

论 著

OSAS的DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能的相关性分析*

孙 瑾^{1*} 李艳捧¹ 赵雅珍²
张 兰¹1.河北北方学院附属第一医院医学影像部
2.河北北方学院附属第一医院核磁共振室
(河北 张家口 075000)

【摘要】目的 探讨阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(OSAS)患者磁共振扩散张量成像(DTI)表现及脑白质微结构变化与认知功能的相关性。方法 选取2022年5月~2023年3月我院120例OSAS患者作为观察组,另选取120例健康体检者作为对照组。两组均行DTI扫描,并统计两组脑室周围白质高信号(PVH)、双侧半卵圆中心、双侧额叶、胼胝体压部、胼胝体膝部表现弥散系数(ADC)值及部分各向异性(FA)值,比较观察组不同认知功能障碍患者与认知功能正常患者临床资料、DTI表现、脑白质微结构,Logistic回归分析患者DTI表现、脑白质微结构变化与认知功能障碍关系,分析DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能程度的相关性。结果 观察组PVH评分、双侧额叶ADC值高于对照组,双侧额叶FA值低于对照组($P<0.05$);轻度、中重度认知功能障碍患者年龄、BMI及OSAS病情程度与认知功能正常患者比较,差异显著($P<0.05$);中重度认知功能障碍患者PVH评分、双侧额叶ADC值>轻度认知功能障碍患者>认知功能正常患者,双侧额叶FA值<轻度认知功能障碍患者<认知功能正常患者($P<0.05$);Logistic显示,PVH评分、双侧额叶ADC值、FA值与OSAS患者认知功能障碍有关($P<0.05$);OSAS患者PVH评分、双侧额叶ADC值与认知功能程度呈正相关,双侧额叶FA值与认知功能程度呈负相关($P<0.05$)。结论 OSAS患者脑白质结构损害、双侧额叶FA及ADC值与认知功能严重程度密切相关,可用作OSAS患者评估认知功能的主要依据。

【关键词】OSAS; DTI; 脑白质微结构;
认知功能; 相关性分析

【中图分类号】R651.1

【文献标识码】A

【基金项目】河北省医学科学研究重点课题
计划项目(20231422)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.11.008

Correlation Analysis of DTI Performance, White Matter Microstructure and Cognitive Function in OSAS Patients*

SUN Jin^{1*}, LI Yan-peng¹, ZHAO Ya-zhen², ZHANG Lan¹.

1.Department of Medical Imaging, The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China

2.MRI Room, The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the correlation between magnetic resonance diffusion tensor imaging (DTI), white matter microstructure and cognitive function in patients with obstructive sleep apnea syndrome (OSAS). **Methods** 120 patients with OSAS in our hospital from May 2022 to March 2023 were selected as the observation group, and 120 healthy subjects were selected as the control group. DTI scanning was performed in both groups, and the values of periventricular white matter high signal (PVH), bilateral hemioval center, bilateral frontal lobe, pressure part of corpus callosum, apparent diffusion coefficient (ADC) and partial anisotropy (FA) were counted in both groups. The clinical data, DTI performance and white matter microstructure of patients with different cognitive dysfunction and patients with normal cognitive function were compared in the observation group. Logistic regression analysis was conducted to analyze the relationship between DTI performance, white matter microstructure changes and cognitive dysfunction, and the correlation between DTI performance and white matter microstructure changes and cognitive function degree. **Results** The PVH score and ADC value of bilateral frontal lobes in the observation group were higher than those in the control group, and the FA value of bilateral frontal lobes was lower than that in the control group ($P<0.05$). There were significant differences in age, BMI and OSAS between mild and moderate to severe cognitive impairment patients and normal cognitive function patients ($P<0.05$). PVH score and bilateral frontal ADC value in patients with moderate to severe cognitive dysfunction were higher than those with mild cognitive dysfunction > those with normal cognitive function, and bilateral frontal FA value was lower than those with mild cognitive dysfunction < those with normal cognitive function ($P<0.05$). Logistic showed that PVH score, bilateral frontal ADC value and FA value were correlated with cognitive dysfunction in OSAS patients ($P<0.05$). In OSAS patients, PVH score and bilateral frontal ADC were positively correlated with the degree of cognitive function, while bilateral frontal FA value was negatively correlated with the degree of cognitive function ($P<0.05$). **Conclusion** White matter structure damage, bilateral frontal FA and ADC values in OSAS patients are closely related to the severity of cognitive function, which can be used as the main basis for the assessment of cognitive function in OSAS patients.

Keywords: OSAS; DTI; White Matter Microstructure; Cognitive Function; Correlation Analysis

阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAS)是临床常见睡眠呼吸疾病,患者因存在完全或部分气道阻塞,在睡眠时间内可出现多次低通气、呼吸暂停,严重时可引起间歇性缺氧、睡眠结构紊乱^[1]。OSAS不仅损害全身多个脏器,还可增加心脑血管疾病发生风险,据调查数据显示,OSAS发生率高达4%,严重影响患者生活质量^[2]。有研究显示,长期短暂性缺氧可引起脑区细微结构和功能异常,造成患者出现不同程度认知功能障碍^[3]。扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是一种评价脑白质纤维完整性和连通性的有效手段,可观察脑组织微观结构,临床上已广泛用于脑梗死、癫痫及脑肿瘤等脑部疾病的预后评估^[4]。如滕佳岐等^[5]研究发现,利用DTI技术可有效评估帕金森病患者认知功能障碍,且具有一定诊断价值。基于此,本研究尝试分析OSAS患者DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能的相关性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年5月至2023年3月我院120例OSAS患者作为观察组,另选取120例健康体检者作为对照组。观察组:男64例,女56例;年龄36~78岁,平均 (54.41 ± 8.32) 岁;体质指数(body mass index, BMI) $21.4\sim 32.3\text{kg/m}^2$,平均 $(26.61\pm 1.89)\text{kg/m}^2$;受教育年限4~14年,平均 (9.45 ± 1.55) 年;31例饮酒,47例吸烟;28例高脂血症,36例糖尿病,38例高血压,17例高血压。对照组:男69例,女51例;年龄33~80岁,平均 (55.72 ± 8.46) 岁;BMI $21.2\sim 31.6\text{kg/m}^2$,平均 $(26.43\pm 1.73)\text{kg/m}^2$;受教育年限4~14年,平均 (9.27 ± 1.69) 年;26例饮酒,39例吸烟;23例高脂血症,39例糖尿病,33例高血压,14例高血压。两组一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

纳入标准:符合OSAS诊断标准^[6];睡眠期间(7 h)呼吸暂停反复发生 ≥ 30 次或低通气指数 > 5 次/h(10 s/次);未经过任何治疗;无MRI扫描禁忌证;无其他呼吸系统综合征。排除标准:常规MRI扫描可见颅内病变;中枢神经疾病或头部器质性病变;恶性肿瘤;其他原因引起的睡眠障碍性疾病;精神类药物病史;妊娠期或哺乳期妇女;呼吸道解剖

【第一作者】孙 瑾,女,医师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: yivs612@163.com

【通讯作者】孙 瑾

结构异常；语言障碍；单纯上气道阻力综合征、鼾症者。

1.2 扫描方法 采用Skyra MRI扫描仪(西门子3.0 T)行DTI检查，用20通道头颈联合线圈扫描，T₂WI横轴位：回波时间(time echo, TE)99 ms，重复时间(time repetition, TR)6000 ms，FOV 220 mm×220 mm，层间距1 mm，层厚5 mm，层数20，矩阵384×288，翻转角150°，NEX 1；T₂WI-FLAIR轴位：TE 81 ms，TR 8500 ms，反转时间(time invert, TI)2400 ms，翻转角150°，FOV 230 mm×230 mm，层间距1 mm，层厚5 mm，层数20，矩阵320×224，NEX 1。DTI使用SE-EPI序列扫描，TE 78 ms，TR 11300 ms，FOV 224 mm×224 mm，矩阵112×112，层厚2 mm，层数75，层间距0，NEX 1，b值=0、1000 s/mm²，64个方向，注意：图像范围覆盖全脑。

将图像传送到后处理工作站，MRlcron软件转换格式，利用DTI studio软件进行矫正，手动勾画感兴趣区，由2位高年资放射科医师测量双侧额叶、双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值、部分各向异性(fractional anisotrop, FA)值。侧脑室周围高信号灶(periventricular white matter hyperintense, PVH)评估脑白质微结构，0分侧脑室周围脑白质正常，1分侧脑室前角白质损伤，2分侧脑室前后角和部分侧脑室体白质损伤，3分大部分侧脑室白质损伤，4分深部白质损伤^[7]。

1.3 观察指标 (1)比较两组PVH评分、双侧额叶、双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部ADC值、FA值。

(2)以蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment, MoCA)评分^[8]评估观察组患者认知功能，教育年限≤12年总分加1分，>26分为认知功能正常，18~26分为轻度认知功能障碍，10~17分为中度，<10分为重度。比较不同认知功能障碍患者与认知功能正常患者临床资料，包括性别、年龄、BMI、OSAS病程、受教育年限、高脂血症、吸烟、糖尿病、饮酒、高血压、OSAS家族史、冠心病、OSAS病情程度，OSAS病情程度评估参考^[9]。

(3)比较不同认知功能障碍患者与认知功能正常患者PVH评分、双侧额叶、双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部ADC值、FA值。

(4)Logistic回归分析患者DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能障碍关系。

(5)分析患者DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能障碍关系。

1.4 统计学方法 使用统计学软件SPSS 26.0处理数据，计数资料用n(%)表示、 χ^2 检验，计量资料行Shapiro-Wilk正态性检验和Levene法方差齐性检验，确认呈方差不齐性且近似服从呈正态分布，以($\bar{x} \pm s$)表示、t检验；Logistic回归进行多因素分析，相关性分析用Pearson相关分析。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组DTI表现及脑白质微结构变化比较 观察组患者PVH评分、双侧额叶ADC值高于对照组，双侧额叶FA值低于对照组，差异有统计学意义(P<0.05)。观察组患者双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部ADC值、FA值与对照组比较，差异无统计学意义(P>0.05)。见表1。典型影像学资料见图1。

2.2 认知功能障碍与认知功能正常患者临床资料比较 认知功能障碍与认知功能正常患者在性别、OSAS病程、受教育年限、吸烟、饮酒、高脂血症、糖尿病、冠心病、OSAS家族史、高血压方面比较，差异无统计学意义(P>0.05)。轻度、中重度认知功能障碍患者年龄、BMI及OSAS病情程度与认知功能正常患者比较，差异有统计学意义(P<0.05)，轻度、中重度认知功能障碍患者之间比较，差异无统计学意义(P>0.05)。见表2。

表1 两组DTI表现及脑白质微结构变化比较

项目	观察组(n=120)	对照组(n=120)	t	P
PVH评分(分)	2.74±0.45	1.58±0.35	22.290	<0.001
ADC值(mm ² /s)				
额叶(R)	0.89±0.05	0.86±0.04	5.132	<0.001
额叶(L)	0.83±0.08	0.79±0.03	5.128	<0.001
半卵圆中心(R)	1.09±0.24	1.05±0.21	1.374	0.171
半卵圆中心(L)	1.04±0.25	1.01±0.24	0.948	0.344
胼胝体压部	1.20±0.32	1.15±0.30	1.249	0.213
胼胝体膝部	1.08±0.19	1.05±0.20	1.191	0.235
FA值				
额叶(R)	0.33±0.04	0.36±0.04	5.809	<0.001
额叶(L)	0.32±0.04	0.35±0.03	6.573	<0.001
半卵圆中心(R)	0.35±0.06	0.34±0.07	1.188	0.236
半卵圆中心(L)	0.34±0.07	0.34±0.06	0.000	1.000
胼胝体压部	0.68±0.11	0.69±0.12	0.673	0.502
胼胝体膝部	0.67±0.10	0.69±0.07	1.795	0.074

表2 认知功能障碍与认知功能正常患者临床资料比较

项目	认知功能障碍		认知功能正常(n=50)	$t_1/\chi^2_1/P_1$ $t_2/\chi^2_2/P_2$ $t_3/\chi^2_3/P_3$		
	轻度(n=42)	中重度(n=28)				
性别	0.070/0.791	0.018/0.894	0.010/0.922			
男	23(54.76)	15(53.57)	26(52.00)			
女	19(45.24)	13(46.43)	24(48.00)			
年龄(岁)	56.27±7.82	59.02±8.19	51.11±7.37	3.253/0.002	4.368/<0.001	1.414/0.162
BMI(kg/m ²)	27.81±1.63	28.42±1.57	24.42±1.65	9.870/<0.001	10.448/<0.001	1.556/0.124
OSAS病程(年)	6.12±1.25	6.20±1.33	5.97±1.29	0.563/0.575	0.747/0.457	0.256/0.799
受教育年限(年)	9.22±1.49	9.37±1.38	9.69±1.25	1.646/0.103	1.045/0.299	0.425/0.672
吸烟	0.194/0.660	0.357/0.550	0.039/0.843			
无	25(59.52)	16(57.14)	32(64.00)			
有	17(40.48)	12(42.86)	18(36.00)			
饮酒	0.247/0.619	0.010/0.921	0.108/0.742			
无	30(71.43)	21(75.00)	38(76.00)			
有	12(28.57)	7(25.00)	12(24.00)			
高脂血症	0.220/0.639	0.003/0.953	0.207/0.619			
无	31(73.81)	22(78.57)	39(78.00)			
有	11(26.19)	6(21.43)	11(22.00)			
糖尿病	0.117/0.732	0.222/0.638	0.556/0.456			
无	28(66.67)	21(75.00)	35(70.00)			
有	14(33.33)	7(25.00)	15(30.00)			
高血压	0.629/0.428	0.148/0.700	0.095/0.758			
无	27(64.29)	19(67.86)	36(72.00)			
有	15(35.71)	9(32.14)	14(28.00)			
冠心病	0.410/0.522	0.004/0.949	0.004/0.947			
无	35(83.33)	24(85.71)	44(88.00)			
有	7(16.67)	4(14.29)	6(12.00)			
OSAS家族史	0.339/0.560	0.039/0.844	0.095/0.758			
无	27(64.29)	19(67.89)	35(70.00)			
有	15(35.71)	9(32.14)	15(30.00)			
OSAS病情程度	22.524/<0.001	19.973/<0.001	0.426/0.808			
轻度	3(7.14)	1(3.57)	26(52.00)			
中度	22(52.38)	15(53.57)	17(34.00)			
重度	17(40.48)	12(42.86)	7(14.00)			

注：t₁/χ²₁/P₁：轻度认知功能障碍与认知功能正常比较；t₂/χ²₂/P₂：中重度认知功能障碍与认知功能正常比较；t₃/χ²₃/P₃：轻度认知功能障碍与中重度认知功能障碍。

2.3 认知功能障碍与认知功能正常患者DTI表现及脑白质微结构变化 认知功能障碍与认知功能正常患者双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部ADC值、FA值比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。轻度、中重度认知功能障碍患者PVH评分、双侧额叶ADC值高于认知功能正常患者,双侧额叶FA值低于认知功能正

常患者,差异有统计学意义($P<0.05$)。轻度认知功能障碍患者PVH评分、双侧额叶ADC值低于中重度认知功能障碍患者,双侧额叶FA值高于中重度认知功能障碍患者,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表3。

表3 认知功能障碍与认知功能正常患者DTI表现及脑白质微结构变化比较

项目	认知功能障碍		认知功能正常(n=50)	t_1/P_1	t_2/P_2	t_3/P_3
	轻度(n=42)	中重度(n=28)				
PVH评分(分)	2.79±0.37	3.24±0.42	2.42±0.32	5.144/<0.001	9.684/<0.001	4.722/<0.001
ADC值(mm ² /s)						
额叶(R)	0.89±0.05	0.94±0.05	0.86±0.04	3.197/0.002	7.735/<0.001	4.099/<0.001
额叶(L)	0.84±0.06	0.87±0.05	0.80±0.05	3.488/0.001	5.931/<0.001	2.186/0.032
半卵圆中心(R)	1.09±0.25	1.13±0.27	1.07±0.23	0.399/0.691	1.038/0.303	0.635/0.437
半卵圆中心(L)	1.04±0.25	1.06±0.026	1.03±0.22	0.204/0.839	0.717/0.476	0.421/0.675
胼胝体压部	1.20±0.35	1.24±0.37	1.18±0.27	0.309/0.758	0.822/0.414	0.458/0.649
胼胝体膝部	1.08±0.20	1.10±0.25	1.07±0.19	0.245/0.807	0.596/0.553	0.371/0.712
FA值						
额叶(R)	0.33±0.04	0.29±0.03	0.35±0.03	2.737/0.007	8.473/<0.001	4.509/<0.001
额叶(L)	0.32±0.03	0.28±0.04	0.34±0.03	3.185/0.002	7.500/<0.001	4.777/<0.001
半卵圆中心(R)	0.35±0.08	0.35±0.03	0.35±0.06	0.000/1.000	0.000/1.000	0.000/1.000
半卵圆中心(L)	0.34±0.04	0.34±0.05	0.34±0.07	0.000/1.000	0.000/1.000	0.000/1.000
胼胝体压部	0.68±0.17	0.66±0.14	0.69±0.12	0.330/0.742	0.997/0.322	0.516/0.607
胼胝体膝部	0.67±0.09	0.65±0.08	0.68±0.10	0.500/0.618	1.361/0.178	0.951/0.345

注: t_1/P_1 : 轻度认知功能障碍与认知功能正常比较; t_2/P_2 : 中重度认知功能障碍与认知功能正常比较;

t_3/P_3 : 轻度认知功能障碍与中重度认知功能障碍。

2.4 DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能障碍关系 Logistic分析显示,调整BMI、年龄、OSAS病情程度等混杂因素后, PVH评分、双侧额叶ADC值及FA值仍与OSAS患者认知功能障碍有关($P<0.05$)。见表4。

2.5 DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能程度的相关性 相关性分析可知, OSAS患者PVH评分、双侧额叶ADC值与认知功能程度呈正相关, 双侧额叶FA值与认知功能程度呈负相关($P<0.05$)。见图3。

表4 DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能障碍关系

因素	β	S.E.	OR	95%CI	Wald χ^2	P
PVH评分	2.032	0.474	7.627	1.472~39.522	18.373	<0.001
ADC值						
额叶(R)	1.992	0.491	7.330	1.339~40.125	16.459	<0.001
额叶(L)	2.033	0.488	7.633	1.378~42.285	17.347	<0.001
FA值						
额叶(R)	-0.756	0.192	0.469	0.274~0.804	15.520	<0.001
额叶(L)	-0.676	0.199	0.509	0.331~0.782	11.532	<0.001



图1A-图1B 1A为观察组, 1B为对照组。**图2A-图2C** 2A为轻度认知功能障碍; 2B为中度认知功能障碍; 2C为重度认知功能障碍。

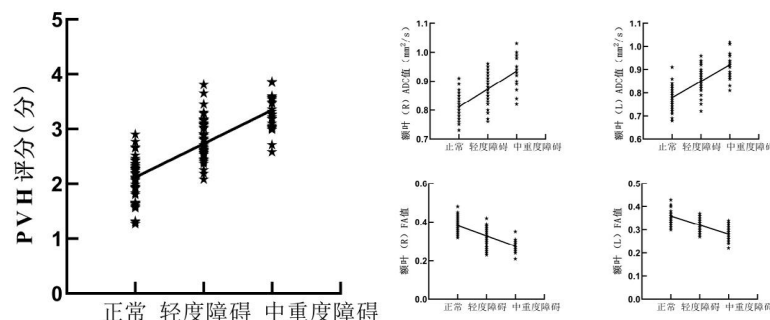


图3 DTI表现及脑白质微结构变化与认知功能程度的相关性。

3 讨论

OSAHS是一种可造成多器官功能障碍的疾病,在全部睡眠相关呼吸疾病中占比高达90%,患者反复多次呼吸暂停、微觉醒、低氧血症,引起血流动力学异常、交感神经亢奋、醛固酮系统激活等,进一步促进内分泌代谢、神经、消化及心血管系统疾病发生,它们之间相互促进、相互影响,且还是发生猝死的重要因素^[10-11]。认知功能障碍是OSAH常见神经系统并发症,临床表现为注意、记忆及执行功能减退、信息处理速度降低等,早期多为轻度认知障碍,随疾病进展可发展为阿尔茨海默病,甚至出现脑卒中^[12]。众多研究显示,OSAH发生认知功能障碍主要是因低氧血症所致脑微观结构改变引起^[13-14]。

DTI首次由Basser等提出,是一种基于弥散加权成像发展的MRI技术,不仅能清晰显示脑白质结构,且还可在活体状态下显示脑白质纤维束走行^[15]。DTI成像生理基础是利用水分子在空间自由扩散-布朗运动,核磁共振仪通过测量生物体组织中水分子弥散轨迹,并追踪水分子在脑结构扩散情况,构建三维空间弥散图像,能直观显示纤维束微观结构和形态结构,有助于判断脑白质病理学情况,在疾病诊断、疗效评估、制定治疗方案等方面具有重要意义^[16-18]。脑白质纤维受轴索排列和神经髓鞘影响,不同部分神经纤维走行不一、存在差异,可用ADC值、FA值量化分析^[19]。FA值是指水分子扩散各向异性所致全部弥散张量的比值,脑白质纤维束排列方向和密度的一致性、神经髓鞘完整性均可影响FA值,FA测量值处于0~1,FA值越接近1表明水分子是沿主轴方向扩散,如正常脑白质纤维束FA值就接近1^[20]。ADC值代表单位时间内水分子扩散范围,可准确反映神经髓鞘完整性,ADC值越大表明是水分子运动受限,髓鞘完整性越差^[21]。本研究发现,观察组双侧额叶ADC值高于对照组,双侧额叶FA值低于对照组,但与双侧半卵圆中心、胼胝体压部及胼胝体膝部ADC值、FA值无明显差异,表明OSAHS患者双侧额叶区域纤维束排列和神经髓鞘完整性较差,存在异常。进一步研究发现,中重度认知功能障碍患者双侧额叶ADC值>轻度认知功能障碍患者>认知功能正常患者,双侧额叶FA值<轻度认知功能障碍患者<认知功能正常患者,可能是因为:(1)患者反复多次出现低氧血症,导致负责脑白质区域血供不足,引起脑白质损害,导致白质与皮质间纤维断裂、血管通透性变性等,进一步损伤认知功能;(2)患者年龄越大、BMI越高,血液黏稠度增加,可促进血管损伤、狭窄,加上OSAHS病情越严重,可进一步加重认知功能障碍。

脑白质高信号与OSAHS患者认知功能障碍具有一定联系,但具体作用机制尚不清楚,有学者认为,脑白质高信号患者脑组织血液灌注量较少,可造成微血管网络结构损伤,进而引起患者认知功能障碍^[22-23]。本研究发现,OSAS患者PVH评分高于正常对照,且中重度认知功能障碍患者>轻度认知功能障碍患者>认知功能正常患者,OSAS患者存在低氧血症、血液黏稠度高等情况,影响脑组织血液灌注量,患者PVH评分越高,认知功能越严重。本研究通过Logistic回归分析发现,PVH评分、双侧额叶ADC值及FA值与OSAS患者认知功能障碍有关,相关性证实患者PVH评分、双侧额叶ADC值、FA值与认知功能程度密切相关。

综上所述,OSAS患者认知功能发生可能与PVH评分、双侧额叶FA及ADC值有关,为OSAS患者评估认知功能情况提供参考。

参考文献

- [1] Iannella G, Magliulo G, Greco A, et al. Obstructive sleep apnea syndrome: from symptoms to treatment[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(4): 2459.
- [2] Koka V, De Vito A, Roisman G, et al. Orofacial myofunctional therapy in obstructive sleep apnea syndrome: a pathophysiological perspective[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(4): 323.

- [3] Fan X, Zhong Y, Li JQ, et al. The interaction of severe obstructive sleep apnea hypopnea syndrome and abdominal obesity on cognitive function[J]. *J Integr Neurosci*, 2022, 21(3): 85.
- [4] Corroenne R, Arthuis C, Kasprian G, et al. Diffusion tensor imaging of fetal brain: principles, potential and limitations of promising technique[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2022, 60(4): 470-476.
- [5] 滕佳岐, 秦丹, 郭玥, 等. DTI成像技术评价帕金森病相关认知功能障碍的临床研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(1): 6-9, 14.
- [6] 中华医学会呼吸病学分会睡眠呼吸障碍学组. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征诊治指南(2011年修订版)[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2012, 35(1): 9-12.
- [7] 胡浩, 葛继晖, 张爱玲, 等. 合并阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的急性脑梗死病人认知功能障碍及偏头痛情况分析[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2022, 20(11): 2073-2076.
- [8] 李清华, 包红, 肖伟忠, 等. 血清S100 β 、内皮素-1和血管内皮生长因子测定在老年认知功能障碍疾病诊断中的意义[J]. *现代生物医学进展*, 2013, 13(12): 2335-2337, 2341.
- [9] 赵育英, 毛新峰, 刘东, 等. 3D-ASL联合1H-MRS评价重度OSAS患者早期脑组织改变的应用价值[J]. *浙江医学*, 2020, 42(23): 2516-2520, 2599.
- [10] Yuan F, Zhang S, Liu X, et al. Correlation between obstructive sleep apnea hypopnea syndrome and hypertension: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(12): 12251-12261.
- [11] Fietze I, Laharnar N, Obst A, et al. Prevalence and association analysis of obstructive sleep apnea with gender and age differences—results of SHIP-Trend[J]. *J Sleep Res*, 2019, 28(5): e12770.
- [12] He Y, Shen J, Wang X, et al. Preliminary study on brain resting-state networks and cognitive impairments of patients with obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome[J]. *BMC Neurol*, 2022, 22(1): 456.
- [13] Zhu Q, Han F, Wang J, et al. Sleep spindle characteristics and relationship with memory ability in patients with obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(2): 634.
- [14] Devita M, Peppard PE, Mesas AE, et al. Associations between the apnea-hypopnea index during REM and NREM sleep and cognitive functioning in a cohort of middle-aged adults[J]. *J Clin Sleep Med*, 2019, 15(7): 965-971.
- [15] Meoded A, Huisman TAGM. Diffusion tensor imaging of brain malformations: exploring the internal architecture[J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2019, 29(3): 423-434.
- [16] Hu R, Hoch MJ. Application of diffusion weighted imaging and diffusion tensor imaging in the pretreatment and post-treatment of brain tumor[J]. *Radiol Clin North Am*, 2021, 59(3): 335-347.
- [17] Podwalski P, Szczygiet K, Tyburski E, et al. Magnetic resonance diffusion tensor imaging in psychiatry: a narrative review of its potential role in diagnosis[J]. *Pharmacol Rep*, 2021, 73(1): 43-56.
- [18] Voon NS, Manan HA, Yahya N. Diffusion tensor imaging indices as biomarkers for cognitive changes following paediatric radiotherapy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Strahlenther Onkol*, 2022, 198(5): 409-426.
- [19] Hohenhaus M, Merz Y, Klingler JH, et al. Diffusion tensor imaging in unclear intramedullary tumor-suspected lesions allows separating tumors from inflammation[J]. *Spinal Cord*, 2022, 60(7): 655-663.
- [20] Mader MM, Deuter D, Sauvigny T, et al. Diffusion tensor imaging changes in patients with glioma-associated seizures[J]. *J Neurooncol*, 2022, 160(2): 311-320.
- [21] Liu S, Wan C, Li H, et al. Diffusion tensor imaging of the lateral pterygoid muscle in patients with temporomandibular joint disorders and healthy volunteers[J]. *Korean J Radiol*, 2022, 23(2): 218-225.
- [22] Wu PH, Rodríguez-Soto AE, Rodgers ZB, et al. MRI evaluation of cerebrovascular reactivity in obstructive sleep apnea[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2020, 40(6): 1328-1337.
- [23] 杨改清, 蒋胶胶, 冯丽红, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征与帕金森病自主神经功能障碍的相关性[J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2019, 45(11): 666-669.

(收稿日期: 2023-12-01)

(校对编辑: 翁佳鸿)