusi R, Adamas-Rappaport W. Introduction of a fresh cadaver laboratory during the surgery clerkship improves emergency technical skills. *Am J Surg* 2015;210:401-3.
 40. Holland JP, Waugh L, Horgan A, Paleri V, Deehan DJ. Cadaveric hands-on training for surgical specialties: is this back to the future for surgical skills development? *J Surg Educ* 2011;68:110-6.
 41. Benkharaz M. *Le cadavre in Boet S, Granry JC, Savoldelli G. La simulation en santé. De la théorie à la pratique*. Springer-Verlag ed, Paris, France, 2013:75-80.
 42. Hauptmann M, Lubin JH, Stewart PA, Hayes RB, Blair A. Mortality from solid cancers among workers in formaldehyde industries. *Am J Epidemiol* 2004;159:1117-30.
 43. Thiel W. The preservation of the whole corpse with natural color. *Ann Anat* 1992;174:185-95.
 44. Nutt J, Mehdian R, Parkin I, Dent J, Kellet C. Cadaveric surgery: a novel approach to teaching clinical anatomy. *Clin Teach* 2012;9:148-51.
 45. Mitchell EL, Sevdalis N, Arora S, Azarbal AF, Liem TK, Landry GJ, Moneta GL. A fresh cadaver laboratory to conceptualize troublesome anatomic relationships in vascular surgery. *J Vasc Surg* 2012;55:1187-95.
 46. Arbatli H, Cikirikcioglu M, Pektok E, Walpoh BH, Fasel J, Kalangos A, Bruszewski W, Numan F. Dynamic human cadaver model for testing the feasibility of new endovascular techniques and tools. *Ann Vasc Surg* 2010;24:419-22.
 47. Carey JN, Minneti M, Leland HA, Demetriades D, Talving P. Perfused fresh cadavers: method for application to surgical simulation. *Am J Surg* 2015;210:179-87.
 48. Varga S, Smith J, Minneti M, Carey J, Zakaluzny S, Noguchi T, Demetriades D, Talving P. Central venous catheterization using a perfused human cadaveric model: application to surgical education. *J Surg Educ* 2015;72:28-32.
 49. Aboud E, Al-Mefty O, Yasargil MG. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. *J neurosurgical* 2002;97:1367-72.
 50. Aboud E, Krist AF, O'Keefe T et al. Novel simulation for training trauma surgeons. *J Trauma* 2011;71:1484-90.