



Département de Médecine Générale

ANNÉE 2015

THESE
POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(décret n° 2004-67 du 16 janvier 2004)

Présentée et soutenue publiquement
Le Mardi 8 Septembre 2015 à Poitiers

par Madame Mélody MOYA

Comparaison des courbes d'apprentissage chez une population d'internes et de séniors d'une procédure de ponction lombaire (PL) écho-repérée sur modèle de rachis.

COMPOSITION DU JURY

- Président : Monsieur le Professeur Olivier MIMOZ

- Membres : Monsieur le Professeur Jean-Pierre FAURE
Monsieur le Docteur Jérôme ROUMY

- Directeurs de thèse : Monsieur le Docteur Ghislain RICHARD
Monsieur le Docteur Thomas KERFORNE



Département de Médecine Générale

ANNÉE 2015

THESE
POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
(décret n° 2004-67 du 16 janvier 2004)

présentée et soutenue publiquement
le Mardi 8 Septembre 2015 à Poitiers

par Madame Mélody MOYA

Comparaison des courbes d'apprentissage chez une population d'internes et de séniors d'une procédure de ponction lombaire (PL) écho-repérée sur modèle de rachis.

COMPOSITION DU JURY

- Président : Monsieur le Professeur Olivier MIMOZ

- Membres : Monsieur le Professeur Jean-Pierre FAURE
Monsieur le Docteur Jérôme ROUMY

- Directeurs de thèse : Monsieur le Docteur Ghislain RICHARD
Monsieur le Docteur Thomas KERFORNE



Le Doyen,

Année universitaire 2015 - 2016

LISTE DES ENSEIGNANTS DE MEDECINE

Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers

- AGIUS Gérard, bactériologie-virologie (**surnombre jusqu'en 08/2018**)
- ALLAL Joseph, thérapeutique
- BATAILLE Benoît, neurochirurgie
- BRIDOUX Frank, néphrologie
- BURUCOA Christophe, bactériologie – virologie
- CARRETIER Michel, chirurgie générale
- CHEZE-LE REST Catherine, biophysique et médecine nucléaire
- CHRISTIAENS Luc, cardiologie
- CORBI Pierre, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- DEBAENE Bertrand, anesthésiologie réanimation
- DEBIAIS Françoise, rhumatologie
- DROUOT Xavier, physiologie
- DUFOUR Xavier, Oto-Rhino-Laryngologie
- EUGENE Michel, physiologie (**surnombre jusqu'en 08/2016**)
- FAURE Jean-Pierre, anatomie
- FRITEL Xavier, gynécologie-obstétrique
- GAYET Louis-Etienne, chirurgie orthopédique et traumatologique
- GICQUEL Ludovic, pédopsychiatrie
- GILBERT Brigitte, génétique
- GOMBERT Jean-Marc, immunologie
- GOUJON Jean-Michel, anatomie et cytologie pathologiques
- GUILHOT-GAUDEFFROY François, hématologie et transfusion
- GUILLET Gérard, dermatologie
- GUILLEVIN Rémy, radiologie et imagerie médicale
- HADJADJ Samy, endocrinologie et maladies métaboliques
- HAUET Thierry, biochimie et biologie moléculaire
- HERPIN Daniel, cardiologie
- HOUETO Jean-Luc, neurologie
- INGRAND Pierre, biostatistiques, informatique médicale
- JAAFARI Nematollah, psychiatrie d'adultes
- JABER Mohamed, cytologie et histologie
- JAYLE Christophe, chirurgie thoracique t cardio-vasculaire
- KARAYAN-TAPON Lucie, cancérologie
- KEMOUN Gilles, médecine physique et réadaptation (**en détachement**)
- KITZIS Alain, biologie cellulaire
- KRAIMPS Jean-Louis, chirurgie générale
- LECRON Jean-Claude, biochimie et biologie moléculaire
- LELEU Xavier, hématologie
- LEVARD Guillaume, chirurgie infantile
- LEVEQUE Nicolas, bactériologie-virologie
- LEVEZIEL Nicolas, ophtalmologie
- LEVILLAIN Pierre, anatomie et cytologie pathologiques (**surnombre jusqu'en 08/2018**)
- MACCHI Laurent, hématologie
- MARECHAUD Richard, médecine interne
- MAUCO Gérard, biochimie et biologie moléculaire
- MEURICE Jean-Claude, pneumologie
- MIGEOT Virginie, santé publique
- MILLOT Frédéric, pédiatrie, oncologie pédiatrique
- MIMOZ Olivier, anesthésiologie – réanimation
- NEAU Jean-Philippe, neurologie
- ORIOT Denis, pédiatrie
- PACCALIN Marc, gériatrie
- PAQUEREAU Joël, physiologie (**jusqu'au 31/10/2015**)
- PERAULT Marie-Christine, pharmacologie clinique
- PERDRISOT Rémy, biophysique et médecine nucléaire
- PIERRE Fabrice, gynécologie et obstétrique
- POURRAT Olivier, médecine interne (**surnombre jusqu'en 08/2018**)
- PRIES Pierre, chirurgie orthopédique et traumatologique
- RICCO Jean-Baptiste, chirurgie vasculaire
- RICHER Jean-Pierre, anatomie
- RIGOARD Philippe, neurochirurgie
- ROBERT René, réanimation
- ROBLOT France, maladies infectieuses, maladies tropicales
- ROBLOT Pascal, médecine interne
- RODIER Marie-Hélène, parasitologie et mycologie
- SENON Jean-Louis, psychiatrie d'adultes (**surnombre jusqu'en 08/2017**)
- SILVAIN Christine, hépato-gastro- entérologie
- SOLAU-GERVAIS Elisabeth, rhumatologie
- TASU Jean-Pierre, radiologie et imagerie médicale
- THIERRY Antoine, néphrologie
- THILLE Arnaud, réanimation
- TOUGERON David, gastro-entérologie
- TOURANI Jean-Marc, cancérologie
- WAGER Michel, neurochirurgie

« C'est ce que nous pensons déjà connaître qui nous empêche souvent d'apprendre. »

Claude Bernard

Remerciements

A Monsieur le Professeur Olivier Mimos,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse,

Pour m'avoir permis de travailler dans votre service où j'ai appris

Rigueur et calme même lorsque les situations ne le sont pas

Et que la bonne ambiance n'empêche jamais un travail sérieux

Soyez assuré de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Jean-Pierre Faure,

Pour l'honneur que vous me faites de participer à mon jury de thèse,

Soyez assuré de ma gratitude.

A Monsieur le Docteur Jérôme Roumy,

Pour avoir accepté de juger ce travail,

Pour vous déplacer à Poitiers,

Soyez assuré de mes remerciements les plus sincères

A Monsieur le Docteur Jean-Yves Lardeur,

Pour avoir été le premier à m'ouvrir la porte des urgences de Poitiers

Pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis d'être là où j'en suis aujourd'hui

J'ai hâte de travailler à vos côtés.

A Monsieur le Docteur Ghislain Richard

Tu m'as permis de trouver un sujet et de me guider dans ce premier travail,
Tu as écouté mes plaintes et mes « grognements » en gardant ta bonne humeur
Tu as su gérer mes moments de « panique à bord » sans sourciller,
Merci pour ton aide, tes critiques avisées et ta confiance.

A Monsieur le Docteur Thomas Kerforne,

Tu as toujours su trouver les mots pour me redonner confiance,
Tu m'as aidée et soutenue au-delà du raisonnable.
Pour ta disponibilité et ta patience,
Et pour être devenu plus qu'un directeur de thèse, ou qu'un « chef » pour moi.

A Monsieur le Docteur Hodanou Nanadoumgar,

Pour ta patience à m'expliquer l'inexplicable,
Pour ton humour sans faille
Pour m'avoir fait progresser au-delà de ce que j'aurais pu croire.

A Monsieur le Docteur François Guerin,

Pour m'avoir parlé et fait rire tous les jours quand j'en ai vraiment eu besoin
Pour avoir été là et avoir cru en moi quand je n'y croyais pas.

A l'équipe médicale de réanimation chirurgicale, Hodanou, Leïla et Amélie, j'ai tellement appris près de vous.

A l'équipe médicale des urgences du CHU de Poitiers : Mathias SIERECKI tu m'as fait découvrir que le travail peut être fait en s'amusant, et tu es devenu un « père spirituel », Mathieu Marchetti tu m'as montré que l'on peut travailler même avec l'accent toulousain (et bien même !), Nadia Tagri-Hikmi pour ta gentillesse et ton sourire en toute situation, Caroline Delaire pour ton amitié dès mon premier semestre, Stevens Prineau pour ton rire qui peut donner le sourire à n'importe qui, Mathieu Rousselot, merci de m'avoir fait savourer mon dernier jour aux urgences ! A Pierre Fieuzal, Emmanuel Blottiaux, Vanessa Richard, Jean-Louis Pouaty, Emilie Breillat, Arnaud Chaudet, Nathalie Tresse-Mercier, Henri Delelis pour leur aide précieuse.

A toute l'équipe paramédicale de réanimation chirurgicale et de soins continus : Pauline, Stéphanie, Céline, MathildeS, Mickael, Graziella, Gwenola, Emilie, Guillaume, Benjamin, Karine, Elsa, Elodie, Julie, Caro, Emilie « Griffondor » et Christelle Plumereau pour votre patience, votre gentillesse, vos compétences et avoir su créer avec nous une ambiance extraordinaire durant mes 6 mois de stage !

A tous mes co-internes de choc durant ces 3 années : Marie D. pour ta gentillesse, et ton soutien sans faille, Elodie, Natacha et Maiwenn pour avoir survécu avec moi aux cris des marmots ! A Pauline et Marina pour avoir été des mecs avec moi durant ce semestre aux urgences, A Doc Patou, Thomas, Christophe, Pierre, Romain, pour eux avoir supporté d'être les filles du groupe. A Anais notre « maman », Marie pour ton éternelle bonne humeur du Nord, Virginie pour ta douceur, Jérémy pour ton humour machiste et pour avoir aimé être notre souffre-douleur, Pierre-Alexi pour tes gâteaux au citron pendant ce semestre extraordinaire. A Isabelle, Isaura, Paul, pour avoir surmonté ensemble l'insurmontable.

Et à toutes les autres belles rencontres lors de ces 3 années d'internat : Lucie, Sandy, Claire&Thomas, Alice&David, Paul&Pauline, les couples que vous avez su faire durer, Antoine B. pour ton gangnam style, Charlotte C., Claire G., Edouard, Dounia, Kleeve, Nicolas D., Benjamin, Marie A.

Jérémy G. qui a toujours su me conseiller, ravie de devenir ta collègue,

Antoine B., mon frère, mon double, pour ta patience sans faille, tes blagues qui savent me faire rire même lorsque je devrais être sous Seroplex

Astrid B., parce qu'avec toi c'était vraiment le coup de foudre amical !

A toutes mes coloc : Lorraine, pour ta sociabilité sans faille et ton amour, tu es ma sœur, **Eglantine**, ton grand cœur, ta douceur et tes conseils, **Pauline**, ton dynamisme, ton optimisme et ton caractère ! Et **Lucile**, pour ton humour décalé, tes lubies, et ta manie de garder les placards ouverts.

A mes amis Bordelais : Hervé pour « ta vieille âme », **Mélanie&Thierry** et votre petit Victor, **Baptiste** même si tu es à Valence maintenant, **Jasmine** pour ton sourire, **Kevin** pour le Cor de chasse bleu peint avec **Jonas** qui m'a suivie à La Rochelle, **Julia** pour avoir grandi avec moi, **Marie M.** pour avoir été avec moi dans les moments les plus durs et pour les délires, **Charlotte M.** pour ces années de galère où on a tant ri, **Meryle** pour être devenue une vraie amie au fil des années, **Anne-Marie** pour avoir été la meilleure nourrice (et la seule qui n'ait pas craqué !),

A Monsieur le Docteur Laurent Sainte-Marie : merci de m'avoir montré la voie depuis mon enfance !

A ma famille :

Aude, ma grande sœur

Camille, pour ces moments privilégiés où nous nous sommes tout dit

Christine, pour être ma mère adoptive depuis tant d'années

Julian mon petit frère, pour savoir toujours m'appeler même quand j'oublie de le faire

Gérard Chapelain, « le sorcier » et **Véro**, pour votre foi en moi et votre amour.

A ma mère, pour qui des mots seraient bien inutiles à décrire notre relation, merci d'avoir toujours cru en moi et m'avoir soutenue dans mes choix (les bons comme les mauvais), je t'aime infiniment

Et enfin un merci tout particulier à toi **Denys**, mon père de cœur, d'avoir été là pendant 20 ans, je sais qu'aujourd'hui tu me regardes et que tu es très fier de ta « puce atomique ».

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION.....	11
II.	MATERIEL ET METHODE.....	15
	1. Objectif principal de l'étude.....	15
	2. Objectif secondaire de l'étude.....	15
	3. Le modèle de rachis.....	15
	4. Les apprenants.....	18
	5. La formation théorique.....	18
	6. La procédure.....	20
	7. Statistiques.....	23
III.	RESULTATS.....	24
IV.	DISCUSSION.....	34
V.	CONCLUSION.....	37
VI.	REFERENCES.....	38
VII.	ANNEXES.....	42
VIII.	RESUME.....	45
IX.	SERMENT.....	47

ABREVIATIONS

PL : ponction lombaire

LCR : liquide céphalo-rachidien

NA : Non applicable

I. INTRODUCTION

La ponction lombaire (PL) est un geste diagnostique important dans des pathologies où le risque vital peut être engagé (méningite, hémorragie méningée). Elle doit être réalisée rapidement et efficacement.

La PL peut être un geste difficile dans 32% des cas (1) et les repères anatomiques peuvent être inadéquats dans 36% des cas (2). Chez certains patients les repères anatomiques sont plus difficiles à palper (personnes âgées, obèses, arthrosiques, scoliotiques...) ce qui augmente le risque d'échec, le risque de PL traumatiques et ce qui augmente le nombre de points de ponctions (3).

Une étude de 2007 (1) a mis en évidence deux critères prédictifs d'échec à la PL :

- Des épineuses non visibles à l'inspection du dos (75% de risque de PL traumatiques)
- Des épineuses non palpées (augmentation du taux d'échec et du nombre de PL traumatiques d'environ 20%).

La première mention de l'utilisation de l'échographie comme aide à la réalisation de la PL a été faite dans une étude russe en 1971(4). Depuis plusieurs années, les anesthésistes utilisent les techniques ultrasonores pour repérer l'espace inter-épineux (5), pour guider le placement de l'aiguille lors des anesthésies péridurales (6), lors d'injections intrathécales dans la population pédiatrique (7) et chez les parturientes (8). Cette technique de repérage et guidage échographique a permis d'améliorer la qualité du geste et la satisfaction des patients (9 ;10).

En ce qui concerne l'écho-repérage, bon nombre d'études (11) ont montré une réduction du taux d'échec de PL (12), une diminution du nombre de PL traumatiques chez les patients aux repères anatomiques inadéquats et chez les personnes obèses grâce à l'utilisation de l'échographie. (13-17)

Les repères cliniques d'une ponction lombaire sont décrits par la visualisation et la palpation des épineuses et la ligne de Tuffier : la ligne qui relie les crêtes iliaques supérieures.

Certains auteurs (18) ont montré qu'il était possible de déterminer un point optimal de ponction lombaire grâce à l'échographie en repérant certaines structures (épineuses, espace inter-épineux). Il est ainsi possible d'évaluer l'angle adéquat et la profondeur pour l'obtention du liquide céphalo-rachidien (LCR) (19). Le geste est ainsi facilité.

L'étude de Peterson et al. (13) n'a pas démontré de supériorité de l'utilisation de l'échographie en première intention pour la ponction lombaire, mais les auteurs avaient émis l'hypothèse qu'il serait préférable de la réserver aux patients chez qui les repères anatomiques étaient difficiles à palper ou après un premier échec de PL. Aucune de ces études ne s'est intéressée à la formation des opérateurs, ce qui peut constituer un biais dans leurs résultats.

Le repérage échographique avant une PL peut être facilement obtenu même sur des obèses par des médecins aux urgences après une brève formation théorique comme dans l'étude de Ferre et Sweeney (18) dans laquelle les médecins urgentistes devaient visualiser 5 structures : la dure-mère, l'espace arachnoïdien, l'espace épidual, le processus épineux, et le ligament jaune.

Ces deux derniers (processus épineux et ligament jaune) associés à la mesure de la distance ligament jaune/peau suffisent à l'obtention de LCR.

L'étude de Marshburn et al. (20) a montré que c'était également réalisable par des personnes non-médecins et non formées à l'échographie.

Dans toutes ces études, la formation des praticiens n'était pas expliquée et nous ne savons pas comment est réalisée la formation préalable des opérateurs avant échorepérage, c'est pourquoi nous avons choisi de nous intéresser à ce sujet.

Ces dernières années l'expérimentation de gestes techniques sur modèle (21;22) a montré un intérêt pédagogique certain comme la réalisation d'anesthésie loco-régionale écho-guidée sur cadavre dans les études de Kessler et al. (23), et de Luyet et al. (24). La simulation joue également un rôle croissant dans la formation des médecins et internes (25;26), les performances et la confiance d'un opérateur sont améliorées par la répétition de procédures (27).

Un nombre croissant d'études à propos des courbes d'apprentissages a d'ailleurs vu le jour ces dernières années notamment dans le domaine de l'anesthésie (28;29). Elles montrent une amélioration de la technique, une acquisition plus rapide pour l'opérateur, une diminution du stress et de l'échec lors de la réalisation du geste sur patient. Le nombre de complications est diminué et le patient est plus satisfait.

Jusqu'à présent aucune étude n'a évalué la courbe d'apprentissage de la PL après écho-repérage.

Notre étude s'intéresse au nombre de procédures nécessaires à l'acquisition correcte de la technique d'écho-repérage avant une PL sur un modèle après formation théorique.

Pour cela nous mesurons le taux de réussite, le temps de réalisation du geste et la charge mentale mobilisée.

Le but de cette étude était de construire la courbe d'apprentissage de la ponction lombaire après écho-repérage sur un modèle de rachis d'ovine chez des internes et seniors des urgences du Centre Hospitalier Universitaire de Poitiers.

II. MATERIEL ET METHODES

Cette étude prospective, contrôlée, mono centrique, a été réalisée dans le service des Urgences du Centre Hospitalier Universitaire de Poitiers de Juillet 2014 à Mars 2015. Dix médecins séniors et dix internes des Urgences Adultes ont participé à l'étude. Il s'agissait pour eux de réaliser à dix reprises une série de coupes échographiques afin d'obtenir le point de ponction optimal sur un modèle expérimental, précédé d'une formation théorique à cette technique.

1. Objectif principal de l'étude :

Le but de cette étude était de construire la courbe d'apprentissage de la ponction lombaire sous écho-repérage sur un modèle de rachis.

2. Objectif secondaire de l'étude :

- Evaluer le taux d'échec et de réussite des PL
- Chronométrer le temps de la procédure en différenciant chaque temps : repérage de la zone de ponction, temps de ponction, et enfin temps total de procédure
- Evaluer la charge mentale des apprenants pour chaque procédure (Annexe 2)

3. Le modèle de rachis

L'étude de Wilke et al. (30), a démontré que le rachis du mouton a une morphologie très proche de celle de l'homme, et qu'il peut être utilisé comme modèle dans des études s'intéressant à la colonne vertébrale humaine.

Les vertèbres lombaires de l'ovin ont des caractéristiques morphologiques et biomécaniques particulièrement semblables à celles de l'homme (31).

Il existe d'ailleurs de nombreuses études orthopédiques sur la colonne vertébrale humaine dans lesquelles le rachis de mouton est utilisé pour sa morphologie proche (32).

Le modèle utilisé dans notre étude a été réalisé à partir des vertèbres lombaires d'un mouton. (Fig. 1 ; 2)



Figure 1 : Rachis de mouton (modèle)



Figure 2 : Rachis de mouton (modèle) – Espace inter-épineux

Les tissus mous ont été extraits de manière naturelle afin de ne pas altérer la qualité des os. Après avoir fait passer un tuyau en silicone (habituellement utilisé pour une valise de drainage thoracique) au centre du canal médullaire, quatre vertèbres lombaires adjacentes ont été placées dans une caisse en bois. (Fig. 3)

Le tuyau a été relié à une solution de sérum salé isotonique, et bouché de l'autre, purgé afin de maintenir du liquide dans le tube. La résistance du tuyau était estimée comme acceptable car reproduisant la résistance ressentie lors du passage du ligament jaune par l'aiguille sur un patient au moment d'une PL.

Enfin la boîte a été remplie d'un mélange d'*Agar-Agar* afin d'obtenir une gélatine épaisse une fois le modèle mis à basse température (4-7°C). Pour chaque procédure, une feuille en plastique opaque était appliquée sur la gélatine afin que les opérateurs ne voient pas les épineuses lorsqu'ils repéraient la zone de ponction.



Figure 3 : Modèle de rachis utilisé dans l'étude avant l'ajout de la gélatine

4. Les apprenants

Dix médecins séniors et dix internes des urgences ont participé sur la base du volontariat et chacun a signé une feuille de consentement de manière libre et éclairée. (Annexe 1)

Les données ont été anonymisées par une liste dactylographiée qui a été détruite immédiatement après la fin de l'étude. Chaque apprenant a également renseigné des informations concernant son expérience personnelle à l'échographie (formation précédemment reçue) et à la ponction lombaire (nombre de PL réalisées précédemment au cours de sa carrière).

Aucun n'avait la même expérience. Les médecins séniors avaient participé à des formations sur l'échographie, et étaient familiarisés avec le maniement d'une sonde échographique. Les internes n'avaient pour la plupart aucune ou qu'une faible expérience à ce niveau.

Pour les PL, l'expérience était variable d'un apprenant à l'autre mais tous avaient déjà réalisé au moins une PL, les séniors étant plus expérimentés que les internes. Aucun apprenant ayant accepté de participer, n'est sorti de l'étude.

L'investigateur de l'étude n'a pas réalisé de PL.

5. La formation théorique

Chaque opérateur a bénéficié d'une formation de 20 minutes.

La formation consistait en un exposé oral avec comme support un diaporama comportant :

- une revue de la bibliographie expliquant les objectifs de ce travail
- des iconographies de coupes transversales et de coupes longitudinales du modèle sous échographie et sur humain,
- la méthodologie d'acquisition des coupes : repérage des espaces inter-épineux dans les sens transversal et longitudinal, en visualisant préalablement les épineuses sus- et sous-jacente afin d'obtenir l'image centrale attendue (c'est à dire l'espace inter-épineux). (Fig.4 ; 5)

Enfin, une vidéo leur montrait le déroulement de la procédure : la technique de repérage et de ponction sur le modèle.

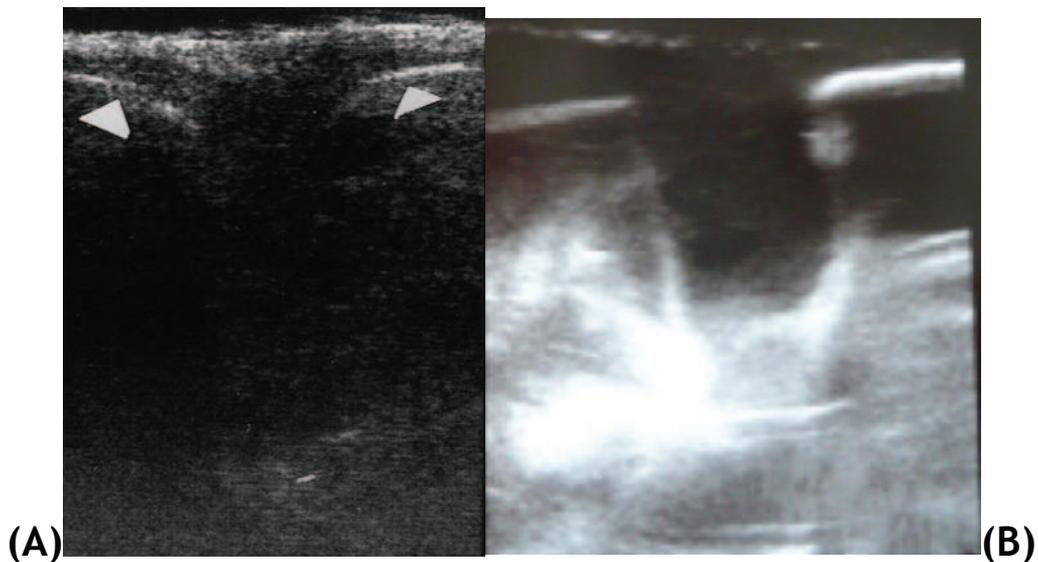


Figure 4 : Coupes échographiques longitudinales de l'espace inter-épineux humain (A) (*Etude Peterson et Abele 2004*)(13) et de rachis de mouton (modèle) (B)

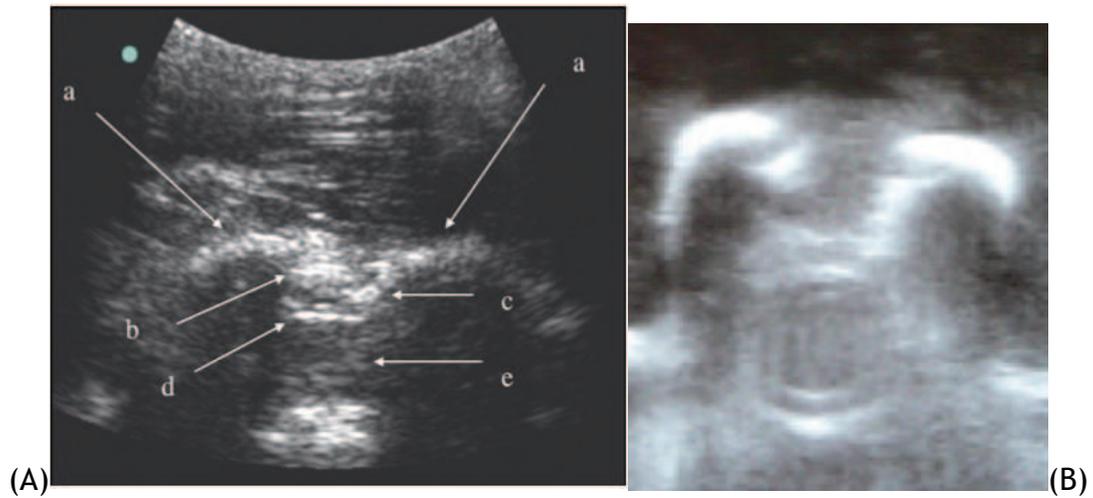


Figure 5 : Coupes échographiques transversales de l'espace inter-épineux humain (A) (*Etude Ferre et Sweeney 2007*)(18) (a lame, b ligament jaune, c espace épidual, d dure-mère, e espace sous-arachnoïdien) et coupe transversale de rachis de mouton (modèle) (B)

6. La procédure

Chaque participant a réalisé une série de coupes échographiques (repérage d'une coupe transversale et longitudinale de l'espace inter-épineux) suivie d'une PL sur le modèle, à dix reprises.

Le même opérateur pouvait réaliser deux procédures à la suite mais il devait ensuite attendre au minimum une heure avant de recommencer, toujours sur son temps de travail et en dehors du repos de garde. Un nombre maximal de quatre procédures par jour et par personne a été décidé afin de ne pas réaliser les dix ponctions à la suite pour éviter des biais dans les résultats.

Les dix internes ont été évalués de Juillet à Octobre 2014 et les séniors de Juillet 2014 à Mars 2015.

Un appareil d'échographie Philips Healthcare a été utilisé pour l'étude,

réglé de manière identique pour tous les opérateurs en mode (preset) Abdomen-Acquisition (55 Hz, profondeur 7 centimètres). La sonde linéaire L12-5 a été utilisée sans contrainte concernant le sens de la tenue en main. Le chronomètre était lancé par le même investigateur dès la tenue en main de la sonde par l'opérateur.

L'apprenant avait pour objectif de repérer une image échographique de l'espace inter-épineux en coupe transversale, et en coupe longitudinale. Pour cela il faisait défiler la sonde dans le sens transversal et dans le sens longitudinal afin de visualiser l'épineuse sus- et sous-jacente à l'espace recherché (images B Fig. 6 et 7) : 2 épineuses apparaissent simultanément sur l'image en coupe longitudinale (Fig. 6A) et deux processus articulaires sont visibles de part et d'autre de l'espace inter-épineux sur la coupe transversale (Fig. 7A) (à noter sur cette coupe sur le modèle un aspect en double liseré central hyperéchogène qui correspond au tuyau rempli d'eau).

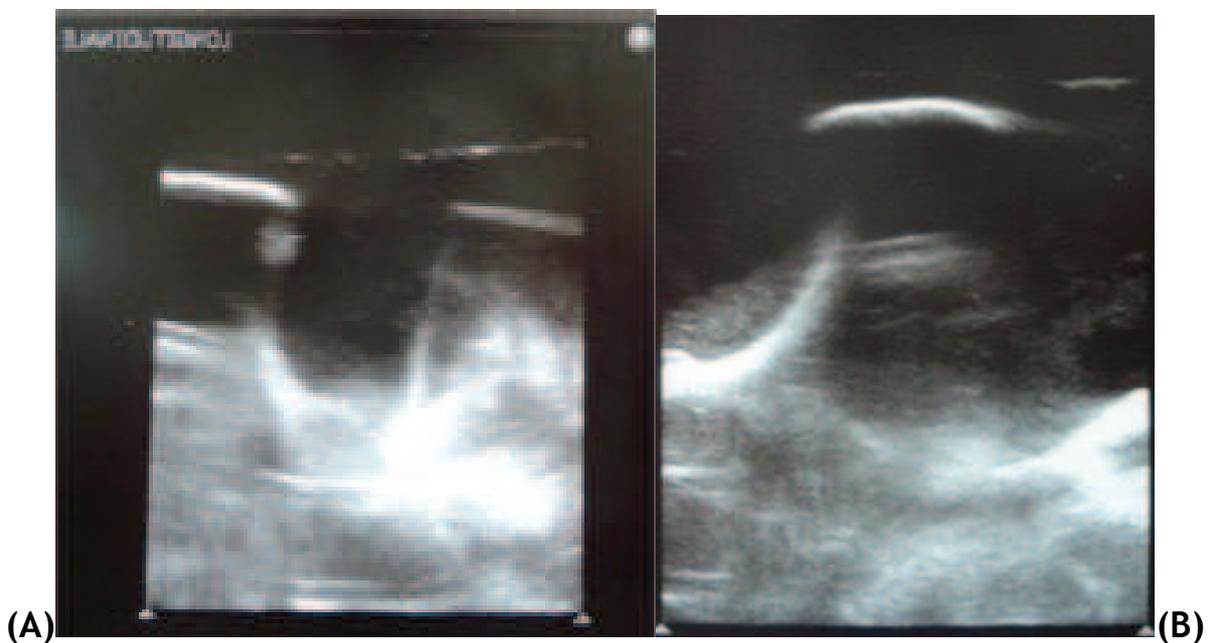


Figure 6 : Coupes longitudinales échographiques de l'espace inter-épineux (A) et épineuse sous- ou sus-jacente (B) (modèle)

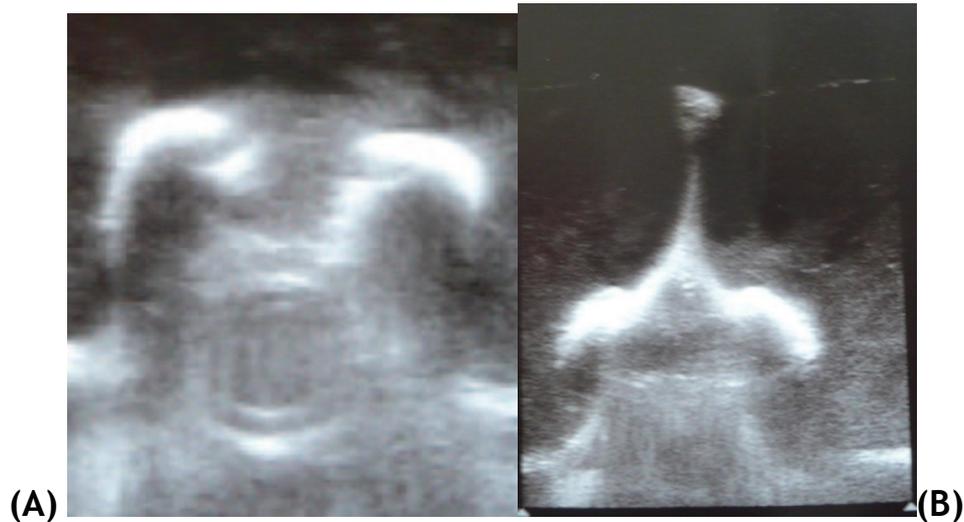


Figure 7 : Coupes transversales échographiques de l'espace inter-épineux (A) et épineuse sous- ou sus-jacente (B) (modèle)

Passé le temps de pré-repérage, lorsque l'opérateur s'estimait prêt, il devait rechercher à nouveau l'image échographique optimale (images A Fig. 6 - 7) et effectuer un marquage au crayon dermatographique dans le grand axe de la sonde dans le sens transversal et le sens longitudinal afin d'obtenir 4 dièses. Enfin l'opérateur ponctionnait le modèle au croisement des quatre points (dièse) à l'aide d'une aiguille à PL (22 Gauge). La réussite de la procédure était définie par la venue de sérum physiologique dans l'aiguille.

Les opérateurs n'avaient pas de limite de temps pour réussir. L'échec était enregistré dès le retrait de l'aiguille hors du modèle sans venue de sérum physiologique.

Les temps d'échauffement, de repérage (dièse), et de ponction étaient chronométrés par l'investigateur de l'étude qui remplissait les données sur des feuilles de recueil.

La charge mentale était évaluée par l'opérateur lui-même à la fin de chaque procédure.

7. Statistiques

Construction des courbes d'apprentissage

Pour construire les courbes individuelles d'apprentissage la méthode de somme cumulée (« Cumulative Sumation », CUSUM) pour courbe d'apprentissage a été utilisée.

La méthode CUSUM, initialement développée pour la production industrielle, détecte si un processus est « hors de contrôle » en suivant un modèle mathématique.

Le but de la méthode CUSUM est d'identifier la nécessité de suspendre un processus de production lorsque celui-ci est jugé « hors de contrôle » en se basant sur des critères de qualité prédéfinis.

La méthode LC-CUSUM est une modification de la méthode CUSUM conçue pour établir quand une compétence dans un geste technique est atteinte, permettant de réduire le risque qu'un apprenant soit insuffisamment formé à une nouvelle procédure (33). Lorsqu'un apprenant débute une nouvelle procédure il est par définition « hors de contrôle » jusqu'à ce que la compétence soit acquise, la procédure est ensuite « contrôlée ».

LC-CUSUM permet de surveiller un processus d'apprentissage jusqu'à ce qu'il passe du statut « hors de contrôle » au statut « contrôlé ». Cette application de la méthode LC-CUSUM a déjà été utilisée pour de nombreuses procédures médicales (34 - 38).

L'application de la méthode LC-CUSUM est basée sur les recommandations méthodologiques publiées par Biau et Porcher en 2010 (39).

Tout d'abord il est nécessaire de déterminer les taux d'échec acceptable et inacceptable pour la procédure évaluée. Pour cela nous avons fixé ces taux selon les résultats de la publication de JT Nomura (12) avec p_0 fixé à 5% et p_1 fixé à 40%.

Les risques de première et deuxième espèce α et β ont été fixés arbitrairement à 10%.

Ces paramètres ont permis de calculer les bornes h_1 au delà de laquelle le processus est hors de contrôle et la borne h_0 en dessous de laquelle le processus est contrôlé selon les formules :

$$h_0 = -(\ln [(1 - \alpha)/\beta]) / (\ln (p_1/p_0) + \ln [(1 - p_0)/(1 - p_1)])$$

$$h_1 = (\ln [(1 - \beta)/\alpha]) / (\ln (p_1/p_0) + \ln [(1 - p_0)/(1 - p_1)])$$

De plus ces variables ont permis de calculer le facteur d'incrémentation ou de décrémentation « s » des courbes individuelles d'apprentissage selon la formule :

$$s = \ln [(1 - p_0)/(1 - p_1)] / (\ln (p_1/p_0) + \ln [(1 - p_0)/(1 - p_1)])$$

Permettant la construction desdites courbes.

Evaluation de la charge mentale

Le NASA TLX est une méthode multidimensionnelle qui permet l'évaluation subjective de la charge de travail globale. Développé au NASA AMES RESEARCH CENTER par Hart et Staveland (1988), cet outil a été testé dans diverses situations expérimentales : lors de simulations de vol, de simulations de contrôle de processus, ainsi que dans différentes tâches en laboratoire (tâches de calcul mental, d'imagerie mentale, d'acquisition de cible, de raisonnement grammatical, etc.).

La technique prend en compte plusieurs dimensions indépendantes que les sujets doivent évaluer en fonction de leur ressenti. Les trois premières dimensions représentent les contraintes imposées au sujet par la tâche (exigences : physique, mentale et temporelle) et les trois autres rendent compte des interactions du sujet avec la tâche (performance, effort et frustration).

Cette échelle a été validée en français (Annexe 2)

Analyse des données :

Les variables continues et discontinues sont exprimées en moyennes \pm écart-types.

Les variations des scores de NASA-TLX et les temps de procédures ont été analysés par des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis suivis d'un post test de Dunn. La comparaison entre les variables issues du groupe « sénior » et celles issues du groupe « interne » ont été analysées par un test non paramétrique de Mann-Witney.

Un $p < 0,05$ était jugé comme significatif. Le logiciel XLSTAT® (version 2015.01.03 15464, Addinsoft, Paris, France) a été utilisé pour les analyses.

III. RESULTATS

1. Internes

Pour le groupe d'internes, le taux de succès cumulé est de 85% avant la sixième procédure et de 100% après la sixième procédure (Différence significative entre les 2 taux de succès cumulés (15% ; IC95 [3; 28] ; $p < 0,05$)) (Fig. 8).

On observe une diminution significative des temps de repérage (163 ± 54 sec vs 100 ± 30 sec ($p < 0,05$)) et de réalisation de la ponction (77 ± 24 sec vs 23 ± 24 sec ($p < 0,05$)) et donc du temps total de la procédure (240 ± 70 sec vs 119 ± 35 sec ($p < 0,05$)) à partir de la septième procédure (Fig. 9).

La charge mentale est significativement diminuée à partir de la huitième procédure (27 ± 7 U.I vs 11 ± 4 U.I. ($p < 0,05$)) (Fig. 10).

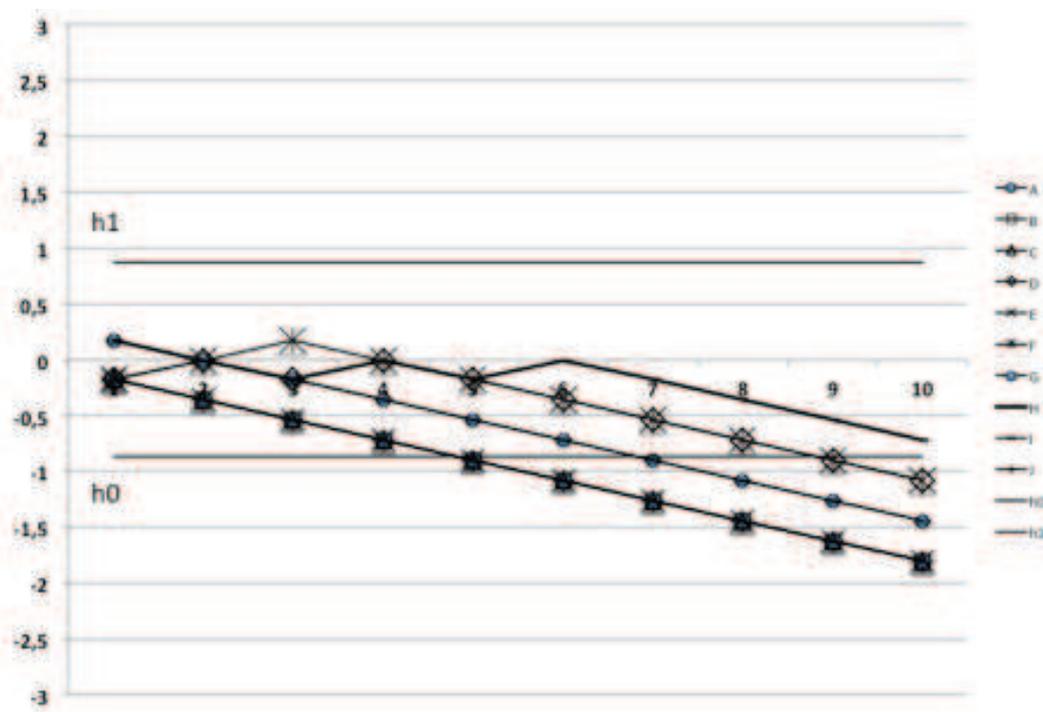


Figure 8 : LC CUSUM des 10 internes sur le modèle de rachis

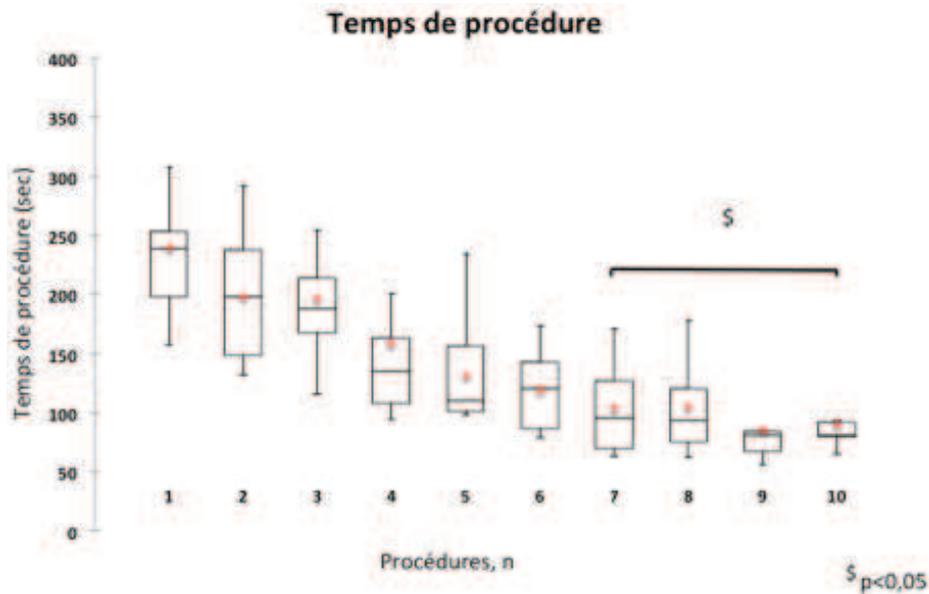


Figure 9 : Temps de réalisation total de la procédure par les internes

Le temps de réalisation de la procédure est significativement plus court à partir de la septième procédure (240 ± 70 sec vs 119 ± 35 sec ($p < 0,05$)).

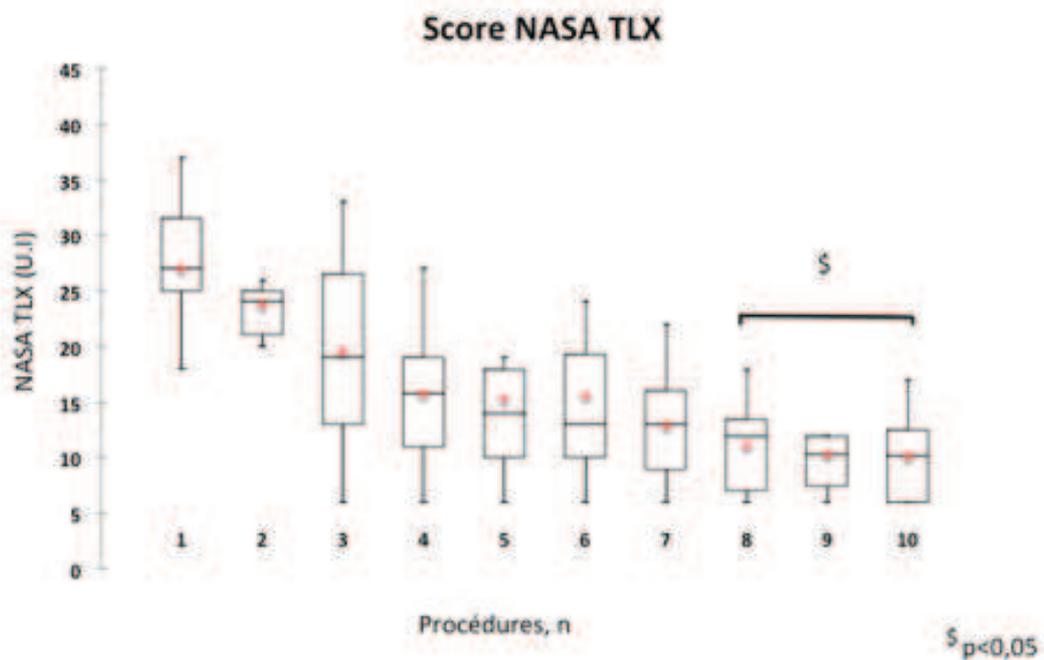


Figure 10 : Charge mentale (NASA-TLX) des internes

La charge mentale est significativement diminuée à partir de la huitième procédure (27 ± 7 U.I vs 11 ± 4 U.I. ($p < 0,05$)).

2. Séniors

Pour le groupe de séniors, le taux de succès cumulé est de 90% avant la troisième procédure et de 100% après la quatrième procédure (Différence significative entre les 2 taux de succès (10% ; IC95 [2,7; 17,3] ; $p < 0,05$)). (Fig. 11)

On observe une diminution significative du temps de réalisation de la ponction (75 ± 40 sec vs 22 ± 14 sec ($p < 0,05$)) et du temps total de la procédure (190 ± 70 sec vs 95 ± 35 sec ($p < 0,05$)) à partir de la septième procédure. (Fig. 12)

Le temps de repérage de la zone de ponction n'est significativement pas plus court entre la première et la dernière procédure (115 ± 40 sec vs 77 ± 35 sec.).

La charge mentale est significativement diminuée à partir de la huitième procédure (23 ± 9 U.I vs 11 ± 3 U.I. ($p < 0,05$)). (Fig. 13)

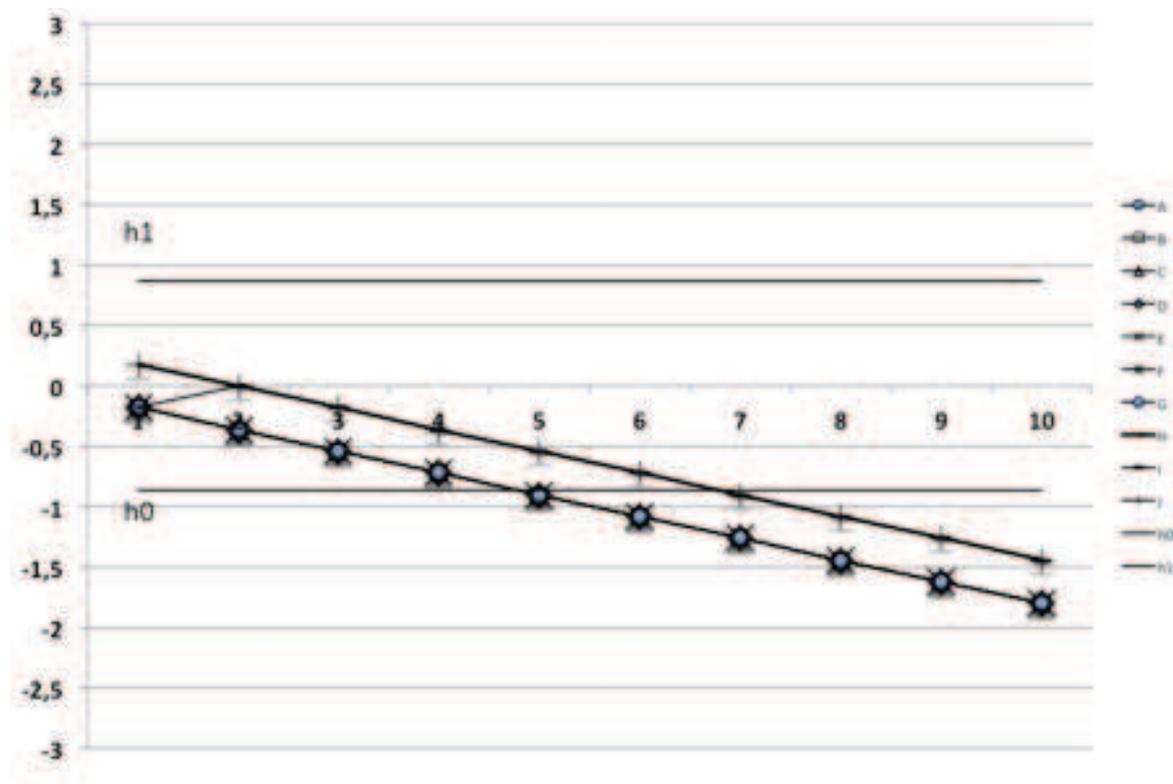


Figure 11 : LC CUSUM des 10 médecins séniors sur le modèle de rachis

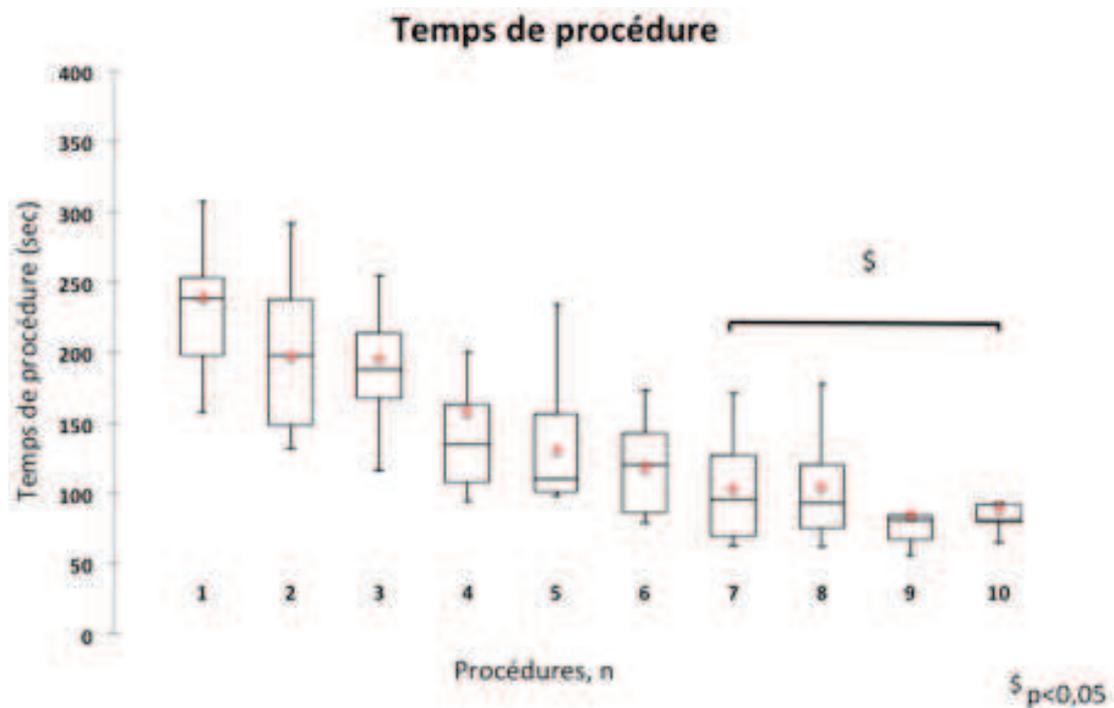


Figure 12 : Temps de réalisation total de la procédure par les séniors

Le temps de la procédure est significativement plus court à partir de la septième procédure 190 ± 70 sec vs 95 ± 35 sec ($p < 0,05$)

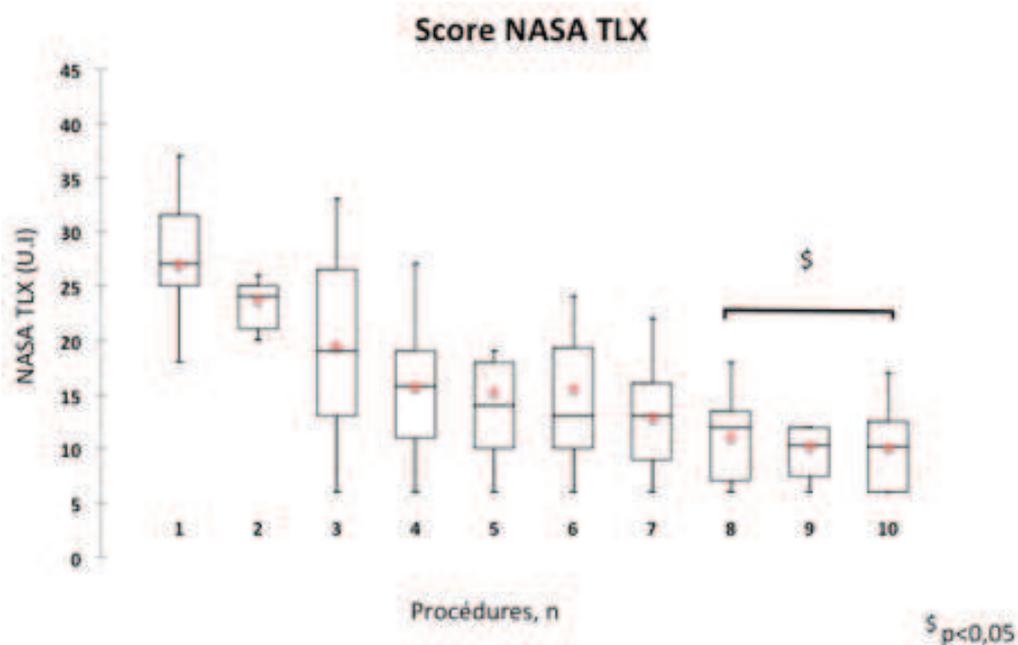


Figure 13 : Charge mentale (NASA-TLX) des séniors

La charge mentale est significativement diminuée à partir de la huitième procédure 23 ± 9 U.I vs 11 ± 3 U.I. ($p < 0,05$)

3. Comparaison entre les 2 groupes d'apprenants

- Caractéristiques des 2 populations d'apprenants

	Semestre	Formation spécifique en techniques ultrasonores	Années d'exercice de techniques ultrasonores
Interne A	4	Non	NA
Interne B	4	Non	NA
Interne C	4	Non	NA
Interne D	4	Non	NA
Interne E	4	Non	NA
Interne F	5	Non	NA
Interne G	4	Non	NA
Interne H	4	Non	NA
Interne I	4	Non	NA
Interne J	4	Non	NA

	Années d'exercice en tant que sénior	Formation spécifique en techniques ultrasonores	Années d'exercice de techniques ultrasonores
Sénior K	>5 ans	Oui	<2 ans
Sénior L	<2 ans	Non	<2 ans
Sénior M	>5 ans	Oui	>5 ans
Sénior N	>5 ans	Oui	>5 ans
Sénior O	>5 ans	Oui	2-5 ans
Sénior P	>5 ans	Oui	2-5 ans
Sénior Q	>5 ans	Oui	<2 ans
Sénior R	<2 ans	Oui	<2 ans
Sénior S	>5 ans	Oui	<2 ans
Sénior T	2-5 ans	Oui	<2 ans

- Temps de repérage de la zone de ponction :

Le temps de repérage de la zone de ponction lors de la première procédure est significativement plus court dans le groupe séniors vs internes : 115 ± 40 sec vs 163 ± 54 sec ($p < 0,05$). (Fig. 13)

Le temps de repérage de la zone de ponction lors de la dernière procédure n'est pas significativement différent dans les groupes séniors vs internes : 69 ± 25 sec vs 77 ± 40 sec

- **Temps de ponction :**

Le temps de ponction lors de la première n'est pas significativement différent dans les groupes séniors vs internes : 75 ± 45 sec vs 77 ± 25 sec. (Fig. 13)

Le temps de ponction lors de la dernière procédure n'est pas significativement différent dans les groupes séniors vs internes : 23 ± 15 sec vs 15 ± 3 sec. (Fig. 14)

- **Temps de réalisation total de la procédure :**

Le temps de réalisation de la procédure lors de la première procédure n'est pas significativement plus court dans le groupe séniors vs internes :

190 ± 75 sec vs 240 ± 70 sec. (Fig. 13)

Le temps de réalisation de la procédure lors de la dernière procédure n'est pas significativement différent dans les groupes séniors vs internes : 92 ± 36 sec vs 89 ± 21 sec. (Fig. 14)

- **Charge mentale mesurée par NASA-TLX (Fig. 15) :**

La charge mentale lors de la première procédure n'est pas significativement différente dans les groupes séniors vs internes : 23 ± 9 U.I. vs 27 ± 7 U.I.

La charge mentale lors de la dernière procédure n'est pas significativement différente dans les groupes séniors vs internes : 11 ± 3 U.I. vs 11 ± 4 U.I.

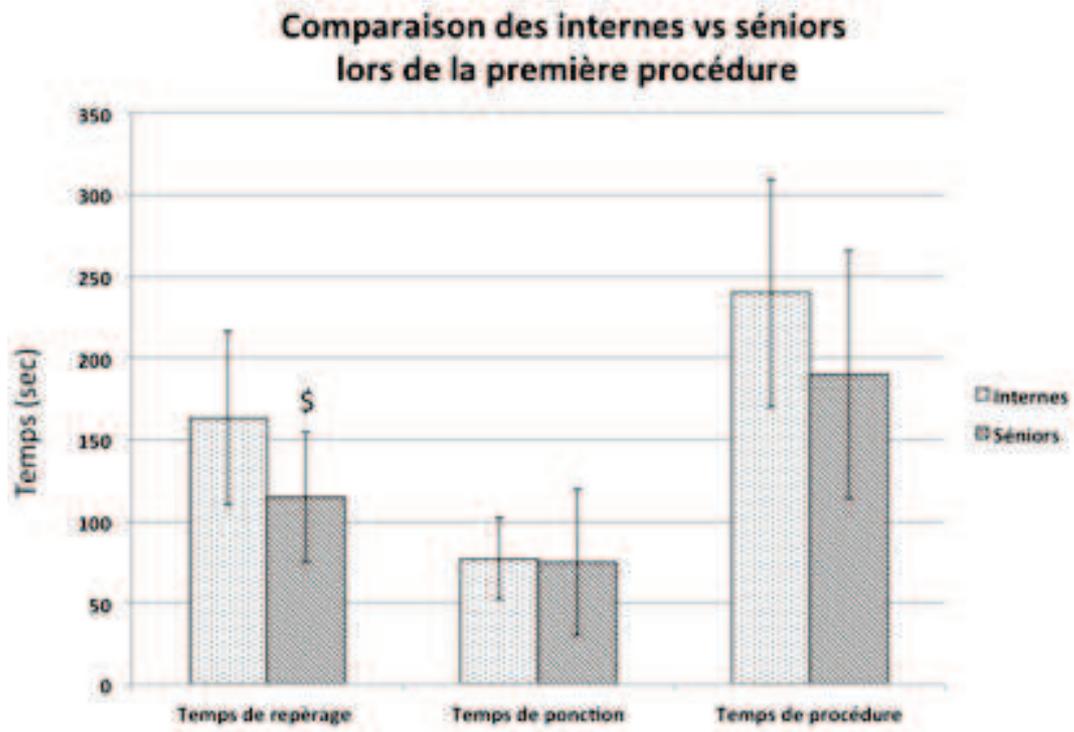


Figure 13 : Comparatif des temps lors de la première procédure des internes vs séniors

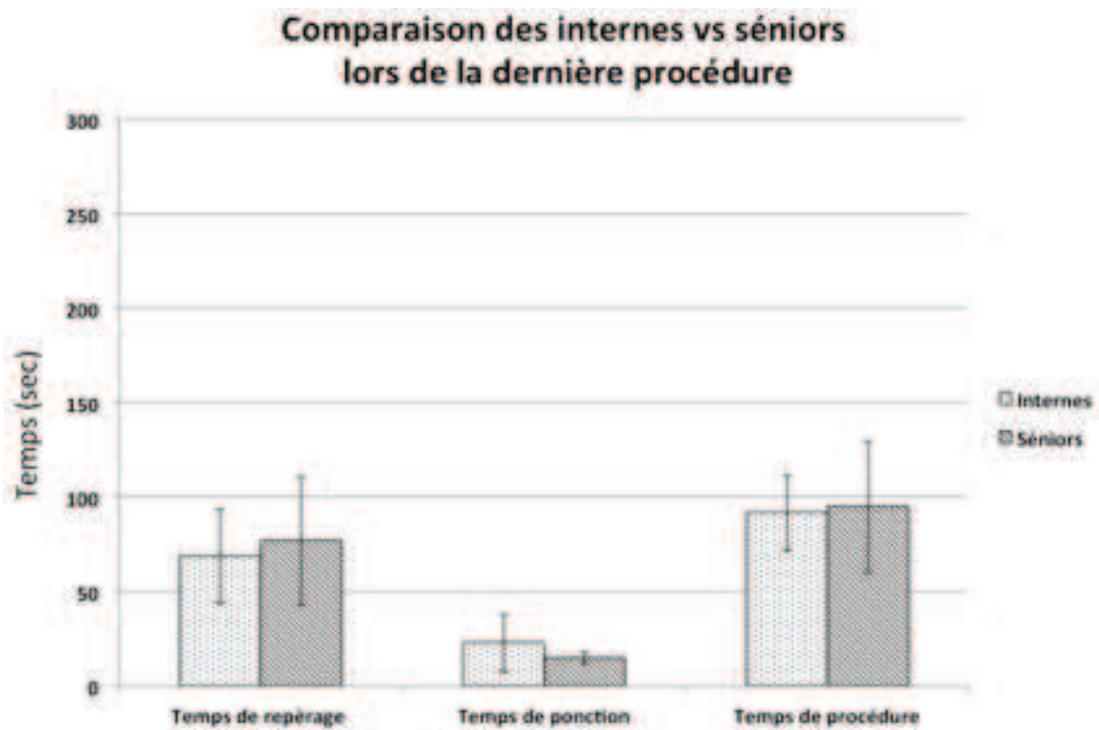


Figure 14 : Comparatif des temps lors de la dernière procédure des internes vs séniors

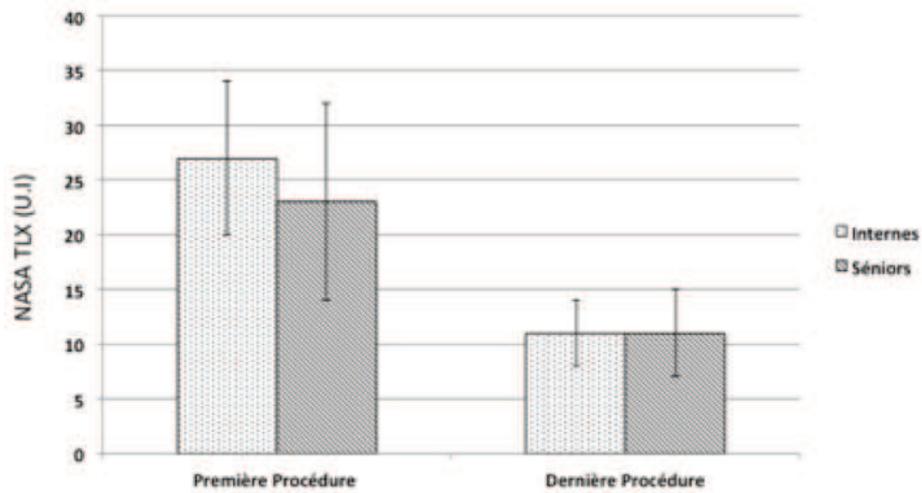


Figure 15 : Comparaison de la charge mentale des internes vs séniors pour les première et dernière procédures

IV. DISCUSSION

Cette étude montre qu'un taux de succès cumulé satisfaisant a été obtenu après sept procédures pour les internes, le groupe sénior ayant une courbe d'apprentissage plus rapide avec un taux de succès cumulé de 100% à partir de la quatrième procédure. Nous remarquons que les différents temps ne sont pas significativement différents dans les deux groupes sauf lors de la première procédure où le temps de repérage des structures anatomiques en échographie est significativement plus court dans le groupe sénior (50 secondes en moins par rapport aux internes). Ceci peut s'expliquer par le fait que les séniors ont tous une expérience préalable aux techniques ultra-sonores. Cependant cette différence n'impacte pas sur le temps total de réalisation de la procédure puisqu'il n'y a pas de différence significative de temps lors de la première procédure dans les deux groupes.

Lors de la dernière procédure, cette différence est gommée puisque les temps de repérage des structures ne sont pas différents dans les deux groupes.

En parallèle, les apprenants ont aussi gagné en dextérité avec des temps de procédure significativement plus courts en fin de formation.

Malgré des différences de formations entre les 2 groupes d'apprenants (séniors et internes) les résultats de temps lors de la dernière procédure sont comparables et montrent que la technique d'écho-repérage avant ponction lombaire est acquise rapidement chez des opérateurs même non-formés à l'échographie.

Il n'existe pas d'autres études sur la courbe d'apprentissage de la ponction lombaire après écho-repérage.

Cependant cette étude montre une acquisition beaucoup plus rapide que ce que suggère la littérature sur la courbe d'apprentissage de la péridurale en anesthésie par exemple (40;41). Ceci peut s'expliquer par le fait que notre étude s'effectue sur un modèle et non sur des malades.

La charge mentale n'est pas significativement différente dans les deux groupes et il existe une diminution importante entre la première et la dernière procédure. Ce qui traduit une amélioration de la confiance des apprenants.

Ces résultats sont en accord avec une étude de 2008 d'Arora et al (42) qui montre que l'apprentissage des ultrasons dans la PL augmente la confiance des médecins à identifier les repérages anatomiques. Et cela les rend également plus précis.

Le modèle de rachis utilisé dans cette étude n'a pas été évalué formellement au préalable. Cependant les données de la littérature (30;31) ont montré que le rachis du mouton est proche anatomiquement de celui de l'homme, c'est pourquoi il est très souvent utilisé comme modèle dans des études s'intéressant à la colonne vertébrale humaine.

Les coupes échographiques obtenues avec le modèle sont très proches des coupes que l'on peut obtenir sur un patient. On remarque quelques différences : les épineuses sont plus marquées et les reliefs plus visibles sur le modèle que sur un patient. Le but du modèle est d'être le plus ressemblant possible à ce que l'on peut s'attendre en situation réelle sur l'homme mais aussi d'être pédagogique et de permettre une formation facilitée.

Il faut également noter sur le modèle une image échographique au centre du canal lombaire en coupe transversale : un aspect de double liseré hyperéchogène est visualisé, lié à la présence du tuyau en plastique rempli de sérum physiologique, aspect qui est absent chez l'humain.

La mesure ligament jaune/peau, qui est un des éléments à identifier lors du repérage échographique, n'est pas un reflet réaliste sur le modèle (pour des mesures fiables il est nécessaire d'utiliser l'IRM chez l'homme) et non évaluable ici du fait d'un seul modèle (18).

Cette étude ne permet pas de déterminer le nombre de procédures qui seraient nécessaires à l'acquisition de la technique sur des patients. Le temps de réalisation de la procédure serait probablement plus long sur des patients car il faudrait y ajouter les temps d'asepsie, de positionnement, de réassurance du malade. De plus il existe des différences anatomiques interindividuelles chez tout patient qui rend chaque ponction différente d'un malade à l'autre alors qu'une procédure sur un modèle identique de rachis est reproductible. Une étude clinique complémentaire serait nécessaire afin de pouvoir extrapoler ces résultats à une population de malades. Cependant cette étude montre que l'acquisition de la technique sur modèle en simulation améliore le confort et la confiance de l'opérateur, et on peut donc supposer qu'elle pourrait être le préambule à la pratique de l'écho-repérage de la ponction lombaire sur patient.

V. CONCLUSION

Cette étude montre l'acquisition rapide des médecins séniors et des internes de la technique de repérage échographique avant ponction lombaire sur modèle.

Une formation théorique comportant une vidéo, suivie d'au moins sept ponctions sur modèle semble suffisante à la maîtrise et à l'acquisition de cette technique.

Avant de pouvoir extrapoler, il sera nécessaire de réaliser une étude complémentaire sur patient.

VI. REFERENCES

1. Shah KH, McGillicuddy D, Spear J, Edlow JA. Predicting difficult and traumatic lumbar punctures. *Am J Emerg Med.* 2007 Jul;25(6):608–11.
2. Duniec L, Nowakowski P, Kosson D, Łazowski T. Anatomical landmarks based assessment of intravertebral space level for lumbar puncture is misleading in more than 30%. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2013 Mar;45(1):1–6.
3. Whitty R, Moore M, Macarthur A. Identification of the lumbar interspinous spaces: palpation versus ultrasound. *Anesth Analg.* 2008 Feb;106(2):538–40, table of contents.
4. Bogin IN, Stulin ID. Application of the method of 2-dimensional echospondylography for determining landmarks in lumbar punctures. *Zh Nevropatol Psikhiatr Im S S Korsakova* 1971;71:1810–1
5. Watson MJ, Evans S, Thorp JM. Could ultrasonography be used by an anaesthetist to identify a specified lumbar interspace before spinal anaesthesia? *Br J Anaesth.* 2003 Apr;90(4):509–11.
6. Tran D, Hor K-W, Lessoway VA, Kamani AA, Rohling RN. Adaptive ultrasound imaging of the lumbar spine for guidance of epidural anesthesia. *Comput Med Imaging Graph.* 2009 Dec;33(8):593–601.
7. Wang PI, Wang AC, Naidu JO, Dipietro MA, Sundgren PC, Quint DJ, et al. Sonographically guided lumbar puncture in pediatric patients. *J Ultrasound Med.* 2013 Dec;32(12):2191–7.
8. Wang Q, Yin C, Wang T-L. Ultrasound facilitates identification of combined spinal-epidural puncture in obese parturients. *Chin Med J.* 2012 Nov;125(21):3840–3.
9. Grau T, Leipold RW, Conradi R, Martin E. Ultrasound control for presumed difficult epidural puncture. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica.* 2001 Jul 1;45(6):766–71.
10. Peterson MA, Abele J. Bedside ultrasound for difficult lumbar puncture. *J Emerg Med.* 2005 Feb;28(2):197–200.
11. Swaminathan A, Hom J. Does ultrasonographic imaging reduce the risk of failed lumbar puncture? *Ann Emerg Med.* 2014 Jan;63(1):33–4.
12. Nomura JT, Leech SJ, Shenbagamurthi S, Sierzenski PR, O'Connor RE, Bollinger M, et al. A randomized controlled trial of ultrasound-assisted lumbar puncture. *J Ultrasound Med.* 2007 Oct;26(10):1341–8.
13. Peterson MA, Pisupati D, Heyming TW, Abele JA, Lewis RJ. Ultrasound for routine lumbar puncture. *Acad Emerg Med.* 2014 Feb;21(2):130–6.

14. Brodsky JB, Mariano ER. Regional anaesthesia in the obese patient: lost landmarks and evolving ultrasound guidance. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2011 Mar;25(1):61–72.
15. Stiffler KA, Jwayyed S, Wilber ST, Robinson A. The use of ultrasound to identify pertinent landmarks for lumbar puncture. *Am J Emerg Med.* 2007 Mar;25(3):331–4.
16. Strony R. Ultrasound-assisted lumbar puncture in obese patients. *Crit Care Clin.* 2010 Oct;26(4):661–4.
17. Ferre RM, Sweeney TW, Strout TD. Ultrasound identification of landmarks preceding lumbar puncture: a pilot study. *Emerg Med J.* 2009 Apr;26(4):276–7.
18. Ferre RM, Sweeney TW. Emergency physicians can easily obtain ultrasound images of anatomical landmarks relevant to lumbar puncture. *Am J Emerg Med.* 2007 Mar;25(3):291–6.
19. Grau T, Leipold RW, Horter J, Conradi R, Martin EO, Motsch J. Paramedian access to the epidural space: the optimum window for ultrasound imaging. *J Clin Anesth.* 2001 May;13(3):213–7.
20. Marshburn TH, Hadfield CA, Sargsyan AE, Garcia K, Ebert D, Dulchavsky SA. New heights in ultrasound: first report of spinal ultrasound from the international space station. *J Emerg Med.* 2014 Jan;46(1):61–70.
21. Liu Y, Glass NL, Glover CD, Power RW, Watcha MF. Comparison of the development of performance skills in ultrasound-guided regional anesthesia simulations with different phantom models. *Simul Healthc.* 2013 Dec;8(6):368–75.
22. Restrepo CG, Baker MD, Pruitt CM, Gullett JP, Pigott DC. Ability of pediatric emergency medicine physicians to identify anatomic landmarks with the assistance of ultrasound prior to lumbar puncture in a simulated obese model. *Pediatr Emerg Care.* 2015 Jan;31(1):15–9.
23. Kessler J, Moriggl B, Grau T. Ultrasound-guided regional anesthesia: learning with an optimized cadaver model. *Surg Radiol Anat.* 2014 May;36(4):383–92.
24. Luyet C, Herrmann G, Ross S, Vogt A, Greif R, Moriggl B, et al. Ultrasound-guided thoracic paravertebral puncture and placement of catheters in human cadavers: where do catheters go? *Br J Anaesth.* 2011 Feb;106(2):246–54.
25. Wang EE, Quinones J, Fitch MT, Dooley-Hash S, Griswold-Theodorson S, Medzon R, et al. Developing technical expertise in emergency medicine--the role of simulation in procedural skill acquisition. *Acad Emerg Med.* 2008 Nov;15(11):1046–57.
26. Niazi AU, Haldipur N, Prasad AG, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia performance in the early learning period: effect of simulation training. *Reg Anesth Pain Med.* 2012 Feb;37(1):51–4.

27. Augustine EM, Kahana M. Effect of procedure simulation workshops on resident procedural confidence and competence. *J Grad Med Educ.* 2012 Dec;4(4):479–85.
28. Dessieux T, Estebe J-P, Bloc S, Mercadal L, Ecoffey C. [Evaluation of the learning curve of residents in localizing a phantom target with ultrasonography]. *Ann Fr Anesth Reanim.* 2008 Oct;27(10):797–801.
29. Baranauskas MB, Margarido CB, Panossian C, Silva ED, Campanella MA, Kimachi PP. Simulation of ultrasound-guided peripheral nerve block: learning curve of CET-SMA/HSL Anesthesiology residents. *Rev Bras Anesthesiol.* 2008 Apr;58(2):106–11.
30. Wilke HJ, Kettler A, Wenger KH, Claes LE. Anatomy of the sheep spine and its comparison to the human spine. *Anat Rec.* 1997 Apr;247(4):542–55.
31. Mageed M, Berner D, Jülke H, Hohaus C, Brehm W, Gerlach K. Is sheep lumbar spine a suitable alternative model for human spinal researches? Morphometrical comparison study. *Lab Anim Res.* 2013 Dec;29(4):183–9.
32. Valentin S, Licka TF, Elliott J. MRI-determined lumbar muscle morphometry in man and sheep: potential biomechanical implications for ovine model to human spine translation. *J Anat.* 2015 Jul 21;
33. Biau DJ, Williams SM, Schlup MM, Nizard RS, Porcher R. Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM. *Br J Surg.* 2008 Jul;95(7):925–9.
34. Correa JBB, Dellazzana JEF, Sturm A, Leite DMA, de Oliveira Filho GR, Xavier RG. Using the Cusum curve to evaluate the training of orotracheal intubation with the Truview EVO2 laryngoscope. *Rev Bras Anesthesiol.* 2009 Jun;59(3):321–31.
35. Dessolle L, Biau DJ, de Larouzière V, Ravel C, Antoine J-M, Daraï E, et al. Learning curve of vitrification assessed by cumulative summation test for learning curve (LC-CUSUM). *Fertil Steril.* 2009 Sep;92(3):943–5.
36. Dessolle L, Fréour T, Barrière P, Jean M, Ravel C, Daraï E, et al. How soon can I be proficient in embryo transfer? Lessons from the cumulative summation test for learning curve (LC-CUSUM). *Hum Reprod.* 2010 Feb;25(2):380–6.
37. Balsyte D, Schäffer L, Burkhardt T, Wisser J, Zimmermann R, Kurmanavicius J. Continuous independent quality control for fetal ultrasound biometry provided by the cumulative summation technique. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2010 Apr;35(4):449–55.
38. Colquhoun PHD. CUSUM analysis of J-pouch surgery reflects no learning curve after board certification. *Can J Surg.* 2008 Aug;51(4):296–9.
39. Biau DJ, Porcher R. A method for monitoring a process from an out of control to an in control state: Application to the learning curve. *Stat Med.* 2010 Aug 15;29(18):1900–9.

40. Carabuena JM, Mitani AM, Liu X, Kodali BS, Tsen LC. The learning curve associated with the epidural technique using the Episure™ AutoDetect™ versus conventional glass syringe: an open-label, randomized, controlled, crossover trial of experienced anesthesiologists in obstetric patients. *Anesth Analg*. 2013 Jan;116(1):145–54.
41. De Oliveira Filho GR. The construction of learning curves for basic skills in anesthetic procedures: an application for the cumulative sum method. *Anesth Analg*. 2002 Aug;95(2):411–6, table of contents.
42. Arora S, Awrey J, Carden A, Hatch LD/Keck School of Medicine of the University of Southern California, Los Angeles, CA - Comparing Bedside Ultrasound to Palpation in Identification of Spinal Landmark - *Annals of Emergency Medicine* S127 Volume 52 n 4 Oct 2008

VII. ANNEXES

Annexe 1 : Feuille de consentement signée par les apprenants

Recueil de consentement

Etude de la courbe d'apprentissage de la réalisation de ponction lombaire écho repérée sur modèle de rachis aux urgences

Mr le Dr Ghislain Richard, investigateur principal.

Après information vous avez participé à une étude visant à étudier la courbe d'apprentissage de la réalisation de ponction lombaire écho repérée sur modèle de rachis aux urgences. La ponction lombaire (rachicentèse) est un examen médical consistant à recueillir le liquide céphalo-rachidien (LCR), ou liquide cérébro-spinal dans la cavité Sub - arachnoïdienne par une ponction dans le dos, entre deux vertèbres. La ponction lombaire est pratiquée essentiellement pour analyser le liquide céphalo-rachidien pour y déceler les traces d'une infection ou d'une maladie. Elle est utile au diagnostic de la méningite ou de l'hémorragie intracrânienne ou d'autres infections du système nerveux comme les méningo-encéphalites ou les abcès cérébraux ou encore les myélites. Cette réalisation implique un repérage des structures anatomiques rachidiennes par palpation. Mais les repérages anatomiques peuvent être inadéquats dans environ 30% des cas. Ainsi le taux de PL traumatiques est de 10 à 20%. De plus les repérages anatomiques difficiles exposent à une répétition des points de ponctions et donc à un taux de PL traumatiques augmentés. Il a été démontré que le recours à une technique de PL par écho repérage permettait de diminuer le temps de réalisation, le nombre de tentative, l'incidence de PL traumatiques et d'améliorer le taux de succès. A notre connaissance il n'existe aucune étude évaluant le nombre de procédures nécessaire à l'apprentissage de cette technique. Le but de notre travail est d'évaluer la courbe d'apprentissage de cette technique sur un modèle de rachis à repères anatomiques difficiles.

Si vous souhaitez recevoir les résultats de l'étude, il suffit de les demander à Mélody Moya, service d'accueil des urgences adultes, CHU, 86021 Poitiers Cedex – Tel : 05 49 44 40 33 ou Dr Ghislain Richard service d'accueil des urgences adultes-SAMU-SMUR, CHU, 86021 Poitiers Cedex - Tel: 05 49 44 40 33, poste 45080.

Dr Ghislain Richard

Attestation d'accord de participation

Je soussigné(e)..... né le ait participé dans un protocole de recherche visant à étudier la courbe d'apprentissage de la réalisation de ponction lombaire écho repérée sur modèle de rachis aux urgences].

J'ai bien reçu une information claire et appropriée concernant cette étude, aussi bien orale par l'investigateur principal, qu'écrite.

J'ai pu poser toutes les questions que je voulais aux responsables de l'étude, Mr le Dr Ghislain Richard, Dr Thomas Kerfome et Mélody Moya et je sais que je peux encore en poser à tout moment.

J'ai compris que mon anonymat sera préservé. Seul l'investigateur pourra faire le lien entre mon identité et les données recueillies à mon sujet. De ce fait, j'ai bien noté que mes libertés citées dans la loi informatique seront préservées. Si je ne m'y oppose pas, ces données pourront être publiées.

J'ai compris que je pouvais m'adresser oralement au personnel médical pour faire valoir mon droit d'opposition et ainsi sortir de l'étude.

Je peux toujours appeler le secrétariat au 05 49 44 40 33 et demander Melody Moya ou Dr Richard Ghislain pour exprimer mon opposition.

Je m'oppose à l'utilisation des données recueillies à mon sujet dans l'étude.

Je ne m'oppose pas à l'utilisation des données recueillies à mon sujet dans l'étude

Signature suivie de la mention « lu et approuvé »

* Entourer votre réponse

Annexe 2 (NASA TLX)

Journal de bord auprès du personnel

4. Composantes de la charge de travail: les échelles

Dans cette section, six échelles d'évaluation des composantes de la charge de travail vous seront affichées (exigence mentale, exigence physique, exigence temporelle, performance, effort, frustration).

Avant de commencer, vous devez lire soigneusement les définitions ci-dessous expliquant chacune des composantes. est extrêmement important qu'elles soient claires pour vous.

Par la suite, vous devrez évaluer votre travail, c'est-à-dire l'ensemble des tâches que vous avez faites au cours de la présente journée, en marquant sur chaque échelle le niveau qui correspond à votre expérience. La plupart des échelles sont graduées de "faible" à "élevée", sauf une, graduée de "bonne" à "pauvre".

1. EXIGENCE MENTALE

Jusqu'à quel point des activités mentales et perceptives étaient requises pour faire votre travail (ex. penser, décider, calculer, se rappeler, regarder, rechercher, etc.)? Votre travail était-il facile ou exigeant, simple ou complexe?

Exigence mentale Faible Élevée

2. EXIGENCE PHYSIQUE

Jusqu'à quel point des activités physiques étaient requises pour faire votre travail (pousser, tirer, tourner, contrôler, activer, etc.)? Votre travail était-il facile ou difficile, lent ou rapide, calme ou stressant?

Exigence physique Faible Élevée

3. EXIGENCE TEMPORELLE

Jusqu'à quel point vous êtes-vous senti pressé dans le temps dû au rythme ou à la vitesse à laquelle les tâches de votre travail arrivent? Était-elle lente et convenable vs rapide et contraignante?

Exigence temporelle Faible Élevée

4. PERFORMANCE

Jusqu'à quel point pensez-vous avoir réussi à atteindre les objectifs de votre travail? Êtes-vous satisfait par rapport à vos résultats obtenus?

Performance Bonne Pauvre

5. EFFORT

Jusqu'à quel point avez-vous eu à travailler dur (mentalement ou physiquement) pour atteindre votre niveau de performance?

Effort Faible Élevée

6. FRUSTRATION

Jusqu'à quel point vous sentiez-vous non confiant(e), découragé(e), irrité(e), stressé(e) et ennuyé(e) vs confiant(e), encouragé(e), content(e), relax(e) et satisfait(e) de vous durant votre travail?

Frustration Faible Élevée

VIII. RESUME

Introduction : La ponction lombaire (PL) est un geste diagnostique usuel dans les services hospitaliers pour infirmer ou confirmer certaines pathologies graves (hémorragie méningée, méningite bactérienne). Le recueil du LCR est dépendant de la technique de ponction et surtout des repérages anatomiques. Dans la littérature, les repérages anatomiques sont inadéquats dans 30% des cas voire impossibles chez certains patients. Il a été démontré que l'utilisation de l'échographie est une aide à la réalisation de la PL lorsque les repérages anatomiques sont difficilement palpables. Or aucune étude publiée à ce jour n'évalue la courbe d'apprentissage de cette technique. Le but de cette étude est de déterminer les performances et les courbes d'apprentissage de la réalisation d'une PL après repérages échographiques sur un modèle de rachis chez une population médicale de juniors et de séniors travaillant aux urgences.

Matériel et Méthodes : Un modèle a été réalisé à partir d'un rachis de mouton. 10 médecins séniors et 10 internes ont été formés (par diaporama et vidéo) puis évalués. Chaque participant a réalisé 10 procédures comportant un écho- repérage (acquisition d'une coupe transversale médiane et une coupe longitudinale) suivi d'une ponction. Pour chacune des procédures étaient relevés le temps de la procédure (temps de repérage de la zone de ponction et temps de ponction), la charge mentale (NASA-TLX) et le succès/échec. Les courbes d'apprentissage ont été analysées selon la méthode de LC-CUSUM.

Résultats: Le taux de succès est de 85% avant la 6^{ème} procédure et de 100% après la 6^{ème} procédure dans le groupe internes (Différence significative entre les 2 taux de succès (-15% ; IC95 [-0,258 ; 0,028] ; $p < 0,05$)) et de 90% avant la 4^{ème} procédure et de 100% après la 4^{ème} procédure pour les séniors (Différence significative entre les 2 taux de succès (10% ; IC95 [2,7 ; 17,3] ; $p < 0,05$)). Le temps de repérage de la zone de ponction est significativement plus court à partir de la 7^{ème} procédure (163 ± 54 sec vs 100 ± 30 sec ($p < 0,05$)) dans le groupe internes. Il n'existe aucune différence entre la

1^{ère} et la 10^{ème} procédure (115±40 sec vs 77±35 secondes) pour les séniors. Le temps de réalisation de la ponction est significativement plus court à partir de la 7^{ème} procédure dans les deux groupes (77± 24sec vs 23±24 sec (p<0,05)) pour les internes, et (75± 40 sec vs 22±14 sec (p<0,05)) pour les séniors. Le temps de réalisation de la procédure est significativement plus court à partir de la 7^{ème} procédure dans les 2 groupes (240±70 sec vs 119±35 sec (p<0,05)) pour les internes, et (190±70 sec vs 95±35 sec (p<0,05)) pour les séniors. La charge mentale est significativement diminuée à partir de la 8^{ème} procédure dans les deux groupes (27±7 U.I vs 11±4 U .I. (p<0,05)) pour les internes, et (23±9 U.I vs 11±3 U .I. (p<0,05)) pour les séniors.

Discussion : Cette étude montre l'acquisition rapide par les médecins juniors et séniors de la technique de repérage échographique avant ponction lombaire sur modèle expérimental. Une formation théorique comportant un diaporama et une vidéo, suivie d'au moins sept ponctions sur modèle semble suffisante au succès. Il conviendra de comparer ces résultats aux procédures réalisées chez des malades.

Conflits d'intérêts : Aucun conflit à déclarer

Mots clés : puncture lumbar, ultrasound, learning curve, adult, emergency.



SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.