

Examen échographique du système nerveux central du fœtus: lignes directrices pour effectuer l'examen de dépistage et le « neurosonogramme fœtal »

Traduction par le Docteur Cécile Chau (France), le Docteur Philippe Coquel (France), et le Docteur Dr Jean-Eric Morice (France)

INTRODUCTION

Les malformations du système nerveux central (SNC) sont parmi les plus fréquentes de toutes les anomalies congénitales. Les anomalies de fermeture du tube neural sont les plus fréquentes des malformations du SNC et atteignent près de 1 à 2 cas /1000 naissances. L'incidence des anomalies intracrâniennes avec un tube neural intact est incertaine car la plupart sont probablement méconnues à la naissance et qui ne se révèlent que plus tard. Les études de suivi à long terme suggèrent cependant que l'incidence pourrait aller jusque 1/100 naissances ¹.

L'échographie est utilisée depuis près de 30 ans comme modalité principale pour aider au diagnostic des anomalies du SNC. L'objectif de ces lignes directrices est d'examiner les aspects techniques d'une approche optimisée de l'évaluation anatomique du cerveau fœtal, qui sera mentionnée dans le présent document comme un examen de dépistage. Une évaluation détaillée du SNC du fœtus (neurosonogramme fœtal) est également possible, mais nécessite une expertise spécifique et des échographes sophistiqués. Ce type d'examen, parfois complété par une échographie en trois dimensions, est

indiqué dans les grossesses à risque accru d'anomalies du système nerveux central.

Au cours des dernières années l'imagerie par résonance magnétique (IRM) foetale a émergé comme une nouvelle technique prometteuse qui peut apporter des informations importantes dans certains cas et surtout après 20-22 semaines ^{2,3}, bien que son avantage par rapport à l'échographie reste discuté ^{4,5}.

CONSIDERATIONS GENERALES

Age gestationnel

L'aspect du cerveau et du rachis change tout au long de la grossesse. Afin d'éviter des erreurs de diagnostic, il est important de se familiariser avec les aspects normaux du SNC aux différents âges gestationnels. La plupart des efforts diagnostiques sont axés sur le milieu de la grossesse. Les examens de dépistage sont généralement effectués autour de 20 semaines de gestation.

Certaines anomalies peuvent être visibles au premier et au début du second trimestre ⁶⁻¹¹. Même si celles-ci sont peu fréquentes, elles sont généralement graves et méritent donc une attention particulière. Il est vrai que

l'examen précoce requiert des compétences particulières, cependant, il est toujours intéressant d'examiner la tête du fœtus et le cerveau à un âge précoce. Le neurosonogramme fœtal précoce à 14-16 semaines est facilité par la minceur des os permettant une évaluation du cerveau sous pratiquement tous les angles. Habituellement, une évaluation satisfaisante du SNC du fœtus peut toujours être obtenue au cours du deuxième et troisième trimestre de la grossesse. En fin de grossesse, la visualisation des structures intracrâniennes est souvent gênée par l'ossification de la voûte.

Les facteurs techniques

Les sondes

La résolution spatiale augmente avec les sondes de haute fréquence mais la pénétration diminue. Le choix de la sonde optimale et de la fréquence est influencé par un certain nombre de facteurs, incluant le morphotype maternel, la position fœtale et la voie d'abord. La plupart des examens de dépistage sont effectués de manière satisfaisante avec des sondes abdominales de 3-5 MHz. Le neurosonogramme fœtal nécessite souvent un examen par voie vaginale habituellement effectué de manière convenable avec des sondes de 5 et 10 MHz^{12, 13} L'échographie 3D peut faciliter l'examen du cerveau du fœtus et du rachis^{14, 15}.

Les paramètres d'imagerie

L'examen est principalement réalisé en mode bi-dimensionnel (mode B) et en échelle de gris. L'imagerie harmonique peut améliorer la visualisation de détails anatomiques subtils, en particulier chez les patients peu échogènes. Dans les

études neurosonographiques, les Doppler couleur et puissance peuvent être utilisés, principalement pour identifier les vaisseaux cérébraux. Un réglage correct de la fréquence de répétition des impulsions (les principales artères cérébrales ont des vitesses de l'ordre de 20 à 40 cm / s pendant la vie intra-utérine)¹⁶ et la persistance du signal améliore la visualisation des petits vaisseaux.

EXAMEN DE DEPISTAGE

Evaluation qualitative

L'échographie par voie abdominale est la technique de choix pour étudier le SNC fœtal pendant la fin du premier trimestre, les deuxième et troisième trimestres dans les grossesses à bas risque. L'examen doit inclure l'évaluation de la tête fœtale et de la colonne vertébrale.

Deux plans axiaux permettent de visualiser les structures cérébrales pertinentes pour évaluer l'intégrité anatomique du cerveau¹⁷. Ces plans sont couramment désignés comme plan transventriculaire et plan transcerebelleux. Un troisième plan, le plan transthalamique, est souvent ajouté, surtout à visée biométrique (figure 1). Les structures qui doivent être notées dans l'examen de dépistage comprennent les ventricules latéraux, le cervelet et la grande citerne, et le cavum du septum pellucidum. La forme de la tête et l'aspect du cerveau devraient également être notés sur ces coupes (tableau 1).

Tableau 1. Structures généralement étudiées lors d'une échographie de dépistage du système nerveux central du fœtus

Forme de la tête
Ventricules latéraux
Cavum du septum pellucidum
Thalamus
Cervelet
Grande citerne
Rachis

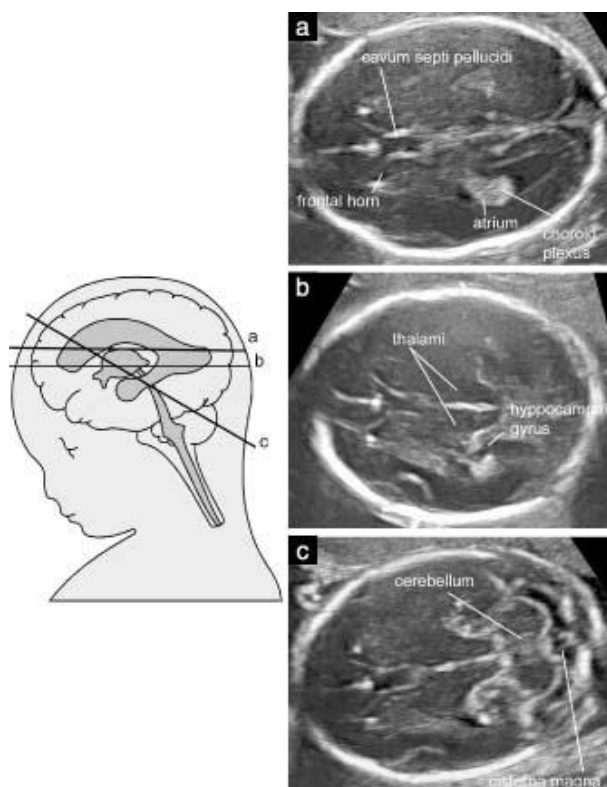


Figure 1. Vues axiales de la tête fœtale. (a) transventriculaire plan; (b) plan transthalamique; (c) plan transcerebelleux.

Plan transventriculaire

Ce plan montre la partie antérieure et postérieure des ventricules latéraux. La partie antérieure des ventricules latéraux (cornes frontales ou antérieures) apparaît comme deux

structures liquidiennes en forme de virgules. Ils ont une paroi latérale bien définie et sont séparés sur leur bord interne par le cavum du septum pellucidum (CSP). Le CSP est une cavité liquidiennne entre deux fines membranes. En fin de grossesse ou au tout début de la période néonatale, ces membranes fusionnent en général pour devenir le septum pellucidum. Le CSP devient visible autour de 16 semaines et disparaît en fin de grossesse. Par voie abdominale, il doit toujours être visualisé entre 18 et 37 semaines, ou avec un diamètre bipariétal de 44 à 88 mm¹⁸. Inversement, l'absence de visualisation du CSP avant 16 semaines ou après 37 semaines est une constatation normale. La valeur de la visualisation de la CSP pour identifier des anomalies cérébrales a été débattue¹⁷. Toutefois, cette structure est facile à identifier et modifiée à l'évidence avec de nombreuses lésions cérébrales telles qu'une holoprosencéphalie, une agénésie du corps calleux, une hydrocéphalie sévère ou une dysplasie septo-optique¹⁹. A partir d'environ 16 semaines, la partie postérieure des ventricules latéraux (également appelés cornes postérieures) est en réalité un complexe formé par le carrefour qui se poursuit en arrière vers la corne occipitale. Le carrefour est caractérisé par la présence du glomus du plexus choroïde, hyperéchogène, tandis que la corne occipitale est remplie de liquide. En particulier au cours du deuxième trimestre les parois médiale et latérale du ventricule sont parallèles à la ligne médiane et sont donc bien représentés par deux lignes échogènes. Physiologiquement, le glomus des plexus choroïdes remplit presque complètement la cavité du ventricule au niveau du carrefour en contact étroit avec les parois médiale et latérale, mais dans certains cas normaux une petite

quantité de liquide peut être présente entre la paroi interne et le plexus choroïde.²⁰⁻²³

Dans le plan de transventriculaire standard, seul l'hémisphère distal est habituellement correctement visualisé, tandis que l'hémisphère proximal est souvent masqué par des artefacts. Cependant, les lésions cérébrales les plus sévères sont bilatérales ou associées à une déviation significative ou à une distorsion de l'écho de la ligne médiane, et il a été suggéré de présumer, la symétrie du cerveau dans les examens de dépistage¹⁷.

Plan transcerebelleux

Ce plan est obtenu à un niveau légèrement inférieur à celui du plan transventriculaire, avec une légère inclinaison postérieure et comprend la visualisation des cornes frontales des ventricules latéraux, le CSP, les thalamus, le cervelet et la grande citerne. Le cervelet apparaît comme une structure en forme de papillon formé par les hémisphères cérébelleux arrondis joints en leur milieu par le vermis cérébelleux légèrement plus échogène. La grande citerne est un espace liquidien situé en arrière du cervelet. Elle contient de fines cloisons, qui sont des structures normales et ne doivent pas être confondues avec les structures vasculaires ou des anomalies kystiques. Dans la seconde moitié de la grossesse le diamètre antéro-postérieur de la grande citerne est stable et doit être de 2 à 10 mm¹⁷. Au début de la grossesse, le vermis cérébelleux n'a pas complètement recouvert le quatrième ventricule, pouvant donner la fausse impression d'un défaut du vermis. Plus tard dans la grossesse une telle constatation peut faire suspecter une anomalie cérébelleuse, mais avant 20 semaines de

grossesse ceci est habituellement un aspect normal²⁴.

Plan Transthalamique

Un troisième plan de balayage, obtenu à un niveau intermédiaire, est aussi fréquemment utilisé dans l'évaluation échographique de la tête du fœtus, et couramment désigné plan transthalamique ou plan du diamètre bi-pariétal. Les repères anatomiques comprennent d'avant en arrière les cornes frontales des ventricules latéraux, le cavum du septum pellucidum, les thalamus et le gyrus de l'hippocampe²⁵. Bien que ce plan n'ajoute pas d'information anatomique significative par rapport aux plans transventriculaire et transcerebelleux, il est utilisé pour la biométrie de la tête du fœtus. Il a été proposé que, en particulier en fin de gestation, ce plan de coupe est plus facile à identifier et permet des mesures plus reproductibles que ne le fait le plan transventriculaire.²⁵

Le rachis foetal

L'examen détaillé du rachis foetal nécessite une expertise et un examen méticuleux, et les résultats dépendent beaucoup de la position foetale. Par conséquent, une évaluation complète et détaillée du rachis foetal dans tous les plans ne fait pas partie de l'examen de dépistage. La plus fréquente des anomalies spinales graves, le spina bifida ouvert, est généralement associée à une anatomie intracrânienne anormale. Cependant, une coupe longitudinale de la colonne vertébrale du fœtus doit toujours être obtenue, car elle peut révéler, au moins dans certains cas, d'autres malformations de la colonne vertébrale, incluant des anomalies vertébrales ou une agénésie sacrée. Dans des conditions normales,

une coupe longitudinale de la colonne vertébrale à partir d'environ 14 semaines montre les trois centres d'ossification des vertèbres (un à l'intérieur du corps, et l'autre à la jonction entre la lame et le pédicule de chaque côté) qui entourent le canal médullaire, et qui apparaissent comme deux ou trois lignes parallèles en fonction de l'orientation du faisceau acoustique. En outre, il faut tenter de démontrer l'intégrité de la peau recouvrant la colonne vertébrale par des coupes transversales ou longitudinales.

Evaluation quantitative

La biométrie est une partie essentielle de l'examen échographique de la tête fœtale. Au cours du deuxième et du troisième trimestre, un examen standard comprend généralement la mesure du diamètre bipariétal, du périmètre crânien (PC) et du diamètre interne du carrefour ventriculaire. Certains préconisent également de mesurer le diamètre cérébelleux et du diamètre antéro-postérieur de la grande citerne.

Le diamètre bipariétal et la circonférence de la tête sont couramment utilisés pour évaluer l'âge du fœtus et la croissance et peuvent également être utiles pour identifier des anomalies cérébrales. Ils peuvent être mesurés dans le plan transventriculaire ou dans le plan transthalamique. Différentes techniques peuvent être utilisées pour mesurer le diamètre bipariétal. Le plus souvent, les curseurs sont positionnés sur le bord externe de la table osseuse (dite mesure « dehors dehors »)²⁶. Cependant, certaines tables disponibles ont été produites en utilisant une technique « dehors dedans » pour éviter les artefacts générés par l'écho distal de la voute osseuse²⁵. Les deux approches se

traduisent par une différence de quelques millimètres qui peuvent être cliniquement significatif en début de grossesse. Il est donc important de connaître la technique qui a été utilisée lors de la construction des tables de référence que l'on utilise. Si l'échographe permet de mesurer les ellipses, le PC peut être mesuré directement en plaçant l'ellipse sur le bord externe de la table osseuse. Il peut aussi être calculé à partir du diamètre bipariétal (DBP) et du diamètre occipitofrontal (DOF) en utilisant l'équation $PC = 1,62 \times (DBP + DOF)$. Le rapport entre le diamètre bi-pariétal et le diamètre occipitofrontal est habituellement de 75 à 85%. Le moulage de la tête fœtale particulièrement en début de grossesse est toutefois fréquent, et la plupart des fœtus en présentation du siège présente un certain degré de dolichocéphalie.

La mesure du carrefour est recommandée car plusieurs études suggèrent que c'est l'approche la plus efficace pour évaluer l'intégrité du système ventriculaire²² et la ventriculomégalie est un marqueur fréquent d'une anomalie de développement cérébral. La mesure est obtenue au niveau du glomus des plexus choroïdes, perpendiculairement à la cavité ventriculaire, en positionnant les curseurs sur les bords internes échogènes des parois ventriculaires (figure 2). La mesure est stable dans les deuxième et début du troisième trimestres de la grossesse, avec un diamètre moyen de 6-8 mm^{20, 22, 27} et est considérée comme normale lorsque inférieure à 10 mm²⁷⁻³². La plupart des études biométriques sur la taille des ventricules latéraux ont utilisé des échographes qui ont fourni des mesures en millimètres³³.

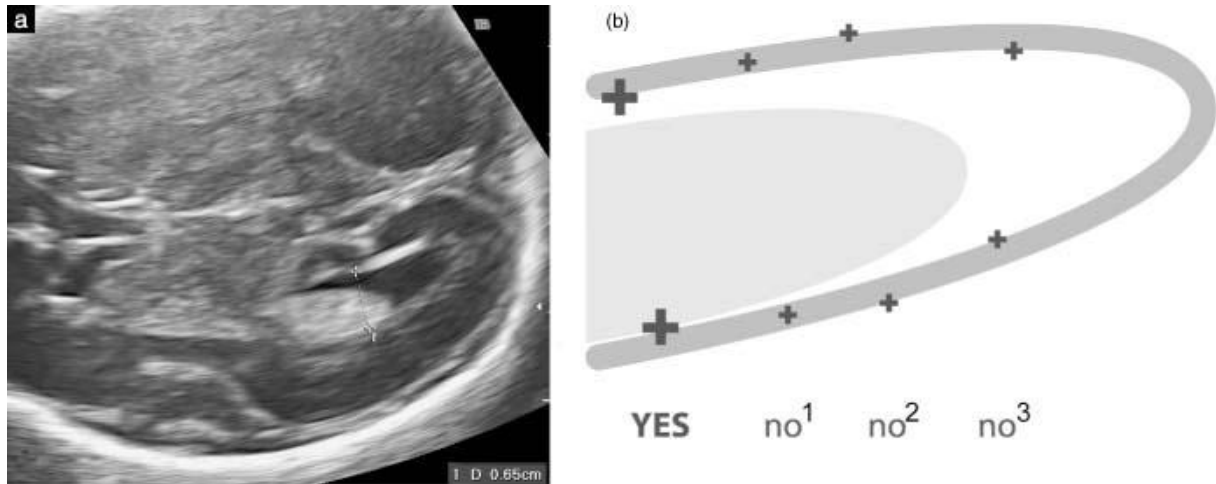


Figure 2.

(a) Mesure du carrefour des ventricules latéraux. Les curseurs sont positionnés au niveau du glomus des plexus choroïdes, sur les bords internes échogènes des parois ventriculaires; (b) schéma pour illustrer le placement correct du curseur pour la mesure ventriculaire. Les curseurs sont correctement placés sur le bord interne de la paroi du ventricule, à sa partie la plus large et alignés perpendiculairement au grand axe du ventricule (YES). Placements incorrects milieu-milieu (no¹), externe-externe (no²), et placement trop postérieur dans la partie la plus étroite du ventricule ou non perpendiculaire à l'axe de ventricule (no³).

Les équipements modernes donnant des mesures en dixièmes de millimètres, le seuil de normalité n'est pas certain. Nous croyons que, particulièrement au milieu de la grossesse, une valeur de 10,0 mm ou plus doit être considérée comme suspecte.

Le diamètre transverse du cervelet augmente d'environ un millimètre par semaine de entre 14 et 21 semaines menstruelles. Cette mesure, de même que le périmètre crânien et le diamètre bipariétal est utile pour évaluer la

croissance du fœtus. Le diamètre antéro-postérieur de la grande citerne mesuré entre le vermis cérébelleux et la face interne de l'os occipital est habituellement de 2 à 10 mm³⁴. Des mesures légèrement supérieures à 10 mm peuvent être rencontrées en cas de dolichocéphalie.

NEUROSONOGRAMME FOETAL

Il est communément admis qu'un neurosonogramme foetal dédié a un potentiel de diagnostic très supérieur à celui de l'examen de dépistage par voie abdominale, et est particulièrement utile dans l'évaluation des malformations complexes. Cependant, cet examen nécessite un niveau d'expertise qui n'est pas disponible dans de nombreuses structures médicales et la méthode n'est pas encore généralisée.

Un neurosonogramme foetal dédié est utile chez les fœtus présentant un risque accru d'anomalies du système nerveux central, y compris dans les cas où l'examen de dépistage suspecte des anomalies.

La base de l'examen échographique du cerveau foetal est l'approche

multiplanaire, qui est obtenue en alignant le transducteur avec les sutures et les fontanelles de la tête foetale^{12, 13}. Lorsque le fœtus est en présentation céphalique, une approche par voie abdominale ou endovaginale est possible. Pour les fœtus en présentation du siège, une approche abdominale au niveau du fond utérin est utilisée, en positionnant la sonde parallèlement plutôt que perpendiculairement à l'abdomen. Les sondes vaginales ont l'avantage de fonctionner à une fréquence plus élevée que les sondes abdominales et permettent donc une meilleure définition des détails anatomiques. Pour cette raison, dans certains cas de présentation du siège, une version céphalique externe peut être envisagée afin d'utiliser l'approche endovaginale.

L'évaluation du rachis fait partie de l'examen neurosonographique et est effectuée en utilisant une combinaison de plans axiaux, coronaux et sagittaux.

L'examen neurosonographique devrait inclure les mesures couramment obtenues dans un examen de base: le diamètre bipariétal, le périmètre crânien et le carrefour des ventricules latéraux. Les mesures spécifiques obtenues peuvent varier selon l'âge gestationnel et la situation clinique.

Cerveau foetal

Que l'examen soit effectué par voie endovaginale ou abdominale, un bon alignement de la sonde dans les plans de coupe corrects nécessite généralement une manipulation douce du fœtus. Une variété de plans de coupes peut être utilisée, dépendant également de la position foetale¹². Une évaluation systématique du cerveau comprend habituellement la visualisation des quatre coupes coronales et de trois sagittales. Ce qui suit est une description des différentes structures qui peuvent être visualisées au cours de la fin du second et au troisième trimestre. Outre les structures anatomiques, le neurosonogramme foetal dédié devrait également inclure une évaluation de la gyration qui évolue tout au long de la grossesse³⁵⁻³⁸.

Plans coronaux (Figure 3)

Le plan coronal ou transfrontal ou frontal 2. La visualisation de ce plan est obtenue par la fontanelle antérieure et montre la scissure interhémisphérique médiane et les cornes antérieures des ventricules latéraux de chaque côté. Le plan est antérieur au genou du corps calleux, ce qui explique la présence d'une scissure interhémisphérique ininterrompue. Les autres structures observées sont l'os sphénoïde et les orbites.

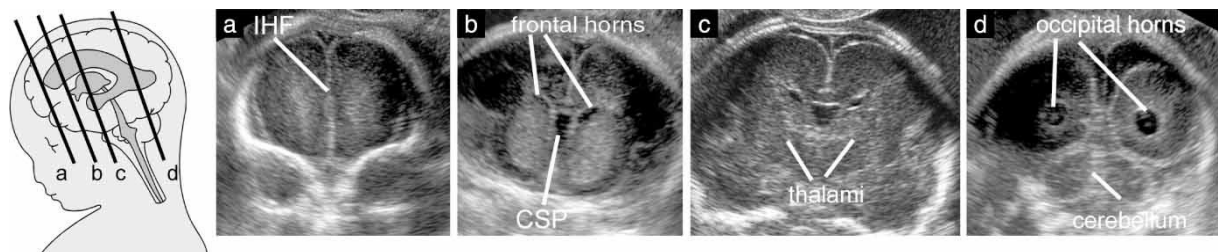


Figure 3. Vues coronales de la tête foetale. (a) plan transfrontal; (b) plan transcaudal; (c) plan transthalamique; (d) plan transcerebelleux. CSP, cavum septum pellucidum; IHF, scissure interhémisphérique.

*Le plan transcaudal ou mi-coronal-1*¹². Au niveau des noyaux caudés, le genou ou partie antérieure du corps calleux interrompt la continuité de la scissure inter-hémisphérique. En raison de l'épaisseur du genou dans le plan frontal celui-ci est observé comme une structure plus échogène que le corps du corps calleux. Le cavum du septum pellucidum est décrit comme une structure triangulaire anéchogène sous le corps calleux. Les ventricules latéraux se trouvent de chaque côté entouré par le cortex cérébral. Plus latéralement, les scissures sylviennes sont clairement identifiées.

*Le plan transthalamique ou mi-coronal-2*¹². Les deux thalamus se trouvent en étroite apposition mais dans certains cas, le troisième ventricule peut être observé sur la ligne médiane avec le foramen interventriculaire et le

carrefour des ventricules latéraux avec les plexus choroïdes en situation légèrement crâniale de chaque côté (mi-coronal 3). Près de la base du crâne et sur la ligne médiane, la citerne basale contient les vaisseaux du polygone de Willis et le chiasma optique.

Le plan transcerebelleux ou plan occipital-1 et 2. Ce plan est obtenu par les fontanelles postérieures et permet de visualiser les cornes occipitales des ventricules latéraux et la scissure interhémisphérique. Les deux hémisphères cérébelleux et le vermis sont également vu dans ce plan.

En Sagittal (Figure 4)

Trois plans sagittaux sont habituellement étudiés: le sagittal médian et les parasagittaux de chaque côté du cerveau.

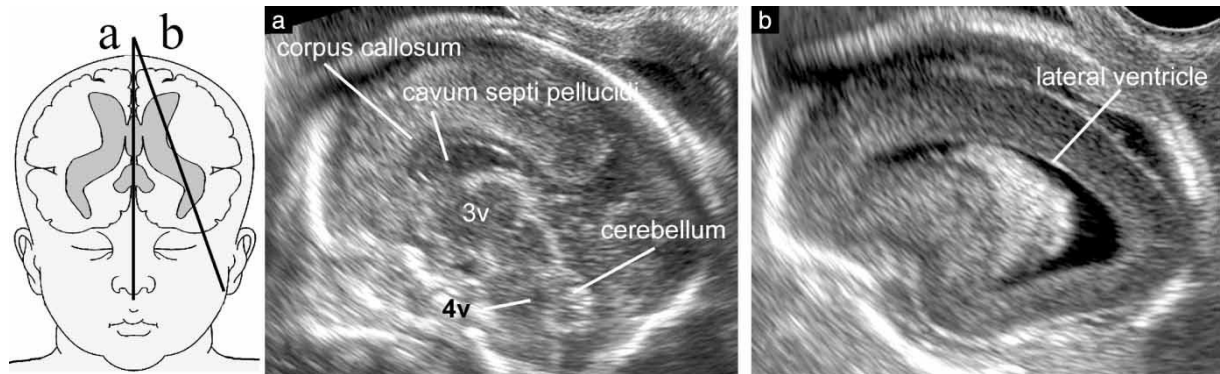


Figure 4.

Plans sagittaux de la tête fœtale. (a) plan sagittal médial p; b) plan parasagittal. 3v, troisième ventricule; 4v, quatrième ventricule

*Le plan sagittal ou médian*¹² montre le corps calleux avec toutes ses composantes; le cavum du septum pellucidum et dans certains cas aussi le cavum vergae et le cavum veli interpositi, le tronc cérébral, la

protubérance, le vermis et la fosse postérieure. En Doppler couleur, l'artère cérébrale antérieure, l'artère péricalleuse avec leurs branches et la veine de Galien peuvent être vues.

*Le plan parasagittal ou plan oblique 1*¹² visualise tout le ventricule latéral, les

plexus choroïdes, le tissu périventriculaire et le cortex.

Rachis foetal

Trois types de plans de coupe peuvent être utilisés pour évaluer l'intégrité de la colonne vertébrale. Le choix dépend de la position du fœtus. Habituellement, seulement deux de ces plans sont possibles pour un cas donné. Dans des plans transversaux ou axiaux, l'examen de la colonne vertébrale est un

processus dynamique effectuée en balayant avec la sonde toute la longueur de la colonne vertébrale tout en gardant un plan axial au cours de l'examen (Figure 5). Les vertèbres ont différentes configurations anatomiques selon le niveau. Les vertèbres thoraciques et lombaires ont une forme triangulaire, avec les centres d'ossification entourant le canal neural. Les premières vertèbres cervicales sont de forme quadrangulaire, et les vertèbres sacrées sont plates.

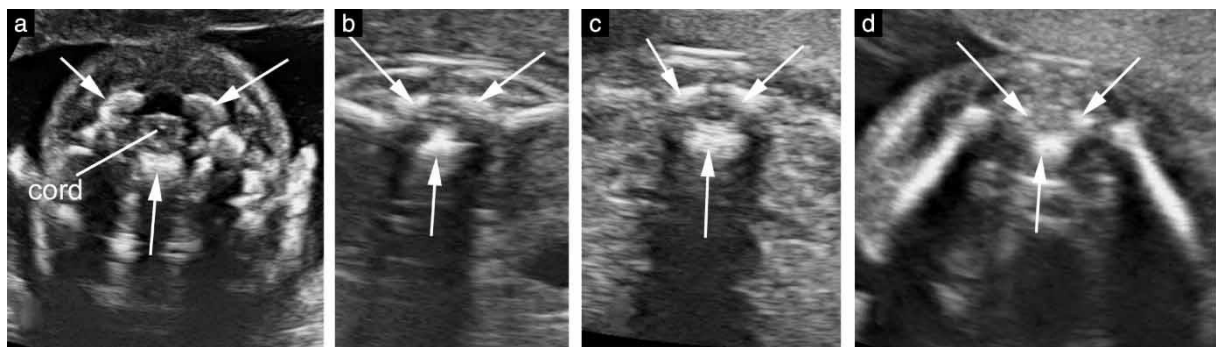


Figure 5.

Vues axiales de la colonne vertébrale du fœtus à différents niveaux. (A) (a) cervical; (B) (b) thoracique; (C) (c) lombaire; (D) (d) du sacrum. Les flèches indiquent les trois centres d'ossification des vertèbres. Notez la peau intacte recouvrant la colonne vertébrale. Sur les images a-c la moelle épinière est visible comme un ovoïde hypoéchogène avec point blanc central.

Dans les plans sagittaux, les centres d'ossification du corps vertébral et des arcs postérieurs forment deux lignes parallèles qui convergent dans le sacrum. Lorsque le fœtus est en procubitus, une véritable coupe sagittale peut également être obtenue, en dirigeant le faisceau d'ultrasons à

travers le processus épineux non ossifié. Ceci permet l'imagerie du canal rachidien et de la moelle épinière à l'intérieur (Figure 6). Au cours des deuxième et troisième trimestres de la grossesse, le cône médullaire se trouve généralement au niveau de L2-L3³⁹.

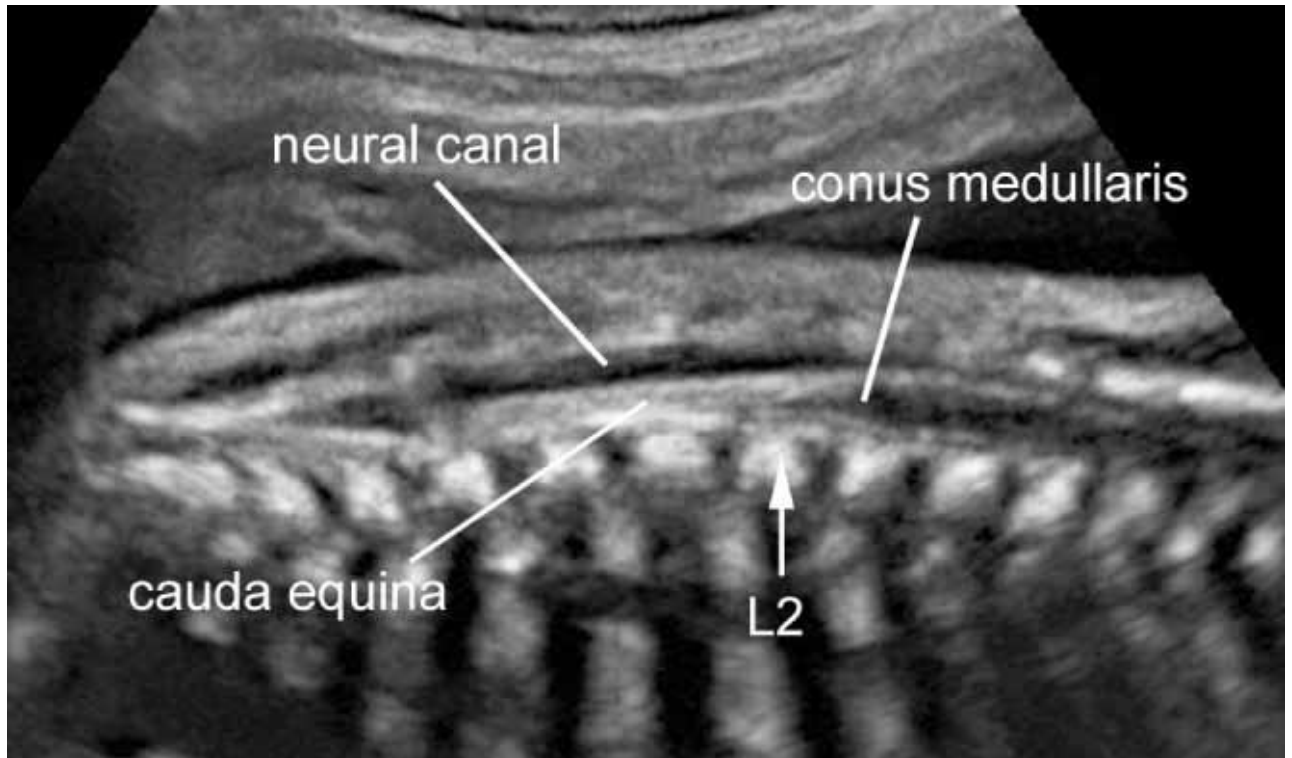


Figure 6. Vue sagittale du rachis du fœtus au milieu de la grossesse. Utilisant l'apophyse épineuse non ossifiée des vertèbres comme fenêtre acoustique, le contenu du canal neural est visualisé. Le cône médullaire est normalement positionné au niveau de la seconde vertèbre lombaire (L2).

Dans les plans frontaux, une, deux ou trois lignes parallèles sont vues, en

fonction de l'orientation du faisceau acoustique (figure 7).

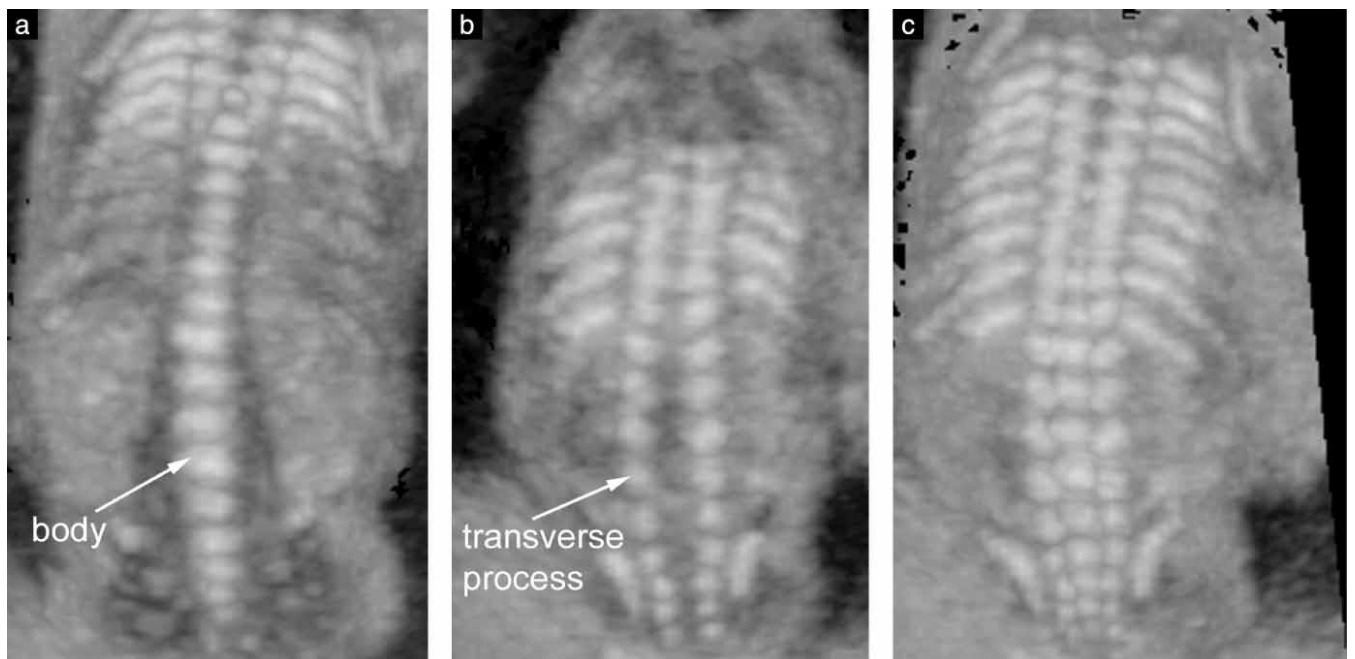


Figure 7.

Vues coronales de la colonne vertébrale du fœtus. Ces images ont été obtenues en mode 3D à partir du même volume échographique en utilisant différentes angulations et épaisseurs de faisceaux.

(a) Un fin faisceau d'ultrasons est orienté à travers les corps des vertèbres; (b) le même faisceau d'ultrasons est orienté plus en arrière pour montrer les arcs postérieurs des vertèbres; (c) un faisceau d'ultrasons plus épais est utilisé pour visualiser simultanément les trois centres d'ossification.

L'intégrité du canal neural est déduite de la disposition régulière des centres d'ossification de la colonne vertébrale et la présence de tissu mou recouvrant la colonne vertébrale. Si une véritable coupe sagittale peut être obtenue, la visualisation du cône médullaire à sa place normale renforce le diagnostic de la normalité.

EFFICACITE DE L'EXAMEN ECHOGRAPHIQUE DE L'AXE NEURAL DU FOETUS

Dans une grossesse à bas risque vers le milieu de la grossesse, si le plan transventriculaire et le plan transcerebelleux sont obtenus de façon satisfaisante, les mesures de la tête (le périmètre crânien en particulier) sont dans les limites de la normale pour l'âge gestationnel, la largeur du carrefour ventriculaire inférieure à 10mm et le diamètre antéro-postérieur de la grande citerne entre 2-10 mm, de nombreuses malformations cérébrales sont exclues, le risque d'une anomalie du système nerveux central est extrêmement faible et d'autres examens ne sont pas indiqués.¹⁷.

Il est au-delà de la portée de ces lignes directrices de revoir la littérature disponible sur la sensibilité de l'échographie prénatale dans la prédiction des anomalies neurales. Certaines études de patientes à bas risque soumises à des examens de

dépistage ont rapporté des sensibilités de plus de 80%^{40, 41}. Cependant, ces résultats surestiment probablement largement le potentiel de diagnostic de la technique. Ces enquêtes avaient toujours un très court suivi et incluaient presque exclusivement des défauts de fermeture du tube neural, dont la reconnaissance a probablement été facilitée par le dépistage systématique avec le dosage dans le sang maternel de l'alphafoetoprotéine. Les limites diagnostiques de l'échographie prénatale sont bien documentés et se produisent pour un certain nombre de raisons⁴². Certaines anomalies même graves peuvent être associées seulement à des signes subtils au début de la grossesse⁴³. Le cerveau continue de se développer dans la seconde moitié de la grossesse et dans la période néonatale limitant ainsi la détection d'anomalies de la prolifération neuronale (comme la microcephalie⁴⁴, les tumeurs⁴⁵ et les malformations corticales⁴²). En outre, certaines lésions cérébrales ne sont pas dues à une anomalie du développement embryologique, mais représentent la conséquence d'accidents acquis en prénatal ou en périnatal⁴⁶⁻⁴⁸. Même dans les mains expertes certains types d'anomalies peuvent être difficiles ou impossibles à diagnostiquer in utero, dans une proportion qu'il est encore impossible de déterminer avec précision.

REMERCIEMENTS

Ces lignes directrices ont été élaborées sous les auspices du Comité de l'éducation ISUOG. Président, Dario Paladini, Université de Naples, Italie

Remerciements particuliers aux consultants spécialisés qui ont contribué à ce projet:

- Gustavo Malinger MD

Clinique de neurologie foetale, Département d'obstétrique et de gynécologie, Wolfson Medical Center, Université de Tel-Aviv, Israël

- Ana Monteagudo MD

Département d'obstétrique et de gynécologie, New York University School of Medicine, New York, USA

- Gianluigi Pilu, MD

Département d'obstétrique et de gynécologie, Université de Bologne, Italie

- Ilan Timor-Tritsch, MD

Département d'obstétrique et de gynécologie, New York University School of Medicine, New York, USA

- Ants Toi, MD

Département de l'imagerie médicale, Hôpital Mount Sinai, Université de Toronto, Canada

Des exemplaires de ce document seront disponibles à l'adresse: <http://www.isuog.org>

Secrétariat ISUOG

Unité 4, Blythe Mews

Blythe route

Londres W14 0HW, Royaume-Uni

e-mail: info@isuog.org

BIBLIOGRAPHIE

1 Myriantopoulos NC. Epidemiology of central nervous system malformations. In: VinkenPJ, BruynGW, editors. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier: Amsterdam, 1977; 139–171.

2 Levine D, Barnes PD, Robertson RR, Wong G, Mehta TS. Fast MR imaging of fetal central nervous system abnormalities. *Radiology* 2003; 229: 51–61.
[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 56

3 Griffiths PD, Paley MN, Widjaja E, Taylor C, Whitby EH. In utero magnetic resonance imaging for brain and spinal abnormalities in fetuses. *BMJ* 2005; 331: 562–565.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 6

4 Malinger G, Ben-Sira L, Lev D, Ben-Aroya Z, Kidron D, Lerman-Sagie T. Fetal brain imaging: a comparison between magnetic resonance imaging and dedicated neurosonography. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 23: 333–340.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:

5 Malinger G, Lev D, Lerman-Sagie T. Is fetal magnetic resonance imaging superior to neurosonography for detection of brain anomalies? *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 20: 317–321.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 20

6 Ghi T, Pilu G, Savelli L, Segata M, Bovicelli L. Sonographic diagnosis of congenital anomalies during the first trimester. *Placenta* 2003; 24 (Suppl B): S84–S87.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 5

7 Monteagudo A, Timor-Tritsch IE. First trimester anatomy scan: pushing the limits. What can we see now? *Curr Opin Obstet Gynecol* 2003; 15: 131–141.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 5

8 Bronshtein M, Ornoy A. Acrania: anencephaly resulting from secondary degeneration of a closed neural tube: two cases in the same family. *J Clin Ultrasound* 1991; 19: 230–234.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 21

9 Blaas HG, Eik-Nes SH, Vainio T, Isaksen CV. Alobar holoprosencephaly at 9 weeks gestational age visualized by two- and three-dimensional ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 15: 62–65.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 26

10 Blaas HG, Eik-Nes SH, Isaksen CV. The detection of spina bifida before 10 gestational weeks using two- and three-dimensional ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 25–29.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 16

11 Johnson SP, Sebire NJ, Snijders RJ, Tunkel S, Nicolaidis KH. Ultrasound screening for anencephaly at 10–14 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1997; 9: 14–16.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 37

12 Timor-Tritsch IE, Monteagudo A. Transvaginal fetal neurosonography: standardization of the planes and sections by anatomic landmarks. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996; 8: 42–47.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 47

- 13 Malinger G, Katz A, Zakut H. Transvaginal fetal neurosonography. Supratentorial structures. *Isr J Obstet Gynecol* 1993; 4: 1–5.
- 14 Pilu G, Segata M, Ghi T, Carletti A, Perolo A, Santini D, Bonasoni P, Tani G, Rizzo N. Diagnosis of midline anomalies of the fetal brain with the three-dimensional median view. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 27: 522–529.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 17
- 15 Monteagudo A, Timor-Tritsch IE, Mayberry P. Three-dimensional transvaginal neurosonography of the fetal brain: ‘navigating’ in the volume scan. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 307–313.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 38
- 16 van den Wijngaard JA, Groenenberg IA, Wladimiroff JW, Hop WC. Cerebral Doppler ultrasound of the human fetus. *Br J Obstet Gynaecol* 1989; 96: 845–849.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 66
- 17 Filly RA, Cardoza JD, Goldstein RB, Barkovich AJ. Detection of fetal central nervous system anomalies: a practical level of effort for a routine sonogram. *Radiology* 1989; 172: 403–408.
[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 74
- 18 Falco P, Gabrielli S, Visentin A, Perolo A, Pilu G, Bovicelli L. Transabdominal sonography of the cavum septum pellucidum in normal fetuses in the second and third trimesters of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 549–553.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 9
- 19 Malinger G, Lev D, Kidron D, Heredia F, Hershkovitz R, Lerman-Sagie T. Differential diagnosis in fetuses with absent septum pellucidum. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 42–49.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 8
- 20 Pilu G, Reece EA, Goldstein I, Hobbins JC, Bovicelli L. Sonographic evaluation of the normal developmental anatomy of the fetal cerebral ventricles: II. The atria. *Obstet Gynecol* 1989; 73: 250–256.
[PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 39
- 21 Cardoza JD, Filly RA, Podrasky AE. The dangling choroid plexus: a sonographic observation of value in excluding ventriculomegaly. *AJR Am J Roentgenol* 1988; 151: 767–770.
[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 31
- 22 Cardoza JD, Goldstein RB, Filly RA. Exclusion of fetal ventriculomegaly

with a single measurement: the width of the lateral ventricular atrium. *Radiology* 1988; 169: 711–714.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 127

23 Mahony BS, Nyberg DA, Hirsch JH, Petty CN, Hendricks SK, Mack LA. Mild idiopathic lateral cerebral ventricular dilatation in utero: sonographic evaluation. *Radiology* 1988; 169: 715–721.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 67

24 Bromley B, Nadel AS, Pauker S, Estroff JA, Benacerraf BR. Closure of the cerebellar vermis: evaluation with second trimester US. *Radiology* 1994; 193: 761–763.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 61

25 Shepard M, Filly RA. A standardized plane for biparietal diameter measurement. *J Ultrasound Med* 1982; 1: 145–150.

[PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 49

26 Snijders RJ, Nicolaides KH. Fetal biometry at 14–40 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1994; 4: 34–48.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:

93

27 Pilu G, Falco P, Gabrielli S, Perolo A, Sandri F, Bovicelli L. The clinical significance of fetal isolated cerebral borderline ventriculomegaly: report of 31 cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999; 14: 320–326.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:

58

28 Kelly EN, Allen VM, Seaward G, Windrim R, Ryan G. Mild ventriculomegaly in the fetus, natural history, associated findings and outcome of isolated mild ventriculomegaly: a literature review. *Prenat Diagn* 2001; 21: 697–700.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:

24

29 Wax JR, Bookman L, Cartin A, Pinette MG, Blackstone J. Mild fetal cerebral ventriculomegaly: diagnosis, clinical associations, and outcomes. *Obstet Gynecol Surv* 2003; 58: 407–414.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 11

30 Laskin MD, Kingdom J, Toi A, Chitayat D, Ohlsson A. Perinatal and neurodevelopmental outcome with isolated fetal ventriculomegaly: a systematic review. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2005; 18: 289–298.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 10

31 Achiron R, Schimmel M, Achiron A, Mashiach S. Fetal mild idiopathic lateral ventriculomegaly: is there a correlation with fetal trisomy? *Ultrasound Obstet Gynecol* 1993; 3: 89–92.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:
29

32 Gaglioti P, Danelon D, Bontempo S, Mombro M, Cardaropoli S, Todros T. Fetal cerebral ventriculomegaly: outcome in 176 cases. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 372–377.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:
34

33 Heiserman J, Filly RA, Goldstein RB. Effect of measurement errors on sonographic evaluation of ventriculomegaly. *J Ultrasound Med* 1991; 10: 121–124.

[PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 32

34 Mahony BS, Callen PW, Filly RA, Hoddick WK. The fetal cisterna magna. *Radiology* 1984; 153: 773–776.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 48

35 Monteagudo A, Timor-Tritsch IE. Development of fetal gyri, sulci and fissures: a transvaginal sonographic study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1997; 9: 222–228.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:
33

36 Toi A, Lister WS, Fong KW. How early are fetal cerebral sulci visible at prenatal ultrasound and what is the normal pattern of early fetal sulcal development? *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 24: 706–715.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:
27

37 Droulle P, Gaillet J, Schweitzer M. [Maturation of the fetal brain. Echoanatomy: normal development, limits and value of pathology]. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)* 1984; 13: 228–236.

[PubMed](#) | [CAS](#)

38 Cohen-Sacher B, Lerman-Sagie T, Lev D, Malinger G. Sonographic developmental milestones of the fetal cerebral cortex: a longitudinal study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 27: 494–502.

[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited:
10

39 Robbin ML, Filly RA, Goldstein RB. The normal location of the fetal conus medullaris. *J Ultrasound Med* 1994; 13: 541–546.

[PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 8

40 Crane JP, LeFevre ML, Winborn RC, Evans JK, Ewigman BG, Bain RP, Frigoletto FD, McNellis D. A randomized trial of prenatal ultrasonographic screening: impact on the detection, management, and outcome of anomalous fetuses. The RADIUS Study Group. *Am J Obstet Gynecol* 1994; 171: 392–399.

[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 177

- 41 Ewigman BG, Crane JP, Frigoletto FD, LeFevre ML, Bain RP, McNellis D. Effect of prenatal ultrasound screening on perinatal outcome. RADIUS Study Group. *N Engl J Med* 1993; 329: 821–827.
[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 353
- 42 Malinger G, Lerman-Sagie T, Watenberg N, Rotmensch S, Lev D, Glezerman M. A normal second-trimester ultrasound does not exclude intracranial structural pathology. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 20: 51–56.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 22
- 43 Bennett GL, Bromley B, Benacerraf BR. Agenesis of the corpus callosum: prenatal detection usually is not possible before 22 weeks of gestation. *Radiology* 1996; 199: 447–450.
[CrossRef](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 21
- 44 Bromley B, Benacerraf BR. Difficulties in the prenatal diagnosis of microcephaly. *J Ultrasound Med* 1995; 14: 303–306.
[PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 12
- 45 Schlembach D, Bornemann A, Rupprecht T, Beinder E. Fetal intracranial tumors detected by ultrasound: a report of two cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999; 14: 407–418.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 13
- 46 Simonazzi G, Segata M, Ghi T, Sandri F, Ancora G, Bernardi B, Tani G, Rizzo N, Santini D, Bonasoni P, Pilu G. Accurate neurosonographic prediction of brain injury in the surviving fetus after the death of a monochorionic cotwin. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 27: 517–521.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 12
- 47 Ghi T, Simonazzi G, Perolo A, Savelli L, Sandri F, Bernardi B, Santini D, Bovicelli L, Pilu G. Outcome of antenatally diagnosed intracranial hemorrhage: case series and review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003; 22: 121–130.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 26
- 48 Ghi T, Brondelli L, Simonazzi G, Valeri B, Santini D, Sandri F, Ancora G, Pilu G. Sonographic demonstration of brain injury in fetuses with severe red blood cell alloimmunization undergoing intrauterine transfusions. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 23: 428–431.
[Wiley Online Library](#) | [PubMed](#) | [CAS](#) | [Web of Science®](#) Times Cited: 11

CITATIONS

Number of times cited: 106

- 1 Amir Irfan Kazi, Yasmin Iqbal, Sana Elham Kazi, Antenatal Diagnosis of Corpus Callosal Agenesis, *Journal of Fetal Medicine*, 2015 [CrossRef](#)
- 2 Samuel Bell, Edward O'Mahony, A. Michelle Fink, Nicole Woodrow, Karen Reidy, Ricardo Palma-Dias, Antenatal imaging of anomalies of the corpus callosum: a decade of experience, *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 2015 [CrossRef](#)
- 3 F. Bahlmann, I. Reinhard, T. Schramm, A. Geipel, U. Gembruch, C. S. von Kaisenberg, R. Schmitz, J. Stupin, R. Chaoui, K. Karl, K. Kalache, F. Faschingbauer, M. Ponnath, A. Rempen, P. Kozlowski, Cranial and cerebral signs in the diagnosis of spina bifida between 18 and 22 weeks of gestation: a German multicentre study, *Prenatal Diagnosis*, 2015, 35, 3, 228 [Wiley Online Library](#)
- 4 Jesus Igor Iruretagoyena, Dinesh Shah, Gustavo Malinger, Dedicated fetal neurosonographic evaluation improves patient care and maternal fetal medicine fellow training, *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2015, 1 [CrossRef](#)
- 5 Ana I.L. Namburete, Richard V. Stebbing, Bryn Kemp, Mohammad Yaqub, Aris T. Papageorghiou, J. Alison Noble, Learning-based prediction of gestational age from ultrasound images of the fetal brain, *Medical Image Analysis*, 2015, 21, 1, 72 [CrossRef](#)
- 6 Lisa Hui, Gillian Wood, Perinatal outcome after maternal primary cytomegalovirus infection in the first trimester: a practical update and counseling aid, *Prenatal Diagnosis*, 2015, 35, 1, 1 [Wiley Online Library](#)
- 7 Giulia Maria Baffero, Francesca Crovetto, Isabella Fabiotti, Simona Boito, Roberto Fogliani, Monica Fumagalli, Fabio Triulzi, Fabio Mosca, Luigi Fedele, Nicola Persico, Prenatal ultrasound predictors of postnatal major cerebral abnormalities in fetuses with apparently isolated mild ventriculomegaly, *Prenatal Diagnosis*, 2015, n/a [Wiley Online Library](#)
- 8 Kwok Yin Leung, Chung Fan Poon, Angelita R Teotico, Toshiyuki Hata, HS Won, Ming Chen, Apichart Chittachoen, Jaideep Malhotra, PK Shah, Azen Salim, Recommendations on routine mid-trimester anomaly scan, *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, 2015, 41, 5, 653 [Wiley Online Library](#)
- 9 Gal Yaniv, Eldad Katorza, Ronen Bercovitz, Dafi Bergman, Gahl Greenberg, Anat Biegon, Chen Hoffmann, Region-specific changes in brain diffusivity in fetal isolated mild ventriculomegaly, *European Radiology*, 2015 [CrossRef](#)
- 10 Gabriele Tonni, Wellington P. Martins, Hélio Guimarães Filho, Edward Araujo Júnior, Role of 3-D Ultrasound in Clinical Obstetric Practice: Evolution Over 20 Years, *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2015, 41, 5, 1180 [CrossRef](#)

- 11 Anne Marie Coady, Twining's Textbook of Fetal Abnormalities, 2015, 223 [CrossRef](#)
- 12 Dario Paladini, Twining's Textbook of Fetal Abnormalities, 2015, 264 [CrossRef](#)
- 13 Meekai To, Susana Pereira, Twining's Textbook of Fetal Abnormalities, 2015, 60 [CrossRef](#)
- 14 D. Paladini, M. Quarantelli, G. Sglavo, G. Pastore, A. Cavallaro, M. R. D'Armiento, M. Salvatore, C. Nappi, Accuracy of neurosonography and MRI in clinical management of fetuses referred with central nervous system abnormalities, *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 2014, 44, 2, 188 [Wiley Online Library](#)
- 15 A. C. Rossi, F. Prefumo, Additional value of fetal magnetic resonance imaging in the prenatal diagnosis of central nervous system anomalies: a systematic review of the literature, *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 2014, 44, 4, 388 [Wiley Online Library](#)
- 16 Z. Leibovitz, C. Shkolnik, K. Krajdén Haratz, G. Malinger, I. Shapiro, T. Lerman-Sagie, Assessment of fetal midbrain and hindbrain in mid-sagittal cranial plane by three-dimensional multiplanar sonography. Part 1: comparison of new and established nomograms, *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 2014, 44, 5, 575 [Wiley Online Library](#)
- 17 Magdalena Sanz-Cortes, Gabriela Egaña-Ugrinovic, Rudolf Zupan, Francesc Figueras, Eduard Gratacos, Brainstem and cerebellar differences and their association with neurobehavior in term small-for-gestational-age fetuses assessed by fetal MRI, *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 2014, 210, 5, 452.e1 [CrossRef](#)
- 18 C. Gezer, A. Ekin, M. Ozeren, C. E. Taner, O. Ozer, A. Koc, M. Bilgin, N. S. Gezer, Chromosome abnormality incidence in fetuses with cerebral ventriculomegaly, *Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 2014, 34, 5, 387 [CrossRef](#)
- 19 Eldad Katorza, Nir Duvdevani, Jeffrey-Michael Jacobson, Yinon Gilboa, Chen Hoffmann, Reuven Achiron, Coronal approach for measuring both fetal lateral ventricles: is there an advantage over the axial view?, *Prenatal Diagnosis*, 2014, 34, 3, 279 [Wiley Online Library](#)
- 20 V. Kyriakopoulou, D. Vatansever, S. Elkommos, S. Dawson, A. McGuinness, J. Allsop, Z. Molnar, J. Hajnal, M. Rutherford, Cortical Overgrowth in Fetuses With Isolated Ventriculomegaly, *Cerebral Cortex*, 2014, 24, 8, 2141 [CrossRef](#)

[View all 106 citations](#)