

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2022.10.027

小波阈值降噪的超声多普勒技术在胎儿中枢神经系统畸形筛查中的临床应用价值*

董燕¹ 朱宏² 赵蓉¹ 郑涛¹ 董洁¹ 张明星^{3Δ}

(1 河西学院附属张掖人民医院功能科 甘肃 张掖 734000; 2 河西学院附属张掖人民医院影像中心 甘肃 张掖 734000;

3 甘肃省中医院超声医学科 甘肃 兰州 730050)

摘要 目的:探究小波阈值降噪的超声多普勒技术在胎儿中枢神经系统(CNS)畸形筛查中的临床应用价值。**方法:**选择2018年1月-2021年1月于本院进行规范化妊娠早期超声结构筛查的1092例11-13+6周单胎妊娠孕妇,所有孕妇均进行常规超声和小波阈值降噪的超声多普勒技术的检查,并对其妊娠过程和结果进行随访。**结果:**1092例胎儿产后病理或超声检查显示,胎儿CNS畸形共计19例,发生率为1.74%(19/1092)。其中,露脑畸形8例,无脑畸形5例,前脑无裂畸形3例,脑膜膨出2例,脊柱裂1例。基于小波阈值降噪的超声多普勒技术对胎儿CNS畸形检出的符合率94.74%(18/19)显著高于常规超声63.16%(12/19),差异有统计学意义($P<0.05$);且基于小波阈值降噪的超声多普勒技术检出胎儿CNS畸形的准确性、敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值均显著高于常规超声,差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**小波阈值降噪的超声多普勒技术对妊娠早期孕妇进行规范化结构筛查更有助于及早发现胎儿CNS畸形,对降低畸形胎儿的出生率以及指导临床治疗方案的选择具有重要指导意义。

关键词:小波阈值降噪;超声多普勒技术;孕妇;胎儿;中枢神经系统畸形

中图分类号:R714.53;R445.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2022)10-1928-04

Clinical Value of Ultrasonic Doppler Technology Based on Wavelet Threshold Denoising in Fetal Central Nervous System Malformation Screening*

DONG Yan¹, ZHU Hong², ZHAO Rong¹, ZHENG Tao¹, DONG Jie¹, ZHANG Ming-xing^{3Δ}

(1 Department of Functional, Zhangye People's Hospital Affiliated to Hexi University, Zhangye, Gansu, 734000, China;

2 Department of Image Center, Zhangye People's Hospital Affiliated to Hexi University, Zhangye, Gansu, 734000, China;

3 Department of Ultrasonic Medicine, Gansu Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu, 730050, China)

ABSTRACT Objective: To explore the clinical value of ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising in fetal central nervous system (CNS) malformation screening. **Methods:** 1092 pregnant women with singleton pregnancy of 11-13+6 weeks who underwent standardized early pregnancy ultrasound structure screening in our hospital from January 2018 to January 2021 were selected. All pregnant women were examined by conventional ultrasound and wavelet threshold denoising ultrasound doppler technology, and their pregnancy process and results were followed up. **Results:** The postpartum pathology or ultrasonography of 1092 fetuses showed that there were 19 cases of fetal CNS malformation, and the incidence was 1.74% (19/1092). Among them, there were 8 cases of exposed brain malformation, 5 cases of anencephaly, 3 cases of holoprosencephaly, 2 cases of meningocele and 1 case of spina bifida. The coincidence rate of ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising in the detection of fetal CNS malformations was 94.74%(18/19), which was significantly higher than that of conventional ultrasound 63.16%(12/19), the difference was statistically significant ($P<0.05$); The accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value of ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising were significantly higher than those of conventional ultrasound, the difference was all statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion:** The standardized structure screening of pregnant women in early pregnancy by wavelet threshold denoising ultrasonic doppler technology is more conducive to the early detection of fetal CNS malformations, which is of great guiding significance to reduce the birth rate of abnormal fetuses and guide the selection of clinical treatment schemes.

Key words: Wavelet threshold denoising; Ultrasonic doppler technology; Pregnant women; Fetuses; Central nervous system malformations

Chinese Library Classification(CLC): R714.53; R445.1 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2022)10-1928-04

* 基金项目:国家自然科学基金项目(8127147);甘肃省教育厅高等学校创新基金项目(2020A-107)

作者简介:董燕(1980-),女,本科,主治医师,研究方向:超声医学, E-mail: ddddlun1234@163.com

Δ 通讯作者:张明星(1976-),男,硕士,主治医师,研究方向:超声医学, E-mail: xinglushunli68@163.com

(收稿日期:2021-10-21 接受日期:2021-11-18)

前言

胎儿畸形中最常见的类型是中枢神经系统 (Central Nervous System, CNS) 畸形,也是造成新生儿死亡的重要原因^[1-3]。既往文献报道^[4],妊娠中期(约孕 20 周)是常规超声成像技术对 CNS 畸形的最佳筛查时间。近年来随着超声设备的不断发展以及成像技术的不断进步,超声图像的分辨率得以不断提高,同时对胎儿脑和脊柱解剖结构的了解也越来越细致,目前对胎儿 CNS 的超声筛查时间也已经发展到妊娠早期(约孕 11-13+6 周)。有文献报道^[5,6],在妊娠早期进行超声检查可以发现一些严重的 CNS 畸形如露脑畸形、无脑畸形等。由于超声成像过程中易产生斑点噪声,在妊娠早期进行常规超声结构筛查胎儿 CNS 畸形的过程中具有一定的局限性^[7]。而小波阈值降噪作为一种图像降噪方法,可以有效地保留图像的细节信息,减少降噪引起的误差,从而提高图像分辨率^[8-10]。因此,本研究采用小波阈值降噪的超声多普勒技术对妊娠早期的孕妇进行规范化的超声结构筛查,探讨小波阈值降噪的超声多普勒技术对胎儿 CNS 畸形检测的诊断效能,现作如下报道。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2018 年 1 月-2021 年 1 月在本院进行规范的妊娠早期超声结构筛查的 1092 例孕妇,孕妇年龄范围为 20-40 岁,平均年龄为(26.92±5.21)岁,胎儿孕周为 11-13+6 周,平均孕周为(12.52±0.61)周。纳入标准:(1)年龄为 20-40 岁;(2)单胎妊娠者;(3)配合检查且沟通无障碍者;(4)无精神疾病史者;(5)无中枢系统疾病史者;排除标准:(1)检查不配合或中途退出者;(2)临床资料不完善者;(3)有沟通障碍或精神疾病史者;(4)有 CNS 疾病史者;(5)存在严重心脏、肝脏、肾脏疾病史者。所有孕妇及其家属在检查前均充分了解超声检查的准确性和局限性,并签署知情同意书。

1.2 仪器与方法

1.2.1 超声检查 采用超声波诊断仪 (GE 公司, Voluson E8 型),由取得产前资格认证并具备胎儿系统结构筛查 5 年以上经验的超声科医师进行操作,对妊娠早期胎儿均进行规范的结构筛查,包括常规超声模式和基于小波阈值降噪的超声多普勒技术的模式。

1.2.2 妊娠早期胎儿的规范化超声结构筛查 根据英国胎儿医学基金会 (Fetal Medicine Foundation, FMF) 的标准及方法^[11]测量胎儿头与臀之间的距离,以估计胎儿的胎龄。当头臀距离为 45-84 mm 时,测量颈部透明层 (Nuchal translucency, NT) 的厚度,同时观察胎儿大脑、面部、心脏、胸部、腹部、膀胱、脊柱、四肢、胎盘、脐带和羊水的最大深度,对胎儿的整体结构是否异常进行评估。

1.2.3 随访 对所有孕妇的妊娠过程和结果进行随访,并将产后病理、超声检查与产前超声结果进行对照。

1.2.4 基于小波阈值降噪的超声多普勒技术的模式 常规超声模式中超声图像的降噪方式为:滤波方式。基于小波阈值降噪的超声多普勒技术的模式中超声图像的降噪方式为:软阈值小波函数方式^[12]。

1.3 统计分析

使用 SPSS 22.0 统计学软件进行统计分析,计数资料采用 $n(\%)$ 表示,两组间采用卡方检验或确切概率法(单格期望值小于 5)比较;对常规超声和基于小波阈值降噪的超声多普勒技术对胎儿 CNS 畸形检测的诊断效能采用准确性、敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值指标表达。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 胎儿 CNS 畸形产后病理结果

1092 例胎儿产后病理或超声检查显示,胎儿 CNS 畸形共计 19 例,发生率为 1.74%(19/1092)。其中,露脑畸形 8 例,无脑畸形 5 例,前脑无裂畸形 3 例,脑膜膨出 2 例,脊柱裂 1 例。

2.2 常规超声和基于小波阈值降噪的超声多普勒技术的检出情况

基于小波阈值降噪的超声多普勒技术对胎儿 CNS 畸形检出的符合率为 94.74%(18/19),而且显著高于常规超声 63.16%(12/19),差异具有统计学意义($\chi^2=15.124, P=0.000$),具体如表 1 所示。部分胎儿 CNS 畸形典型病例如图 1-3 所示,其中露脑畸形超声征象:颅骨高回声晕消失,脑组织暴露于羊水,颅内结构紊乱;全前脑畸形超声征象:前脑无脑裂痕,单发性心室扩张;脑膜膨出超声征象:见高回声颅骨环的连续性,缺损处局部突出。

表 1 常规超声和基于小波阈值降噪超声多普勒技术的检出情况[n(%)]

Table 1 Detection of conventional ultrasound and ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising[n(%)]

Postpartum pathology or ultrasound	n	Conventional ultrasound		Ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising	
		+	-	+	-
CNS malformation	19	12(63.16%)	7(36.84%)	18(94.74%)	1(5.26%)
No CNS malformation	1073	39(3.63%)	1034(96.37%)	8(0.75%)	1065(99.25%)
Total	1092	51	1041	26	1066

Note: "+" indicates CNS malformation detected by ultrasound; "-" indicates no CNS malformation detected by ultrasound.

2.3 常规超声和基于小波阈值降噪的超声多普勒技术检出胎儿 CNS 畸形的诊断效能分析

基于小波阈值降噪的超声多普勒技术检出胎儿 CNS 畸形的准确性、敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值显著高

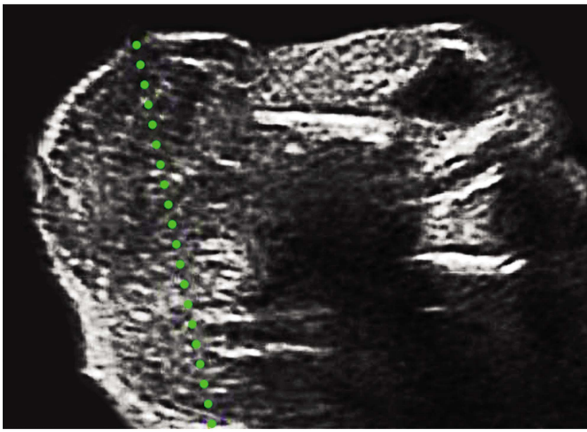


图1 胎儿露脑畸形, 超声图像示胎儿脑组织暴露于羊水中

Fig.1 Exposed brain malformation, Ultrasound images showed fetal brain tissue exposed to amniotic fluid

于常规超声, 且差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$), 具体如表 2 所示。

3 讨论

众所周知, 在胚胎发育形成大脑和脊髓的过程中, 其结构

和功能上形成的缺陷将导致胎儿 CNS 畸形, 也是导致儿童残疾和死亡的主要原因之一^[13-15]。根据《胎儿中枢神经系统产前超声检查专家共识(2020)》中推荐的胎儿 CNS 形态及结构筛查时期包括: 妊娠早期(11-13+6 孕周)、妊娠中期(20-24 孕周)和妊娠晚期(28-34 孕周)^[16]。因此, 若在妊娠早期发现严重的胎儿 CNS 畸形并及时终止妊娠, 将有助于避免在妊娠中期或晚期再引产对母体造成的创伤以及减轻患者的心理痛苦^[17-19]。近年来, 有文献报道胚胎 CNS 主要是由外胚层在约孕 3 周开始逐渐发育成大脑和脊髓, 一直到孕 16 周发育完成, 而且基本成型后将不会出现较大改变, 这说明在妊娠早期进行胎儿 CNS 畸形筛查具有一定的可行性^[20]。随着超声成像技术的不断进步与发展, 有文献表明利用超声成像信号强弱的差异可以显示胎儿 CNS 的发育情况, 在妊娠早期(11-13+6 周)筛查胎儿畸形的效果良好^[21]。然而由于常规超声图像在成像过程中会产生斑点噪声, 常规的滤波降噪方式效果欠佳, 对诊断、有一定影响; 而小波阈值降噪技术地可以较好地保留图像的细节信息, 并减小了去噪引起的误差, 对提高图像质量有一定的帮助^[22-24]。因此, 本研究基于小波阈值降噪的超声多普勒技术对妊娠早期的孕妇进行规范化的超声结构筛查, 并探讨其对胎儿 CNS 畸形检测的诊断效能。

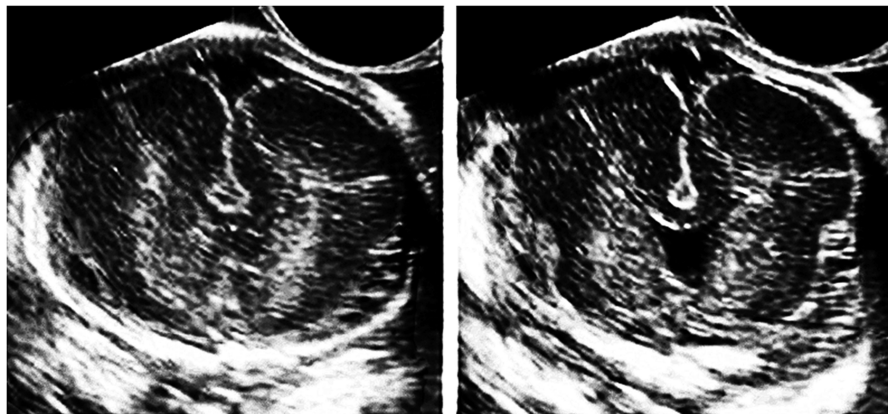


图2 前脑无裂畸形, 超声图像示额叶融合, 发育差的侧脑室前角融合

Fig.2 Holoprosencephaly, Ultrasound image shows frontal lobe fusion, poorly developed lateral ventricular anterior horn fusion

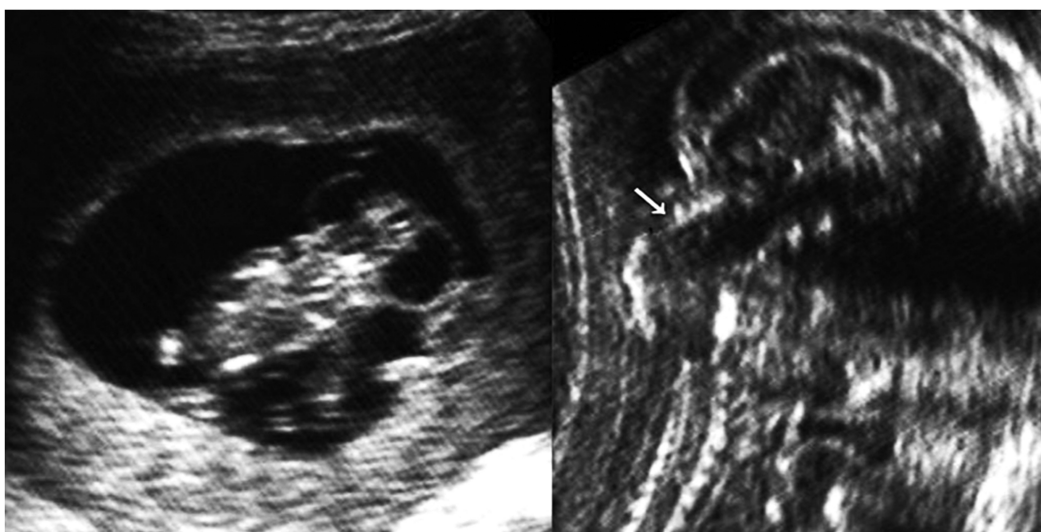


图3 胎儿脑膨出畸形, 超声图像示颅骨高回声环连续性中断, 局部突出囊肿缺损

Fig.3 Meningocele, Ultrasound images showed that the continuity of hyperechoic ring of skull was interrupted, local protrusion and cyst defect

表 2 常规超声和基于小波阈值降噪超声多普勒技术的检出胎儿 CNS 畸形的诊断效能分析

Table 2 Analysis of diagnostic efficacy of conventional ultrasound and ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising in detecting fetal CNS malformations

Inspection method	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
Conventional ultrasound	95.79%	25.53%	99.33%	63.16%	96.37%
Ultrasonic doppler technology based on wavelet threshold denoising	99.18%	69.23%	99.91%	94.76%	99.25%
χ^2	25.534	15.124	4.645	5.700	20.905
P	0.000	0.000	0.037	0.042	0.000

本研究中 1092 例胎儿产后病理或超声检查显示出 19 例胎儿 CNS 畸形,发生率为 1.74%。其中,露脑畸形 8 例,无脑畸形 5 例,前脑无裂畸形 3 例,脑膜膨出 2 例,脊柱裂 1 例。虽然常规超声是目前临床中诊断胎儿 CNS 畸形的首选方法^[25,26],但是本研究结果显示基于小波阈值降噪的超声多普勒技术对胎儿 CNS 畸形检出的符合率[94.74%(18/19)]显著高于常规超声[63.16%(12/19)]($P<0.05$),其主要原因是常规超声的图像质量欠佳,无法辨认出 CNS 畸形的超声影像表现,其中包括露脑畸形 2 例,无脑畸形 2 例,前脑无裂畸形畸形 1 例,脑膜膨出 1 例,脊柱裂 1 例。超声图像产生噪声的主要原因是检查过程中声波信号的干涉现象以及所检查器官或组织结构的不均匀性,形成图像中特有斑点信号;这样不仅减低了图像质量,而且还减少部分图像的细节信息,导致鉴别诊断困难。常规超声图像降噪主要选择滤波方式减少噪声频率成分,从而提高图像的信噪比。由于理论上,低频信号主要为图像信号,而高频信号主要为噪声信号,通过滤波方式滤除高频信号就可以滤除噪声。但是,超声图像信号中的细节部分常常位于高频信号中,这对影像的鉴别诊断至关重要,因此,对于超声图像的降噪不仅需要消除图像噪声,而且还能很好的保留超声图像的细节问题。小波阈值降噪是目前小波降噪方法中较为成功的一种图像降噪方式,其中半软阈值小波函数方法是较优的小波阈值函数降噪方法,不仅可以有效地降低原图像的斑点噪声,而且还可以很好的保留图像的细节信息^[27,28]。

本研究通过进一步比较常规超声和基于小波阈值降噪的超声多普勒技术检测胎儿 CNS 的诊断效能发现,基于小波阈值降噪的超声多普勒技术检出胎儿 CNS 的准确性、敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值显著高于常规超声($P<0.05$),说明基于小波阈值降噪的超声多普勒技术能进一步提高超声图像分辨率,并且对胎儿 CNS 畸形检测更具有优势。

综上所述,基于小波阈值降噪超声多普勒技术对妊娠早期的孕妇进行规范化超声结构筛查有助于及早发现胎儿 CNS 畸形,对降低畸形胎儿的出生率以及指导临床治疗方案的选择具有重要指导意义。

参考文献(References)

- [1] Johnson-Tesch BA, Gawande RS, Zhang L, et al. Fanconi anemia: correlating central nervous system malformations and genetic complementation groups[J]. *Pediatr Radiol*, 2017, 47(7): 868-876
- [2] Troisi J, Giugliano L, Sarno L, et al. Serum metallome in pregnant women and the relationship with congenital malformations of the

- central nervous system: a case-control study [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2019, 19(1): 471
- [3] Siddesh A, Gupta G, Sharan R, et al. Spectrum of prenatally detected central nervous system malformations: Neural tube defects continue to be the leading foetal malformation[J]. *Indian J Med Res*, 2017, 145(4): 471-478
- [4] 胡谢,邓丽丽,王丹,等.早孕期超声检查对胎儿神经系统畸形的诊断价值[J]. *中国实验诊断学*, 2018, 22(7): 1213-1215
- [5] 姚玉芹. B 超联合母体血清 AFP、Free β -hCG、uE3 检测在筛查胎儿中枢神经系统畸形的价值 [J]. *中国计划生育学杂志*, 2018, 26(10): 954-957
- [6] 周江鑫,张宜珍,侯成文.早期超声诊断在 11~14 孕周胎儿神经系统畸形中的价值分析[J]. *中国实用医药*, 2021, 16(13): 126-128
- [7] 常慧,韩康,王莉,等.超声系统筛查在孕早期胎儿中枢神经系统先天畸形诊断的价值分析[J]. *现代生物医学进展*, 2018, 18(13): 2588-2592
- [8] Garg N, Ryait HS, Kumar A, et al. An effective method to identify various factors for denoising wrist pulse signal using wavelet denoising algorithm[J]. *Biomed Mater Eng*, 2018, 29(1): 53-65
- [9] Sun Z, Xi X, Yuan C, et al. Surface electromyography signal denoising via EEMD and improved wavelet thresholds [J]. *Math Biosci Eng*, 2020, 17(6): 6945-6962
- [10] 王绍波, 梁振. 基于累次变换的自适应超声医学图像去噪算法[J]. *中国医疗设备*, 2019, 34(2): 76-79, 84
- [11] Rezende L, Rezende K, Guimaraes M, et al. Evaluation of fetal medicine foundation algorithm in predicting small-for-gestational-age neonates. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2021, 34(6): 876-882
- [12] 刘光宇,黄懿,曾志勇,等.基于小波阈值的图像去噪方法研究[J]. *新乡学院学报*, 2021, 38(3): 42-47
- [13] Van den Veyver IB. Prenatally diagnosed developmental abnormalities of the central nervous system and genetic syndromes: A practical review[J]. *Prenat Diagn*, 2019, 39(9): 666-678
- [14] 陈俊雅,邵小柳,朱颖,等.超声检查与磁共振成像对胎儿中枢神经系统异常的诊断价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(2): 160-165
- [15] 陈美毅,赵云霞,李渊渊,等.实时动态四维彩超联合母体血清叶酸和维生素 B12 水平检测在孕中期胎儿中枢神经系统畸形的诊断价值[J]. *中国优生与遗传杂志*, 2020, 28(10): 1241-1243, 1268
- [16] 杨帆,李胜利,罗红,等.胎儿中枢神经系统产前超声检查专家共识(2020)[J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2021, 18(5): 433-443

- 者中的表达及与认知功能损害的关系 [J]. 现代生物医学进展, 2021, 21(14): 2787-2791
- [16] Perin MT, Macías-García D, Labrador-Espinosa MÁ, et al. Association of PICALM with Cognitive Impairment in Parkinson's Disease[J]. *Mov Disord*, 2021, 36(1): 118-123
- [17] Byeon H. Is the Random Forest Algorithm Suitable for Predicting Parkinson's Disease with Mild Cognitive Impairment out of Parkinson's Disease with Normal Cognition [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(7): 2594-2595
- [18] Knox MG, Adler CH, Shill HA, et al. Neuropathological Findings in Parkinson's Disease With Mild Cognitive Impairment[J]. *Mov Disord*, 2020, 35(5): 845-850
- [19] Zhang Q, Aldridge GM, Narayanan NS, et al. Approach to Cognitive Impairment in Parkinson's Disease [J]. *Neurotherapeutics*, 2020, 17(4): 1495-1510
- [20] Smith CR, Cullen B, Sheridan MP, et al. Cognitive impairment in Parkinson's disease is multifactorial: A neuropsychological study[J]. *Acta Neurol Scand*, 2020, 141(6): 500-508
- [21] Orgeta V, McDonald KR, Poliakoff E, et al. Cognitive training interventions for dementia and mild cognitive impairment in Parkinson's disease [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 2(2): 11961-11962
- [22] Baiano C, Barone P, Trojano L, et al. Prevalence and clinical aspects of mild cognitive impairment in Parkinson's disease: A meta-analysis [J]. *Mov Disord*, 2020, 35(1): 45-54
- [23] Rocha NP, Ferreira JPS, Scalzo PL, et al. Circulating levels of neurotrophic factors are unchanged in patients with Parkinson's disease[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2018, 76(5): 310-315
- [24] Vidal-Martínez G, Vargas-Medrano J, Gil-Tommee C, et al. FTY720/Fingolimod Reduces Synucleinopathy and Improves Gut Motility in A53T Mice: Contributions of pro-brain-derived neurotrophic factor (pro-bdnf) and mature bdnf[J]. *J Biol Chem*, 2016, 291(39): 20811-20821
- [25] Du XY, Xie XX, Liu RT. The Role of alpha-Synuclein Oligomers in Parkinson's Disease[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(22): 8645-8646
- [26] Riederer P, Berg D, Casadei N, et al. alpha-Synuclein in Parkinson's disease: causal or bystander[J]. *J Neural Transm (Vienna)*, 2019, 126(7): 815-840
- [27] 朱瑜龄, 牛平. 帕金森病患者血清 RANTES 水平及外周血 CD4+CD45RO+T 淋巴细胞比例测定及意义 [J]. *中国医科大学学报*, 2014, 43(3): 217-221
- [28] 时鹏, 屈洪党. 帕金森病患者血清活化 T 细胞趋化因子和炎症因子水平及其临床意义[J]. *蚌埠医学院学报*, 2016, 41(9): 1132-1135
- [29] 韦艳秋, 董珍. 帕金森病认知功能障碍的临床特征及危险因素分析[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2020, 22(6): 609-613
- [30] 张琛, 安军. 姿势不稳 - 步态困难型帕金森病患者血清甲状腺激素水平与认知功能障碍的关系[J]. *山东医药*, 2021, 61(27): 61-63
- [31] Sarchione A, Marchand A, Taymans JM, et al. Alpha-Synuclein and Lipids: The Elephant in the Room?[J]. *Cells*, 2021, 10(9): 2452
- [32] Johnson ME, Lim Y, Senthilkumaran M, et al. Investigation of tyrosine hydroxylase and BDNF in a low-dose rotenone model of Parkinson's disease[J]. *J Chem Neuroanat*, 2015, 70(11): 33-41
- [33] Ruhanya V, Jacobs GB, Naidoo S, et al. Impact of Plasma IP-10/CXCL10 and RANTES/CCL5 Levels on Neurocognitive Function in HIV Treatment-Naive Patients [J]. *AIDS Res Hum Retroviruses*, 2021, 37(9): 657-665

(上接第 1931 页)

- [17] Hall GK, Mackie FL, Williams H, et al. Prenatal central nervous system anomaly with skeletal dysplasia associated with a de novo interstitial tandem triplication of chromosome 14 [J]. *J Obstet Gynaecol*, 2017, 37(3): 375-376
- [18] 闫景彬, 闫秀梅, 杨建享, 等. 超声检查对妊娠初期胎儿中枢神经系统畸形诊断价值研究[J]. *中国基层医药*, 2019, 26(18): 2182-2185
- [19] 杨续瑞. 早孕期超声标准切面用于胎儿中枢神经系统异常筛查的可行性研究[J]. *中国药物与临床*, 2020, 20(21): 3572-3574
- [20] 常慧, 韩康, 王莉, 等. 超声系统筛查在孕早期胎儿中枢神经系统先天畸形诊断的价值分析 [J]. *现代生物医学进展*, 2018, 18(13): 2588-2592
- [21] Martins Santana EF, Araujo Júnior E, Tonni G, et al. Acrania-exencephaly-anencephaly sequence phenotypic characterization using two- and three-dimensional ultrasound between 11 and 13 weeks and 6 days of gestation[J]. *J Ultrason*, 2018, 18(74): 240-246
- [22] 黄弋庭, 周莹, 尤沛, 等. 经会阴四维超声成像结合图像降噪技术评估产后盆底功能障碍的价值探讨[J]. *临床超声医学杂志*, 2019, 21(9): 664-667
- [23] 徐立, 乔智, 郑祖添, 等. 肝脏超声图像降噪处理的两种方法比较[J]. *电脑知识与技术*, 2019, 15(11): 209-210
- [24] Li Y, Li Y, Chen X, et al. A New Underwater Acoustic Signal Denoising Technique Based on CEEMDAN, Mutual Information, Permutation Entropy, and Wavelet Threshold Denoising [J]. *Entropy (Basel)*, 2018, 20(8): 563
- [25] 蔡腾, 纪亚梅. 孕早期、孕中期产前超声对胎儿中枢神经系统畸形的筛查价值[J]. *影像科学与光化学*, 2020, 38(6): 1047-1051
- [26] 刘学玲, 聂超群, 李海琼. 探讨超声系统筛查在孕早期胎儿中枢神经系统先天畸形诊断的价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2021, 5(13): 38-39
- [27] Yang Y, Wang J, Xu C. Intervertebral Disc Segmentation and Diagnostic Application Based on Wavelet Denoising and AAM Model in Human Spine Image[J]. *J Med Syst*, 2019, 43(8): 275
- [28] Aravindan TE, Seshasayanan R. Denoising Brain Images with the Aid of Discrete Wavelet Transform and Monarch Butterfly Optimization with Different Noises[J]. *J Med Syst*, 2018, 42(11): 207