doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2024.12.026

❖临床研究❖

缺血性卒中后认知障碍患者上肢动脉及指端微小血管血流动力学特点分析

刘廷琼,陈亚萍,李渝,但思宇,黄多,岳文胜
(川北医学院附属医院超声科·超声研究室,医学影像四川省重点实验室,超声医学工程南充市重点实验室,四川 南充 637000)

【摘要】**目的:** 定性、定量分析缺血性卒中后认知障碍(PSCI)患者从肱动脉至指端微小血管血流动力学特点,初步探索指端微循环状态与 PSCI 患者认知功能的相关性。**方法:** 选取头部 CT/MRI 首次诊断为急性缺血性脑卒中,3~6 个月复查时认知功能下降者为 PSCI 组($n=66$),头部 CT/MRI 正常且年龄性别相匹配的志愿者为对照组($n=56$)。采用高频超声联合平面波超敏感显像技术(Angio PLUS)获取所有研究对象肱动脉(BA)、桡动脉(RA)、尺动脉(UA)及中指尺侧、桡侧指掌侧固有动脉(UPPDA、RPPDA)的收缩期峰值流速(PSV)、舒张末期流速(EDV)、阻力指数(RI)、搏动指数(PI)及指端微小血管分布参数,采用 Image J 处理指端微小血管分布图片,测量 Gray 值,并对上述参数进行对比分析。**结果:** 在调整高血压、糖尿病的影响因素后,与对照组相比,PSCI 组 BA、RA、UA、UPPDA、RPPDA 的 EDV 及 UPPDA、RPPDA 的 PSV 均降低($P<0.05$),BA、RA、UA、RPPDA、UPPDA 的 RI、PI 均增高($P<0.05$),指端微小血管分布等级为Ⅰ级、Ⅱ级的例数增加,为Ⅳ级的例数减少,指端微小血管密度 Gray 值增高($P<0.05$)。Spearman 相关性分析发现,MMSE 与 UPPDA.PI、RPPDA.PI 及 Gray 值负相关,与指端微小血管分布等级正相关($P<0.05$)。**结论:** 高频超声联合 Angio PLUS 技术可定性定量检测 PSCI 患者从肱动脉至指端水平动脉血流动力学变化及指端血流灌注情况,指端微循环状态能一定程度反映 PSCI 患者的认知功能。

【关键词】急性缺血性卒中;认知障碍;上肢动脉超声;指端微循环
【中图分类号】R445.1 【文献标志码】A

Hemodynamic characteristics of upper limb artery and fingertip micro-vessels in patients with post-ischemic stroke cognitive impairment

LIU Ting-qiong, CHEN Ya-ping, LI Yu, DAN Si-yu, HUANG Duo, YUE Wen-sheng
(*Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Laboratory of Ultrasound, Sichuan Provincial Key Laboratory of Medical Imaging, Nanchong Key Laboratory of Ultrasound Medical Engineering, Nanchong* 637000, *Sichuan, China*)

【**Abstract**】**Objective:** To analyze the hemodynamic characteristics from brachial artery (BA) to fingertip micro-vessels in patients with post-ischemic stroke cognitive impairment (PSCI), and to explore the correlation between finger microcirculation and cognitive function in PSCI patients. **Methods:** Patients with acute ischemic stroke diagnosed by head CT/MRI, 66 of them with cognitive decline at the 3~6 months follow-up were selected as the PSCI group. 56 volunteers with normal head CT/MRI and matching age, sex as the control group. The peak systolic velocity (PSV), end-diastolic velocity (EDV), resistance index (RI), pulsation index (PI) of BA, radial artery (RA), ulnar artery (UA), ulnar proper palmar digital artery (UPPDA), radial proper palmar digital artery (RPPDA) and fingertip micro-vessels distribution of all subjects were obtained by high-frequency ultrasound combined with Angio planewave ultrasensitive imaging (Angio PLUS). Image J was used to process the distribution fingertip micro-vessels pictures, measure the Gray-value. **Results:** After adjusting the influencing factors of hypertension and diabetes, the EDV of BA, RA, UA, UPPDA, RPPDA and the PSV of UPPDA, RPPDA were decreased, the RI, PI of BA, RA, UA, RPPDA, UPPDA were increased, the number of people with grade Ⅰ and Ⅱ of fingertip micro-vessels distribution increased, and with grade Ⅳ decreased, and the Gray-value of fingertip micro-vessels increased in PSCI group ($P<0.05$). Spearman correlation analysis found that MMSE was negatively correlated with RPPDA.PI, UPPDA.PI, Gray-value, and positively correlated with the distribution grade of fingertip micro-vessels ($P<0.05$). **Conclusion:** High-frequency ultrasound combined with Angio PLUS can be used to detect the changes of arterial hemodynamics from brachial artery to fingertip and the perfusion of fingerend in PSCI patients. The microcirculation status of fingertip can reflect the cognitive function of PSCI group to certain extent.

基金项目: 川北医学院附属医院揭榜挂帅项目(2022JB001)
作者简介: 刘廷琼(1987-),女,硕士研究生,主治医师。E-mail:TQ18011008997@163.com
通讯作者: 岳文胜。E-mail:wensheng-yue@163.com

【Key words】 Acute ischemic stroke;Cognitive impairment;Upper limb arterial ultrasound;Fingertip microcirculation

急性缺血性脑卒中(acute ischemic stroke,AIS),是由脑部血液供应障碍导致脑细胞损伤而出现急性神经功能损伤的临床综合征,在我国占比高达81.9%[1]。卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment,PSCI)是卒中事件后出现认知功能损害,并持续至3~6个月仍存在的认知障碍,约1/3的卒中患者会经历PSCI[2]。平面波超敏感显像技术(angio planewave ultrasensitive imaging,Angio PLUS)是一种对低速血流敏感的多普勒技术,可获取指端微小血管的分布情况及血流动力学参数,能够反映组织局部微循环的血流灌注情况[3]。本研究拟通过定性、定量分析PSCI患者从肱动脉至指端微小血管的血流动力学特点,初步探索指端微循环状态与PSCI患者认知功能的相关性。

1　资料与方法

1.1　一般资料

选取2021年7月至2023年1月于川北医学院附属医院头部CT/MRI首次诊断为急性缺血性脑卒中,3~6个月复查时认知功能下降的患者为PSCI组($n=66$)。纳入标准:(1)首发的急性缺血性脑卒中;(2)神经内科住院时NIHSS评分<15分,且TOAST分型为大动脉粥样硬化型和小动脉闭塞型;(3)3~6个月复查时,MMSE评分≥10分且<27分。排除标准:(1)神经影像学检查中缺乏血管性损伤病变;(2)首次诊断认知障碍3个月内的药物或酒精的滥用;(3)锁骨下动脉和/或腋动脉狭窄≥50%;(4)伴有其他可解释认知障碍的疾病。选取同期该院头部CT/MRI检查正常且年龄性别相匹配的志愿者为对照组($n=56$)。该研究获取川北医学院附属医院伦理委员会批准(2022ER241-1),所有研究对象均签署知情同意书。

1.2　方法

1.2.1　上肢动脉检查　静息状态下,受检者取仰卧位,双臂自然伸直、外展,掌心向上。选用法国声科Supersonic Aixplorer超声诊断仪SL15-4线阵探头,从腋窝向下连续扫查,依次观察肱动脉(brachial artery,BA)、桡动脉(radial artery,RA)及尺动脉(ulnar artery,UA)。在2D模式下观察动脉管壁情况,CDFI模式下观察动脉血流充盈情况。于BA中段(肘上约5~6 cm处)及RA、UA远心端(腕横纹上方约2 cm处)用PW模式获取其血流频谱,测量并记录各动脉的收缩期峰值流速(peak systolic velocity,PSV),舒张末期流速(end-diastolic velocity,EDV)、搏动指数(pulsation index,PI)、阻力指数(resistance index,RI)。

1.2.2　中指指掌侧固有动脉及指端微小血管检查　受检者取坐位,双手放置于检查床上,手心向上、手指分开,覆盖超声耦合垫,将SL15-4线阵探头分别置于中指桡侧、尺侧,采用Angio PLUS的CPI模式观察桡侧指掌侧固有动脉(radial proper palmar digital artery,RPDDA)、尺侧指掌侧固有动脉(ulnar proper palmar digital artery,UPPDA)的血流充盈情况,于远端指间关节水平用PW模式获取其血流频谱,测量并记录其PSV、EDV、PI及RI。将探头置于中指指尖行冠状扫查,采用Angio PLUS的CPI模式(调整深度为2 cm,取样框大小为25 mm×13 mm)清晰显示指掌侧固有动脉指背分支及吻合支轮廓,观察指端微小血管的分布、走行及血流充盈情况,选取单切面吻合支最多的图片保存并计数。

1.2.3　指端微小血管图片处理　用Image J软件将指端留取的图片转换为16-bit,调整为黑白模式并计数,每位受检者选取两张图片,于血管分布最丰富的位置测量Gray值(测量框110 mm×40 mm),用以评估指端血管密度情况,每张图片测量3次,取平均值并记录。

1.3　统计学分析

采用SPSS 25.0统计软件进行数据分析。服从正态分布的计量资料用($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本t检验;计数资料以[n(%)]表示,组间比较采用独立样本χ^2检验,有序分类资料采用秩和检验;采用Spearman秩相关进行相关性分析。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　两组对象临床资料比较

两组对象高血压、糖尿病有统计学差异($P<0.05$),其余特征比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

表1　两组临床资料比较[n(%),$\bar{x}\pm s$]

参数	PSCI组($n=66$)	对照组($n=56$)	χ^2/t值	P值
性别(男)	40(60.6)	26(46.4)	2.452	0.117
年龄(岁)	63.70±7.90	61.00±8.10	1.76	0.081
BMI(kg/m^2)	24.73±2.70	25.05±4.94	-0.452	0.652
吸烟	16(24.2)	11(19.6)	0.372	0.542
饮酒	11(16.7)	6(10.7)	0.895	0.344
受教育情况(文盲)	13(19.7)	8(14.3)	0.636	0.728
高血压	46(69.7)	23(41.1)	10.104	0.001
糖尿病	31(47.0)	15(26.8)	5.255	0.022
高脂血症	23(34.8)	17(30.4)	0.277	0.598
心脏病	8(12.1)	2(3.6)	2.943	0.088

2.2 两组对象血流动力学参数比较

分别对两组对象中高血压、糖尿病患者的上肢动脉及指掌侧固有动脉血流动力学参数进行比较，以排除高血压、糖尿病对结果的影响。结果显示，在高血压、糖尿病患者中，PSCI 组上肢动脉血流动力学参数有统计学差异($P<0.05$)。见表 2 及表 3。在调整高血压、糖尿病的影响因素后，PSCI 组 BA、RA、UA、UPPDA、RPPDA 的 EDV 及 UPPDA、RPPDA 的 PSV 均低于对照组($P<0.05$)，BA、RA、UA、UPPDA、RPPDA 的 RI、PI 均高于对照组($P<0.05$)。见表 4。

表 2 两组对象中有高血压者血流动力学参数比较($\bar{x}\pm s$)

参数	PSCI 组($n=92$)	对照组($n=46$)	t 值	P 值
BA				
PSV (cm/s)	79.55±21.49	85.04±21.64	-1.412	0.160
EDV (cm/s)	3.83± 5.61	8.42± 8.53	-4.148	0.001
RI	0.96± 0.08	0.90± 0.10	3.669	0.001
PI	4.51± 1.50	3.81± 1.90	2.349	0.033
RA				
PSV (cm/s)	57.35±16.59	58.90±18.44	-0.518	0.605
EDV (cm/s)	5.60± 5.75	11.08± 9.14	-4.298	<0.001
RI	0.91± 0.10	0.83± 0.13	3.878	<0.001
PI	4.18± 2.48	3.15± 2.09	2.409	0.012
UA				
PSV (cm/s)	58.03±15.18	63.59±14.85	-2.179	0.031
EDV (cm/s)	7.32± 7.10	14.45± 9.20	-5.023	<0.001
RI	0.89± 0.11	0.79± 0.16	4.098	0.001
PI	3.91± 2.40	2.67± 2.16	2.946	0.003
RPPDA				
PSV (cm/s)	19.09±13.26	32.25±23.68	-4.186	0.001
EDV (cm/s)	5.44± 4.57	12.93±11.54	-5.449	<0.001
RI	0.72± 0.13	0.62± 0.11	4.569	<0.001
PI	1.63± 1.08	1.11± 0.39	3.183	0.002
UPPDA				
PSV (cm/s)	22.18±14.06	37.10±23.71	-4.631	<0.001
EDV (cm/s)	6.18± 4.95	13.45± 9.68	-5.844	<0.001
RI	0.73± 0.12	0.64± 0.10	4.072	<0.001
PI	1.65± 1.01	1.17± 0.42	3.084	0.002

表 3 两组对象中有糖尿病者血流动力学参数比较($\bar{x}\pm s$)

参数	PSCI 组($n=62$)	对照组($n=30$)	t 值	P 值
BA				
PSV(cm/s)	79.58±22.82	88.83±15.53	-2.005	0.025
EDV(cm/s)	3.35± 4.47	7.31± 7.77	-3.095	0.014
RI	0.96± 0.06	0.92± 0.09	2.644	0.025
PI	4.32± 1.30	3.85± 1.64	1.493	0.139
RA				
PSV(cm/s)	59.74±15.92	62.46±16.48	-0.76	0.456
EDV(cm/s)	6.76± 6.18	10.37± 8.90	-2.263	0.052
RI	0.89± 0.11	0.84± 0.13	1.847	0.068
PI	3.79± 2.27	3.16± 1.84	1.322	0.160

续表 3

参数	PSCI 组($n=62$)	对照组($n=30$)	t 值	P 值
UA				
PSV(cm/s)	57.76±14.92	65.01±10.57	-2.385	0.009
EDV(cm/s)	7.67± 6.85	12.78± 9.59	-2.936	0.012
RI	0.87± 0.10	0.83± 0.17	1.679	0.157
PI	3.60± 2.17	2.90± 1.97	1.49	0.128
RPPDA				
PSV(cm/s)	21.25±13.65	27.40±20.75	-1.699	0.147
EDV(cm/s)	5.91± 4.45	10.90± 8.98	-3.289	0.012
RI	0.72± 0.13	0.63± 0.11	3.015	0.002
PI	1.65± 1.09	1.18± 0.38	2.332	0.003
UPPDA				
PSV(cm/s)	23.17±13.95	34.74±24.99	-2.85	0.023
EDV(cm/s)	6.35± 4.82	12.08±10.59	-3.574	0.008
RI	0.73± 0.14	0.67± 0.11	1.996	0.035
PI	1.67± 1.03	1.27± 0.45	2.015	0.012

表 4 两组对象血流动力学参数比较($\bar{x}\pm s$)

参数	PSCI 组($n=132$)	对照组($n=112$)	t 值	P 值
BA				
PSV(cm/s)	78.78±21.69	81.03±17.91	-0.875	0.383
EDV(cm/s)	4.26± 5.98	8.61± 8.19	-4.784	<0.001
RI	0.95± 0.09	0.89± 0.10	4.182	<0.001
PI	4.24± 1.56	3.68± 1.91	2.518	0.012
RA				
PSV(cm/s)	56.81±15.67	58.61±15.14	-0.908	0.365
EDV(cm/s)	7.03± 6.08	11.22± 8.82	-4.372	<0.001
RI	0.88± 0.11	0.82± 0.13	3.639	<0.001
PI	3.69± 2.36	3.08± 2.13	2.096	0.037
UA				
PSV(cm/s)	56.74±14.84	60.05±14.05	-1.775	0.077
EDV(cm/s)	8.43± 6.90	12.06± 9.01	-3.558	0.001
RI	0.86± 0.11	0.81± 0.15	2.954	0.040
PI	3.46± 2.29	2.89± 2.14	2.002	0.046
UPPDA				
PSV(cm/s)	22.87±13.15	29.96±24.49	-3.031	0.002
EDV(cm/s)	6.53± 4.88	10.37± 8.30	-4.701	<0.001
RI	0.72± 0.13	0.66± 0.10	5.454	<0.001
PI	1.61± 0.99	1.22± 0.42	4.048	<0.001
RPPDA				
PSV(cm/s)	19.67±12.78	25.08±18.65	-3.26	0.003
EDV(cm/s)	5.81± 4.59	9.90± 8.55	-4.474	<0.001
RI	0.71± 0.12	0.63± 0.11	4.091	<0.001
PI	1.55± 0.99	1.15± 0.39	3.882	<0.001

2.3 两组对象指端微小血管分布等级比较

参照超微血流显像视觉评分[4]将指端微小血管分布情况分为Ⅳ级。Ⅰ级：无血流信号或零星点状血流；Ⅱ级：短棒状血流信号、无吻合支；Ⅲ级：短棒状 + 吻合支/1-3 条条状血流；Ⅳ级：条状血流 > 3 条，吻合支丰富。两组间指端微小血管分布等级及指端微血管分布密度的灰度值均存在统计学差异($P<0.05$)。见表 5 及图 1。

表 5　两组指端微小血管分布比较[n(%),$\bar{x} \pm s$]

参数分级	PSCI 组(n=132)	对照组(n=112)	Z/t 值	P 值
AP			4.812	<0.001
Ⅰ	10(7.6)	0(0.0)		
Ⅱ	26(19.7)	2(1.8)		
Ⅲ	61(46.2)	59(52.7)		
Ⅳ	35(26.5)	51(45.5)		
Image J			5.173	<0.001
Ⅰ	15(11.4)	0(0.0)		
Ⅱ	36(27.3)	10(8.9)		
Ⅲ	55(41.7)	60(53.6)		
Ⅳ	26(19.7)	42(37.5)		
Gray	172.50±39.43	142.77 ±30.05	6.532	<0.001

AP 为 Angio PLUS 模式指端微小血管分级;Image J 为 Image J 处理后指端微小血管分级;Gray 为指端微小血管密度分布的灰度值。

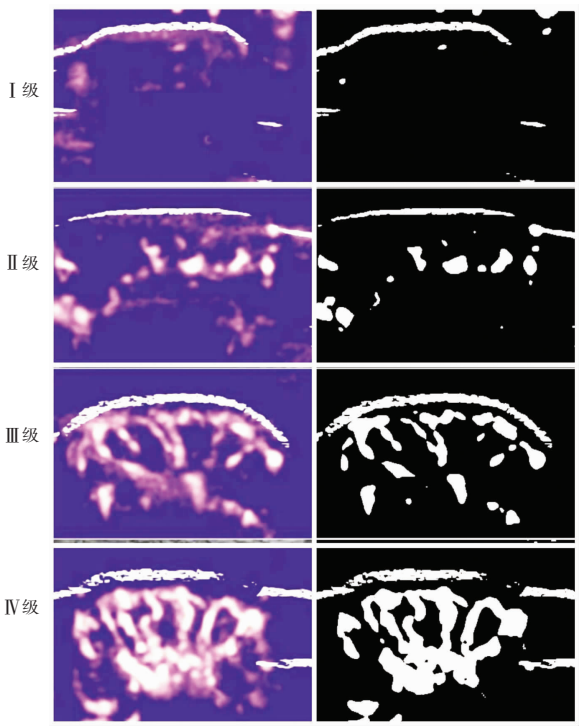


图 1　Angio PLUS 及用 Image J 处理后指端微小血管分布对比

A. Angio PLUS 采集的图片;B. Image J 处理后的图片。

2.4　相关性分析

Spearman 相关性分析结果发现,MMSE 与 RPPDA. PI、UPPDA. PI、Gray 值负相关(P<0.05),与指端微小血管分布等级正相关(P<0.05)。见表 6。

表 6　指掌侧固有动脉及指端微血管分布与 MMSE 的相关性分析

参数	rs 值	P 值
RPPDA. PI	-0.275	<0.001
UPPDA. PI	-0.276	<0.001
Gray	-0.315	<0.001
AP	0.260	<0.001

RPPDA. PI 为中指桡侧指掌固有动脉的搏动指数;UPPDA. PI 为中指尺侧指掌固有动脉的搏动指数;Gray 为指端微小血管分布密度灰度值;AP 为 Angio PLUS 模式指端微小血管分级。

3　讨论

PSCI 是卒中患者最常见的并发症及后遗症,其发病率为 24% ~53.4%[5],严重影响患者的生存质量及生存时间,显著增加了家庭和社会的疾病负担[6]。动脉粥样硬化(atherosclerosis,AS)是一种影响全身血管床的多因素炎症疾病,是 PSCI 的独立危险因素[7],颅内动脉负荷与颅外动脉的 AS 相关[8]。文献[9]报道,颈动脉粥样硬化、视网膜中央动脉硬化和认知障碍风险增加之间有独立的相关性,上肢动脉及指端微小血管为人体循环系统窗口血管。近年来研发的 Angio PLUS 成像技术是定性、定量分析微血流的成像技术。本研究采用 Angio PLUS 为主要技术定性、定量分析 PSCI 患者从肱动脉至指端微小血管水平血流动力学特征。结果显示,从肱动脉至指端微小动脉延伸过程中,部分血流动力学参数和指端血流灌注较对照组有较大的差异。

PI 和 RI 被认定为衡量远端血流阻力和血管壁硬度的指标[10-11]。本研究显示,PSCI 组 BA、RA、UA、UPPDA、RPPDA 的 RI 及 PI 高于对照组。提示上述血管阻力增加,表明 PSCI 组患者从肱动脉至指端微小动脉出现管壁硬化改变。本研究 PSCI 组高血压、糖尿病患者比例高于对照组。既往研究[12-14]证明,高血压、糖尿病是 AS 和 PSCI 的独立危险因素。此外,高血压、糖尿病本身是造成脑卒中的常见病因,它们的存在增加了 PSCI 的发生风险[15]。在高血压、糖尿病患者中,PSCI 组与对照组之间上肢动脉及中指掌侧固有动脉的血流动力学参数存在明显的差异。该结果表明,在高血压、糖尿病患者中,PSCI 组的动脉损害程度更为严重,PSCI 加重了外周动脉的损害。高血压、糖尿病及 PSCI 三者间对血管的损害可能存在相互促进的作用,有待扩大样本量进行进一步的分层研究。

脑组织灌注不足与认知障碍的发生有关[16]。目前研究[9,17]报道,脑组织灌注不足的可能性机制:(1)AS 早期大动脉对正常搏动性血流的反应降低,末梢组织呈现持续性灌注,导致末梢组织流量负荷增加,血管壁受损,随着 AS 的进展,微循环受损,导致末梢组织灌注减低;(2)血管炎导致脑血管神经调节失常、血管收缩,脑组织灌注降低,进而导致认知功能下降[18]。手指微循环作为全身微循环的末稍,是观测人体微循环的重要窗口,一定程度上能够反映全身的微循环状态[19]。本研究发现,PSCI 组指端微小血管分布呈断续状、星点状,吻合支减少,Gray 值增加,指端微血管密度明显减少,这表明 PSCI 组指端微血管有效血管床减少,微循环出现障

碍。相关性分析发现,MMSE 与中指掌侧固有动脉的搏动指数、指端微小血管 Gray 值负相关,与指端微小血管分布等级正相关。本研究从微循环的层面进一步证实指端微循环状态在一定程度上反应了 PSCI 患者的认知功能情况。由于本研究样本量较小,仅纳入了轻中度认知障碍患者数据进行分析,在后续的实验中,需扩大样本量进行深入的分层研究。

综上,高频超声联合 Angio PLUS 技术可以定性、定量检测 PSCI 患者从肱动脉至指端水平动脉血流动力学变化及指端血流灌注情况,指端微循环状态能一定程度反映 PSCI 患者的认知功能。

参考文献

[1] 王拥军,李子孝,谷鸿秋,等. 中国卒中报告 2020(中文版)(1)[J]. 中国卒中杂志,2022,17(5):433 - 447.

[2] 汪凯,董强. 卒中后认知障碍管理专家共识 2021[J]. 中国卒中杂志,2021,16(4):376 - 389.

[3] Liu H, Liao Q, Wang Y, *et al*. A new tool for diagnosing parathyroid lesions: angio plus ultrasound imaging[J]. Journal of Thoracic Disease, 2019, 11(11): 4829 - 4834.

[4] Chen X, Wang H, Jiang Y, *et al*. Neovascularization in carotid atherosclerotic plaques can be effectively evaluated by superb microvascular imaging (SMI): initial experience[J]. Vascular Medicine, 2020, 25(4): 328 - 333.

[5] Ding MY, Xu Y, Wang YZ, *et al*. Predictors of cognitive impairment after stroke: a prospective stroke cohort study[J]. Journal of Alzheimer's Disease, 2019, 71(4): 1139 - 1151.

[6] Rohde D, Gaynor E, Large M, *et al*. The impact of cognitive impairment on poststroke outcomes: a 5-year follow-up[J]. Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology, 2019, 32(5): 275 - 281.

[7] Vibha D, Prasad K, Dwivedi SN, *et al*. Carotid intima-media thickness (cIMT) and cognitive performance: a population-based cross-sectional study from North India[J]. Alzheimer Disease and Associated Disorders, 2023, 37(1): 35 - 41.

[8] Ihle-Hansen H, Ihle-Hansen H, Sandset EC, *et al*. Subclinical carotid artery atherosclerosis and cognitive function: a mini-review[J]. Frontiers in Neurology, 2021, 12: 705043.

[9] Baradaran H, Gupta A. Carotid artery stiffness: imaging techniques and impact on cerebrovascular disease[J]. Frontiers in Cardiovascular Medicine, 2022, 9: 852173.

[10] Rodríguez I, Lema I, Blanco M, *et al*. Vascular retinal, neuroimaging and ultrasonographic markers of lacunar infarcts[J]. International Journal of Stroke, 2010, 5(5): 360 - 366.

[11] Rasool DA, Ismail HJ, Yaba SP. Fully automatic carotid arterial stiffness assessment from ultrasound videos based on machine learning[J]. Physical and Engineering Sciences in Medicine, 2023, 46(1): 151 - 164.

[12] 柳君楠,张宏亮,林欣,等. 高血压致认知功能障碍机制进展[J]. 安徽医药,2023,27(6):1065 - 1068.

[13] Zhou R, Wei S, Wang Y, *et al*. Pulse pressure is associated with rapid cognitive decline over 4 years: a population-based cohort study[J]. Brain Sciences, 2022, 12(12): 1691.

[14] Viticchi G, Falsetti L, Potente E, *et al*. Impact of carotid stenosis on cerebral hemodynamic failure and cognitive impairment progression: a narrative review[J]. Annals of Translational Medicine, 2021, 9(14): 1209.

[15] 赵万年,焦胜先,焦倩,等. 中国人群卒中后认知障碍发生危险因素的 Meta 分析[J]. 疑难病杂志,2023,22(1):82 - 89.

[16] Anbar R, Sultan SR, Al Saikhan L, *et al*. Is carotid artery atherosclerosis associated with poor cognitive function assessed using the Mini-Mental State Examination? A systematic review and meta-analysis[J]. BMJ Open, 2022, 12(4): e055131.

[17] Bailey TG, Klein T, Meneses AL, *et al*. Cerebrovascular function and its association with systemic artery function and stiffness in older adults with and without mild cognitive impairment[J]. European Journal of Applied Physiology, 2022, 122(8): 1843 - 1856.

[18] Huang P, He XY, Xu M. Effects of carotid artery stent and carotid endarterectomy on cognitive function in patients with carotid stenosis[J]. BioMed Research International, 2020, 2020: 6634537.

[19] 杨芳,岳文胜,黄多,等. 超声评价缺乏心血管疾病临床表现的类风湿关节炎患者指端微循环改变[J]. 中华医学超声杂志(电子版),2018,15(9):686 - 691.

(收稿日期:2024 - 04 - 13 修回日期:2024 - 06 - 15)