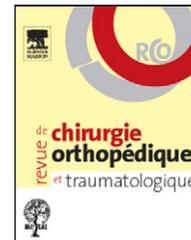




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
 EM|consulte
www.em-consulte.com



MÉMOIRE ORIGINAL

Évaluation d'un simulateur de vissage iliosacré percutané[☆]

Assessment of a percutaneous iliosacral screw insertion simulator

J. Tonetti*, L. Vadcard, P. Girard, M. Dubois, P. Merloz, J. Troccaz

Orthopaedic and trauma department, hôpital Michallon, BP217, 38043 Grenoble cedex 09, France

Acceptation définitive le : 23 juillet 2009

MOTS CLÉS

Traumatologie ;
Simulateur ;
Vissage iliosacré ;
Geste chirurgical ;
Chirurgie assistée par ordinateur

Résumé

Fondement. – La simulation des gestes de chirurgie orthopédique et de traumatologie est peu pratiquée, elle peut améliorer la formation des chirurgiens orthopédistes à des gestes complexes.

Objectif. – Le but de ce travail était de tester l'efficacité pédagogique d'un simulateur de trajectoires percutanées sous fluoroscopie appliqué à l'implantation de vis iliosacrées.

Matériel et méthodes. – Nous avons évalué 23 chirurgiens qui ont implanté une broche guide sur cadavre selon une procédure préalablement expliquée. Les chirurgiens en formation ont été caractérisés en novices ou débrouillés, avec ou sans connaissances théoriques, avec ou sans connaissances procédurales. Le vissage sur cadavre a été réalisé soit d'emblée sans entraînement (G1), soit après un entraînement sur simulateur (G2). Les critères d'analyse de chaque chirurgien étaient le nombre de clichés radiographiques peropératoires demandés et un indice de dangerosité construit à partir de l'aptitude du chirurgien à reconnaître une trajectoire dangereuse.

Résultats. – Le groupe G1 demandait en moyenne 13 radiographies pour implanter la broche. Le groupe G2, avec simulateur, demandait en moyenne dix radiographies. Cette différence était significative pour le sous-groupe novice (N), avec en moyenne 12,75 clichés pour G1 et 8,5 clichés pour G2. Dans le sous-groupe des opérateurs sans connaissances procédurales (P–) la différence était significative avec 12 clichés pour G1 et six clichés pour G2. Enfin, dans le sous-groupe des opérateurs avec connaissances théoriques (T+) la différence était significative avec 16 clichés pour G1 et 10,8 clichés pour G2. L'indice de dangerosité n'a pas été modifié de manière significative.

DOI de l'article original : [10.1016/j.otsr.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.07.005).

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : JTonetti@chu-grenoble.fr (J. Tonetti).

Discussion. — Malgré certains biais méthodologiques, nous avons pu montrer l'efficacité du simulateur pour familiariser l'opérateur avec l'utilisation des images 2D pour guider son geste dans l'environnement 3D du patient. Les chirurgiens novices qui possèdent des connaissances anatomiques théoriques de la charnière lombosacrée sans connaissances de la procédure chirurgicale, sont ceux qui bénéficient le plus de cet outil. L'analyse des traces d'apprentissage sur simulateur permettra de diriger le chirurgien sur des zones de cours non encore acquises. Des applications à d'autres gestes percutanés sous fluoroscopie sont envisageables.

Niveau de preuve : niveau III étude prospective diagnostique.

© 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Introduction

La technique de vissage iliosacré est une solution pratique pour la fixation des lésions postérieures de l'anneau pelvien, soit osseuses sacrées, soit articulaires sacro-iliaques [1–4]. L'utilisation de la fluoroscopie ou de la navigation assistée par ordinateur autorise la réalisation de ce geste de manière percutanée en décubitus dorsal [3,5,6] sur un anneau pelvien réduit. Cela permet une fixation plus précoce chez le patient polytraumatisé et une disparition quasi-complète des complications hémorragiques ou infectieuses du site opératoire. Cependant, ce geste de vissage n'est pas dénué de risques du fait de l'environnement vasculonerveux des premières pièces sacrées. Le tronc lombosacré en haut et en avant ainsi que le premier nerf sacré en bas et en arrière de l'aileron sacré sont exposés à un trajet extra-osseux des vis [7]. Le volume intérieur de l'aileron forme un corridor dont la section transversale dans la zone la plus étroite est ovale et mesure sur son grand axe 22 mm en moyenne (extrêmes de 17 à 29 mm) et sur le petit axe 11 mm en moyenne (extrêmes de 9 à 16 mm) [8]. La trajectoire doit être précise pour franchir cette zone avec la ou les vis. La lecture opératoire radiographique utilise des repères osseux sur les incidences inlet, outlet et de profil [9,10] pour contrôler la trajectoire dans ce corridor osseux étroit. La courbe d'apprentissage de cette technique, uniquement contrôlée par l'image, est longue et nécessite une familiarisation préalable avec de nombreuses situations cliniques différentes pour sécuriser l'implantation des vis [11]. Un autre effet adverse des premières tentatives est l'irradiation importante du patient et de l'équipe chirurgicale jusqu'à 3,1 minutes par vis dans notre expérience.

La simulation de procédures opératoires n'est pas nouvelle. La laparoscopie a bénéficié la première des simulateurs chirurgicaux compte tenu de la corrélation entre la durée opératoire et l'entraînement du chirurgien sur certaines interventions [12]. En orthopédie c'est l'arthroscopie du genou qui a bénéficié en premier de la simulation chirurgicale [13]. Le développement des gestes percutanés nous fait prendre conscience de la nécessité d'un entraînement procédural pour diminuer le temps opératoire et l'exposition aux radiations ionisantes. La planification virtuelle utilisée dans les techniques de navigation basées sur la tomographie préopératoire rend accessible le volume osseux tridimensionnel pour y manipuler des outils. Un simulateur d'ostéosynthèse proximale de fémur sous fluoroscopie a montré son efficacité sur la précision, le

nombre de clichés demandés et la rapidité d'une intervention réelle réalisée après entraînement [14].

Lors du projet européen «Virtual Orthopaedic European University» VCEU IST 1999-13079, nous avons mis au point un outil de simulation appliqué au vissage iliosacré [15]. Cette application a été choisie par d'autres équipes [16]. Le but de notre travail était de valider cet outil sur une population chirurgicale large en situation réelle.

Matériel et méthode

Population évaluée

Nous avons évalué 23 chirurgiens orthopédistes en formation lors d'un cours institutionnel de chirurgie du bassin (Cours Bassin AO France – Club Bassin Cotyle, Nice 14–16 mai 2008, Laboratoire d'anatomie, Pr F. De Peretti). Il s'agissait d'internes avancés ou de jeunes chefs de cliniques – assistants ne pratiquant pas de manière régulière des vissages iliosacrés percutanés. Les chirurgiens venaient de 21 centres hospitaliers différents repartis sur 20 villes différentes. Il y avait 22 hommes et une femme.

Un questionnaire a été remis au moment de l'inscription au cours afin de mieux connaître la population à étudier. Il s'agissait de questions fermées pour une cotation non interprétative. Chaque chirurgien a été identifié vis-à-vis de son expérience du vissage iliosacré percutané en opérateur débrouillé (D) ou opérateur novice (N) en fonction du nombre de vissages qu'il avait observé ou réalisé sous contrôle d'un senior : zéro vissage, un vissage, d'un à cinq vissages, plus de cinq vissages. Dans le **Tableau 1**, nous détaillons le mode d'attribution du caractère N ou D. Dans ce questionnaire, les chirurgiens étaient également identifiés vis-à-vis de leurs connaissances théoriques

Tableau 1 Identification de l'expérience des chirurgiens vis-à-vis du vissage iliosacré.

		vissages observés			
		0	1	1 à 5	> 5
Vissages réalisés	0	N	N	N	N
	1	N	N	D	D
	1 à 5	N	N	D	D
	> 5	D	D	D	D

N : opérateur novice ; D : opérateur débrouillés.

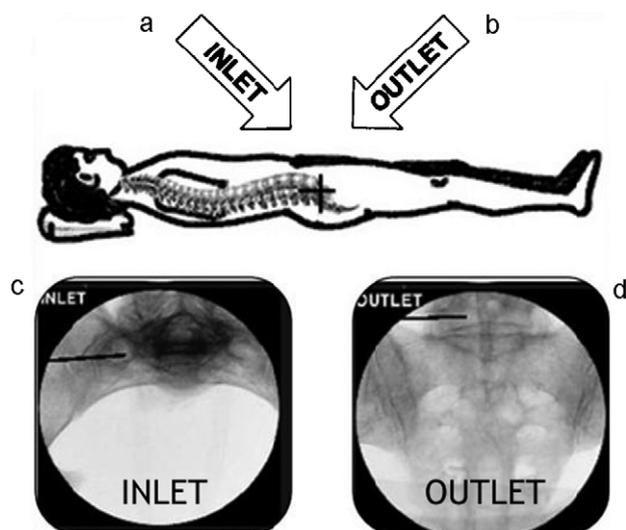


Figure 1 Extrait du questionnaire d'identification de l'expertise du chirurgien vis-à-vis du vissage iliosacré percutané: Cette trajectoire représentée sur les clichés fluoroscopiques «inlet» et «outlet» n'est pas satisfaisante. Sans changer la direction de la broche, comment doit-on translater le point d'entrée de la broche? a: vers la tête du patient; b: vers les pieds du patient; c: vers l'avant et les pieds du patients selon l'axe de l'incidence «outlet»; d: vers le dos et les pieds du patient selon l'axe de l'incidence «inlet».

(T) (indications chirurgicales du vissage, incidences fluoroscopiques standardisées, connaissances anatomiques) et vis-à-vis de leurs connaissances procédurales (P) (reconnaissance de l'orientation de la trajectoire d'une broche au sein d'une radiographie peropératoire et au sein de la représentation 3D, modification de trajectoire dans un diagramme représentant un bassin). Un extrait du questionnaire est présenté dans la Fig. 1. Le caractère T+ était attribué aux sujets ayant obtenu un score supérieur à 80% aux questions théoriques. Le caractère P+ était attribué aux sujets ayant obtenu un score supérieur à 80% aux questions procédurales. Il a été associé trois caractères binaires à chaque chirurgien: N ou bien D; T- ou bien T+; P- ou bien P+.

Procédure de test

Lors du cours, un exposé technique, présenté à l'ensemble des chirurgiens, a énoncé les principes du vissage iliosacré

percutané et les étapes de la procédure. Un vissage iliosacré percutané sur cadavre a été réalisé par chaque chirurgien au sein d'un groupe de quatre chirurgiens, cela pour une meilleure occupation du temps du cours institutionnel. Un rappel sommaire des étapes de la procédure de vissage était fait pour chaque groupe puis successivement les chirurgiens ont implanté une broche de diamètre 2,5 mm et de longueur 300 mm. L'implantation était effectuée à l'aide d'un maillet puis d'un moteur sur batterie. Le geste était contrôlé à l'aide d'un fluoroscope standard (Siremobil Compact LTM, Siemens medical solution, Saint-Denis France) muni d'un récepteur de diamètre 30 cm. Les manipulations étaient réalisées par un manipulateur spécialisé sur les indications du chirurgien. Un examinateur indépendant notait le nombre de clichés fluoroscopiques et le type intra-ou extraosseux des trajectoires d'essai et des trajectoires finales effectuées. Nous avons cherché à définir le niveau de dangerosité de l'opérateur en fonction de l'aspect soit intraosseux, soit extraosseux des trajectoires et surtout de l'aptitude à reconnaître l'aspect extraosseux dangereux. Nous avons défini cinq niveaux de dangerosité qui sont expliqués dans le Tableau 2. Lorsque le chirurgien effectuait des essais intraosseux et la trajectoire finale intraosseuse, son indice de dangerosité était minimum de niveau 1. Lors que les essais étaient extraosseux mais la trajectoire finale était intraosseuse, son indice était de 2. Lorsque les essais étaient intraosseux et finalement la trajectoire choisie était extraosseuse, son indice était de 3. Lorsque les essais et la trajectoire finales étaient extraosseux son indice était de 4. Enfin, s'il n'y avait pas d'essai et que la trajectoire finale était extraosseuse, l'indice de dangerosité était maximum de cinq sur cinq. Pour chaque groupe la dangerosité pouvait être calculée en additionnant les valeurs obtenues par chaque opérateur du groupe.

Présentation du simulateur

Un simulateur était proposé au chirurgien pour réaliser des vissages iliosacrés virtuels [15]. Cet exercice sur simulateur est accessible au lecteur par le lien internet suivant: <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/voeu/visfran/index.htm>. Le logiciel était installé sur une station PC informatique standard. Ce simulateur permettait d'implanter dans un volume 3D tomодensitométrique de bassin, une broche du côté droit en utilisant une technologie de langage VRML (cortona VRML clientTM, parallelgraphics Inc., Dublin, Ireland). Le bassin 3D était masqué par une enveloppe cutanée (Fig. 2), et présenté

Tableau 2 Niveaux de dangerosité des opérateurs déterminés par les essais et les trajectoires finales, intraosseuses ou extraosseuses.

	Essais		Trajectoire finale	
	Intraosseuse	Extraosseuse	Intraosseuse	Extraosseuse
Niveau 1	✓		✓	
Niveau 2		✓	✓	
Niveau 3	✓			✓
Niveau 4		✓		✓
Niveau 5				✓

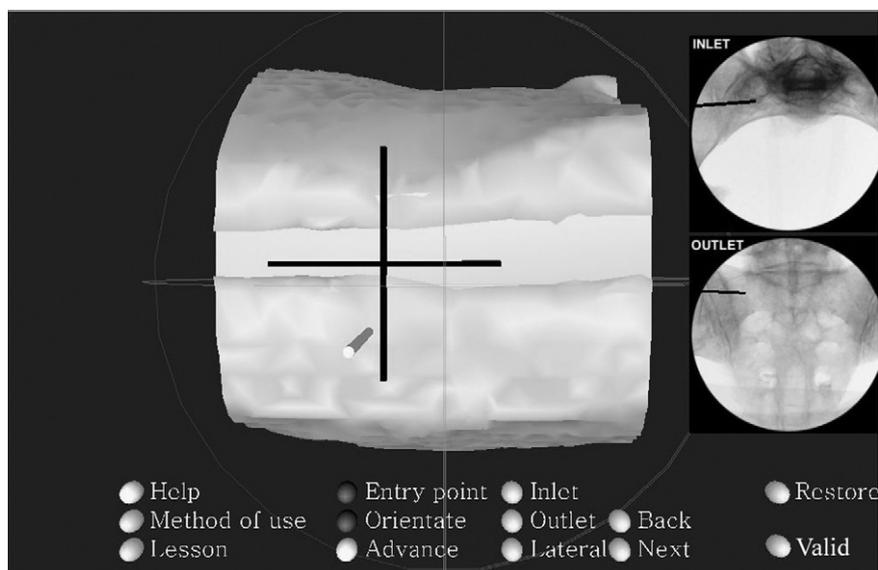


Figure 2 Écran du simulateur montrant le volume 3D tomodensitométrique masqué sous l'enveloppe cutanée, les contrôles radiographiques et les boutons de commande.

en décubitus dorsal muni d'un repère cutané (croix sur la Fig. 2) correspondant à la projection latérale sur la peau du sacrum. Les commandes étaient : « Placer » en translation ou « Orienter » la broche lorsqu'elle était à l'extérieur du corps, puis « Enfoncer » la broche. L'opérateur pouvait réaliser des radiographies en incidences inlet, outlet et de profil en cliquant sur les boutons correspondant (« Inlet » ; « Outlet » ; « Profil ») pour vérifier la progression de la broche. Conformément à la plupart des situations au bloc opératoire, deux incidences étaient visibles simultanément (la courante et la précédente). Il était possible de revoir les images précédentes en cliquant sur « Précédente » et « Suivante ». La commande « Retour » replaçait la broche hors du bassin, tout en conservant le point d'entrée et l'orientation, afin de servir de repère transitoire pour les corrections souhaitées. Lorsque l'opérateur était satisfait il validait la trajectoire en cliquant sur la commande « Valider ». Le simulateur donnait alors une appréciation de la trajectoire finale sous forme d'un commentaire : soit le trajet était réussi, c'est-à-dire intraosseux et de profondeur satisfaisante, soit il était non satisfaisant par effraction antérocraniale ou postérocaudale, par progression trop ou insuffisamment profonde. Ces commentaires s'inscrivaient alors sur l'écran et constituaient un retour pédagogique immédiat pour l'opérateur. Le nombre de contrôles radiographiques pris au cours de la session était affiché. Le nombre de tentatives était indiqué. En cas de trajet non satisfaisant, un bouton nommé « Leçon » permettait de se rendre dans une page de cours technique sur le vissage iliosacré lié au simulateur. Enfin le bouton « Aide » donnait la signification de chaque commande lorsque l'on passait dessus et le bouton « Mode d'emploi » ouvrait un texte explicatif de la conduite à tenir pour commencer l'exercice. Aucune trace n'était gardée de cet exercice sur simulateur.

Deux groupes de chirurgiens ont été constitués en répartissant les trois caractères de manière équilibrée entre les deux groupes. Le groupe 1 (G1) a réalisé un vissage iliosacré

sur un cadavre sans entraînement préalable sur simulateur. Le groupe 2 (G2) a réalisé un vissage iliosacré percutané sur cadavre après s'être entraîné 20 minutes sur le simulateur.

Méthodes statistiques

L'analyse statistique a utilisé le test χ^2 pour comparer le nombre de radiographies prises et la dangerosité dans les groupes G1 et G2. L'analyse tenait compte des trois caractères identifiés chez les opérateurs. La moyenne des niveaux de dangerosité des chirurgiens des groupes G1 et G2 était comparée, globalement et en tenant compte des sous-groupes de caractères.

Résultats

La composition des groupes G1 et G2 est donnée dans le Tableau 3 avec la répartition des caractères.

La durée moyenne du vissage par participant était de 6,2 minutes, déviation standard (DS) de 2,2 minutes (G1 : durée moyenne 6,2 minutes, DS 2 minutes ; G2 : durée moyenne 6,2 minutes ; DS 2,7 minutes). Le temps de vissage sur corps n'était pas homogène lorsque l'on tenait compte des effets Novices/Débrouillés, P+/P- et T+/T-. Cependant, aucune différence n'était significative au sein d'un caractère.

Le nombre total de contrôles radiographiques était de 159 dans le groupe G1, soit 13 contrôles par opérateur en moyenne et de 117 dans le groupe G2, soit dix contrôles par opérateur en moyenne (Tableau 4). Dans le groupe G1 les novices demandaient plus de clichés radiographiques (moyenne 12,75) que dans le groupe G2 (moyenne 8,5), de manière significative. Dans le groupe G1 les opérateurs P- demandaient plus de clichés radiographiques (moyenne 12) que dans le groupe G2 (moyenne 6), de manière significative. Les opérateurs T+ du groupe G2 demandaient moins de clichés (moyenne 10,8) que dans le groupe G1 (moyenne 16), de manière significative.

Tableau 3 Effectif et répartition des caractères des opérateurs dans les groupes G1 et G2.

Caractères	N	N	N	N	D	D	D	D	Total
	T-	T-	T+	T+	T-	T-	T+	T+	
	P-	P+	P-	P+	P-	P+	P-	P+	
G1	3	2	1	2	1	2	1	0	12
G2	2	2	1	3	0	2	0	1	11

N : opérateur novice ; D : opérateur débrouillés ; T- : connaissances théoriques inférieur à 80 % ; T+ : connaissances théoriques supérieur à 80 %. P- : connaissances procédurales inférieur à 80 % ; P+ : connaissances procédurales supérieur à 80 %.

Tableau 4 Résultats radiographiques exprimés en nombre de clichés demandés par caractères dans les groupes G1 et G2.

	N	D	T-	T+	P-	P+	Total
G1	102 (n=8)	57 (n=4)	95 (n=8)	64 (n=4)	72 (n=6)	87 (n=6)	159 (n=12)
G2	68 (n=8)	49 (n=3)	63 (n=6)	54 (n=5)	18 (n=3)	99 (n=8)	117 (n=11)
Test Chi ²	p=0,01	NS	NS	p=0,03	p=0,007	NS	p=0,07

N : opérateur novice ; D : opérateur débrouillé ; T- : connaissances théoriques inférieur à 80 % ; T+ : connaissances théoriques supérieur à 80 %. P- : connaissances procédurales inférieur à 80 % ; P+ : connaissances procédurales supérieur à 80 %. NS : p > 0,05.

Tableau 5 Dangérisité calculée des opérateurs dans les groupes G1 et G2.

	N	D	T-	T+	P-	P+	Total
G1	13 (n=8)	8 (n=4)	15 (n=8)	6 (n=4)	12 (n=6)	9 (n=6)	21 (n=12)
G2	17 (n=8)	4 (n=3)	11 (n=6)	10 (n=5)	8 (n=3)	13 (n=8)	21 (n=11)
Test Chi ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

N : opérateur novice ; D : opérateur débrouillé ; T- : connaissances théoriques inférieur à 80 % ; T+ : connaissances théoriques supérieur à 80 %. P- : connaissances procédurales inférieur à 80 % ; P+ : connaissances procédurales supérieur à 80 %. NS : p > 0,05.

La dangérisité du groupe G1 était égale à celle du groupe G2, soit 21 (Tableau 5). La moyenne de dangérisité par opérateur dans le groupe G1 était de 1,75 (extrêmes 1 et 5) et dans le groupe G2 de 1,9 (extrêmes 1 et 4). Il n'a pas été possible de comparer statistiquement les moyennes des sous-groupes N/D, T-/T+ et P-/P+ de G1 et G2, compte tenu du petit effectif et d'un grand nombre de rang égaux. Tout au plus note-t-on une tendance à une dangérisité plus faible pour les opérateurs débrouillés de G2 par rapport aux débrouillés de G1. Des trajets extraosseux transitoires ont été observés cinq fois dans le groupe G1 et huit fois dans le groupe G2.

Discussion

Notre étude présente de nombreux biais méthodologiques. Le premier biais porte sur l'identification de la population que nous évaluons. Le caractère novice/débrouillé est suggestif, fondé sur une déclaration non vérifiable de chaque opérateur. Nous avons tenté d'affiner l'analyse du niveau de connaissance des opérateurs par un questionnaire au contenu théorique et procédural. Ce questionnaire a été testé auparavant sur une population d'internes. Les questions ont été remplies avant l'inscription de manière libre, avec possibilité de consulter des documents. Nous suspectons une faible spécificité de ce questionnaire. C'est pourquoi nous avons placé la limite de sélection des caractères

T+ et P+ à 80 % de réponse positives afin de diminuer les faux positifs et d'extraire les sujets avec des connaissances sûres. Les groupes G1 et G2 ont été constitués pour répartir les caractères harmonieusement. Cependant, cette harmonie reste dépendante de la saisie initiale des caractères. Nous manquons de critères contrôlés qui permettent de connaître le niveau de connaissance chirurgical. Ce type de simulateur pourrait être un moyen d'évaluation du chirurgien vis-à-vis d'une cible pédagogique comme une procédure chirurgicale [14].

Un deuxième biais est la réalisation des vissages par groupe de quatre opérateurs sur corps anatomique. Les chirurgiens n'ont pas été évalués de manière isolée. Ils ont positionné leur broche individuellement mais apprenaient les uns des autres en s'observant mutuellement à l'intérieur du groupe ainsi qu'en écoutant le commentaire final du formateur sur la trajectoire.

Un autre point discutable est la durée de travail sur simulateur de seulement 20 minutes avant de réaliser le test sur cadavre. Cette durée a été choisie afin de bénéficier de la concentration maximum de l'opérateur, qui diminuait après ce délai. Cependant, il nous semble qu'un bon moyen de travailler sur ce simulateur est de pratiquer plusieurs sessions courtes pour se familiariser avec la machine, puis mettre en place étape par étape les connaissances déclaratives (théoriques) anatomiques dans les projections radiographiques. Ainsi, les connaissances procédurales peuvent être acquises de manière durable.

Le nombre de clichés demandé par le chirurgien est un indicateur dont on peut critiquer le choix. Ce critère a été choisi car il apparaît au sein de la courbe d'apprentissage du vissage iliosacré comme étant significatif de l'expérience du chirurgien [5]. Cependant, ces essais sur corps cadavériques simulent mais ne recréent pas complètement la situation réelle. Le chirurgien est moins inquiet des éventuelles conséquences de son geste. Il pourrait demander moins de contrôles radiographiques à chaque étape de la progression de la broche. Cependant, dans cette étude, l'analyse de ce paramètre donne des résultats intéressants.

L'indicateur de dangerosité est critiquable. Il ne montre aucune différence significative entre les deux groupes. Nous pouvions choisir plus simplement la survenue, ou non, d'un trajet extraosseux lors du positionnement de la broche comme critère d'évaluation. Nous avons voulu introduire la notion de perception du danger par l'opérateur avec cinq niveaux de dangerosité. Ce paramètre est finalement peu sensible car le niveau moyen de dangerosité ne dépasse pas 1,8 pour l'ensemble de la population. Le passage du niveau 1 au niveau 2 suit la survenue d'un trajet extraosseux sans autre nuance. Il faudrait introduire d'autres facteurs, comme la précocité du trajet extraosseux dans la séance d'essai ou bien la notion de réalisation d'un contrôle radiographique avant de franchir la corticale osseuse. Ce type d'analyse vidéo très poussée serait à prévoir pour une meilleure évaluation. L'absence de différence entre les expressions des caractères N/D, T et P sur la dangerosité confirme la faible sensibilité de cet indice. Cette notion de danger est difficile à formuler. C'est souvent le chirurgien senior présent qui évoque cette notion de risque auprès du moins expérimenté et rectifie la procédure avant la survenue d'une complication. Nous n'avons pas de paramètre pour l'apprécier actuellement.

Cette étude pose le problème de l'évaluation d'un simulateur chirurgical. Nous travaillons sur le couplage de la simulation virtuelle sur ordinateur et de la simulation analogique sur mannequin. Nous avons conçu un mannequin à partir d'un squelette synthétique enfoui dans une mousse polyuréthane. Nous avons mené une première expérience de formation utilisant les deux modalités, virtuelle sur le simulateur de la présente étude et analogique sur le mannequin. Des résultats préliminaires sur cinq internes novices ont montré un bon transfert des apprentissages effectués sur le simulateur vers le mannequin, dans des conditions encore plus proches de celles d'un vrai patient. Les outils d'évaluations sont plus standardisables sur mannequin que sur cadavre. L'analyse qualitative et quantitative des radiographies semble plus reproductible. Cet apprentissage par palier du simulateur au patient en passant par le mannequin est intéressant pour des techniques percutanées peu fréquentes, avec un rendement temporel assez fort (une demi-heure de simulation et une demi-heure de pratique sur mannequin).

Nous avons obtenu des résultats interprétables portant sur le nombre de clichés radiographiques demandés. Ils montrent une différence patente entre les groupes G1 et G2 lorsque l'on sépare les opérateurs novices (N) et débrouillés (D). Les opérateurs N du groupe G1 demandent plus de clichés que les opérateurs N du groupe G2. Le même phénomène est observé pour les opérateurs avec peu de connaissances procédurales (P-). Pour ce qui concerne les

connaissances théoriques (T), ce sont plutôt les opérateurs T+ du groupe G1 qui demandent plus de clichés que les T+ du groupe G2. Pour N et P- il est attendu que le simulateur apporte des connaissances procédurales qui font défaut à ces deux caractères. Pour le caractère T, il ne semble pas que ce type de simulateur apporte les connaissances théoriques, déclaratives non encore acquises par le chirurgien. C'est uniquement sur le petit groupe d'opérateur qui possède les connaissances théoriques, que la diminution du nombre de clichés est sensible entre G1 et G2. Le prérequis des connaissances anatomiques descriptives et topographiques reste donc la base fondamentale sur laquelle le chirurgien construit des procédures opératoires et les contrôles.

Le simulateur délivre une appréciation finale et n'intervient pas durant la procédure. Sa conception initiale est la familiarisation avec les clichés radiologiques et la reconnaissance des repères anatomiques. Nous avons posé l'hypothèse que la simulation est un outil pertinent pour apprendre à mettre en correspondance les connaissances utiles de l'anatomie sacro-iliaque au vissage et les incidences radiographiques spécifiques. La diminution du nombre de clichés est pour nous un indicateur de cet apprentissage. Une meilleure représentation de la position de la broche dans le sacrum permet une efficacité plus grande dans la détermination de la trajectoire.

Le profil idéal pour bénéficier d'un tel simulateur est N, T+, P-. Il faut posséder de solides connaissances théoriques anatomiques et n'avoir eu que peu d'occasions soit d'assister à une intervention, soit de consulter un ouvrage de technique opératoire détaillée.

En orthopédie, l'effort de développement des simulateurs est focalisé sur l'arthroscopie du genou [17]. En traumatologie, des outils de simulation de trajectoires osseuses sont accessibles. Certains distributeurs d'implants chirurgicaux proposent un simulateur de mise en place de vis cervicocéphaliques avec retour d'effort sur une poignée de moteur, comme par exemple le produit TraumaVision™ de la société Melerit Medical (www.meleritmedical.com). Une broche progresse dans des images 2D en incidence de face et profil de l'extrémité proximale de fémur. Il n'est pas possible de choisir les incidences. Cet outil est présenté comme un gadget de marketing focalisé sur le produit à implanter. Le retour tactile apporte, ici, des informations précieuses tel que le franchissement des corticales osseuses. Lorsque la progression devient « dure » mais survient trop tôt, il y a une erreur sur la trajectoire.

L'outil de formation doit prendre en charge explicitement l'apprentissage de la mise en correspondance mentale entre le 2D projeté de la radiographie peropératoire et le 3D du patient, appliqué à une procédure chirurgicale percutanée. Bien souvent, en pratique clinique, des erreurs surviennent lorsque que le chirurgien utilise des incidences radiographiques imparfaites. Dans le cas du vissage iliosacré par exemple, l'incidence « outlet » doit montrer parfaitement les seconds forams antérieurs sacrés au niveau de la projection de la symphyse pubienne, sous peine d'interprétations erronées de la trajectoire. Un simulateur chirurgical doit donc, en première instance, permettre de générer des images radiographiques 2D à partir d'un volume tomodensitométrique 3D. Le chirurgien doit pouvoir modifier les incidences s'il ne les trouve pas suffisamment explicites de l'anatomie du patient.

Sur cette base le simulateur peut bénéficier d'une interface manuelle avec retour d'effort pour amener encore plus de vraisemblance. Cette amélioration tactile de l'interface est très séduisante mais nécessite un équipement un peu plus sophistiqué qu'une simple station de travail informatique.

Nous souhaitons surtout pouvoir générer des traces à partir des exercices pratiques sur simulateur. Les erreurs identifiées et tracées doivent pouvoir être analysées. Blyth et al. [14] ont testé sur des étudiants hospitaliers, des internes de spécialités et d'opérateurs entraînés, un simulateur pour l'ostéosynthèse par vis plaque de fémur proximal. Un point intéressant du simulateur est la possibilité d'obtenir des traces quantitatives sur le placement des implants. Les traces qualitatives sont obtenues par un questionnaire. Notre ambition dans un futur simulateur est de générer des traces qualitatives et quantitatives qui permettront une analyse plus fine des procédures chirurgicales appliquées. Ces traces pourront être analysées selon la méthode mathématique bayésienne afin de proposer une résolution de problème [18,19]. Un cours, focalisé sur la difficulté rencontrée, apportera à l'opérateur les connaissances qui lui font défaut pour résoudre la difficulté rencontrée.

Une autre perspective de notre travail est d'étendre la conception de tels outils à d'autres interventions orthopédiques percutanées. Nous travaillons actuellement sur la vertébroplastie transpédiculaire. Cette intervention est plus fréquente que le vissage iliosacré, mais les conséquences cliniques d'un trajet extraosseux sont plus importantes, surtout au niveau thoracique. La formation sur simulateur, si elle était suffisamment réaliste, pourrait permettre une familiarisation procédurale et devenir un prérequis à la réalisation de ces gestes sur les patients par un chirurgien en formation.

Conclusion

La simulation virtuelle du vissage iliosacré permet de diminuer le nombre de clichés radiographiques peropératoires lors de l'implantation d'une broche guide sur cadavre. Les chirurgiens novices qui possèdent des connaissances anatomiques topographiques de la charnière lombosacrée sans connaissances de la procédure chirurgicale sont ceux qui bénéficient le plus de cet outil. L'apport pédagogique majeure porte sur la procédure d'utilisation peropératoire des images radiographiques 2D pour guider le geste dans l'espace. Une interface tactile peut être ajoutée. Une analyse des traces laissées lors des essais sur simulateur peut être mise en place pour orienter le chirurgien en formation vers un point de cours à travailler. Ces simulateurs sont aussi des outils d'évaluation de l'opérateur avant la réalisation de gestes percutanés délicats, par exemple sur le rachis.

Conflits d'intérêts

Aucun.

Références

- [1] Letournel E. Pelvic fractures. *Injury* 1978;2:145–8.
- [2] Matta JM, Saucedo T. Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop* 1989;242:83–97.
- [3] Routt Jr ML, Kregor PJ, Simonian PT, Mayo KA. Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma* 1995;3:207–14.
- [4] Schweitzer D, Zylberberg A, Córdova M, Gonzalez J. Closed reduction and iliosacral percutaneous fixation of unstable pelvic ring fractures. *Injury* 2008;8:869–74.
- [5] Tonetti J, Carrat L, Lavallée S, Pittet L, Merloz P, Chirossel JP. Percutaneous iliosacral screw placement using image guided techniques. *Clin Orthop* 1998;354:103–10.
- [6] Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, Südkamp NP, Oberst M. Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure. *Clin Orthop* 2009;467:1833–8.
- [7] Templeman D, Schmidt A, Freese J, Weisman I. Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation. *Clin Orthop* 1996;329:194–8.
- [8] Tonetti J, Cloppet O, Clerc M, Pittet L, Troccaz J, Merloz P, et al. Implantation des vis iliosacrées. *Rev Chir Orthop* 2000;4:360–9.
- [9] Pennal GF, Tile M, Waddell JP, Garside H. Pelvic disruption: assessment and classification. *Clin Orthop* 1980;151:12–21.
- [10] Routt Jr ML, Simonian PT, Agnew SG, Mann FA. Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of iliosacral screws: a cadaveric and clinical study. *J Orthop Trauma* 1996;3:171–7.
- [11] Tonetti J, Cazal C, Eid A, Badulescu A, Martinez T, Vouaillat H, et al. Lésions neurologiques des fractures de l'anneau pelvien. *Rev Chir Orthop* 2004;2:122–31.
- [12] Chaudhry A, Sutton C, Wood J, Stone R, McCloy R. Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a virtual reality simulator: quality of human-computer interface. *Ann R Coll Surg Engl* 1999;4:281–6.
- [13] Mabrey JD, Cannon WD, Gillogly SD, Kasser JR, Sweeney HJ, Zarins B, et al. Development of a virtual reality arthroscopic knee simulator. *Stud Health Technol Inform* 2000;70:192–4.
- [14] Blyth P, Stott NS, Anderson IA. Virtual reality assessment of technical skill using the Bonedoc DHS simulator. *Injury* 2008;10:1127–33.
- [15] Vadcard L, Troccaz J, Martin R. Simulator for percutaneous iliosacral screwing surgery. *Projet européen VOEI IST 1999-13079; 2002 [Final deliverable no 14.04].*
- [16] Rush R, Ginsberg HJ, Jenkinson R, Whyne CM. Beyond the operating room: a simulator for sacroiliac screw insertion. *Surg Innov* 2008;4:321–3.
- [17] Michelson JD. Simulation in orthopaedic education: an overview of theory and practice. *J Bone Joint Surg (Am)* 2006;88:1405–11.
- [18] Mufti Alchawafa D, Luengo V, Vadcard L. Architecture d'un environnement d'aide à l'apprentissage de la chirurgie orthopédique. In: TICE 2004, conférence des technologies de l'information et de la connaissance dans l'enseignement supérieur et l'industrie. France: Compiègne; 2004.
- [19] Luengo V, Mufti-Alchawafa, Vadcard L. The knowledge like the object of intelligent tutoring systems object of interaction in an orthopaedic surgery-learning environment. *Intelligent tutoring systems, 3220*. Berlin/Heidelberg: Springer Ed; 2004. p. 108–17.