

· 论 著 · DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2025.20.014

三维超声容积对比成像技术检查对胎儿脊髓拴系综合征的诊断价值及指导意义*

黄 丽¹, 漆 波², 文 明¹

四川省江油市九〇三医院:1. 超声医学科;2. 重症医学科, 四川绵阳 621700

摘 要:目的 探讨三维超声容积对比成像(VCI)技术检查对胎儿脊髓拴系综合征(TCS)的诊断价值及指导意义,以期临床早期诊断、制订相应干预方案提供参考。**方法** 选取 2019 年 1 月至 2023 年 1 月于该院确诊为 TCS 胎儿的 36 例孕妇作为 TCS 组,另选取同期在该院产检为健康胎儿的 180 例孕妇作为对照组。采用三维超声 VCI 技术检查 2 组胎儿脊髓圆锥(CM)位置、CM 与第一骶椎(S_1)距离(CM- S_1)、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径。采用危险度分析 CM- S_1 、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径与 TCS 的关系。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析 CM- S_1 、脊髓腰膨大处横径、前后径对 TCS 的诊断价值。**结果** 2 组 CM 位置分布比较,差异有统计学意义($Z=9.317, P<0.001$)。TCS 组 CM- S_1 、脊髓腰膨大处前后径小于对照组,脊髓腰膨大处横径大于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。ROC 曲线分析结果显示,CM- S_1 、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径诊断 TCS 的曲线下面积分别为 0.731、0.827、0.759,最佳截断值分别为 21.10 mm、4.94 mm、2.89 mm,灵敏度分别为 72.22%、68.89%、86.11%,特异度为 69.44%、91.67%、55.56%。危险度分析结果显示,CM- S_1 低值胎儿的 TCS 风险是高值胎儿的 4.333 倍,脊髓腰膨大处横径高值胎儿的 TCS 风险是低值胎儿的 10.000 倍,脊髓腰膨大处前后径低值胎儿的 TCS 风险是高值胎儿的 5.865 倍。**结论** TCS 胎儿 CM 位置发生明显变化,临床可通过三维超声 VCI 技术检查结合胎儿 CM 位置及相关参数进行早期筛查诊断,以制订相应干预方案。

关键词: 三维超声容积对比成像; 脊髓拴系综合征; 脊髓圆锥; 诊断价值; 超声

中图法分类号:R445.1;R714.5;R726.5 文献标志码:A 文章编号:1672-9455(2025)20-2819-05

Diagnostic value and guiding significance of three-dimensional ultrasound volume contrast imaging in fetal tethered cord syndrome*

HUANG Li¹, QI Bo², WEN Ming¹

1. Department of Ultrasound Medicine; 2. Department of Critical Care Medicine, 903 Hospital of Jiangyou City, Mianyang, Sichuan 621700, China

Abstract: **Objective** To explore the diagnostic value and guiding significance of three-dimensional ultrasound volume contrast imaging (VCI) in fetal tethered cord syndrome (TCS), in order to provide reference for early clinical diagnosis and formulation of corresponding intervention programs. **Methods** A total of 36 pregnant women diagnosed with TCS fetuses in the hospital from January 2019 to January 2023 were selected as the TCS group, and 180 pregnant women with healthy fetuses undergoing prenatal examinations in the hospital during the same period were selected as the control group. Three-dimensional ultrasound VCI was performed in both groups to examine the position of conus medullaris (CM), distance between CM and first sacral vertebra (CM- S_1), transverse diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord, anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord. Risk analysis was performed to evaluate the relationship between CM- S_1 , transverse diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord, anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord, and TCS. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the diagnostic value of CM- S_1 , transverse diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord, anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord for TCS. **Results** There was a statistically significant difference in the distribution of CM positions between the two groups ($Z=9.317, P<0.001$). The CM- S_1 , anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord in the TCS group were smaller than those in the control group, while transverse diameter of the lumbar bulging re-

* 基金项目:四川省医学(青年创新)科研课题项目(S20393)。

作者简介:黄丽,女,主治医师,主要从事超声医学临床方向的研究。

引用格式:黄丽,漆波,文明. 三维超声容积对比成像技术检查对胎儿脊髓拴系综合征的诊断价值及指导意义[J]. 检验医学与临床, 2025, 22(20):2819-2823.

gion of the spinal cord were larger than that in the control group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The results of ROC curve analysis showed that the area under the curves of CM— S_1 , transverse diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord, anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord for diagnosing TCS were 0.731, 0.827 and 0.759, respectively. The optimal cutoff values were 21.10 mm, 4.94 mm and 2.89 mm, respectively, with sensitivities of 72.22%, 68.89% and 86.11%, respectively, and specificities of 69.44%, 91.67% and 55.56%, respectively. According to risk analysis, the risk of TCS in fetuses with low value of CM— S_1 was 4.333 times higher than that in fetuses with high value, the risk of TCS in fetuses with high value of transverse diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord was 10.000 times higher than that in fetuses with low value, and the risk of TCS in fetuses with low values of anteroposterior diameter of the lumbar bulging region of the spinal cord was 5.865 times higher than that in fetuses with high value. **Conclusion** Significant changes in fetal CM position are observed in TCS, and three-dimensional ultrasound VCI can be combined with fetal CM position and related parameters for early screening and diagnosis in clinical practice, so as to formulate corresponding intervention programs.

Key words: three-dimensional ultrasonic volume contrast imaging; tethered cord syndrome; conus medullaris; diagnostic value; ultrasound

脊髓拴系综合征(TCS)为胎儿常见先天性疾病,多由脊柱裂、脊髓脊膜膨出、脂肪瘤、腰骶管囊肿等致使脊髓圆锥(CM)无法正常上升引起,导致CM低于正常位置^[1-3]。有报道显示,TCS可导致脊髓末端血液循环障碍,引起下肢运动、感觉功能障碍,影响小儿生长发育,是导致胎儿致残的主要原因之一,从而降低生育质量^[4-6]。因此,尽早对胎儿TCS进行准确诊断,针对性给予干预措施至关重要。超声影像技术目前已广泛应用于胎儿中枢神经系统产前评估,通过超声可有效观察胎儿脊柱骨化中心、表面皮肤及CM,但由于胎儿CM结果较为复杂,常规二维超声检查存在一定局限性^[7-9]。三维超声容积对比成像(VCI)技术通过提高二维图像中相似结构和组织的分辨率、对比度,可更清晰地显示出边缘和内部结构,从而提高诊断准确性^[10-11]。基于此,本研究分析了VCI技术检查对胎儿TCS的诊断价值及指导意义。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2019年1月至2023年1月于本院确诊为TCS胎儿的36例孕妇作为TCS组,另选取同期在本院产检为健康胎儿的180例孕妇作为对照组。纳入标准:(1)均为单胎妊娠;(2)孕妇孕龄与超声检查胎龄一致;(3)末次月经明确;(4)均未使用避孕药。排除标准:(1)合并妊娠期并发症;(2)胎儿胎位不正;(3)胎儿生长指标与停经孕周不一致;(4)合并高危感染性疾病;(5)超声图像未显示胎儿骶尾部末位骨化中心;(6)合并重大脏器功能障碍;(7)孕妇存在智力损伤或沟通障碍。TCS组年龄22~35岁,平均 (28.41 ± 2.32) 岁;体质指数(BMI)22.8~27.2 kg/m²,平均 (24.84 ± 0.83) kg/m²;孕周24~38周,平均 (27.63 ± 2.05) 周;孕次1~3次,平均 (1.82 ± 0.38) 次;产次0~2次,平均 (1.28 ± 0.21) 次。对照组年龄23~34岁,平均 (28.62 ± 2.45) 岁;BMI 23.1~27.4 kg/m²,平均 (24.72 ± 0.76) kg/m²;孕周24~38周,平均 (27.86 ± 2.61) 周;孕次1~3次,平均 (1.79 ± 0.35) 次;产次0~2次,平均 $(1.32 \pm$

0.23)次。2组孕妇年龄、BMI、孕周、孕次、产次比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。本研究通过本院医学伦理委员会审核批准(审批号:201800770)。所有孕妇或其家属均知晓本研究,并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 仪器 采用三星RS80A超声诊断仪进行检查,探头频率为4.0~8.0 MHz,采用自带软件系统评估胎龄,采用4D View软件进行分析图像,先进行常规二维超声成像检查,再切换至VCI模式进行检查。

1.2.2 二维超声成像检查 均行常规二维超声检查,对胎儿全身结构进行扫查,测量头围、腹围等,于胎儿俯卧位下观察脊柱情况,在正中矢状切面下,从头部向骶尾部进行扫查,保持声束与脊柱垂直,先扫查椎管内低回声圆柱状脊髓,扫描范围为枕骨大孔至骶骨,在脊柱腰骶段固定,将脊柱圆锥末端图像放大并保存。

1.2.3 三维超声VCI成像检查 胎儿静止状态时选取清晰、完整脊柱正中矢状切面扫查,划取感兴趣区包括Th11椎体至骶尾部末位骨化中心。切换VCI模式,旋转调节图像,定位CM对应椎体,椎体定位根据以下2种方式:(1)在A平面根据成角的腰骶关节头侧L₅椎体进行计数;(2)调节图像使C平面显示T₁₂椎体,将其选为参考椎体,将A平面光标置于需定位椎体上,根据参考椎体定位。获取多方面容积数据,保存后采用4D View软件进行分析。在此基础上启动断层超声成像模式,以脊柱矢状切面为基准,于脊髓腰膨大处扫查,选取脊髓腰膨大最宽处,测量CM与第一骶椎(S_1)距离(CM— S_1)及脊髓腰膨大处横径和前后径。

1.3 观察指标 (1)统计2组不同孕周CM位置;(2)比较2组CM— S_1 、脊髓腰膨大处横径、前后径;(3)分析CM— S_1 、脊髓腰膨大处横径、前后径对TCS的诊断价值;(4)以最佳截断值分析CM— S_1 、脊髓腰膨大处横径、前后径与TCS的关系。

1.4 统计学处理 采用 SPSS27.0 统计软件进行数据处理和分析。经 K-S 检验确认具备方差齐性且符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布数据经自然对数转换成正态分布后施行分析,2 组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例数或百分率表示,2 组间比较采用 χ^2 检验,等级资料比较采用 Wilcoxon 秩和检验。采用危险度分析 CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径与 TCS 的关系。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析 CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、前后径对 TCS 的诊断价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 2 组 CM 位置分析 对照组孕 24~38 周 CM 位置以 L₁~L₃ 椎体为主,少数位于 L_{3.5}~L₄ 椎体,其中孕 24~28 周 CM 位置范围为 L_{1.5}~L₄ 椎体,孕 29~32 周 CM 位置范围为 L₁~L₃ 椎体,孕 33~38 周 CM 位置范围为 L₁~L_{2.5} 椎体;随着孕周增加 CM 位置逐渐升高。TCS 组孕 24~38 周 CM 位置均分布在 L_{3.5}~L₄ 椎体,随着孕周增加 CM 位置虽有所增加,但均未达到 L₃ 椎体。Ridit 检验结果显示,2 组 CM 位置分布比较,差异有统计学意义($U = 9.317, P < 0.001$)。见表 1、表 2。

2.2 2 组 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径比较 TCS 组 CM-S₁、脊髓腰膨大处前后径小于对照组,脊髓腰膨大处横径大于对照组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表 3。

表 1 对照组 CM 位置(n)

孕周	n	L ₁	L _{1.5}	L ₂	L _{2.5}	L ₃	L _{3.5}	L ₄
24 周	25	0	0	5	13	5	1	1
25 周	21	0	1	6	11	2	1	0
26 周	17	0	3	8	3	3	0	0
27 周	15	0	4	7	2	2	0	0
28 周	14	0	3	9	1	1	0	0
29 周	12	0	7	2	2	1	0	0
30 周	11	1	5	2	2	1	0	0
31 周	11	1	6	3	1	0	0	0
32 周	10	2	6	1	1	0	0	0
33 周	10	4	4	1	1	0	0	0
34 周	8	5	2	1	0	0	0	0
35 周	9	5	3	0	1	0	0	0
36 周	7	5	2	0	0	0	0	0
37 周	6	4	1	1	0	0	0	0
38 周	4	3	1	0	0	0	0	0
合计	180	30	48	46	38	15	2	1

2.3 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径对 TCS 的诊断价值 以是否发生 TCS 为状态变量(是=1,否=0),以 CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、前后径为检验变量绘制 ROC 曲线。分析结果显示,CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径诊断 TCS 的曲线下面积(AUC)分别为 0.731(95%CI:0.667~0.789)、0.827(95%CI:0.770~0.875)、0.759

(95%CI:0.696~0.814),最佳截断值分别为 21.10 mm、4.94 mm、2.89 mm,灵敏度分别为 72.22%、68.89%、86.11%,特异度分别为 69.44%、91.67%、55.56%。见图 1。

表 2 TCS 组 CM 位置(n)

孕周	n	L ₁	L _{1.5}	L ₂	L _{2.5}	L ₃	L _{3.5}	L ₄
24 周	6	0	0	0	0	0	2	4
25 周	4	0	0	0	0	0	2	2
26 周	5	0	0	0	0	0	3	2
27 周	3	0	0	0	0	0	2	1
28 周	3	0	0	0	0	0	2	1
29 周	2	0	0	0	0	0	1	1
30 周	2	0	0	0	0	0	1	1
31 周	2	0	0	0	0	0	2	0
32 周	1	0	0	0	0	0	0	1
33 周	2	0	0	0	0	0	1	1
34 周	2	0	0	0	0	0	2	0
35 周	1	0	0	0	0	1	0	0
36 周	1	0	0	0	0	0	1	0
37 周	1	0	0	0	0	0	0	1
38 周	1	0	0	0	0	0	1	0
合计	36	0	0	0	0	1	20	15

表 3 2 组 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	CM-S ₁ (mm)	脊髓腰膨大处 横径(mm)	脊髓腰膨大处 前后径(mm)
TCS 组	180	18.52±4.16	5.45±1.10	2.58±0.87
对照组	36	26.71±8.03	4.74±0.82	3.27±0.75
t		-8.968	3.671	-4.438
P		<0.001	<0.001	<0.001

2.4 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径与 TCS 的关系分析 以 ROC 曲线获取的 CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径的最佳截断值为界分为低值(<最大截断值)与高值(≥最佳截断值)进行危险度分析。结果显示,CM-S₁ 低值胎儿 TCS 风险是高值胎儿的 4.333 倍(95%CI:2.206~8.513),脊髓腰膨大处横径高值胎儿 TCS 风险是低值胎儿的倍 10.000(95%CI:5.377~18.599),脊髓腰膨大处前后径低值的胎儿 TCS 风险是高值胎儿的倍 5.865(95%CI:2.370~14.514)。见表 4。

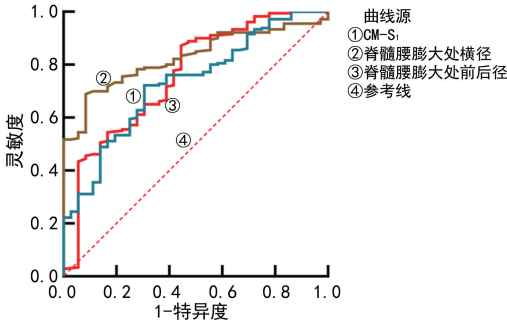


图 1 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径诊断 TCS 的 ROC 曲线

表 4 CM-S₁ 及脊髓腰膨大处横径、前后径与 TCS 的关系分析

指标	TCS 组 (n=36)	对照组 (n=180)	RR (95%CI)	U	P
CM-S ₁					
低值	26	55	4.333(2.206~8.513)	4.303	<0.001
高值	10	125			
脊髓腰膨大处横径					
高值	25	15	10.000(5.377~18.599)	7.866	<0.001
低值	11	165			
脊髓腰膨大处前后径					
低值	31	80	5.865(2.370~14.514)	4.168	<0.001
高值	5	100			

3 讨 论

TCS 为临床常见胎儿脊髓发育异常疾病,病理变化主要表现为 CM 低位,可导致脊髓圆锥扩张、牵拉,从而引起机体无法正常排尿、排便等症状,对胎儿生长发育造成严重影响^[12-15]。因此,产前检查明确 CM 位置具有重大意义。

影像学检查为目前临床检查胎儿脊椎的主要方案,其中二维超声具有简便快捷、可重复性强等优点,为产前筛查胎儿脊柱、脊髓异常的主要方式,但受羊水减少、胎儿体位等因素影响,在识别腰骶关节时较为困难,存在一定局限性^[16-18]。本研究结果显示,对照组孕 24~38 周 CM 位置以 L₁~L₃ 椎体为主,而 TCS 组孕 24~38 周 CM 位置均分布在 L_{3.5}~L₄ 椎体,随着孕周增加 CM 位置虽有所增加,但均未达到 L₃ 椎体,2 组 CM 位置分布比较,差异有统计学意义 (P<0.05)。三维超声 VCI 技术可对骶尾关节进一步扫查,获取所需容积信息,更加清晰地获取切面情况,多平面观察椎体结构,准确识别椎体位置,且操作更加便捷化、智能化^[19-21]。有研究表明,与二维超声相比,三维超声 VCI 技术成像质量较高,可对任意切面进行测量,弥补了胎儿体位引起腰骶关节角度偏差,可先在 VCI 图像中选取脊髓腰骶段最膨大部位进行 TUI 切割并测量,可有效减少脊髓测量数据误差^[22-24]。BISCHOFF 等^[25]通过肾上腺定位法对 14~40 孕周胎儿 CM 的相对位置进行测定,发现胎儿 CM 在整个孕期内处于上升趋势,而 TCS 胎儿 CM 相较于正常胎儿较低。与本研究结果基本一致,进一步证实三维超声 VCI 技术对胎儿 CM 位置的评估价值。

本研究结果还发现,TCS 组 CM-S₁、脊髓腰膨大处前后径小于对照组,脊髓腰膨大处横径大于对照组,提示临床可通过三维超声 VCI 技术测量 CM 相关参数早期评估诊断胎儿 TCS。有研究表明,CM-S₁ 及脊髓腰膨大处前后径与孕周具有显著线性关系,当产前超声显示 CM-S₁ 距离低于对应孕周第 5 百分位数时,可高度提示 TCS,此时应及时观察有无相应征象并密切随访,而发生 TCS 后经超声扫查脊柱矢状面可见脊髓结构变性,横切面声像图中前后径可显著减小,经 VCI 模式观察更为明显^[26-27],说明腰膨大处前后径变小脊髓形态细长化的变化与 TC 相关。基

于上述研究结果,本研究首次采用 ROC 曲线分析三维超声 VCI 技术测量 CM 相关参数对 TCS 胎儿诊断价值,结果显示 CM-S₁、脊髓腰膨大处横径、脊髓腰膨大处前后径诊断 TCS 的 AUC 分别为 0.731、0.827、0.759,进一步进行危险度分析发现,CM-S₁ 低值胎儿的 TCS 风险是高值胎儿的 4.333 倍,脊髓腰膨大处横径高值胎儿的 TCS 风险是低值胎儿的 10.000 倍,脊髓腰膨大处前后径低值胎儿的 TCS 风险是高值胎儿的 5.865 倍。

综上所述,TCS 胎儿 CM 位置发生明显变化,三维超声 VCI 技术检查对胎儿 TCS 具有较高诊断价值,临床可通过三维超声 VCI 技术检查结合胎儿 CM 位置及相关参数进行早期筛查诊断,以制订相应干预方案。

参考文献

[1] KOBETS A J, OLIVER J, COHEN A, et al. Split cord malformation and tethered cord syndrome: case series with long-term follow-up and literature review[J]. Childs Nervous System, 2021, 37(4): 1301-1306.

[2] MICHAEL M M, GARTON A L A, KUZAN-FISCHER C M, et al. A critical analysis of surgery for occult tethered cord syndrome[J]. Childs Nerv Syst, 2021, 37(10): 3003-3011.

[3] KOCAAGA A, YIMENICIOGLU S, ATIKEK Y Ö, et al. First report of tethered cord syndrome in a patient with Verheij syndrome[J]. Ophthalmic Genet, 2023, 44(4): 396-400.

[4] REZAEE H, KEYKHOSRAVI E. Effect of untethering on occult tethered cord syndrome: a systematic review [J]. Br J Neurosurg, 2022, 36(5): 574-582.

[5] MUROI A, ENOKIZONO T, TSURUBUCHI T, et al. Association of kabuki syndrome and tethered cord syndrome: a report of three cases and literature review[J]. Childs Nervous System, 2021, 37(4): 1339-1343.

[6] KOBAYASHI T, MIYAKOSHI N, ABE T, et al. Surgical technique of spine-shortening vertebral osteotomy for adult tethered cord syndrome: a case report and review of the literature[J]. J Med Case Rep, 2023, 17(1): 425.

[7] 王姣姣, 朱圆圆, 董正森, 等. 产前超声诊断胎儿脂肪瘤型脊髓拴系综合征 1 例[J]. 湖北医药学院学报, 2023, 42(1): 72-74.

- [8] 罗丹丹,钟晓红,杨水华,等. 脊髓圆锥末端尾侧椎体骨化中心计数筛查闭合性脊柱裂及脊髓拴系综合征[J]. 中华超声影像学杂志,2022,31(10):878-884.
- [9] MACÉ P, BEN M S, CORROËNNE R, et al. Prenatal ultrasound prognostic of myelomeningocele at the era of fetal surgery[J]. Gynecol Obstet Fertil Senol, 2021, 49(7): 617-629.
- [10] 周伟娜,吴向玲,李强,等. 三维超声联合 VCI、TUI 技术观察脊髓圆锥对胎儿骶尾部疾病合并脊髓拴系综合征的诊断价值[J]. 中国现代医学杂志,2023,33(1):88-94.
- [11] 赵岩,刘益宁,李春擎,等. 三维超声测定脊髓圆锥 D1 和 D2 及 CM-S₁ 距离与胎儿脊髓拴系综合征的关系研究[J]. 中国优生与遗传杂志,2021,29(7):1003-1006.
- [12] MALEK E G, SALAMEH J, ESTAITIEH N, et al. Absent sural responses in tethered cord syndrome[J]. J Spinal Cord Med, 2021, 44(6):1024-1025.
- [13] SUN M C, TAO B Z, GAO G, et al. Tethered cord syndrome associated with spina bifida and intradural angioli-poma coexisting with intramedullary arteriovenous mal-formation[J]. Clin Neuroradiol, 2022, 32(4):1127-1130.
- [14] MCVEIGH L G, ANOKWUTE M C, CHEN S X, et al. Spinal column shortening for tethered cord syndrome: a systematic review and individual patient data Meta-analy-sis[J]. J Neurosurg Pediatr, 2022, 29(6):624-633.
- [15] LEE S B, YOUNG J I, JUNG J H, et al. Clinical and uro-dynamic features of secondary tethered cord syndrome: how can they be found longitudinally[J]. Neurourol Uro-dyn, 2022, 41(1):365-374.
- [16] HE S Z, RUAN J X, WANG X L, et al. Measurement of fetal conus distance with 3D ultrasonography as a reliable prenatal diagnosis method for tethered cord syndrome [J]. J Obstet Gynaecol Res, 2020, 46(4):587-594.
- [17] IDE K, HASEGAWA T, YAMATO Y, et al. Spinal shorten-ing osteotomy for adult tethered cord syndrome evaluated by intraoperative ultrasonography[J]. J Orthop Sci, 2021, 26(3):363-368.
- [18] VOLPE N, DALL'ASTA A, DI PASQUO E, et al. First-trimester fetal neurosonography: technique and diagnostic potential[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2021, 57(2): 204-214.
- [19] 李尧. 三维超声 Omniview 结合 VCI 成像用于黏膜下子宫颈瘤分型诊断的临床价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(1):83-85.
- [20] 宁艺繁,张晓雯,孟新月. 超声 OmniView 技术联合 VCI 技术测量正常胎儿脑干-小脑幕夹角和脑干-小脑蚓部夹角[J]. 中国临床医学影像杂志,2022,33(7):477-479.
- [21] BENDJADOR H, FOIRET J, WODNICKI R, et al. A theranostic 3D ultrasound imaging system for high reso-lution image-guided therapy[J]. Theranostics, 2022, 12(11):4949-4964.
- [22] 刘满荣,张巍,赵晓英,等. 三维超声在胎儿脊髓、脊柱发育状况评估中的应用[J]. 中国医学物理学杂志,2021,38(4):452-455.
- [23] 石海梅. 三维超声在胎儿脊髓和脊柱发育状况评估中的应用价值[J]. 临床医学研究与实践,2021,6(5):136-138.
- [24] 汤小芳,刘乐乐,吴娟. 三维及二维超声在胎儿脊髓圆锥定位中的应用价值[J]. 海南医学,2019,30(17):2262-2264.
- [25] BISCHOFF A, PEÑA A, KETZER J, et al. The conus medullaris ratio: a new way to identify tethered cord on MRI[J]. J Pediatr Surg, 2019, 54(2):280-284.
- [26] 王华铭,辜秋阳,刘新秀,等. 产前超声诊断脊髓拴系综合征[J]. 中国医学影像技术,2021,37(1):91-94.
- [27] 孙梦纯,尚爱加,高干,等. 产前超声与胎儿磁共振成像在脂肪瘤型脊髓拴系综合征脊髓圆锥定位中的应用[J]. 中华神经外科杂志,2021,37(10):992-996.

(收稿日期:2025-02-22 修回日期:2025-05-06)

(上接第 2818 页)

- [17] ZHANG Y, ZHAN B M, HU Y, et al. Sevoflurane inhib-its the apoptosis of hypoxia/reoxygenation-induced car-diomyocytes via regulating miR-27a-3p-mediated autoph-agy[J]. J Pharm Pharmacol, 2021, 73(11):1470-1479.
- [18] LUO J, LI J, XIONG L, et al. MicroRNA-27a-3p relieves inflammation and neurologic impairment after cerebral is-chaemia reperfusion via inhibiting lipopolysaccharide in-duced TNF factor and the TLR4/NF- κ B pathway[J]. Eur J Neurosci, 2022, 56(3):4013-4030.
- [19] NIU X L, JIAO Z M, WANG Z G, et al. MiR-17-5p pro-protects neonatal mice from hypoxic-ischemic brain damage by targeting Casp2[J]. Neurosci Lett, 2022, 772:136475.
- [20] REN X, JING Y X, ZHOU Z W, et al. MiR-17-5p inhibits cerebral hypoxia/reoxygenationinjury by targeting PTEN through regulation of PI3K/AKT/mTOR signaling path-way[J]. Int J Neurosci, 2022, 132(2):192-200.
- [21] ZHUO Y, CHEN W, LI W S, et al. Ischemic-hypoxic pre-conditioning enhances the mitochondrial function recovery of transplanted olfactory mucosa mesenchymal stem cells via miR-181a signaling in ischemic stroke[J]. Aging (Al-bany NY), 2021, 13(8):11234-11256.
- [22] WU K, MA L, XU T, et al. Transcription factor YY1 a-meliorates liver ischemia-reperfusion injury through mod-ulating the miR-181a-5p/ESR1/ERBB2 axis[J]. Trans-plantation, 2023, 107(4):878-889.
- [23] 丁宇敏,王海玉,李德红. 神经元特异性烯醇化酶在脑部疾病中的研究进展[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(17): 2612-2616.
- [24] 李骏晓,刘加峰,陶蕾. 新生儿缺血缺氧性脑病的影像学检测方法研究进展[J]. 北京生物医学工程, 2024, 43(6): 649-654.
- [25] 贺兰,王健,杜燕燕. 缺血缺氧性脑病新生儿血清可溶性细胞间黏附分子 1、肌酸激酶同工酶、胰岛素样生长因子 1 检测及其与病情严重程度和预后关系研究[J]. 陕西医学杂志, 2024, 53(12):1689-1692.

(收稿日期:2025-02-20 修回日期:2025-05-22)