

AMELIE BOUTIN

**REPRODUCTIBILITE DE LA MESURE DU  
SEGMENT INFERIEUR DE L'UTERUS  
Échographie 3D et vidéo 2D**

Mémoire présenté  
à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval  
dans le cadre du programme de maîtrise en épidémiologie  
pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

DEPARTEMENT DE MEDECINE SOCIALE ET PREVENTIVE  
FACULTE DE MEDECINE  
UNIVERSITE LAVAL  
QUEBEC

2012

## Résumé

Nous avons réalisé une étude rétrospective de 60 femmes enceintes ayant un antécédent de césarienne basse transverse. Entre la 35<sup>e</sup> et la 39<sup>e</sup> semaine de grossesse, deux observateurs (A et B), à l'insu des données cliniques, ont mesuré de manière indépendante l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus par échographie transvaginale. Un examen direct à l'aide de l'échographie 2D a été réalisé par l'observateur A. Des vidéos échographiques et des images 3D du segment inférieur ont été enregistrées par un observateur et analysées ultérieurement, au moins deux mois plus tard, par chacun des observateurs en ordre aléatoire et de manière indépendante. Au moins deux semaines plus tard, l'observateur B a répété l'ensemble des examens des images 3D et des vidéos. La reproductibilité intra et interobservateurs ainsi que la reproductibilité interméthodes ont été évaluées à l'aide de médianes de différences absolues, de limites d'accord non paramétriques, de coefficients de corrélation intraclass et de coefficients kappa.

Les mesures du segment inférieur de l'utérus à l'aide de l'échographie 3D ou de vidéos échographiques 2D ont présenté une excellente reproductibilité. Les deux techniques offrent aussi une bonne reproductibilité de la mesure réalisée par échographie 2D transvaginale en direct, particulièrement lorsque le segment inférieur est mince (moins de 3 mm).

## **Abstract**

A prospective study of 60 pregnant women with previous, low-transverse cesarean was performed between 35 and 39 weeks of gestation. Two observers (Rater A and Rater B), blinded to the clinical data, independently measured full lower uterine segment (LUS) thickness using transvaginal sonography. A full live examination of the LUS using two-dimensional (2D) ultrasound was conducted by Rater A. Ultrasound videos and 3D volume datasets of the LUS were captured by one rater and analyzed ulteriorly, more than 2 months later, by both observers independently in random order. Rater B repeated all examinations of 3D datasets and videos at least two weeks later. Intra- and interobserver and intermethod reliabilities were evaluated by median absolute differences, non-parametric limits of agreement, intraclass correlation coefficients (ICC) and kappa coefficients.

Full LUS thickness measured with 3D transvaginal ultrasound datasets or transvaginal sonographic videos has excellent intra- and interobserver reliability. Both methods have also a good reproducibility with live 2D ultrasound examinations, especially when full lower uterine segment is thin (below 3 mm).

Références des articles publiés dont une version préliminaire est incluse dans ce mémoire :

Boutin A, Jastrow N, Roberge S, Chaillet N, Bérubé L, Brassard N, Girard M, Bujold E. Reliability of 3-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness. *J Ultrasound Med.* 2012 Jun;31(6):933-9.

Boutin A, Jastrow N, Girard M, Roberge S, Chaillet N, Brassard N, Bujold E. Reliability of two-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness using video sequences. *Am J Perinatol.* 2012 Aug;29(7):527-32.

## Avant-propos

L'étude faisant l'objet du présent mémoire n'aurait pu être réalisée sans la contribution d'Emmanuel Bujold et de l'équipe de recherche en échographie obstétricale du CHUL, tout particulièrement Mario Girard. Le Dr Emmanuel Bujold a rédigé le protocole de recherche de cette étude. Mario Girard et lui ont réalisé l'ensemble des mesures. Pour ma part, j'ai réalisé les analyses statistiques, interprété les résultats et rédigé les articles présentés dans ce mémoire, et ce avec le soutien constant de mon directeur, Emmanuel Bujold. Les manuscrits des deux articles insérés ont fait l'objet d'une révision critique par l'ensemble des coauteurs : Nicole Jastrow, Nils Chaillet, Stéphanie Roberge, Laurie Bérubé, Mario Girard, Normand Brassard et Emmanuel Bujold.

Les deux articles, « Reliability of three-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness » et « Reliability of two-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness using video sequences », ont été acceptés pour publication au *Journal of Ultrasound in Medicine* et au *American Journal of Perinatology*, respectivement.

Je souhaite remercier l'ensemble des coauteurs pour leurs bons commentaires, leur intérêt pour le projet et leurs encouragements. Merci tout particulièrement à mon directeur pour m'avoir guidée tout en me laissant beaucoup d'autonomie ainsi que pour sa motivation contagieuse et toutes ces longues discussions en lien avec ce projet de recherche ou d'autres projets actuels ou futurs qui, chaque fois, me permettaient de quitter le bureau stimulée, la tête pleine d'idées. Merci de m'avoir offert de collaborer à ce projet!

Je remercie toute l'équipe du Dr Bujold pour leur accueil et leur support tout au long de ma maîtrise. L'ambiance conviviale de votre équipe fut une source de motivation à poursuivre mon travail en recherche. Un merci particulier également à Mario Girard pour toutes les mesures de cicatrice qu'il a dû prendre (et reprendre!) pour mener à terme ce projet.

Et comment aurais-je pu trouver la motivation pour travailler sur mes articles par ces longues soirées d'hiver, n'eussent été les nombreux lattés et tisanes pris dans divers cafés offrant une merveilleuse connexion sans fil? Merci Michèle de m'y avoir entraînée.

Et finalement, merci Jean-Philippe pour ton support tout au long de ma maîtrise, et je devrais même dire tout au long de mes études et de mes changements de programme. Tu as toujours été là pour moi, toujours là à m'encourager quelles que soient mes décisions, quels que soient les projets dans lesquels j'ai plongé. Je l'apprécie énormément.

## Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Avant-propos .....	iv
Table des matières .....	vi
Liste des tableaux.....	viii
Tableaux de l'article 1 .....	viii
Tableaux de l'article 2 .....	viii
Liste des figures .....	ix
Figures de l'article 1 .....	ix
Figures de l'article 2 .....	ix
Introduction.....	1
1 Revue de littérature .....	3
1.1 Cicatrice de césarienne et rupture utérine .....	3
1.1.1 Rupture utérine et déhiscence : définition.....	3
1.1.2 Anomalies de cicatrisation .....	4
1.1.3 Validité de la mesure de l'épaisseur du segment inférieur au troisième trimestre ..6	
1.1.4 Facteurs influençant la cicatrisation ou le risque de rupture utérine.....	8
1.2 Reproductibilité de la mesure .....	9
1.3 Échographie 3D et vidéos échographiques 2D : autres contextes d'utilisation .....	11
2 Hypothèse et objectif de recherche .....	13
2.1 Hypothèse.....	13
2.2 Objectifs .....	13
2.2.1 Objectif principal.....	13
2.2.2 Objectif secondaire.....	13
3 Reliability of three-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness.....	14
Résumé.....	15
Abstract.....	16
Keywords.....	16

Introduction.....	17
Material and methods.....	17
Statistical analysis.....	19
Continuous scale.....	20
Nominal scale.....	20
Results.....	20
Discussion.....	21
Conclusion.....	23
Acknowledgments.....	23
References.....	24
4 Reliability of two-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness using video sequences.....	35
Résumé.....	36
Abstract.....	37
Keywords.....	37
Introduction.....	38
Methods.....	38
Continuous scale.....	40
Nominal scale.....	41
Results.....	41
Discussion.....	42
Conclusion.....	43
Acknowledgments.....	43
References.....	44
5 Discussion.....	54
Conclusion.....	56
Bibliographie.....	57



## Liste des tableaux

Tableau 1. Études ayant évalué la sensibilité et la spécificité de différents seuils de mesure de l'épaisseur totale ou du myomètre pour la prédiction de la rupture utérine ou de l'anomalie de cicatrisation utérine .....	7
Tableau 2. Évaluation de la reproductibilité intra et interobservateurs .....	10

## Tableaux de l'article 1

Table 1. Characteristics of the study group .....	28
Table 2. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using 3D transvaginal ultrasound .....	29
Table 3. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using 3D vaginal ultrasound when average lower uterine segment thickness is below <3 mm .....	30
Table 4. Kappa and proportion of agreement of LUS thickness measurement using 3D transvaginal ultrasound at different thresholds .....	31

## Tableaux de l'article 2

Table 1. Characteristics of study group. ....	48
Table 2. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using two-dimensional transvaginal ultrasound video sequences .....	49
Table 3. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using two-dimensional transvaginal sonographic video sequences when average lower uterine segment thickness* is below 3 mm.....	50

## Liste des figures

Figure 1. Visualisation du segment inférieur par échographie transabdominale (a) et transvaginale (b). .....	5
--	---

## Figures de l'article 1

Figure 1. Measuring techniques for lower uterine segment (LUS) thickness using 3D ultrasound (a: 3 different planes; b: calipers placed for the measurement of full LUS and myometrial thicknesses, 3.30 and 1.57 mm, respectively) .....	32
Figure 2. Bland-Altman plot and non-parametric limits of agreement (5th and 95th percentiles) for full lower uterine segment thickness measurements using 3D ultrasound (Grey dotted line indicates median and limits of agreement for measurements <3 mm; a. intra-observer, b. inter-observer, c. inter-method.).....	34

## Figures de l'article 2

Figure 1. Measurement of full lower uterine segment thickness using transvaginal ultrasound (zoom). .....	51
Figure 2. Bland-Altman plot for non-parametric limits of agreement (5th and 95th percentiles) for full lower uterine segment thickness measurements using two-dimensional transvaginal sonographic video sequences (grey dotted line indicates median and limits of agreement for average measurements < 3mm): a. intra-observer b. inter-observer c. inter-method.....	53

## Introduction

Depuis les années 1990, le taux de césariennes dans plusieurs pays industrialisés connaît une hausse importante, atteignant 32 % de l'ensemble des naissances aux États-Unis en 2007 et 25,6 % au Canada en 2005.(1, 2) Cette augmentation concerne tant les césariennes primaires qu'itératives.(1) Plusieurs facteurs sont invoqués pour expliquer ce phénomène. Parmi les raisons les plus fréquemment citées, on retrouve la dystocie, la présentation par le siège et la césarienne élective itérative.

Malgré que la morbidité et la mortalité maternelle et fœtale suivant un accouchement par césarienne aient nettement diminué au cours des ans,(3) elles demeurent encore aujourd'hui plus fréquentes suivant une césarienne planifiée qu'un accouchement vaginal planifié.(4-9) La rupture utérine, dont l'incidence est d'environ 1 % des tentatives d'accouchements vaginaux après césarienne (AVAC), représente toutefois une complication obstétricale majeure tant pour la mère que pour le fœtus.(10-15)

À ce jour, malgré une connaissance de facteurs de risque de rupture utérine,(15-21) peu d'informations cliniques permettent de prédire le risque individuel d'une femme de subir une rupture utérine lors d'un essai de travail. Les résultats des études ayant évalué la capacité prédictive de divers marqueurs cliniques se sont avérés décevants.(19, 20) En contrepartie, la mesure de l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus est un outil validé d'estimation du risque de rupture utérine lors du travail, un segment inférieur plus mince étant associé à un risque accru de rupture utérine.(22-30)

La mesure du segment inférieur en tant que facteur de prédiction du risque de rupture utérine repose sur une évaluation échographique de l'utérus au cours du troisième trimestre de grossesse. Les études ayant évalué la validité de la mesure du segment inférieur ont toujours eu recours à des observateurs experts. Il est connu que la maîtrise de la technique exige une période d'apprentissage.(29, 31) Cette période est pour l'instant encore peu décrite. Les données actuelles de fiabilité et de précision de la mesure reposent donc sur la condition d'une expertise importante. Comme le développement d'une telle expertise exige à la fois un apprentissage adéquat ainsi qu'une pratique régulière, il nous a paru intéressant

de nous pencher sur des approches permettant à un personnel technique de capturer des images afin qu'un expert puisse effectuer la mesure de l'épaisseur du segment inférieur dans un centre distant ou encore de manière différée.

Nous avons donc voulu évaluer des méthodes permettant d'acquérir des images du segment inférieur pouvant ensuite être examinées à distance, à un moment ultérieur à l'examen échographique de la parturiente. Deux modes échographiques offrent la possibilité d'effectuer ce type de mesure différée : l'échographie tridimensionnelle (3D), qui permet l'acquisition d'un volume, et l'échographie 2D dynamique, qui permet l'enregistrement de courtes vidéos ou séquences d'images.

# 1 Revue de littérature

## 1.1 Cicatrice de césarienne et rupture utérine

### 1.1.1 Rupture utérine et déhiscence : définition

L'intérêt de la mesure de l'épaisseur du segment inférieur repose sur le fait qu'un défaut de cicatrisation peut être à l'origine d'une rupture utérine ou d'une déhiscence.

Une rupture incomplète, ou déhiscence, implique une séparation des tissus musculaires tout en conservant l'intégrité du péritoine viscéral.(32-34) Cette complication est associée à une morbidité nettement inférieure à celle de la rupture utérine.

La rupture utérine est une séparation de l'épaisseur complète du segment inférieur, le plus souvent le long d'une cicatrice de césarienne antérieure.(32-34) Elle survient le plus souvent au moment du travail et constitue une urgence obstétricale majeure. Les complications à la fois obstétricales et fœtales peuvent être catastrophiques (anémie posthémorragique sévère, infection puerpérale majeure, mortalité périnatale, etc.).(10-15, 35)

La rupture utérine a une incidence se situant aux alentours de 1 %, (10-15) et constitue une complication majeure, mais rare, des essais de travail après césarienne. La mortalité et la morbidité, tant maternelles que fœtales, y étant associées sont élevées. En 2001, Lydon-Rochelle *et al.* rapportaient des prévalences de complications chirurgicales de 35,2 %, d'infections puerpérales majeures de 8,8 %, d'hystérectomie de 4,4 % et de délais d'hospitalisation maternelle supérieurs à 5 jours de 26,4 %.(10) Une revue de littérature réalisée par Chauhan *et al.* en 2003 a estimé une incidence d'hystérectomie de 61, une incidence de transfusion de 41 et une mortalité maternelle de 1,1 pour 1000 ruptures utérines suivant un essai de travail.(11) Guise *et al.* ont réalisé une revue systématique des études ayant évalué le risque de rupture utérine et ses conséquences suivant un essai de travail en comparaison à une césarienne élective à la suite d'une césarienne antérieure.(12) Ils ont rapporté une incidence de rupture utérine de 0,38 % suivant un essai de travail et une

incidence d'hystérectomie après rupture utérine symptomatique de l'ordre de 13 %. Cette incidence, quoiqu'elle puisse paraître élevée, représente 0,034 % de l'ensemble des essais de travail. D'autres complications, telles que des infections, des iléus paralytiques ou des lésions uro-génitales, affecteraient certaines femmes à la suite d'une rupture utérine.(10)

Lors de la rupture utérine, l'hypovolémie maternelle suivant un état hémorragique ainsi qu'un potentiel décollement placentaire peuvent entraîner de graves conséquences pour le fœtus, telle une encéphalopathie ischémique, voire le décès.(14) La mortalité périnatale rapportée se situe aux alentours de 5 %.(10-12, 35) L'incidence de l'encéphalopathie ischémique, complication dont l'importance clinique est parmi les plus significatives, a été estimée à 6,2 % par Landon *et al.*(13) et à 13,0 % par Bujold *et al.* lors d'une rupture utérine suivant un essai de travail.(35) L'acidose métabolique précédant cette complication est observée chez environ le tiers des enfants.(13, 35) D'autres complications telles que des convulsions et des atteintes multi-systémiques ont été observées.(35)

Les conséquences de la rupture utérine sont plus graves lorsqu'une intervention médicale adéquate ne survient pas rapidement, augmentant ainsi les risques de décès maternel suivant une hémorragie importante, de thromboembolies, de procédures chirurgicales prolongées, de complications infectieuses ou encore de mortalité fœtale.(11, 12, 35)

La rupture utérine est plus fréquente chez les femmes de plus de 30 ans, dont l'indice de masse corporelle dépasse 35 kg/m<sup>2</sup>, n'ayant aucun antécédent d'accouchement vaginal, dont le délai entre la césarienne et la grossesse ultérieure est inférieur à 24 mois(16) ou dont le poids fœtal est supérieur à 4000 g.(21) Lors de l'essai de travail suivant une césarienne, l'usage de prostaglandines et d'ocytocines est associé à une augmentation du risque de rupture utérine.(36, 37) En contrepartie, un antécédent d'accouchement vaginal, et particulièrement d'accouchement vaginal après césarienne, est associé à un taux de succès d'essai de travail plus important.(18)

### **1.1.2 Anomalies de cicatrisation**

D'après une méta-analyse récente,(38) l'incidence des anomalies de cicatrisation postcésariennes chez les femmes non enceintes se situerait entre 37 % et 59 %. Comme les

femmes enceintes étaient exclues des études faisant l'objet de la revue systématique, l'investigation des défauts de cicatrisation fut réalisée au moyen d'hystérogrophie et de sonohystérogrophie.

D'autres études se sont toutefois penchées sur l'exploration de la cicatrisation utérine au cours de la grossesse et ont utilisé l'épaisseur du segment inférieur comme outil d'évaluation de la qualité de cicatrisation.(22-30, 39-42)

Cette technique repose sur la visualisation du segment inférieur par échographie transabdominale (figure 1.a) ou transvaginale (figure 1.b). L'approche transvaginale est généralement préférée en raison d'une meilleure capacité à visualiser la partie basse de l'utérus, qui peut parfois être difficile à obtenir par voie transabdominale, entre autres chez des patientes présentant une couche adipeuse importante.(43, communication personnelle : Emmanuel Bujold)

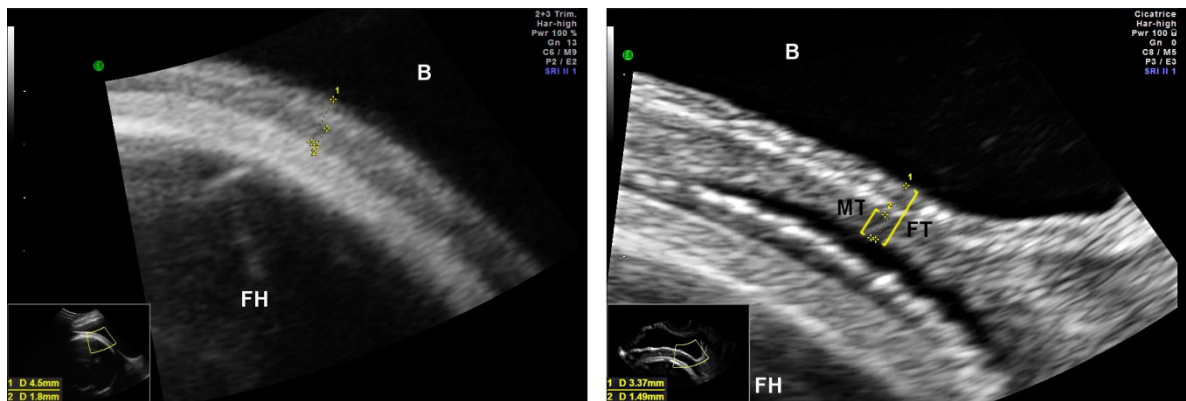


Figure 1. Visualisation du segment inférieur par échographie transabdominale (a) et transvaginale (b).

*B* bladder (vessie), *FH* fetal head (tête fœtale), *FT* full thickness (épaisseur total), *MT* myometrial thickness (épaisseur du myomètre)

Source : © Emmanuel Bujold, Centre de recherche du Centre Hospitalier Universitaire de Québec, 2012.

L'observateur doit visualiser l'ensemble du segment inférieur dans une coupe transversale afin d'identifier la zone la plus mince ou la zone de cicatrisation.(29) Les mesures de l'épaisseur de la couche musculaire (myomètre) et de l'épaisseur totale de la paroi utérine ont été étudiées en relation avec le risque de déhiscence et de rupture utérine. (30)

### **1.1.3 Validité de la mesure de l'épaisseur du segment inférieur au troisième trimestre**

Au cours des dernières années, plusieurs études ont analysé la capacité d'utiliser la mesure de l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus pour déterminer le niveau d'intégrité de l'utérus cicatriciel au cours du troisième trimestre de grossesse.(22-30, 44) Les examens échographiques ont donc eu lieu généralement entre les 35<sup>e</sup> et 39<sup>e</sup> semaines de grossesse. Un suivi des participantes était ensuite réalisé jusqu'à leur accouchement (par voie vaginale ou par césarienne). Compte tenu de la faible incidence de rupture utérine, les études ayant évalué la validité de la mesure échographique ont reposé sur l'estimation de l'amincissement (déshiscence) ou la rupture du segment inférieur par exploration visuelle au moment de la césarienne(22-29, 39-42) ou, lors d'un accouchement vaginal, par voie manuelle.(23, 24, 42)

En 2010, Jastrow *et al.*(30) ont publié une revue systématique des études publiées entre 1988 et 2009 évaluant la sensibilité et la spécificité de la prédiction de l'anomalie utérine par la mesure de l'épaisseur du segment inférieur chez des femmes ayant subi antérieurement une césarienne transversale basse.(30) Huit études ont évalué la valeur prédictive de la mesure de l'épaisseur totale du segment inférieur,(22-24, 27, 29, 39-41) et cinq études ont évalué la mesure de l'épaisseur du myomètre.(25, 26, 28, 29, 42)

Trois études ont rapporté des ruptures utérines.(23, 24, 29) Une seule étude(29) a évalué la sensibilité et la spécificité propre à la prédiction de la rupture utérine, les autres ayant regroupé les issues « rupture utérine » et « déhiscence ».

Différents seuils de prédiction du risque de défaut du segment inférieur (tableau 1) ont été proposés. Une sensibilité de 100 % et une spécificité supérieure à 75 % ont pu être atteintes en utilisant des valeurs limites de 2,0 à 3,0 mm pour la mesure de l'épaisseur totale et de 1,0



à 2,0 mm pour la mesure de l'épaisseur du myomètre.(22, 25-28, 30, 41) Bujold *et al.*(29) ont par ailleurs obtenu une sensibilité de 100 % et une spécificité de 75 % de prédiction de la rupture utérine en utilisant un seuil de 2,3 mm.

Tableau 1. Études ayant évalué la sensibilité et la spécificité de différents seuils de mesure de l'épaisseur totale ou du myomètre pour la prédiction de la rupture utérine ou de l'anomalie de cicatrisation utérine.

Étude	Issue	Technique	Seuil (mm)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
<b>Épaisseur totale</b>					
Bujold et al.(29)	Rupture utérine	TA+TV	2.3	100	75
	AC	TA+TV	2.3	67	72
Rozenberg et al.(23)	AC	TA	2.5	32	93
Sen et al.	AC	TV	2.0	100	85
Fukuda et al.	AC	TA	2.0	100	89
	AC	TA	3.0	100	89
Montanari et al.	AC	TV	3.5	100	75
Suzuki et al.	AC	TA	2.0	100	93
<b>Myomètre</b>					
Gotoh et al	AC	TV	2.0	100	88
Cheung et al	AC	TA	1.0	100	90

AC anomalies de cicatrice, TA approche transabdominale, TV approche transvaginale

Source : Adapté de Jastrow N, Chaillet N, Roberge S, Morency AM, Lacasse Y, Bujold E. Sonographic lower uterine segment thickness and risk of uterine scar defect: a systematic review. J Obstet Gynaecol Can 2010;32(4): 321-327.(30)

En 2009, Marasinghe *et al.* ont publié les résultats d'une étude comparant la corrélation entre la mesure du segment inférieur par échographie transabdominale ou transvaginale et l'épaisseur de la paroi utérine mesurée directement lors d'une césarienne.(45) Leur étude suggère une corrélation plus grande entre l'épaisseur réelle du segment inférieur et la mesure échographique transvaginale qu'avec la mesure échographique transabdominale.

Leur méthodologie présente toutefois des faiblesses importantes, entre autres leurs analyses statistiques reposent sur le calcul de coefficients de corrélation de Spearman, coefficients qui donne une mesure de l'association et non de la concordance entre deux mesures.(46)

En 2010, Kushtagi *et al.* ont aussi étudié la corrélation entre la mesure de l'épaisseur du segment inférieur par voie transabdominale et celle par examen direct au moment de la césarienne.(44) Ils ont obtenu, pour un seuil de 3 mm, une sensibilité et une spécificité de prédiction de défaut du segment inférieur de 87,5 % chacune.

La technique de mesure du segment inférieur de l'utérus demeure hétérogène d'une étude à l'autre, certaines études utilisant la voie transabdominale seulement; certaines, la voie transvaginale seulement; et d'autres, les deux méthodes.

#### **1.1.4 Facteurs influençant la cicatrisation ou le risque de rupture utérine**

Certains facteurs peuvent influencer la qualité de la cicatrisation. Un intervalle de temps inférieur à 24 mois entre une césarienne et un essai de travail ultérieur a été identifié comme étant un facteur augmentant de manière significative le risque de rupture.(16)

La technique de suture est un autre facteur influençant la qualité de la cicatrice. En effet, une revue systématique et méta-analyse récente de Roberge *et al.* a permis d'identifier un risque accru de rupture utérine chez les patientes dont la césarienne antérieure avait été suturée en une couche barrée comparativement aux patientes dont la suture était non barrée.(47)

Un autre élément affectant le risque de rupture utérine en lien avec la cicatrice de césarienne est l'endroit où est située la cicatrice. En effet, lors de l'accouchement, les contractions exercent un stress moins important au niveau du col qu'au niveau du fundus.(48, 49) Une cicatrice située plus haut au niveau du segment inférieur et une autre située près (ou au niveau) du col subissent donc un stress différent lors du travail et ne sont probablement pas associées à des risques équivalents de rupture utérine. Cette variation de la localisation des cicatrices découle en grande partie des raisons et des conditions de la césarienne antérieure.(43, 50) Une césarienne élective, pratiquée avant le début du travail,

en raison par exemple d'une présentation par siège, sera réalisée plus haut sur l'utérus, le fœtus n'étant pas encore très engagé dans le bassin. Il en sera de même pour une césarienne réalisée avant 37 semaines de grossesse ou à tout moment où aucun travail n'a été amorcé. À l'inverse, lors d'une césarienne d'urgence en cours de travail, pour dystocie par exemple, l'incision sera plus probablement pratiquée au niveau segmentaire bas, près du col ou dans la région cervicale.

Lors de l'échographie, ces différentes localisations auront un impact important sur le choix de l'approche à privilégier. Une incision pratiquée au niveau segmentaire bas, près du col, sera plus facilement repérée par échographie transvaginale alors que la cicatrice d'une incision pratiquée plus haut sera mieux visualisée par échographie transabdominale.(43)

## 1.2 Reproductibilité de la mesure

Différents modes échographiques ont été utilisés pour évaluer la mesure de l'épaisseur de cicatrices. L'examen par échographie bidimensionnelle demeure l'outil d'évaluation standard en fin de grossesse. Quelques publications portent sur la reproductibilité des mesures obtenues à l'aide de cet outil (tableau 2). Encore une fois, l'hétérogénéité des techniques a un impact important sur la comparabilité des résultats.

En 2006, Jastrow *et al.* ont évalué la reproductibilité intra et interobservateurs de la mesure du segment inférieur par échographie 2D transabdominale et transvaginale.(51) Les examens transabdominaux ont été réalisés avec des vessies pleines et à demi pleines. Cent vingt-neuf femmes ont été examinées par 2 observateurs indépendants entre les 36<sup>e</sup> et 39<sup>e</sup> semaines de grossesse. La reproductibilité intraobservateur de la mesure était excellente (ICC supérieurs à 0,90 ; proportions de différences  $\leq 1$  mm supérieures à 90 %) tant pour l'évaluation transvaginale que l'évaluation transabdominale avec vessie pleine ou à demi pleine. Quant à la reproductibilité interobservateurs, elle était meilleure lorsque l'examen était réalisé par échographie transvaginale plutôt que par échographie transabdominale. La vessie demi-pleine était associée à une meilleure reproductibilité interobservateurs que la vessie pleine lors d'examen par approche transabdominale. L'accord entre les observateurs pour un seuil de 3,5 mm était bon (kappa : 0,75 ; IC à 95 % : 0,56 à 0,95) pour l'approche

transvaginale. D'autres études ultérieures ont conclu à la reproductibilité élevée de la mesure, tant de l'épaisseur totale que de l'épaisseur musculaire, par échographie 2D.(52, 53) La mesure du myomètre a été associée à une meilleure reproductibilité, mesurée par corrélation intraclasse et par moyenne de différences intra et interobservateurs, que la mesure de l'épaisseur totale du segment inférieur. Toutefois, les deux études s'étant penchées sur cette mesure présentent une variabilité de l'épaisseur de la couche musculaire beaucoup moins importante que celle de l'épaisseur totale, ce qui implique que des différences intra et interobservateurs plus petites soient attendues.

Ces deux études(52, 53) ont aussi étudié la technique échographique 3D. En 2009, Martins *et al.* ont pour leur part recruté 30 femmes ayant un antécédent de césarienne, et 2 observateurs les ont examinées entre les 36<sup>e</sup> et 39<sup>e</sup> semaines de grossesse. Les mesures de l'épaisseur totale du segment inférieur, évaluée par approche transabdominale, et de l'épaisseur du myomètre spécifiquement, évaluée par approche transvaginale, ont été enregistrées. Globalement, la reproductibilité intra et interobservateurs était similaire entre l'échographie 2D et l'échographie 3D, la reproductibilité de la mesure de l'épaisseur du myomètre par voie transvaginale donnant de meilleurs résultats que la mesure totale par approche transabdominale. En 2011, Cheung *et al.* ont aussi publié une étude de la reproductibilité de la mesure du segment inférieur par échographie 2D et 3D transabdominale. Deux observateurs ont évalué 40 femmes entre 37 et 39 semaines de grossesse suivant une césarienne. Les meilleures valeurs de reproductibilité interobservateurs ont été obtenues avec les mesures du myomètre par échographie 2D. Les auteurs n'ont pas pu mettre en évidence de gain avec l'utilisation de l'échographie 3D.

Tableau 2. Évaluation de la reproductibilité intra et interobservateurs

Technique	Intraobservateur		Interobservateurs			
	d (mm)	ICC	d (mm)	ICC	seuil	kappa
<i>Jastrow et al.(51)</i>						
2D TA ÉT	0.34 à 0.48	0.91 à 0.96		0.70 0.84	3.5	0.34 (0.17-0.51) 0.54 (0.36-0.71)
2D TV ÉT	0.36 à 0.48	0.94		0.94	3.5	0.75 (0.56-0.95)
<i>Martins et al.(52)</i>						
2D TA ÉT	0.98 ± 0.54 0.88 ± 0.70	0.89 (0.78-0.94) 0.85 (0.76-0.92)	1.55 ± 1.54	0.78 (0.68-0.87)		

2D TV ÉM	0.42 ± 0.23 0.42 ± 0.27	0.93 (0.89-0.96) 0.91 (0.85-0.95)	0.57 ± 0.61	0.87 (0.80-0.93)
3D TA ÉT	0.93 ± 0.80 0.89 ± 0.71	0.87 (0.80-0.93) 0.83 (0.73-0.90)	1.49 ± 1.87	0.69 (0.56-0.81)
3D TV ÉM	0.37 ± 0.31 0.29 ± 0.21	0.92 (0.86-0.95) 0.95 (0.91-0.97)	0.42 ± 0.46	0.90 (0.85-0.95)
<i>Cheung et al.(53)</i>				
2D TA ÉT			0.55 ± 0.44	0.91
				2.3 3.5
				0.63 0.37
2D TA ÉM			0.32 ± 0.27	0.95
3D TA ÉT			0.79 ± 0.68	0.77
				2.3 3.5
				0.08 0.29
3D TA ÉM			0.51 ± 0.53	0.82
				1.5
				0.65

*d* différence de moyenne absolue, *ICC* coefficient de corrélation intraclasse, *TA* échographie transabdominale, *TV* transvaginale, *ÉT* épaisseur totale du segment inférieur, *ÉM* épaisseur du myomètre

Source : Données provenant de Jastrow *et al.*(51), Martins *et al.*(52) et Cheung *et al.*(53)

### 1.3 Échographie 3D et vidéos échographiques 2D : autres contextes d'utilisation

L'échographie 3D et l'utilisation de vidéos échographiques représentent des techniques alternatives d'évaluation du segment inférieur à l'échographie 2D en direct. Leur intérêt dans le contexte de la mesure du segment inférieur repose sur la possibilité de collecter un ensemble d'images équivalentes au balayage en direct de l'ensemble du segment inférieur, et de conserver celles-ci pour une évaluation ultérieure. Tout comme l'échographie 3D, les vidéos permettent à l'observateur de choisir, au moment de l'évaluation, l'image spécifique qui servira à mesurer l'épaisseur du segment inférieur.

L'échographie 3D est, à l'heure actuelle, utilisée dans plusieurs autres contextes d'examen obstétricaux.(54-57) Son utilité et sa reproductibilité dans l'évaluation du poids fœtal,(58) de l'évaluation anatomique(59-61) ainsi que de l'évaluation de la fonction cardiaque(62-64) et du développement cérébral(65) a fait l'objet de nombreuses études. Entre autres, Jayaprakason *et al.* ont observé une meilleure reproductibilité de la mesure échographique 3D différée du décompte folliculaire antral que la mesure en direct par échographie 2D.(66) Ils ont aussi noté une diminution significative du temps d'examen et d'exposition des patientes. Mercé *et al.*(67) ont rapporté une bonne reproductibilité interméthodes en

comparant l'examen anatomique fœtal par échographie 3D et 2D. L'échographie 3D est aussi utilisée en gynécologie, que ce soit dans l'évaluation de l'épaisseur de l'endomètre périménopausal(68) ou dans le dépistage de cancer,(69) pour ne citer que deux exemples. D'autre part, des enregistrements vidéo échographiques ont été utilisés entre autres dans l'évaluation différée d'anomalies cardiaques congénitales.(70)

Une étude de Heer *et al.*(71) a par ailleurs démontré l'intérêt de l'échographie 3D dans la formation d'experts en imagerie médicale.

Aucune étude n'a évalué à ce jour la reproductibilité de la mesure totale du segment inférieur par échographie transvaginale 3D. Pourtant, la voie transvaginale a été associée à une meilleure visualisation des différentes couches de la paroi utérine et à une meilleure reproductibilité.(27, 45, 51) Nous n'avons identifié aucune étude évaluant la reproductibilité de la mesure de l'épaisseur du segment inférieur par utilisation de vidéos échographiques. L'intérêt de ces deux techniques souligne l'importance d'évaluer d'abord leur reproductibilité, puis leur validité dans l'évaluation de l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus visant à estimer le risque de rupture utérine.

## **2 Hypothèse et objectif de recherche**

### **2.1 Hypothèse**

La mesure par échographie 3D et vidéos échographiques 2D de l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus au troisième trimestre est reproductible pour un même observateur et entre deux observateurs. Elle permet également de reproduire la mesure obtenue lors d'un examen direct par échographie 2D.

### **2.2 Objectifs**

#### **2.2.1 Objectif principal**

Évaluer la reproductibilité intra et interobservateurs de la mesure du segment inférieur de l'utérus au troisième trimestre par échographie 3D et par vidéos échographiques 2D.

#### **2.2.2 Objectif secondaire**

Évaluer la reproductibilité interméthodes de la mesure par échographie 3D et par vidéos échographiques 2D en comparaison avec la mesure réalisée lors d'un examen direct par échographie 2D.

### **3 Reliability of three-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness**

Amélie Boutin, MSc candidate,<sup>1</sup> Nicole Jastrow, MD,<sup>2</sup> Stéphanie Roberge, MSc,<sup>1</sup> Nils Chaillet, PhD,<sup>3</sup> Laurie Bérubé, MD,<sup>4</sup> Normand Brassard, MD, MBA,<sup>4,5</sup> Mario Girard, RT,<sup>5</sup> Emmanuel Bujold, MD, MSc<sup>1, 4,5</sup>

<sup>1</sup> Department of Social and Preventive Medicine, Faculty of Medicine, Université Laval, Québec, QC, Canada

<sup>2</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), Université de Genève, Geneva, Switzerland

<sup>3</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Université Laval, Québec, QC, Canada

<sup>5</sup> Centre de recherche, Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ), Québec, QC, Canada



## Résumé

Nous avons effectué une étude prospective chez 60 femmes enceintes de 35 à 39 semaines ayant un antécédent de césarienne basse transverse. Deux observateurs, à l'aveugle des données cliniques, ont mesuré de manière indépendante l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus par échographie transvaginale. Un examen direct à l'aide de l'échographie bidimensionnelle (2D) a été réalisé. Des images tridimensionnelles (3D) du segment inférieur ont été enregistrées et analysées ultérieurement par chacun des observateurs en ordre aléatoire. Les examens des images 3D ont été répétés par un observateur. La reproductibilité intra et interobservateurs ainsi que la reproductibilité interméthodes, comparant les évaluations 2D et 3D, ont été analysées à l'aide de médianes de différences absolues, de limites d'accord non paramétriques, de coefficients de corrélation intraclass et de coefficients kappa. La mesure du segment inférieur de l'utérus à l'aide de l'échographie 3D présente une excellente reproductibilité tant intra que interobservateurs et interméthodes.

## Abstract

**Objective:** To report the intra- and interobserver reliability of transvaginal three-dimensional (3D) ultrasound measurement of lower uterine segment thickness.

**Methods:** A prospective study of 60 pregnant women with previous, low-transverse cesarean was performed between 35 and 39 weeks of gestation. Two observers, blinded to the clinical data, independently measured full lower uterine segment thickness by two-dimensional (2D) transvaginal sonography. 3D volume datasets of the lower uterine segment were captured and analyzed more than 2 months later by both observers independently. Intra- and interobserver and intermethod reliability was evaluated by median absolute differences, non-parametric limits of agreement, intraclass correlation coefficients (ICC) and kappa coefficients.

**Results:** Median full lower uterine segment thickness was 3.6 mm (range: 0.9-8.0 mm). Intraobserver [median difference: 0.3 mm (interquartile range (IQR): 0.1-0.6), ICC: 0.88 (95% confidence interval (95% CI): 0.81-0.93), kappa: 0.87 (95% CI: 0.69-1.00)] and interobserver reliability [median difference: 0.3 mm (IQR: 0.1-0.5), ICC: 0.88 (95% CI: 0.81-0.93), kappa: 0.86 (95% CI: 0.66-1.00)] was excellent. Reliability between 3D and 2D ultrasound was moderate [median difference: 0.6 mm (IQR: 0.2-0.9), ICC: 0.78 (95% CI: 0.66-0.86), kappa: 0.56 (95% CI: 0.28-0.85)]. However, intermethod reproducibility was improved when full lower uterine segment thickness was below 3.0 mm [median difference: 0.4 mm (IQR: 0.2-0.9)]

**Conclusions:** Full lower uterine segment thickness measured with 3D transvaginal ultrasound datasets has excellent intra- and interobserver reliability. It has also a good reproducibility with 2D ultrasound when full lower uterine segment thickness is below 3.0 mm.

## Keywords

cesarean delivery; lower uterine segment; intraobserver agreement, interobserver agreement; reliability; 3D ultrasound

## **Introduction**

Cesarean delivery rates have increased drastically over the last few years, reaching more than 1 million per year in North America, with the highest proportion occurring in nulliparous women.<sup>1,2</sup> At their next pregnancy, women with previous cesarean are confronted by the choice of a planned cesarean delivery or trial of labor with the aim of vaginal birth after cesarean. The latter option has its own risks, including uterine rupture, one of the most serious obstetrical emergencies, affecting up to 1% of women undergoing a trial of labor.<sup>3-6</sup> This major complication is potentially life-threatening for both mother and infant,<sup>7,8</sup> and all efforts should be made to prevent it.

The literature suggests that lower uterine segment (LUS) thickness, currently one of the strongest predictors of defective scar and uterine rupture risk,<sup>9-17</sup> is associated with excellent reliability when measured by transvaginal ultrasound.<sup>18,19</sup> Most previous studies have measured LUS thickness between 35 and 39 weeks of gestation. While LUS thickness has a high validity in predicting LUS defect, there is still controversy about the optimal threshold that should be used, with suggested values ranging from 2.0 mm to 3.5 mm.<sup>16</sup> With a sensitivity of 100%, specificity as high as 93% has been reported.<sup>10,20</sup> While information on validity of the test is growing, most available data come from expert physician readers, making its widespread clinical use hazardous.<sup>21</sup> LUS thickness measurement by three-dimensional (3D) ultrasound is very promising since images can be more easily acquired and could give the potential to be assessed off line. The objectives of the current study were to evaluate the intra- and interobserver reliability transvaginal 3D ultrasound measurement of full LUS thickness and to compare it with standard two-dimensional (2D) live ultrasound.

## **Material and methods**

We conducted a prospective clinical investigation to evaluate the intra- and interobserver reliability of LUS thickness measurement by 3D transvaginal sonography in women with previous, low-transverse cesarean. The study was performed at the Centre Mère-Enfant, Centre Hospitalier Universitaire de Québec (CHUQ) between May 2009 and March 2010.

Women were recruited via an information pamphlet given by obstetricians and family physicians who previously determined their eligibility for a trial of labor. Consecutive women presenting to the ultrasound LUS examination clinics were recruited. The inclusion criteria were a history of one previous low-transverse cesarean, and expectation of a single fetus between 35 0/7 and 38 6/7 weeks of gestation at the moment of the examination. An interview with a nurse confirmed eligibility, and a questionnaire was completed for pertinent demographic, medical and obstetrical information. Women with previous cesarean delivery other than low-transverse or with previous myomectomy, known lethal fetal anomaly, premature rupture of membranes, or regular uterine contractions with cervical modification at the time of recruitment were excluded. Informed consent was obtained from all participants. The project was approved by the Ethics Committee of the CHUQ.

A Voluson E8 Expert sonographic device (GE Healthcare Inc., Milwaukee, WI), equipped with a RIC5-9-D/OB transvaginal probe, was used. The LUS was examined with the women's bladder full. It was scanned in sagittal sections from the right to left extremities, and the thinnest point was located. This measurement technique has been described previously by Bujold et al.<sup>15</sup> Images were magnified so that the slightest caliper movement would be equivalent to 0.1 mm. The inner edges of the calipers were merged with the echogenic limits. The calipers were placed in an axis perpendicular to the LUS wall (Figure 1a). 3D datasets were captured in high quality static mode with a sweep angle of 120° degrees and focusing at the level of the LUS. The thinnest LUS thickness was identified visually on sagittal plane images (Figure 1b). Thickness was measured the same way with 2D and 3D ultrasound. Examiners were blinded to patients' identification, clinical data, and all measurements (from both raters), with actual values on computer screens being masked.

Rater sample size was fixed at 2 because more transvaginal examinations might be uncomfortable for many pregnant women with very little statistical benefit.<sup>22</sup> Two observers (Raters A and B) performed the examinations. Rater A is a specialist in maternal-fetal medicine with over 5 years of experience and rater B is a sonographer with over 20 years of experience, including 3 years of experience in measurement of LUS thickness for both observers.

First, three full LUS thickness measurements were taken by standard, live 2D ultrasound, by Rater A. The thinnest of 3 measurements was kept for the analyses (as more than 3 measure presents little benefits<sup>22</sup> and the thinnest is the clinically relevant measure), and was collected after all examinations were completed. Then, rater B repeated the 2D examination followed by an acquisition of a 3D dataset of the LUS. No measure was taken from the 3D dataset at the time of the women's examination. Two to 12 months later (a delay that was deemed sufficient to avoid any bias from observers remembering any specific images), de-identified 3D datasets were examined in random order by both Raters A and B independently, again each taking 3 measurements of full LUS thickness and retaining the thinnest one, employing the same method as for live 2D ultrasound examination. Two weeks after a first examination of the 3D datasets, one rater B repeated all measurements using the same datasets in a new random order.

Intraobserver reliability of 3D measurements (comparison of two measurements of the same rater at two different moments using the same 3D ultrasound method) was assessed with Rater B's data (first and second ulterior examination of 3D datasets). Interobserver reliability of 3D measurements (comparison of measurements from two observers using the same 3D ultrasound method) was determined by comparing Raters A measurements and Rater B measurements from their first examination of 3D datasets. Intermethod reliability was described by comparing Rater A's measurements from standard 2D ultrasound and his analysis of the 3D datasets.

### **Statistical analysis**

For both intra- and interobserver as well as intermethod reliability analyses, LUS thickness was studied on both a continuous scale and a nominal scale. A cut-off around 2.5 mm for entire LUS thickness has been suggested to best discriminate between women with high and low risk of uterine rupture.<sup>13,15</sup> We adopted this value to transform the LUS thickness variable from continuous to dichotomous.

### **Continuous scale**

As differences between measurements of Raters A and B were not distributed normally according to a Shapiro-Wilk test, and showed variations in differences according to the magnitude of measurements, we adopted a non-parametric approach. The median of absolute differences between measurements of each observer and its interquartile range (IQR) was reported. Differences less than 1 mm were considered to be clinically acceptable.<sup>18</sup> Bland-Altman analysis of agreement was conducted to compare measurements by each observer.<sup>23</sup> We also adopted a non-parametric approach to the Bland-Altman plot of limits of agreement, adding 5<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles to a scatter diagram. We considered limits lying between -1 and 1 mm<sup>10</sup> to be good and between -0.50 and 0.50 mm to be excellent. We computed the proportion of differences greater than 1 mm,<sup>10</sup> as suggested by Bland and Altman.<sup>23</sup> We also computed limits specific to average full LUS thickness <3 mm. Intraclass correlation coefficients (ICC) were computed with their 95% confidence interval (95% CI). ICC greater than 0.75 and 0.90 were considered to reflect good and excellent agreement, respectively.<sup>24</sup>

### **Nominal scale**

Agreement was quantified by kappa coefficients and their 95% CI. Strength of agreement was judged according to Cohen's criteria,<sup>25</sup> kappa less than 0.41 being poor, 0.41 to 0.60 being moderate, 0.61 to 0.80 being good, and 0.81 to 1.0 being excellent.

All statistical analyses were performed with SAS statistical packages (SAS 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Participant sample size was fixed at 60 in order to attain a precision of 0.1 for ICC estimation based on an expected ICC of 0.80, power fixed at 80% and alpha at 5%.<sup>26</sup> Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were followed.<sup>27</sup>

## **Results**

Sixty women were enrolled. Since they came to the clinic on a voluntary basis following recruitment by their physicians, none declined to participate in the study. Participant characteristics are described in Table 1. One patient had 3 previous cesarean deliveries, and

all others had only 1 previous cesarean. With the 2D transvaginal approach, median full LUS thickness was 3.6 mm (range: 0.9-8.0). According to 3D ultrasound evaluation by Rater A, median full LUS thickness was 3.7 mm (range: 1.2-7.6). Eleven (18%) women had full LUS thickness lower than 2.5 mm. The results of reproducibility of total LUS thickness measurement by 3D ultrasound are reported in Table 2. Intra- and interobserver reproducibility had low median of absolute differences [0.3 mm (IQR: 0.1-0.6) and 0.3 mm (IQR: 0.1-0.5), respectively], an excellent ICC [0.88 (95% CI: 0.81-0.93) for both], and excellent kappa coefficients [0.87 (95% CI: 0.69-1.00) and 0.86 (0.66-1.00), respectively]. However, comparison between 2D and 3D ultrasound led to greater median of absolute differences (0.6 mm; IQR: 0.2-0.9) with lower ICC (0.78; 95% CI: 0.66-86) and lower kappa coefficients (0.56; 95% CI: 0.28-0.85).

Bland-Altman plots of non-parametric limits of agreement for intraobserver, interobserver and intermethod reliability are presented in Figure 2. These graphics show better reliability of thinner measurements. When average full LUS thickness was below 3.0 mm, we found much improved median of absolute differences (Table 3) and limits of agreement (Figure 2).

No systematic difference was observed.

### **Sensitivity analyses**

Additional kappa coefficients were computed using different threshold values to dichotomize LUS thickness (Table 4). Intra- and interobserver and intermethod agreements remained good even when we varied the threshold to categorize LUS thickness as low or high risk of uterine rupture.

## **Discussion**

We noted that transvaginal measurement of full LUS thickness by 3D ultrasound is associated with excellent intra- and interobserver reproducibility. When compared to live 2D ultrasound, the actual reference, we observed that anterior assessment of full LUS thickness with 3D datasets had good overall reproducibility. However, reproducibility was

much better in cases with thin LUS measurements (below 3 mm). These findings are important since accuracy is crucial for thinner LUS segment for the prediction of uterine rupture. Our results suggest that 3D datasets could potentially be used for LUS thickness measurement or for second opinion by experts located at a different site.

Our findings are in agreement with those of Jastrow et al. who recorded mean intraobserver differences ranging from 0.36 to 0.48 mm and an ICC of 0.94 for intra- and interobserver reliability, with a 2D transvaginal approach.<sup>18</sup> They are also in agreement with those of Martins et al. who recorded mean intra- and interobserver difference below 0.5 mm and ICC of 0.90 to 0.95 using 3D transvaginal approach for myometrial thickness measurements.<sup>19</sup> In the studies by Jastrow et al.,<sup>18</sup> and Martins et al.,<sup>19</sup> evaluation of reproducibility was limited to a majority of women with full LUS thickness greater than 4 mm. As opposed to Martins et al.,<sup>19</sup> we discerned high reliability of full LUS thickness measurement. However, they only reported the results of transabdominal full LUS thickness and transvaginal myometrial thickness measurements. As we quantified full LUS thickness by the transvaginal approach, it is difficult to compare our results to those of Martins et al. Finally, our findings are in agreement with the recent study of Cheung et al. who compared 2D and 3D transabdominal ultrasound.<sup>28</sup> While they found similar ICC for interobserver and intermethod reliability (ranging from 0.76 to 0.98), they observed greater interobserver differences ( $0.79 \pm 0.68$  mm) and greater intermethod differences (ranging from  $0.25 \pm 0.25$  to  $0.85 \pm 0.58$  mm) than us for the measurement of full LUS. These findings supported those of Jastrow et al. and Martins et al. who demonstrated that interobserver reproducibility is superior using the transvaginal rather than the transabdominal approach.<sup>18,19</sup> Considering that LUS thickness was usually a little higher when measured using 3D datasets compared to live 2D examination, we believe that more conservative thresholds should be used for future use of 3D ultrasound. We reported kappa coefficients for multiple cut-off values, but we strongly believe that continuous scale reliability is actually more important than agreement over a specific threshold at this point since there is still no consensus over a threshold value. For clinical purposes, we suggest that two thresholds should eventually be identified in order to categorize the risk of uterine rupture as low, moderate or high, the latest being a contra-indication for trial of labor.



Women with moderate risk could be allowed a trial of labor only with specific conditions, such as spontaneous labor or previous vaginal birth. Further research is definitively required in this area, to create a risk scale or a statistical model to estimate the risk of uterine rupture.

The limitations of our study include the fact that only 18 women had full LUS thickness below or equal to 3.0 mm, the range of measurements where accuracy is definitely required. Moreover, we limited rater sample size to 2 experienced observers. On the other hand, our study had numerous strengths: 1) both observers were blinded to the clinical data and previous measurements; 2) all measurements were masked to the observers during examination, meaning that thickness results were hidden on the sonographic device screen so that the raters could not be influenced by the numbers displayed when placing the calipers; 3) 2 weeks to twelve months elapsed between each of the repeated measurements; and 4) we used a full bladder for the vaginal ultrasound leading to an optimal LUS visualization.

## **Conclusion**

The intra- and interobserver reliability of LUS thickness measurements by 3D ultrasound is excellent. 3D ultrasound is also associated with good reliability with 2D ultrasound and may be a promising clinical tool to evaluate uterine scar among women with a history of cesarean section. 3D evaluation of LUS could allow ulterior reading of its thickness by experts located at a distant site. It could also be of great utility in training physicians and sonographers in LUS thickness measurement as it does not depend on live examination of women.

## **Acknowledgments**

Emmanuel Bujold holds a Clinician Scientist Award and Nils Chaillet holds a New Investigator Award from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR). This study was supported by the Jeanne and Jean-Louis Lévesque Perinatal Research Chair at Université Laval, Quebec, QC, Canada and by CIHR funds (ref # 210974).

## References

- 1 Liu S, Liston R, Lee L. Rate of cesarean delivery. In: Public Health Agency of Canada. *Canadian Perinatal Health Report*. 2008 edition. Ottawa: Minister of Health, 2008.
- 2 Menacker F, Hamilton BE. Recent trends in cesarean delivery in the United States. *NCHS data brief*, No. 35. Hyattsville, MD: National Center for Health Statistics, 2010.
- 3 Lydon-Rochelle M, Holt VL, Easterling TR, Martin DP. Risk of uterine rupture during labor among women with a prior cesarean delivery. *N Engl J Med*. 2001;**345**:3-8.
- 4 Chauhan SP, Martin JN, Jr., Henrichs CE, Morrison JC, Magann EF. Maternal and perinatal complications with uterine rupture in 142,075 patients who attempted vaginal birth after cesarean delivery: a review of the literature. *Am J Obstet Gynecol*. 2003;**189**:408-417.
- 5 Landon MB, Hauth JC, Lenovo KJ, Spong CY, Leindecker S, Varner MW, Moawad AH, Caritis SN, Harper M, Wapner RJ, Sorokin Y, Miodovnik M, Carpenter M, Peaceman AM, O'Sullivan MJ, Sibai B, Langer O, Thorp JM, Ramin SM, Mercer BM, Gabbe SG. Maternal and perinatal outcomes associated with a trial of labor after prior cesarean delivery. *N Engl J Med*. 2004;**351**:2581-2589.
- 6 Rossi AC, D'Addario V. Maternal morbidity following a trial of labor after cesarean section vs elective repeat cesarean delivery: a systematic review with metaanalysis. *Am J Obstet Gynecol*. 2008;**199**(3):224-231.
- 7 Bujold E, Gauthier RJ. Neonatal morbidity associated with uterine rupture: what are

- the risk factors? *Am J Obstet Gynecol.* 2002;**186**:311-314.
- 8 Guise JM, McDonagh MS, Osterweil P, Nygren P, Chan BKS, Helfand M. Systematic review of the incidence and consequences of uterine rupture in women with previous caesarean section. *BMJ.* 2004;**329**:1-7.
- 9 Fukuda M, Fukuda K, Mochizuki M. Examination of previous caesarean section scars by ultrasound. *Arch Gynecol Obstet.* 1988;**243**:221-224.
- 10 Rozenberg P, Goffinet F, Phillippe HJ, Nisand I. Ultrasonographic measurement of lower uterine segment to assess risk of defects of scarred uterus. *Lancet.* 1996;**347**(8997):281-284.
- 11 Gotoh H, Masuzaki H, Yoshida A, Yoshimura S, Miyamura T, Ishimaru T. Predicting incomplete uterine rupture with vaginal sonography during the late second trimester in women with prior cesarean. *Obstet Gynecol.* 2000;**95**:596-600.
- 12 Cheung VY, Constantinescu OC, Ahluwalia BS. Sonographic evaluation of the lower uterine segment in patients with previous cesarean delivery. *J Ultrasound Med.* 2004;**23**:1441-1447.
- 13 Sen S, Malik S, Salhan S. Ultrasonographic evaluation of lower uterine segment thickness in patients of previous cesarean section. *Int J Gynaecol Obstet.* 2004;**87**(3):215-219.
- 14 Cheung VY. Sonographic measurement of the lower uterine segment thickness in women with previous caesarean section. *J Obstet Gynaecol Can.* 2005;**27**:674-681.
- 15 Bujold E, Jastrow N, Simoneau J, Brunet S, Gauthier RJ. Prediction of complete uterine rupture by sonographic evaluation of the lower uterine segment. *Am J Obstet Gynecol.* 2009;**201**(3):320.e1-320.e6.

- 16 Jastrow N, Chaillet N, Roberge S, Morency AM, Lacasse Y, Bujold E. Sonographic lower uterine segment thickness and risk of uterine scar defect: a systematic review. *J Obstet Gynaecol Can.* 2010;**32**(4):321-327.
- 17 Macones GA, Cahill AG, Stamilio DM, Odibo A, Peipert J, Stevens EJ. Can uterine rupture in patients attempting vaginal birth after cesarean delivery be predicted? *Am J Obstet Gynecol.* 2006;**195**:1148-1152.
- 18 Jastrow N, Antonelli E, Robyr R, Irion O, Boulvain M. Inter- and intraobserver variability in sonographic measurement of the lower uterine segment after a previous Cesarean section. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2006;**27**(4):420-424.
- 19 Martins WP, Barra DA, Gallarreta FMP, Nastri CO, Filho FM. Lower uterine segment thickness measurement in pregnant women with previous Cesarean section: reliability analysis using two- and three-dimensional transabdominal and transvaginal ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009;**33**(3):301-306.
- 20 Suzuki S, Sawa R, Yoneyama Y, Asakura H, Araki T. Preoperative diagnosis of dehiscence of the lower uterine segment in patients with a single previous Caesarean section. *Aust N Z J Obstet Gynaecol.* 2000 Nov;**40**(4):402-4.
- 21 Bujold E, Jastrow N, Gauthier RJ, Brassard N, Francoeur D, Senikas V, Chaillet N. [Measurement of the lower uterine segment: are we ready for a clinical application?] *J Obstet Gynaecol Can.* 2010;**32**(4):339-340.
- 22 Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Stat Med.* 1998;**17**:101-110.
- 23 Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999;**8**:135-160.

- 24 Shoukri MM. Measures of interobserver agreement. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2004.
- 25 Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas.* 1960;**20**:37-46.
- 26 Giraudeau B, Mary JY. Planning a reproducibility study: how many subjects and how many replicates per subject for an expected width of the 95 per cent confidence interval of the intraclass correlation coefficient. *Stat Med.* 2001;**20**:3205-3214.
- 27 Kottner J, Audigé L, Brorson S, Donner A, Gajewski BJ, Hróbjartsson A, Roberts C, Shoukri M, Streiner DL. Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. *J Clin Epidemiol.* 2011 Jan;**64**(1):96-106.
- 28 Cheung VYT, Yang F, Leung KY. 2D versus 3D transabdominal sonography for the measurement of lower uterine segment thickness in women with previous cesarean delivery. *Int J Gynecol Obstet.* 2011;**114**:234-237.

Table 1. Characteristics of the study group

	<i>median (range)</i>
<b>Maternal age</b> (years)	31 (21-40)
<b>BMI</b> (n=57)	28.0 (21.0-42.0)
<b>Gestational age at examination</b> (weeks)	37 (35-39)
<b>Gestational age at previous cesarean section</b> (weeks) (n=48)	40 (34-41)
<b>Months since last cesarean</b> (n=56)	30 (13-108)
	<i>n (%)</i>
<b>Gravida</b> (n=57)	
2	27 (47.4)
3	12 (21.1)
4	10 (17.5)
≥5	8 (14.0)
<b>Parity</b> (n=57)	
1	45 (79.0)
2	8 (14.0)
3	2 (3.51)
4	2 (3.51)

Table 2. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using 3D transvaginal ultrasound

	<b>3D datasets</b>		<b>2D live examination</b>
	(n=60)		(n=60)
<b>Full LUS</b> (mm; median & range)	3.7 (1.2-7.6)		3.6 (0.9-8.0)
<b>Full LUS &lt;2.5 mm</b> (n,%)	8 (13%)		11 (18%)
	<b>Intraobserver</b>	<b>Interobserver</b>	<b>Intermethod</b>
	(n=60)	(n=60)	(n=60)
<b>Absolute difference</b> (mm; IQR)	0.3 (0.1-0.6)	0.3 (0.1-0.5)	0.6 (0.2-0.9)
<b>Differences &lt;1 mm</b> (n,%)	53 (88%)	51 (85%)	47 (78%)
<b>Intraclass correlation</b> (95% CI)	0.88 (0.81-0.93)	0.88 (0.81-0.93)	0.78 (0.66-0.86)
<b>Kappa</b> (95% CI)	0.87 (0.69-1.00)	0.86 (0.66-1.00)	0.56 (0.28-0.85)

Legend: LUS: lower uterine segment; *IQR*: interquartile range; *CI*: confidence intervals

*Intraobserver* comparison of Rater B measurements using 3D datasets (first vs. second examination); *Interobserver* comparison of Raters A vs. Rater B measurements (first examination) from 3D datasets; *Intermethod* comparison of Rater A measurements (using 2D vs. 3D datasets).

Table 3. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using 3D vaginal ultrasound when average lower uterine segment thickness is below <3 mm

	<b>3D datasets</b>		<b>2D live examination</b>
	(n=15)		(n=18)
<b>Full LUS</b> (mm; median & range)	2.3 (0.9-3.3)		2.4 (1.2-2.8)
	<b>Intraobserver</b>	<b>Interobserver</b>	<b>Intermethod</b>
	(n=18) <sup>‡</sup>	(n=15) <sup>‡</sup>	(n=18) <sup>‡</sup>
<b>Absolute difference</b> (mm; IQR)	0.3 (0.1-0.3)	0.2 (0.1-0.3)	0.4 (0.2-0.9)
<b>Differences &lt;1 mm</b> (n,%)	18 (100%)	15 (100%)	14 (78%)

Legend: *IQR* interquartile range



Table 4. Kappa and proportion of agreement of LUS thickness measurement using 3D transvaginal ultrasound at different thresholds

	<b>Intraobserver</b>	<b>Interobserver</b>	<b>Intermethod</b>
<b>Thresholds (mm)</b>	<b>Kappa (95%CI)</b>	<b>Kappa (95%CI)</b>	<b>Kappa (95%CI)</b>
<b>2.0</b>	0.78 (0.49-1.00)	0.85 (0.56-1.00)	0.55 (0.09-1.00)
<b>2.3</b>	0.84 (0.62-1.00)	0.90 (0.71-1.00)	0.45 (0.08-0.82)
<b>3.0</b>	0.67 (0.46-0.88)	0.84 (0.68-0.99)	0.59 (0.36-0.82)
<b>3.5</b>	0.80 (0.64-0.95)	0.73 (0.56-0.90)	0.50 (0.28-0.72)

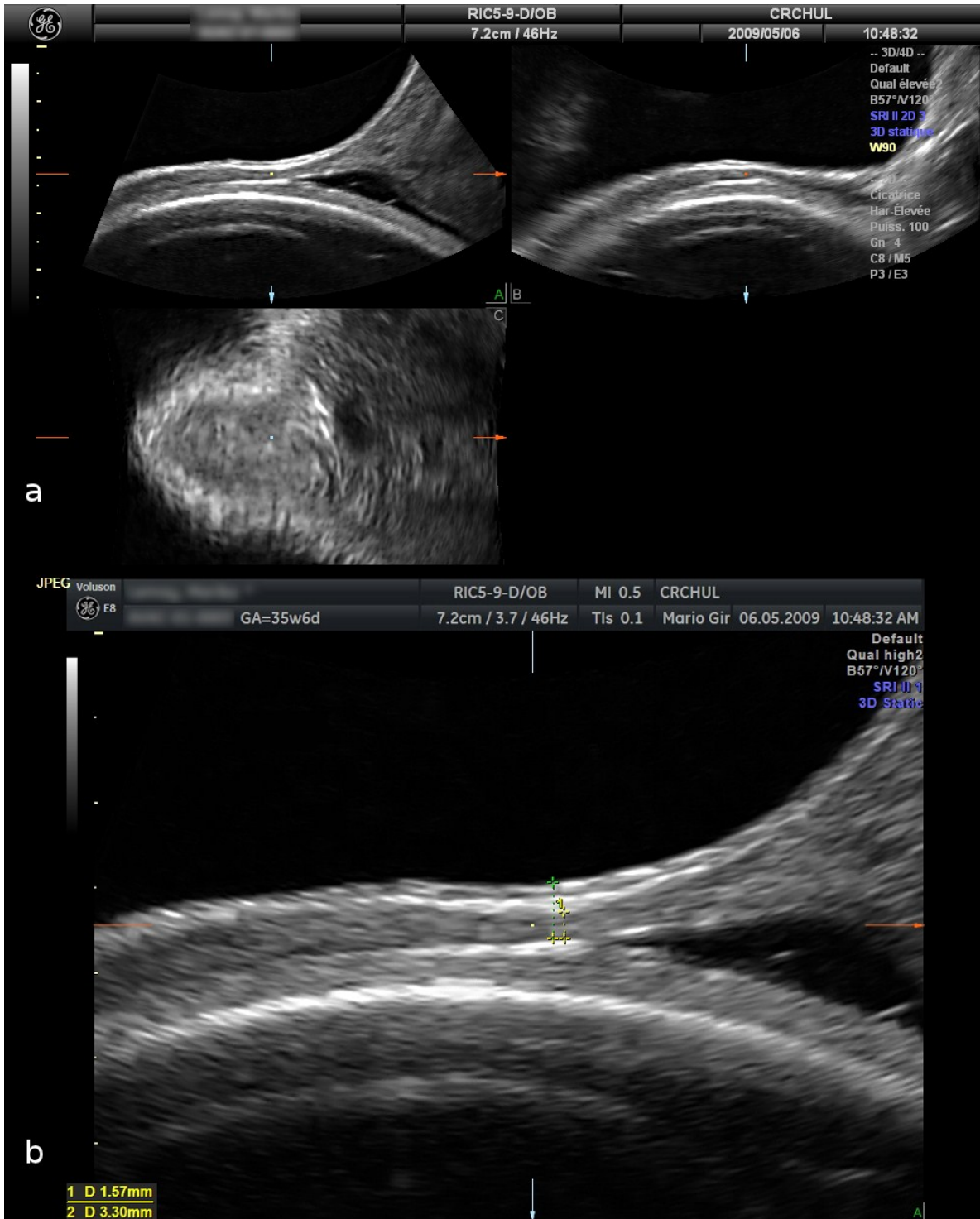


Figure 1. Measuring techniques for lower uterine segment (LUS) thickness using 3D ultrasound (a: 3 different planes; b: calipers placed for the measurement of full LUS and myometrial thicknesses, 3.30 and 1.57 mm, respectively)

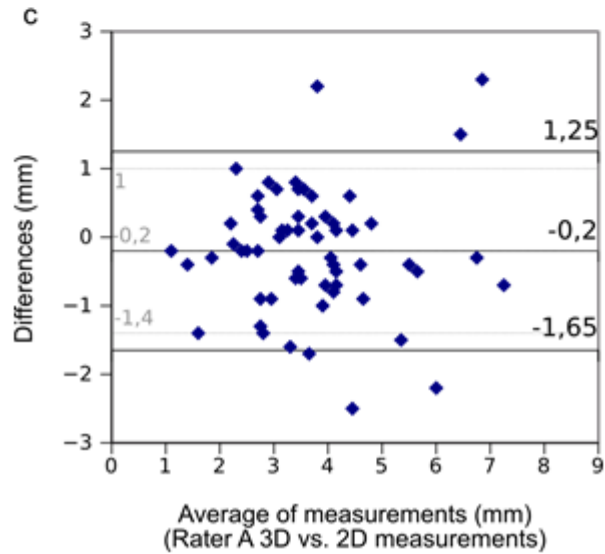
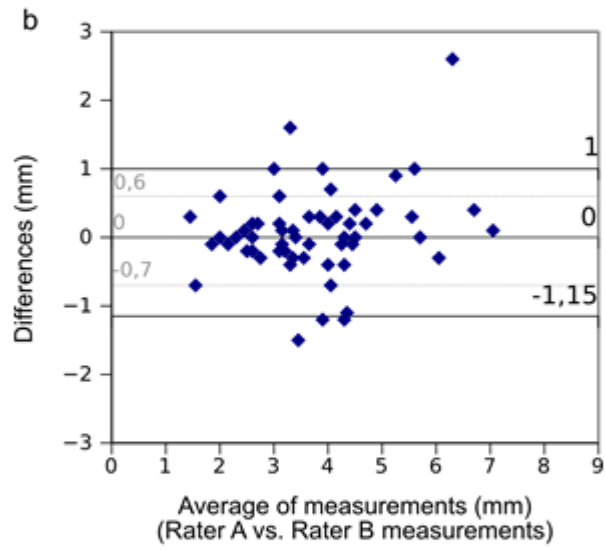
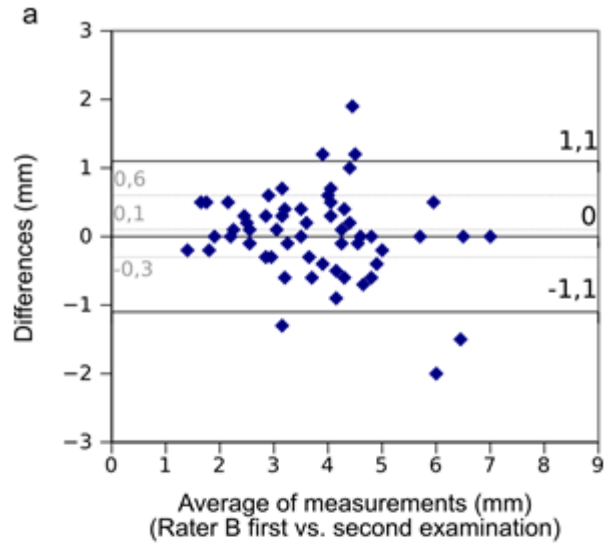


Figure 2. Bland-Altman plot and non-parametric limits of agreement (5th and 95th percentiles) for full lower uterine segment thickness measurements using 3D ultrasound (Grey dotted line indicates median and limits of agreement for measurements  $<3$  mm; a. intraobserver, b. interobserver, c. intermethod.)

## **4 Reliability of two-dimensional transvaginal sonographic measurement of lower uterine segment thickness using video sequences**

Amélie Boutin, MSc candidate,<sup>1</sup> Nicole Jastrow, MD,<sup>2</sup> Mario Girard, RT,<sup>3</sup> Stéphanie Roberge, MSc,<sup>1</sup> Nils Chaillet, PhD,<sup>4</sup> Normand Brassard, MD, MBA,<sup>5</sup> Emmanuel Bujold, MD, MSc,<sup>1,3,5</sup>

<sup>1</sup> Department of Social and Preventive Medicine, Faculty of Medicine, Université Laval, Québec, QC, Canada

<sup>2</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), Université de Genève, Genève, Suisse.

<sup>3</sup> Centre de Recherche du Centre Hospitalier Universitaire de Québec (CRCHUQ), Québec, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada

<sup>5</sup> Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Université Laval, Québec, QC, Canada

## Résumé

Une étude prospective de 60 femmes enceintes ayant un antécédent de césarienne basse transverse a été réalisée. Entre la 35<sup>e</sup> et la 39<sup>e</sup> semaine de grossesse, deux observateurs, à l'aveugle des données cliniques, ont mesuré de manière indépendante l'épaisseur du segment inférieur de l'utérus par échographie bidimensionnelle (2D) transvaginale. Des vidéos échographiques du segment inférieur ont été enregistrées. La reproductibilité intra et interobservateurs ainsi que la reproductibilité interméthodes ont été évaluées. La mesure du segment inférieur de l'utérus à l'aide de vidéos échographiques 2D présente une excellente reproductibilité. Cette technique offre aussi une bonne reproductibilité de la mesure réalisée en direct, particulièrement lorsque le segment inférieur est mince (moins de 3 mm).

## Abstract

**Objectives:** To report the intra- and interobserver reliability of measurement of the lower uterine segment (LUS) thickness using transvaginal sonographic videos.

**Methods:** A prospective study of 60 women with previous, low-transverse cesarean undergoing LUS examination (36-39 weeks) was performed. Two observers independently measured full LUS thickness using transvaginal sonography. A video of the LUS was recorded and analyzed more than 2 months later by both observers. Intra- and interobserver reliability was assessed with median absolute differences (MAD) and interquartile range (IQR), non-parametric limits of agreement, intraclass correlation coefficients (ICC) with 95% confidence interval (95% CI), and kappa coefficients.

**Results:** Median full LUS thickness was 3.6 mm (range: 0.9-8.0 mm). Intraobserver repeatability was excellent (median difference: 0.2 mm, IQR: 0.1-0.4; ICC: 0.94, 95% CI: 0.90-0.96; kappa: 1.00]. Interobserver (median difference: 0.3 mm, IQR: 0.2-1.3; ICC: 0.91, 95% CI: 0.86-0.95; kappa: 0.76, 95% CI: 0.54-0.98) and intermethod reproducibility (median difference: 0.4 mm, IQR: 0.2-0.8; ICC: 0.82, 95% CI: 0.72-0.89; kappa: 0.69, 95% CI: 0.43-0.94) were good. However, both interobserver and intermethod reproducibility were improved when LUS thickness was below 3 mm.

**Conclusions:** Full LUS thickness measured from transvaginal sonographic videos has excellent intra- and interobserver reproducibility and good reproducibility with live transvaginal ultrasound.

## Keywords

Pregnancy; ultrasound; cesarean; lower uterine segment; intraobserver agreement, interobserver agreement; intermethod agreement; reliability; 2D ultrasound

## Introduction

Uterine rupture is one of the most serious obstetrical complications, occurring in up to 1% of women undergoing a trial of labor (TOL), and associated with serious neonatal morbidity.<sup>1-6</sup> There are few clinical tools to assess its risk and prediction models have failed to reach sufficient predictive accuracy to be used in clinical practice.<sup>7,8</sup> A growing body of evidence suggests that lower uterine segment (LUS) thickness measurement could be used for prediction of defective scar and uterine rupture risk.<sup>9-16</sup> A recent meta-analysis by Jastrow et al. demonstrated that third-trimester LUS thickness predicts uterine scar defect with both sensitivity and specificity around 80% and with an area under the curve (AUC) of  $0.84 \pm 0.03$  ( $p < 0.001$ ) in receiver-operator curve (ROC) analysis.<sup>16</sup> Bujold et al., found that the 3 uterine ruptures that occurred in a cohort study of 125 women who underwent a TOL after a previous cesarean had a mean LUS thickness measurement less than 2.3 mm (specificity of 75%,  $p < 0.05$ ).<sup>15</sup> However, the great heterogeneity of the techniques and the thresholds used preclude its actual use in clinical settings beyond well-defined research purposes.

While previous studies have shown that LUS measurement, using transvaginal ultrasound, have a good reliability,<sup>17,18</sup> appropriate training is required to attain an adequate level of expertise. Therefore, there is interest in tools that can be used for delayed or distant evaluation by experts. The actual standard live two-dimensional sonography does not allow such delayed evaluation, but video recordings or three-dimensional (3D) acquisition of the LUS ultrasound could potentially allow it. The objectives of this study were to assess the intra and interobserver reliability of transvaginal sonographic video clips to measure LUS thickness transvaginal and to compare it to measurements acquired with standard live transvaginal ultrasound.

## Methods

We conducted a prospective clinical investigation to evaluate the intra- and interobserver reliability of transvaginal sonographic measurement of LUS thickness using video



sequences in women with previous, low-transverse cesarean. The study was performed at the Centre Mère-Enfant du Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ) between May 2009 and March 2010. Women with singleton pregnancy between 35 0/7 and 38 6/7 weeks of gestation and previous low-transverse cesarean were recruited by obstetricians and family physicians who previously determined their eligibility for a TOL. A research nurse confirmed their eligibility and completed a questionnaire for pertinent demographic, medical and obstetrical information. Exclusion criteria included a previous cesarean delivery other than low-transverse, a previous myomectomy, a lethal fetal anomaly, premature rupture of membranes or regular uterine contractions with cervical change at the time of recruitment. Informed consent was obtained from all participants. The project was approved by the Ethics and Scientific Committees of the CHUQ.

A Voluson E8 Expert sonographic device (GE Healthcare Inc., Milwaukee, WI), equipped with a RIC5-9-D/OB transvaginal probe, was used. The LUS was examined with the women's bladder being full. It was scanned in sagittal sections from the right to left extremities, and the thinnest point was located according to the measurement technique described previously by Bujold et al.<sup>15</sup> Images were magnified so that the slightest caliper movement would be equivalent to 0.1 mm. Two calipers were placed in an axis perpendicular to the LUS wall on the outer to outer edges of the echogenic limits (Figure 1). A 2D video clip was recorded by Rater B while scanning the LUS in sagittal plane from the right to left. All measurements displayed on the sonographic device screen were hidden to avoid bias when placing the calipers.

Rater sample size was fixed at 2 because more transvaginal examinations might be uncomfortable for many pregnant women with very little statistical benefit.<sup>19,20</sup> Two experienced observers (Raters A and B) performed the examinations. Three full LUS thickness measurements were taken successively by the standard live ultrasound, by Rater A and then by Rater B, both independently and blinded to each other's results and to their own measurements. The thinnest of 3 measurements (as more than 3 measure presents little benefits<sup>22</sup> and the thinnest is the clinically relevant measure) was considered as the dependent variable, and was collected after all examinations were completed. Two to 12 months later, anonymous video clips were examined in random order by Raters A and B

using Viewpoint software (GE Healthcare Inc., Milwaukee, WI), again taking 3 measurements of full LUS thickness and retaining the thinnest one. Viewpoint software allowed selection of any images of the recording and distance measurements. Two weeks after a first examination of all video clips, Rater B repeated all the measurement procedures in random order, and still blinded to all previous measurements.

Intraobserver reliability was assessed using Rater B's repeated measurements. Interobserver reproducibility was determined comparing the first measurements of Raters A and B, Rater A's measurements being considered as the reference. Intermethod reliability was described by comparing Rater A's measurements both with standard live ultrasound and delayed readings of ultrasound video clips, live measurements being considered as the reference.

### **Continuous scale**

LUS thickness was used as a continuous variable. The median of absolute differences between measurements and its interquartile range (IQR) was reported. A signed rank test was conducted to search for systematic error. Differences between observations which were lower than 1 mm were considered to be clinically acceptable. Bland-Altman analysis of agreement was conducted to compare measurements by each observer.<sup>21</sup> As differences between measurements of Raters A and B were not normally distributed and showed variations according to magnitude of measurements, we used a non-parametric approach to the Bland-Altman plot of limits of agreement, adding 5<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles to a scatter diagram.<sup>21</sup> Since accuracy of measurement is important when LUS is thin (closed or less than 2.3 mm<sup>15</sup>), we also computed limits specific to average full LUS thickness less than 3 mm (considering that a difference of 0.5 mm between measurements for a thickness evaluated at 2.5 mm, our threshold, in one measurement could lead to a second measurement of 3 mm). Intraclass correlation coefficients (ICC) were computed with their 95% confidence interval (95% CI). ICC greater than 0.75 was considered to reflect good agreement.<sup>22</sup>

### **Nominal scale**

Based on literature review and their own experience, the investigators reached a consensus about using a cut-off value of 2.5 mm for full LUS thickness to discriminate women with low and high risk of uterine rupture.<sup>13,15</sup> We adopted this value to assess interobserver agreement, quantified by kappa coefficients and their 95% CI. Strength of agreement was judged according to Cohen's criteria, kappa of less than 0.41 being poor, 0.41 to 0.60 being moderate, 0.61 to 0.80 being good, and 0.81 to 1.0 being excellent.<sup>23</sup>

### **Sample size calculation**

Participants sample size was fixed at 60. We wanted to attain a precision of 0.1 for ICC estimation. We expected an ICC of 0.80, fixing power at 80% and alpha at 5%.<sup>20</sup>

All statistical analyses were performed using SAS statistical packages (SAS 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

## **Results**

Two raters and 60 participants were included in the study. Participants' characteristics are described in Table 1. One patient had 3 previous cesarean deliveries, and all others had only 1 previous cesarean. Median LUS thickness measured by live transvaginal ultrasound was 3.6 mm (range: 0.9-8.0) and eleven (18%) women had LUS thicknesses lower than 2.5 mm. One video clip had not been recorded for one woman for no specific reason. Therefore, one observation (1.7%) of ultrasound videos from Rater A and B was missing, which was deemed acceptable. No extreme outlier was found according to visual exploration of differences' distribution.

The results of reliability analyses are reported in Table 2. Median absolute differences for intra- and interobserver reliability were lower than 0.4 mm with more than 85% differences being lower than 1 mm. ICC were excellent in both cases, being greater than 0.90. Intra- and interobserver kappa coefficients were excellent (1.00) and good [0.76 (95 CI: 0.54-0.98)], respectively. Absolute differences between delayed evaluation of LUS thickness using video clips and live measurements had a median of 0.4 mm (IQR: 0.2-0.8). The ICC

[0.82 (95% CI: 0.72-0.89)] and kappa [0.69 (95% CI: 0.43-0.94)] were good for this comparison.

Bland-Altman plots of non-parametric limits of agreement for intraobserver, interobserver and intermethod reliability are presented in Figure 2. Limits of agreement were closer when the average LUS thickness was thinner. Finally, we found that Rater B's first measurements were on average greater than his last measurements (signed rank test p-value: 0.04), indicating a systematic difference. No other systematic difference was observed.

## **Discussion**

We found an excellent intra- and interobserver reproducibility of LUS thickness measurement using video clips of 2D transvaginal ultrasound of LUS. Compared to standard live 2D ultrasound assessment of LUS thickness, we noted a good reliability of delayed measurements using video sequences and the reliability of measurements was better for thin LUS thicknesses. These results allow contemplating a potential use of sonographic video sequences to obtain second opinion by experts.

Sonographic video sequences have been used for the offline evaluation of congenital heart disease.<sup>24</sup> However, we did not find any other study that investigated the use of video sequences for the evaluation of LUS thickness. Our results are similar to those of Jastrow et al. who studied the reliability of full LUS thickness measurement using transvaginal ultrasound.<sup>17</sup> We both found excellent intra- and interobserver ICC and high proportions of differences lower than 1 mm. Our results are also in agreement with those of Martins et al. who studied the reliability of myometrial layer thickness using transvaginal ultrasound, and full LUS thickness using transabdominal ultrasound.<sup>18</sup> They also obtained median differences lower than 0.5 mm and ICCs greater than 0.85 when using a transvaginal approach. Cheung et al. studied the reliability of transabdominal 2D and 3D ultrasound measurement of LUS thickness.<sup>25</sup> In their study, they found greater interobserver differences [mean differences 0.55 mm (SD: 0.44) and 0.79 mm (SD: 0.68), using 2D and 3D ultrasound respectively] for full LUS thickness measurements and lower kappa

coefficients (ranging from 0.08 to 0.63). However, they did not report data using transvaginal ultrasound.

Our study is limited by our small rater sample size of 2 trained observers. Also, only 18 women had full LUS thickness below or equal to 3.0 mm, the range of measurements where accuracy is definitively required. We did not evaluate the level of bladder filling and its potential effect on LUS thickness. However, the two live examinations and the video recording were usually performed within 10 minutes and we believe that it did not affect the reproducibility. Our strengths include that 1) both observers were blinded to the clinical data and previous measurements; 2) all measurements were masked to the observers during examination, meaning that thickness results were hidden on the sonographic device screen so that the raters could not be influenced by the numbers displayed when placing the calipers; 3) 2 weeks to twelve months elapsed between each repeated measurements; and 4) we used a full bladder for the vaginal ultrasound leading to an optimal LUS visualization. Finally, Rater B first measurements were systematically lower than his second ratings. We believe this second examination might have led to a greater scrutiny of the video sequences even though Rater B was blinded to previous measurements.

## **Conclusion**

LUS thickness measurements by transvaginal 2D sonography using video sequences are highly reproducible within and between observers. This method shows also a good reliability with live transvaginal 2D ultrasound. Therefore, video sequences of transvaginal 2D ultrasound scans of LUS might potentially be used in clinical settings for second opinion of LUS thickness measurement among women with a history of cesarean delivery contemplating vaginal birth.

## **Acknowledgments**

Emmanuel Bujold holds a Clinician Scientist Award and Nils Chaillet holds a New Investigator Award from the Canadian Institutes of Health Research. This study was supported by the Jeanne and Jean-Louis Lévesque Perinatal Research Chair at Université Laval, Quebec, QC, Canada.

## References

- 1 Lydon-Rochelle M, Holt VL, Easterling TR, Martin DP. Risk of uterine rupture during labor among women with a prior cesarean delivery. *N Engl J Med.* 2001;**345**:3-8.
- 2 Chauhan SP, Martin JN, Jr., Henrichs CE, Morrison JC, Magann EF. Maternal and perinatal complications with uterine rupture in 142,075 patients who attempted vaginal birth after cesarean delivery: a review of the literature. *Am J Obstet Gynecol.* 2003;**189**:408-417.
- 3 Landon MB, Hauth JC, Lenovo KJ, Spong CY, Leindecker S, Varner MW, Moawad AH, Caritis SN, Harper M, Wapner RJ, Sorokin Y, Miodovnik M, Carpenter M, Peaceman AM, O'Sullivan MJ, Sibai B, Langer O, Thorp JM, Ramin SM, Mercer BM, Gabbe SG. Maternal and perinatal outcomes associated with a trial of labor after prior cesarean delivery. *N Engl J Med.* 2004;**351**:2581-2589.
- 4 Rossi AC, D'Addario V. Maternal morbidity following a trial of labor after cesarean section vs elective repeat cesarean delivery: a systematic review with metaanalysis. *Am J Obstet Gynecol.* 2008;**199**(3):224-231.
- 5 Bujold E, Gauthier RJ. Neonatal morbidity associated with uterine rupture: what are the risk factors? *Am J Obstet Gynecol.* 2002;**186**:311-314.
- 6 Guise JM, McDonagh MS, Osterweil P, Nygren P, Chan BKS, Helfand M. Systematic review of the incidence and consequences of uterine rupture in women with previous caesarean section. *BMJ.* 2004;**329**:1-7.
- 7 Grobman WA, Lai Y, Landon MB, Spong CY, Leveno KJ, Rouse DJ, Varner MW, Moawad AH, Caritis SN, Harper M, Wapner RJ, Sorokin Y, Miodovnik M, Carpenter

- M, O'Sullivan MJ, Sibai BM, Langer O, Thorp JM, Ramin SM, Mercer BM; National Institute of Child Health and Human Development Maternal-Fetal Medicine Units Network. Prediction of uterine rupture associated with attempted vaginal birth after cesarean delivery. *Am J Obstet Gynecol*. 2008 Jul;**199**(1):30.e1-5. Epub 2008 Apr 25.
- 8 Macones GA, Cahill AG, Stamilio DM, Odibo A, Peipert J, Stevens EJ. Can uterine rupture in patients attempting vaginal birth after cesarean delivery be predicted? *Am J Obstet Gynecol*. 2006;**195**:1148-1152.
- 9 Fukuda M, Fukuda K, Mochizuki M. Examination of previous caesarean section scars by ultrasound. *Arch Gynecol Obstet*. 1988;**243**:221-224.
- 10 Rozenberg P, Goffinet F, Phillippe HJ, Nisand I. Ultrasonographic measurement of lower uterine segment to assess risk of defects of scarred uterus. *Lancet*. 1996;**347**(8997):281-284.
- 11 Gotoh H, Masuzaki H, Yoshida A, Yoshimura S, Miyamura T, Ishimaru T. Predicting incomplete uterine rupture with vaginal sonography during the late second trimester in women with prior cesarean. *Obstet Gynecol*. 2000;**95**:596-600.
- 12 Cheung VY, Constantinescu OC, Ahluwalia BS. Sonographic evaluation of the lower uterine segment in patients with previous cesarean delivery. *J Ultrasound Med*. 2004;**23**:1441-1447.
- 13 Sen S, Malik S, Salhan S. Ultrasonographic evaluation of lower uterine segment thickness in patients of previous cesarean section. *Int J Gynaecol Obstet*. 2004;**87**(3):215-219.
- 14 Cheung VY. Sonographic measurement of the lower uterine segment thickness in women with previous caesarean section. *J Obstet Gynaecol Can*. 2005;**27**:674-681.

- 15 Bujold E, Jastrow N, Simoneau J, Brunet S & Gauthier RJ. Prediction of complete uterine rupture by sonographic evaluation of the lower uterine segment. *Am J Obstet Gynecol.* 2009;**201**(3):320.e1-320.e6.
- 16 Jastrow N, Chaillet N, Roberge S, Morency AM, Lacasse Y, Bujold E. Sonographic lower uterine segment thickness and risk of uterine scar defect: a systematic review. *J Obstet Gynaecol Can.* 2010;**32**(4):321-327.
- 17 Jastrow N, Antonelli E, Robyr R, Irion O, Boulvain M. Inter- and intraobserver variability in sonographic measurement of the lower uterine segment after a previous Cesarean section. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2006;**27**(4):420-424.
- 18 Martins WP, Barra DA, Gallarreta FMP, Nastri CO, Filho FM. Lower uterine segment thickness measurement in pregnant women with previous Cesarean section: reliability analysis using two- and three-dimensional transabdominal and transvaginal ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009;**33**(3):301-306.
- 19 Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. *Statistics in medicine.* 1998;**17**:101-110.
- 20 Giraudeau B, Mary JY. Planning a reproducibility study: how many subjects and how many replicates per subject for an expected width of the 95 per cent confidence interval of the intraclass correlation coefficient. *Stat Med.* 2001;**20**:3205-3214.
- 21 Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999;**8**:135-160.
- 22 Shoukri M.M. Measures of interobserver agreement. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC; 2004.
- 23 Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas.*



1960;**20**:37-46.

- 24 Yagel S, Cohen SM, Rosenak D, Messing B, Lipschuetz M, Shen O, Valsky DV. Added value of three-/four-dimensional ultrasound in offline analysis and diagnosis of congenital heart disease. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011 Apr;**37**(4):432-7. Epub 2011 Mar 7.
- 25 Cheung VYT, Yang F, Leung KY. 2D versus 3D transabdominal sonography for the measurement of lower uterine segment thickness in women with previous cesarean delivery. *Int J Gynecol Obstet.* 2011;**114**:234-237.

Table 1. Characteristics of study group.

	<b>Median (range)</b>
Maternal age (years)	31 (21-40)
Gestational age at examination (weeks)	37 (35-39)
Gestational age at previous cesarean section (weeks) (n=56)	40 (25-41)
Months since last cesarean delivery (n=59)	30 (13-108)

Table 2. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using two-dimensional transvaginal ultrasound video sequences

	<b>Intraobserver</b> (n=59)	<b>Interobserver</b> (n=59)	<b>Intermethod*</b> (n=59)
<b>Full lower uterine segment thickness</b> <sup>†</sup> (mm), median (range)	3.5 (1.4-7.4)	3.7 (1.0-7.7)	3.6 (0.9-8.0)
<b>&lt;2.5 mm</b> <sup>†</sup> n (%)	12 (20%)	8 (14%)	11 (18%)
<b>Absolute difference</b> (mm), median (IQR)	0.2 (0.1-0.4)	0.3 (0.2-1.3)	0.4 (0.2-0.8)
<b>Differences &lt;1 mm</b> n (%)	56 (95%)	52 (88%)	46 (78%)
<b>Intraclass correlation coefficient</b> (95% CI)	0.94 (0.90-0.96)	0.91 (0.86-0.95)	0.82 (0.72-0.89)
<b>Kappa</b> (95% CI)	1.00	0.76 (0.54-0.98)	0.69 (0.43-0.94)

Legend: *Intraobserver* comparison of Rater B first and second measurements; *Interobserver* comparison of first measurement between Rater A and B; *Intermethod* comparison of Rater A measurements using 2D video sequences and 2D live ultrasound.

\* The intermethod reproducibility is a comparison of 2D video clips and 2D live transvaginal ultrasound measurement of lower uterine segment thickness

<sup>†</sup> Computed using first Rater B 2D ultrasound measurements using video clips for intraobserver reliability, Rater A measurement using 2D ultrasound video sequences for interobserver reliability, and Rater A 2D live measurements for intermethod reproducibility

Table 3. Reliability of full lower uterine segment thickness measurement using two-dimensional transvaginal sonographic video sequences when average lower uterine segment thickness\* is below 3 mm

	<b>Intraobserver</b> (n=18)	<b>Interobserver</b> (n=16)	<b>Intermethod</b> (n=16)
<b>Full lower uterine segment thickness</b> <sup>†</sup> (mm), median (range)	2.2 (1.3-3.1)	2.5 (1.0-3.1)	2.3 (0.9-3.0)
<b>Absolute difference</b> (mm), median (IQR)	0.2 (0.1-0.3)	0.3 (0.2-0.4)	0.3 (0.1-0.6)
<b>Differences &lt;1 mm</b> n (%)	18 (100%)	15 (94%)	13 (81%)

Legend: *Intraobserver* comparison of Rater B first and second measurements; *Interobserver* comparison of first measurement between Rater A and B; *Intermethod* comparison of Rater A measurements using 2D and 3D ultrasound.

\* Average of compared measurements

<sup>†</sup> Computed using first Rater B 3D ultrasound measurements for intraobserver reliability, Rater A measurement using 3D ultrasound for interobserver reliability, and Rater A 2D measurements for intermethod reproducibility



Figure 1. Measurement of full lower uterine segment thickness using transvaginal ultrasound (zoom).

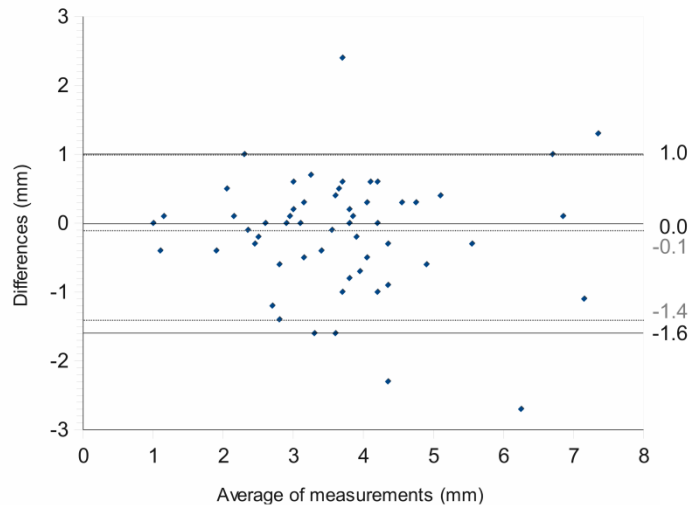
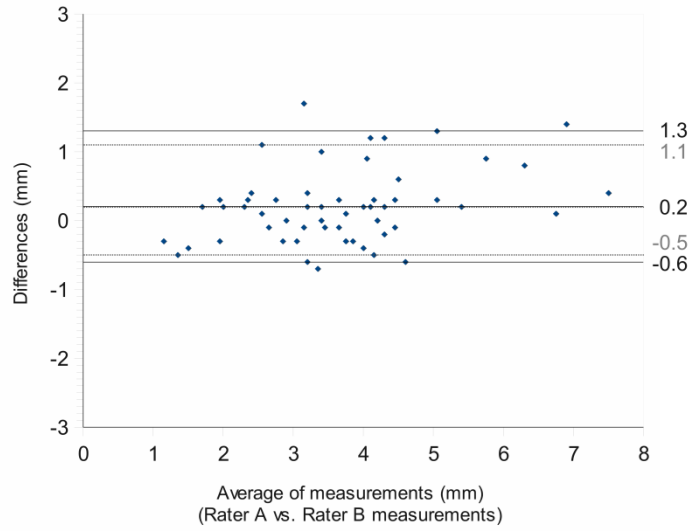
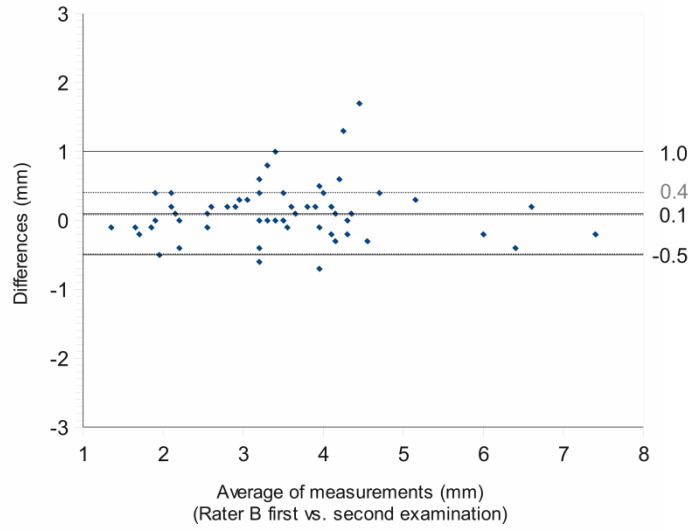


Figure 2. Bland-Altman plot for non-parametric limits of agreement (5th and 95th percentiles) for full lower uterine segment thickness measurements using two-dimensional transvaginal sonographic video sequences (grey dotted line indicates median and limits of agreement for average measurements  $< 3\text{mm}$ ): a. intraobserver b. interobserver c. intermethod.

## 5 Discussion

La mesure du segment inférieur de l'utérus au cours du troisième trimestre réalisée par échographie 3D ou au moyen de vidéos échographiques 2D est associée à une reproductibilité intra et interobservateurs élevée. Elle permet aussi une bonne reproductibilité de la mesure par échographie 2D. Que ce soit par échographie 3D ou par vidéo échographique 2D, nous avons obtenu une précision intra et interobservateurs ainsi qu'une précision interméthodes plus importantes pour les segments inférieurs dont l'épaisseur était de moins de 3 mm.

Nos résultats s'apparentent à ceux obtenus par Jastrow *et al.*,<sup>(51)</sup> qui avaient obtenu de fortes proportions de différences inférieures à 1 mm avec des moyennes de différences allant de 0,36 à 0,48 mm et des coefficients de corrélation élevés (0,94) pour une approche transvaginale utilisant l'échographie 2D en direct. Nos résultats concernant la reproductibilité de la mesure du segment inférieur par utilisation de vidéos échographiques 2D sont plus comparables encore à ceux de Jastrow *et al.* que nos résultats de l'échographie 3D. En effet, les différences médianes de la technique 2D vidéographique sont plus petites et les ICC sont plus grands que ceux obtenus par la technique 3D.

Si nous comparons nos résultats relatifs à l'évaluation par échographie 3D transvaginale à ceux de Martins *et al.*<sup>(52)</sup>, nous constatons que les différences médianes sont dans les deux cas inférieures à 0,5 mm et les ICC sont supérieurs à 0,85, ce qui est considéré comme excellent. Notons toutefois que les résultats de Martins concernent la mesure de la couche musculaire de l'utérus, alors que nous avons étudié la mesure de l'épaisseur totale de la paroi utérine. Nos mesures de reproductibilité sont meilleures lorsque nous les comparons à leur évaluation par approche transabdominale de l'épaisseur totale. En effet, Martins *et al.* ont obtenu des différences moyennes intraobservateurs de 0,88 à 0,98 mm et des différences moyennes interobservateurs d'environ 1,5 mm, avec des ICC entre 0,83 et 0,89. Une étude récente de Cheung *et al.*<sup>(53)</sup> a aussi évalué la reproductibilité de l'échographie 2D et 3D par voie transabdominale. Les différences moyennes interobservateurs et interméthodes rapportées (de 0,25 à 0,85 mm) sont plus élevées que les nôtres. Leurs mesures d'accord (kappa) sont aussi plus faibles que celles que nous avons pu observer.



Ces résultats semblent globalement indiquer une meilleure reproductibilité de la mesure par voie transvaginale que par voie transabdominale, ce qui concorde avec les résultats antérieurs de plusieurs auteurs.(27, 45, 51)

Aucune autre étude n'a évalué à ce jour la reproductibilité de la mesure du segment inférieur par vidéo échographique 2D. Selon nos données, la mesure réalisée au moyen de vidéos échographiques 2D était plus comparable à celle réalisée lors de l'examen direct par échographie 2D. Comme ces deux méthodes reposent sur une visualisation identique d'une coupe sagittale du segment inférieur, il n'est pas étonnant que la reproductibilité interméthodes soit meilleure que dans le cas où la mesure est réalisée par échographie 3D. En effet, quoique les 3 techniques de mesure soient très similaires et que les résultats soient reproductibles, les mesures obtenues par la technique 3D étaient globalement un peu plus élevés.

Compte tenu de la variabilité interméthodes et de la tendance des mesures par échographie 3D à être supérieures à celles réalisées par le biais de l'échographie 2D, nous croyons qu'il serait préférable d'utiliser un seuil de discrimination plus conservateur lors de l'utilisation de l'échographie 3D. La reproductibilité sur une échelle continue nous apparaît toutefois plus importante cliniquement. L'utilisation de plusieurs seuils mis en commun avec d'autres facteurs de risque de rupture utérine pourrait faire de la mesure de l'épaisseur du segment inférieur un outil plus précis d'estimation du risque. D'autres études seront nécessaires pour explorer les possibilités d'une telle approche dans l'évaluation du risque de rupture utérine.

Nos études sont limitées par le faible nombre de participantes ayant un segment inférieur mince, donc pour lesquelles l'évaluation du risque de rupture doit être d'autant plus précise et reproductible. Comme nous avons observé une meilleure précision pour les segments utérins plus minces en moyenne, il est probable que la forte proportion de femme ayant un segment épais ait diminué la qualité de la reproductibilité par rapport à un échantillon où la proportion de femmes ayant un segment mince serait plus grande. Nous avons aussi limité notre échantillon d'observateurs à 2 experts, ce qui a pu favoriser une meilleure reproductibilité. Il aurait pu être intéressant d'évaluer un plus grand échantillon

d'observateurs ayant des expériences variables. En contrepartie, notre étude présente des forces importantes. Les observateurs réalisaient leurs évaluations du segment inférieur de manière indépendante et à l'insu des informations cliniques de la patiente ainsi que des mesures antérieures et propres à l'examen en cours. Au moins deux semaines se sont écoulées entre chacune des évaluations du segment inférieur d'une patiente. De plus, les images 3D et les vidéos ont été dénominalisées et leur ordre de présentation était aléatoire, rendant pratiquement impossible l'identification d'une patiente ou le souvenir des mesures associées à une évaluation antérieure. Les participantes avaient aussi des vessies pleines lors des examens en direct et de la capture des images 3D et des vidéos, optimisant ainsi la visualisation du segment inférieur.

## **Conclusion**

Les résultats de cette étude permettent d'envisager une utilisation clinique de la mesure du segment inférieur par échographie 3D et par utilisation de vidéos échographiques 2D. Deux champs pourraient particulièrement bénéficier de ces techniques, soit l'évaluation différée ou à distance par un expert et l'enseignement.

## Bibliographie

1. Liu SLRLL. Canadian Perinatal Health Report, 2008 Edition. Public Health Agency of Canada; 2008. p. 77-81.
2. Menacker F, Hamilton BE. Recent trends in cesarean delivery in the United States. *NCHS Data Brief*, no 35. Hyattsville, MD: National Center for Health Statistics; 2010.
3. Low J. Cesarean section--past and present. *J Obstet Gynaecol Can.* 2009;**31**(12):1131-6.
4. Liu S, Liston RM, Joseph KS, Heaman M, Sauve R, Kramer MS, et al. Maternal mortality and severe morbidity associated with low-risk planned cesarean delivery versus planned vaginal delivery at term. *CMAJ.* 2007;**176**(4):455-60.
5. Clark SL, Belfort MA, Dildy GA, Herbst MA, Meyers JA, Hankins GD. Maternal death in the 21st century: causes, prevention, and relationship to cesarean delivery. *Am J Obstet Gynecol.* 2008;**199**(1):36.e1.
6. Silver RM. Delivery after previous cesarean: long-term maternal outcomes. *Semin Perinatol.* 2010;**34**(4):258-66.
7. Jackson S, Fleege L, Fridman M, Gregory K, Zelop C, Olsen J. Morbidity following primary cesarean delivery in the Danish National Birth Cohort. *Am J Obstet Gynecol.* 2011.
8. Lyell DJ. Adhesions and perioperative complications of repeat cesarean delivery. *American Journal of Obstetrics and Gynecology.* 2011;**205**(6 SUPPL.):S11-S8.
9. Marshall NE, Fu R, Guise JM. Impact of multiple cesarean deliveries on maternal morbidity: a systematic review. *Am J Obstet Gynecol.* 2011;**205**(3):262 e1-8.
10. Lydon-Rochelle M, Holt VL, Easterling TR, Martin DP. Risk of uterine rupture during labor among women with a prior cesarean delivery. *N Engl J Med.* 2001;**345**(1):3-8.
11. Chauhan SP, Martin JN, Jr., Henrichs CE, Morrison JC, Magann EF. Maternal and perinatal complications with uterine rupture in 142,075 patients who attempted vaginal birth after cesarean delivery: A review of the literature. *Am J Obstet Gynecol.* 2003;**189**(2):408-17.
12. Guise JM, McDonagh MS, Osterweil P, Nygren P, Chan BK, Helfand M. Systematic review of the incidence and consequences of uterine rupture in women with previous caesarean section. *BMJ.* 2004;**329**(7456):19-25.
13. Landon MB, Hauth JC, Leveno KJ, Spong CY, Leindecker S, Varner MW, et al. Maternal and perinatal outcomes associated with a trial of labor after prior cesarean delivery. *N Engl J Med.* 2004;**351**(25):2581-9.
14. Bujold E. Uterine rupture and labour after a previous low transverse caesarean section. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology.* 2006;**113**(11):1337.
15. Rossi AC, D'Addario V. Maternal morbidity following a trial of labor after cesarean section vs elective repeat cesarean delivery: a systematic review with metaanalysis. *Am J Obstet Gynecol.* 2008;**199**(3):224-31.
16. Bujold E. Interdelivery interval and uterine rupture. *American Journal of Obstetrics and Gynecology.* 2002;**187**(5):1199-202.
17. Bujold E, Blackwell SC, Gauthier RJ. Cervical ripening with transcervical foley catheter and the risk of uterine rupture. *Obstet Gynecol.* 2004;**103**(1):18-23.

18. Hendler I, Bujold E. Effect of prior vaginal delivery or prior vaginal birth after cesarean delivery on obstetric outcomes in women undergoing trial of labor. *Obstet Gynecol.* 2004;**104**(2):273-7.
19. Macones GA, Cahill AG, Stamilio DM, Odibo A, Peipert J, Stevens EJ. Can uterine rupture in patients attempting vaginal birth after cesarean delivery be predicted? *American Journal of Obstetrics and Gynecology.* 2006;**195**(4):1148-52.
20. Grobman WA, Lai Y, Landon MB, Spong CY, Leveno KJ, Rouse DJ, et al. Prediction of uterine rupture associated with attempted vaginal birth after cesarean delivery. *Am J Obstet Gynecol.* 2008;**199**(1):30 e1-5.
21. Jastrow N, Roberge S, Gauthier RJ, Laroche L, Duperron L, Brassard N, et al. Effect of birth weight on adverse obstetric outcomes in vaginal birth after cesarean delivery. *Obstet Gynecol.* 2010;**115**(2 Pt 1):338-43.
22. Fukuda M, Fukuda K, Mochizuki M. Examination of previous cesarean section scars by ultrasound. *Arch Gynecol Obstet.* 1988;**243**(4):221-4.
23. Rozenberg P, Goffinet F, Phillippe HJ, Nisand I. Ultrasonographic measurement of lower uterine segment to assess risk of defects of scarred uterus. *Lancet.* 1996;**347**(8997):281-4.
24. Rozenberg P, Goffinet F, Philippe HJ, Nisand I. Thickness of the lower uterine segment: its influence in the management of patients with previous cesarean sections. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 1999;**87**(1):39-45.
25. Gotoh H, Masuzaki H, Yoshida A, Yoshimura S, Miyamura T, Ishimaru T. Predicting incomplete uterine rupture with vaginal sonography during the late second trimester in women with prior cesarean. *Obstet Gynecol.* 2000;**95**(4):596-600.
26. Cheung VY, Constantinescu OC, Ahluwalia BS. Sonographic evaluation of the lower uterine segment in patients with previous cesarean delivery. *J Ultrasound Med.* 2004;**23**(11):1441-7.
27. Sen S, Malik S, Salhan S. Ultrasonographic evaluation of lower uterine segment thickness in patients of previous cesarean section. *Int J Gynaecol Obstet.* 2004;**87**(3):215-9.
28. Cheung VY. Sonographic measurement of the lower uterine segment thickness in women with previous caesarean section. *J Obstet Gynaecol Can.* 2005;**27**(7):674-81.
29. Bujold E, Jastrow N, Simoneau J, Brunet S, Gauthier RJ. Prediction of complete uterine rupture by sonographic evaluation of the lower uterine segment. *Am J Obstet Gynecol.* 2009;**201**(3):320 e1-6.
30. Jastrow N, Chaillet N, Roberge S, Morency AM, Lacasse Y, Bujold E. Sonographic lower uterine segment thickness and risk of uterine scar defect: a systematic review. *J Obstet Gynaecol Can.* 2010;**32**(4):321-7.
31. Brassard N, Bujold E. OP15.09: A standardized method of LUS measurement in late pregnancy. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology.* 2009;**34**(S1):110.
32. Landon MB. Uterine rupture. In: Gabbe SG, Niebyl JR, Simpson JL, editors. *Obstetrics: normal and problem pregnancies.* 5th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone/Elsevier; 2007. p. 503-4.
33. Scott JR, Porter TF. Cesarean delivery. In: Gibbs RS, Karlan BY, Haney AF, Nygaard IE, editors. *Danforth's obstetrics and gynecology.* 10th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
34. Purcell E, Bienstock JL. Complications of Labor and Delivery. In: Hurt KJ, editor. *The Johns Hopkins manual of gynecology and obstetrics.* 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 100-10.

35. Bujold E, Gauthier RJ. Neonatal morbidity associated with uterine rupture: what are the risk factors? *Am J Obstet Gynecol*. 2002;**186**(2):311-4.
36. Dekker GA, Chan A, Luke CG, Priest K, Riley M, Halliday J, et al. Risk of uterine rupture in Australian women attempting vaginal birth after one prior caesarean section: a retrospective population-based cohort study. *BJOG*. 2010;**117**(11):1358-65.
37. Grivell RM, Barreto MP, Dodd JM. The influence of intrapartum factors on risk of uterine rupture and successful vaginal birth after cesarean delivery. *Clin Perinatol*. 2011;**38**(2):265-75.
38. Roberge S, Boutin A, Chaillet N, Moore L, Jastrow N, Demers S, et al. Systematic review of the cesarean scar assessment in non-pregnant state : imaging techniques and uterine scar defect. *Am J Perinatology*. In press.
39. Montanari L, Alfei A, Drovanti A, Lepadatu C, Lorenzi D, Facchini D, et al. [Transvaginal ultrasonic evaluation of the thickness of the section of the uterine wall in previous cesarean sections]. *Minerva Ginecol*. 1999;**51**(4):107-12.
40. Tanik A, Ustun C, Cil E, Arslan A. Sonographic evaluation of the wall thickness of the lower uterine segment in patients with previous cesarean section. *J Clin Ultrasound*. 1996;**24**(7):355-7.
41. Suzuki S, Sawa R, Yoneyama Y, Asakura H, Araki T. Preoperative diagnosis of dehiscence of the lower uterine segment in patients with a single previous Caesarean section. *Aust N Z J Obstet Gynaecol*. 2000;**40**(4):402-4.
42. Asakura H, Nakai A, Ishikawa G, Suzuki S, Araki T. Prediction of uterine dehiscence by measuring lower uterine segment thickness prior to the onset of labor: evaluation by transvaginal ultrasonography. *J Nihon Med Sch*. 2000;**67**(5):352-6.
43. Boutin A, Berube L, Girard M, Bujold E. Labour before a Caesarean section and the morphology of the lower uterine segment in the next pregnancy. *J Obstet Gynaecol Can*. 2011;**33**(2):105.
44. Kushtagi P, Garepalli S. Sonographic assessment of lower uterine segment at term in women with previous cesarean delivery. *Arch Gynecol Obstet*. 2011;**283**(3):455-9.
45. Marasinghe JP, Senanayake H, Randeniya C, Seneviratne HR, Arambepola C, Devlieger R. Comparison of transabdominal versus transvaginal ultrasound to measure thickness of the lower uterine segment at term. *Int J Gynaecol Obstet*. 2009;**107**(2):140-2.
46. Khan KS, Chien PF. Evaluation of a clinical test. I: assessment of reliability. *BJOG*. 2001;**108**(6):562-7.
47. Roberge S, Chaillet N, Boutin A, Moore L, Jastrow N, Brassard N, et al. Single-versus double-layer closure of the hysterotomy incision during cesarean delivery and risk of uterine rupture. *Int J Gynaecol Obstet*. 2011;**115**(1):5-10.
48. Buhimschi CS, Buhimschi IA, Malinow AM, Weiner CP. Myometrial thickness during human labor and immediately post partum. *Am J Obstet Gynecol*. 2003;**188**(2):553-9.
49. Garfield RE, Maner WL. Physiology and electrical activity of uterine contractions. *Semin Cell Dev Biol*. 2007;**18**(3):289-95.
50. Zimmer EZ, Bardin R, Tamir A, Bronshtein M. Sonographic imaging of cervical scars after Cesarean section. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2004;**23**(6):594-8.
51. Jastrow N, Antonelli E, Robyr R, Irion O, Boulvain M. Inter- and intraobserver variability in sonographic measurement of the lower uterine segment after a previous Cesarean section. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2006;**27**(4):420-4.

52. Martins WP, Barra DA, Gallarreta FM, Nastri CO, Filho FM. Lower uterine segment thickness measurement in pregnant women with previous Cesarean section: reliability analysis using two- and three-dimensional transabdominal and transvaginal ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009;**33**(3):301-6.
53. Cheung VY, Yang F, Leung KY. 2D versus 3D transabdominal sonography for the measurement of lower uterine segment thickness in women with previous cesarean delivery. *Int J Gynaecol Obstet.* 2011;**114**(3):234-7.
54. Wiseman CS, Kiehl EM. Picture perfect: benefits and risk of fetal 3D ultrasound. *MCN Am J Matern Child Nurs.* 2007;**32**(2):102-9; quiz 10-1.
55. Duckelmann AM, Kalache KD. Three-dimensional ultrasound in evaluating the fetus. *Prenat Diagn.* 2010;**30**(7):631-8.
56. Rizzo G, Pietrolucci M, Aiello E, Mammarella S, Bosi C, Arduini D. The role of three-dimensional ultrasound in the diagnosis of fetal congenital anomalies: a review. *Minerva Ginecol.* 2011;**63**(5):401-10.
57. Mirlesse V, Courtiol C, Althuser M, Duyme M. Ultrasonography of the fetal brainstem: a biometric and anatomical, multioperator, cross-sectional study of 913 fetuses of 21-36 weeks of gestation. *Prenat Diagn.* 2010;**30**(8):739-45.
58. Lima JC, Miyague AH, Filho FM, Nasti CO, Martins WP. Biometry and estimated fetal weight by two-dimensional and three-dimensional ultrasonography: an intra- and inter-observer reliability and agreement study. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011.
59. Martinez-Ten P, Adiego B, Illescas T, Bermejo C, Wong AE, Sepulveda W. First-trimester diagnosis of cleft lip and palate using three-dimensional ultrasonography. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011.
60. Maarse W, Berge SJ, Pistorius L, van Barneveld T, Kon M, Breugem C, et al. Diagnostic accuracy of transabdominal ultrasound in detecting prenatal cleft lip and palate: a systematic review. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2010;**35**(4):495-502.
61. De Jong-Pleij EA, Ribbert LS, Tromp E, Bilardo CM. Three-dimensional multiplanar ultrasound is a valuable tool in the study of the fetal profile in the second trimester of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2010;**35**(2):195-200.
62. Turan S, Turan O, Baschat AA. Three- and four-dimensional fetal echocardiography. *Fetal Diagn Ther.* 2009;**25**(4):361-72.
63. Paladini D, Sglavo G, Masucci A, Pastore G, Nappi C. Role of four-dimensional ultrasound (spatiotemporal image correlation and sonography-based automated volume count) in prenatal assessment of atrial morphology in cardiosplenic syndromes. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011;**38**(3):337-43.
64. Zhang Y, Cai A, Sun W, Guo Y, Zhao Y. Prenatal diagnosis of fetal congenitally corrected transposition of the great arteries. *Prenat Diagn.* 2011;**31**(6):529-35.
65. Salman MM, Twining P, Mousa H, James D, Momtaz M, Aboulghar M, et al. Evaluation of offline analysis of archived three-dimensional volume datasets in the diagnosis of fetal brain abnormalities. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011;**38**(2):165-9.
66. Jayaprakasan K, Campbell BK, Clewes JS, Johnson IR, Raine-Fenning NJ. Three-dimensional ultrasound improves the interobserver reliability of antral follicle counts and facilitates increased clinical work flow. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008;**31**(4):439-44.
67. Merce LT, Barco MJ, Bau S. Three-dimensional volume sonographic study of fetal anatomy: intraobserver reproducibility and effect of examiner experience. *J Ultrasound Med.* 2008;**27**(7):1053-63.

68. Yaman C, Ebner T, Jesacher K, Obermayr G, Polz W, Tews G. Reproducibility of three-dimensional ultrasound endometrial volume measurements in patients with postmenopausal bleeding. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2002;**19**(3):282-6.
69. Alcazar JL, Jurado M. Three-dimensional ultrasound for assessing women with gynecological cancer: a systematic review. *Gynecol Oncol.* 2011;**120**(3):340-6.
70. Yagel S, Cohen SM, Rosenak D, Messing B, Lipschuetz M, Shen O, et al. Added value of three-/four-dimensional ultrasound in offline analysis and diagnosis of congenital heart disease. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011;**37**(4):432-7.
71. Heer IM, Middendorf K, Muller-Egloff S, Dugas M, Strauss A. Ultrasound training: the virtual patient. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2004;**24**(4):440-4.