

论著·临床研究

不同超声弹性技术评价慢性肾病患者早期动脉硬化的应用研究^{*}詹锦勇¹, 王 珏², 贲志飞^{2△}

(1. 宁波大学医学部, 浙江 宁波 315000; 2. 宁波市第二医院超声科, 浙江 宁波 315010)

[摘要] **目的** 探讨实时剪切波弹性成像(SWE)和超极速脉搏波传导速度(ufPWV)技术评价慢性肾病(CKD)患者早期动脉硬化的应用价值。**方法** 选取2019年8月至2022年8月浙江省宁波市第二医院收治的确诊CKD患者135例作为病例组,同期选取肾功能正常的健康人群50例作为对照组,按年龄将病例组和对照组各分为3组(<45岁、45~60岁、>60岁),病例组患者按肾小球滤过率分期分为G1期组、G2期组、G3a期组和G3b期组。应用SWE技术测量各组研究对象颈总动脉前壁平均弹性杨氏模量值(a-MEmean)和后壁平均弹性杨氏模量值(p-MEmean),应用ufPWV技术测量各组研究对象颈总动脉收缩期开始时脉搏波速度(PWV-BS)和收缩期结束时脉搏波速度(PWV-ES),分别得到颈总动脉管壁纵向及环向血管壁硬度。**结果** 病例组患者颈总动脉管壁a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES均明显大于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。CKD患者颈总动脉管壁a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES均与年龄呈正相关($r=0.352, 0.390, 0.236, 0.218, P<0.05$),均与肾小球滤过率呈负相关($r=-0.517, -0.585, -0.515, -0.430, P<0.05$)。**结论** SWE和ufPWV技术均可准确评价CKD患者颈总动脉血管壁早期纵向及环向硬度改变,可为临床诊疗提供有价值的信息。

[关键词] 慢性病; 肾病; 动脉硬化; 剪切波弹性成像; 超极速脉搏波传导速度

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.04.012 中图法分类号:R692;R445.1

文章编号:1009-5519(2024)04-0600-05

文献标识码:A

Application of different ultrasonic elastography in evaluating early atherosclerosis in patients with chronic kidney disease^{*}

ZHAN Jinyong¹, WANG Jue², BEN Zhifei^{2△}

(1. Ningbo University Health Science Center, Ningbo, Zhejiang 315000, China;

2. Department of Ultrasound, Ningbo No. 2 Hospital, Ningbo, Zhejiang 315010, China)

[Abstract] **Objective** To explore the application value of real-time shear wave elastography(SWE) and ultrafast pulse wave velocity(ufPWV) in evaluating early atherosclerosis in patients with chronic kidney disease(CKD). **Methods** A total of 135 patients with CKD diagnosed in Ningbo Second Hospital from August 2019 to August 2022 were selected as the case group, and 50 healthy people with normal renal function were selected as the control group. The case group and the control group were divided into three groups according to age(<45 years old, 45—60 years old, >60 years old). The patients in the case group were divided into G1 stage group, G2 stage group, G3a stage group, and G3b stage group according to the glomerular filtration rate. The mean elastic Young's modulus(a-MEmean) of the anterior wall and the mean elastic Young's modulus(p-MEmean) of the posterior wall of the common carotid artery were measured by SWE technique. The pulse wave velocity(PWV-BS) at the beginning of the systolic period and the pulse wave velocity(PWV-ES) at the end of the systolic period of the common carotid artery were measured by ufPWV technique. **Results** The a-MEmean, p-MEmean, PWV-BS and PWV-ES of the common carotid artery wall in the case group were significantly higher than those in the control group, and the differences were statistically significant($P<0.05$). The a-MEmean, p-MEmean, PWV-BS and PWV-ES of carotid artery wall in CKD were positively correlated with age($r=0.352, 0.390, 0.236, 0.218, P<0.05$), and negatively correlated with glomerular filtration rate($r=-0.517, -0.585, -0.515, -0.430, P<0.05$). **Conclusion** Both SWE and ufPWV can accurately evalu-

^{*} 基金项目:浙江省宁波市科学技术局科技计划项目(202003N4225);浙江省医药卫生科技计划项目(2023KY1089)。

作者简介:詹锦勇(1990—),本科,主治医师,主要从事血管超声及浅表超声的研究。 △ 通信作者, E-mail:595213599@qq.com。

ate the early longitudinal and circumferential stiffness changes of carotid artery vessel wall in CKD patients, which can provide valuable information for clinical diagnosis and treatment.

[Key words] Chronic disease; Nephropathy; Arteriosclerosis; Shear wave elastography; Ultrafast pulse wave velocity

慢性肾病(CKD)患者具有较高的发生心脑血管事件的风险,这种风险在CKD的早期就已开始,且随肾功能下降而显著增加^[1]。心脑血管事件的发病基础是动脉硬化,在动脉硬化早期就会出现颈动脉管壁僵硬度的增加,并且这种改变早于颈动脉内中膜厚度(cIMT)的增加及动脉粥样硬化斑块的形成^[2]。因此,早期预测CKD患者颈动脉管壁僵硬,同时进行及时的干预与治疗,对预防CKD患者心脑血管事件的发生具有积极意义。

动脉血管弹性主要包括环向和纵向2个方向的弹性模量^[3],超极速脉搏波传导速度(uFPWV)技术可评估动脉环向弹性模量的变化,实时剪切波弹性成像(SWE)技术可评估动脉纵向弹性模量的变化。本研究应用uFPWV和SWE技术对CKD患者颈动脉环向及纵向弹性模量进行了定量分析,探讨了不同分期CKD患者颈动脉僵硬变化,以及2种方法在评估CKD患者早期动脉硬化中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 一般资料 选取2019年8月至2022年8月浙江省宁波市第二医院肾内科收治的CKD患者135例作为病例组,其中男68例,女67例;平均年龄(57.16±13.97)岁,<45岁25例,45~60岁55例,>60岁55例;改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)2012年CKD评估与管理临床实践指南推荐的肾小球滤过率(GFR)分期:G1期40例(G1期组),G2期38例(G2期组),G3a期35例(G3a期组),G3b期22例(G3b期组)。同期选取50例肾功能正常者作为对照组,其中男21例,女29例;平均年龄(54.80±11.29)岁。患者对本研究知情且同意参与。本研究获医院伦理委员会审批。

1.1.2 排除标准 (1)存在原发性高血压、高血脂、糖尿病、冠心病或严重内分泌疾病患者;(2)无法将血糖、血压、血脂控制在正常水平者;(3)已形成颈动脉管壁斑块者;(4)颈动脉走行迂曲或颈部粗短影响颈部扫查者;(5)G4、G5期CKD患者。

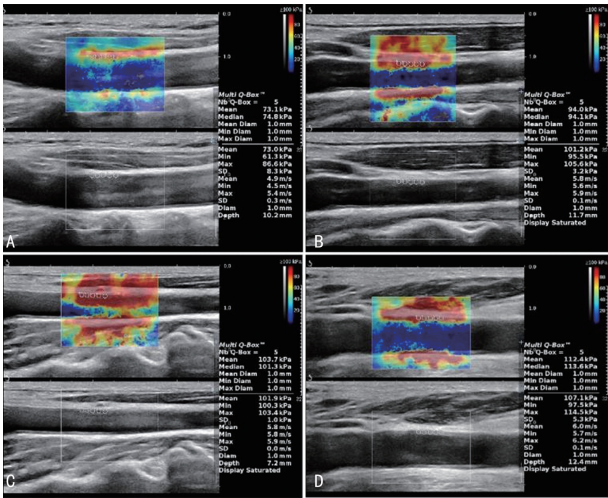
1.1.3 仪器 法国 Supersonic Imagine 公司生产的 Aix-plorer V 型彩色多普勒超声诊断仪,选用 L15-4 线阵探头,探头频率为 4~15 MHz。

1.2 方法

1.2.1 灰阶超声检查 受检者静息平躺于诊疗床,头居中后仰充分暴露颈部。置探头与颈总动脉的长

轴尽量平行,调节仪器直至得到满意图像,在颈总动脉分叉处下缘 1.0~1.5 cm 处测颈总动脉 cIMT。

1.2.2 SWE 检查 探头轻置于受检者颈部皮肤表面,显示颈总动脉管腔最大切面,将图像放大至 200%,清晰显示颈总动脉内中膜。启动 SWE 模式,取样框置于颈总动脉分叉处下缘 3 cm 处,嘱受检者屏住呼吸,待取样框内颜色均匀分布后冻结图形,将 Q-BOX 设置为直径 1 mm 的圆形区域,放置于颈总动脉前壁 5 个不同区域,系统自动测算出颈总动脉前壁平均弹性杨氏模量值(a-ME_{mean})。见图 1。重复上述步骤将感兴趣区置于颈总动脉后壁,系统自动测算出颈总动脉后壁平均弹性杨氏模量值(p-ME_{mean})。见图 2。a-ME_{mean}和 p-ME_{mean}代表颈总动脉纵向血管壁硬度。



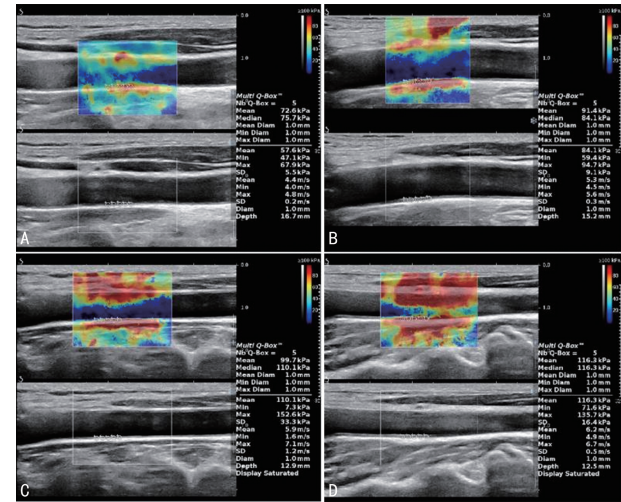
注:A.G1期CKD患者a-ME_{mean}(73.1 kPa);B.G2期CKD患者a-ME_{mean}(94.0 kPa);C.G3a期CKD患者a-ME_{mean}(103.7 kPa);D.G3b期CKD患者a-ME_{mean}(112.4 kPa)。

图1 不同分期CKD患者颈总动脉前壁纵向弹性模量值

1.2.3 uFPWV 检查 探头轻施压于受检者颈部皮肤表面,清晰显示颈总动脉管腔最大切面。启动 uFPWV 模式,嘱患者屏住呼吸,将取样框移动并包络颈总动脉血管壁,待图像稳定后点击 PWV 键,系统自动描迹并运算出颈总动脉收缩期开始时脉搏波速度(PWV-BS)、收缩期结束时脉搏波速度(PWV-ES)及相对应的标准差(Δ±),以 Δ±≤20% 时的测量为有效测量。按此方法重复测量 3 次取其平均值,得出颈总动脉的环向血管壁硬度。见图 3。

1.3 统计学处理 应用 SPSS26.0 统计软件进行数据分析,符合正态分布计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对 *t* 检验和单因素方差分析;采用 Pearson 相关分析法

分析血管壁弹性模量值与年龄及 GFR 的相关性。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。



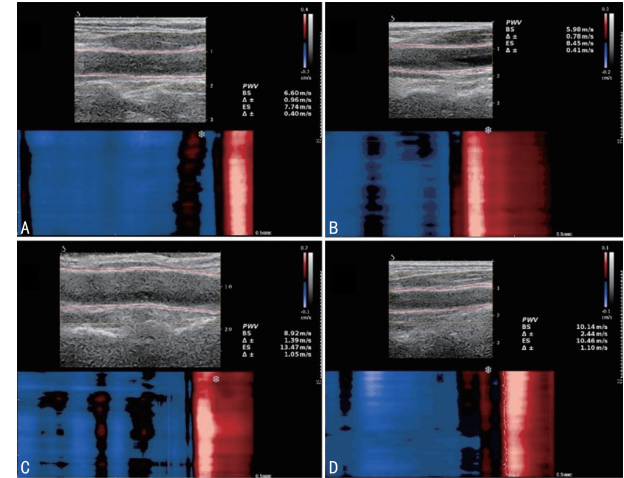
注:A. G1 期 CKD 患者 p-MEmean(72.6 kPa);B. G2 期 CKD 患者 p-MEmean(91.4 kPa);C. G3a 期 CKD 患者 p-MEmean(99.7 kPa);D. G3b 期 CKD 患者 p-MEmean(116.3 kPa)。

图 2 不同分期 CKD 患者颈总动脉后壁纵向弹性模量值

2 结 果

2.1 a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES 检查情况 同一患者左右两侧及不同性别 CKD 患者颈总动脉管壁 a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES 比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。病例组患者 cIMT 与对照组比较,差异无统计学意义($P>0.05$);病例组患者颈总动脉管壁 a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES 与对照组比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。各年龄段、各分期病例组患者颈总动脉管壁 a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES 与对照组比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。见表 2、3。

2.2 相关性分析 CKD 患者颈总动脉管壁 a-MEmean、p-MEmean、PWV-BS、PWV-ES 均与年龄呈正相关($r=0.352、0.390、0.236、0.218,P<0.05$),均与 GFR 呈负相关($r=-0.517、-0.585、-0.515、-0.430,P<0.05$)。见图 4、5。



注:A. G1 期 CKD 患者 PWV-BS(6.60 m/s)和 PWV-ES(7.74 m/s);B. G2 期 CKD 患者 PWV-BS(5.98 m/s)和 PWV-ES(8.45 m/s);C. G3a 期 CKD 患者 PWV-BS(8.92 m/s)和 PWV-ES(13.47 m/s);D. G3b 期 CKD 患者 PWV-BS(10.14 m/s)和 PWV-ES(10.46 m/s)。

图 3 不同分期 CKD 患者颈总动脉环向弹性值

表 1 病例组与对照组研究对象 cIMT 及各弹性参数比较($\bar{x}\pm s$)

项目	对照组($n=50$)	病例组($n=135$)	t	P
cIMT(mm)	0.97±0.23	1.02±0.27	-0.966	0.335
PWV-BS(m/s)	4.74±0.94	6.86±2.20	-6.562	<0.001
PWV-ES(m/s)	5.71±1.48	8.29±2.58	-6.684	<0.001
a-MEmean(kPa)	53.71±13.29	72.39±20.59	-5.968	<0.001
p-MEmean(kPa)	51.21±12.45	68.68±20.55	-5.633	<0.001

表 2 各年龄段病例组与对照组研究对象颈总动脉纵向及环向弹性值比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	a-MEmean(kPa)	p-MEmean(kPa)	PWV-BS(m/s)	PWV-ES(m/s)
对照组	50	53.71±13.29	51.21±12.45	4.75±0.94	5.71±1.48
<45 岁	15	42.17±8.78	39.60±9.74	4.34±0.69	4.81±0.94
45~60 岁	16	50.28±9.39	50.51±8.92	4.65±0.74	5.85±1.35
>60 岁	19	65.71±8.62	60.97±8.29	5.16±1.11	6.29±1.65
病例组	135	72.39±20.59 ^a	68.68±20.55 ^a	6.86±2.20 ^a	8.29±2.58 ^a
<45 岁	25	64.16±13.76 ^a	59.34±18.02 ^a	5.87±1.85 ^a	7.69±2.37 ^a
45~60 岁	55	67.05±14.44 ^a	64.29±18.36 ^a	7.01±2.08 ^a	8.05±2.55 ^a
>60 岁	55	81.48±24.79 ^a	77.32±20.75 ^a	7.17±2.37 ^a	8.80±2.65 ^a

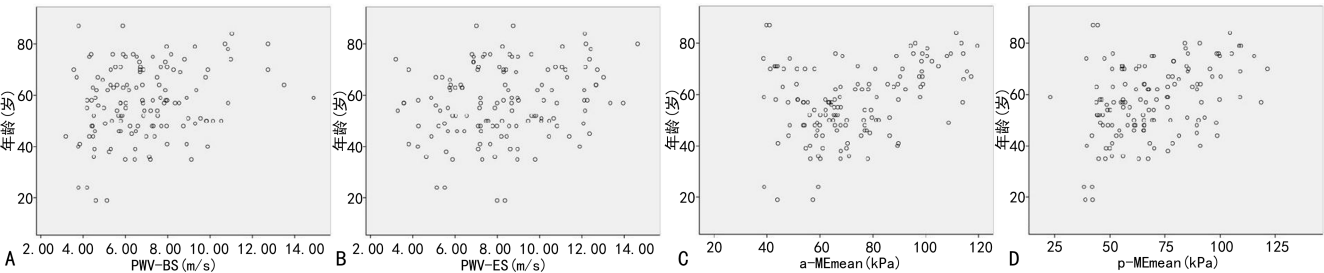
注:与对照组同年龄段比较,^a $P<0.05$ 。

表 3 对照组及不同分期 CKD 患者颈总动脉环向及纵向弹性值比较($\bar{x}\pm s$)

弹性指标	对照组($n=50$)	G1 期组($n=40$)	G2 期组($n=38$)	G3a 期组($n=35$)	G3b 期组($n=22$)	F	P
PWV-BS(m/s)	4.74±0.94	5.57±1.51	6.04±1.47	7.79±2.13	9.16±2.04	39.834	<0.001
PWV-ES(m/s)	5.71±1.48	6.99±2.59	7.55±2.02	9.28±2.11	10.36±2.29	26.501	<0.001

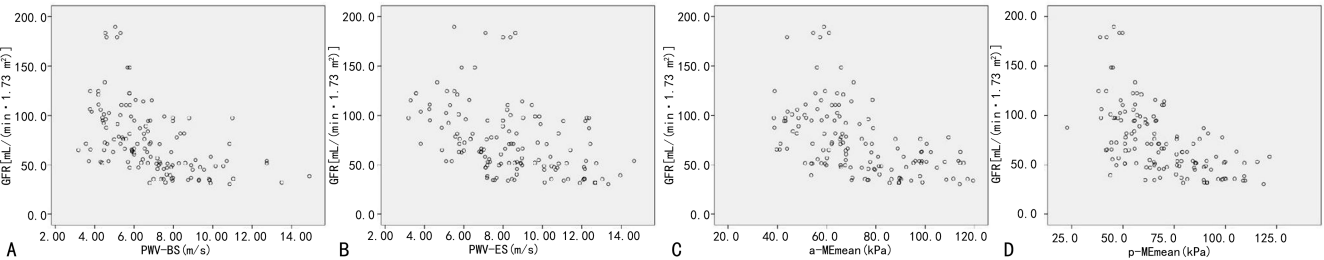
续表 3 对照组及不同分期 CKD 患者颈总动脉环向及纵向弹性值比较($\bar{x} \pm s$)

弹性指标	对照组($n=50$)	G1 期组($n=40$)	G2 期组($n=38$)	G3a 期组($n=35$)	G3b 期组($n=22$)	F	P
a-ME _{mean} (kPa)	53.71±13.29	57.46±10.28	69.84±20.45	80.97±19.16	90.30±16.79	30.421	<0.001
p-ME _{mean} (kPa)	51.21±12.45	53.12±9.29	65.11±17.53	77.57±18.34	89.02±18.34	35.403	<0.001



注:A. PWV-BS 与年龄相关性散点图;B. PWV-ES 与年龄相关性散点图;C. a-ME_{mean} 与年龄相关性散点图;D. p-ME_{mean} 与年龄相关性散点图。

图 4 CKD 患者颈总动脉环向、纵向弹性值与年龄的相关性



注:A. PWV-BS 与 GFR 相关性散点图;B. PWV-ES 与 GFR 相关性散点图;C. a-ME_{mean} 与 GFR 相关性散点图;D. p-ME_{mean} 与 GFR 相关性散点图。

图 5 CKD 患者颈总动脉环向、纵向弹性值与 GFR 的相关性

3 讨 论

CKD 患者最主要的死亡原因是并发心脑血管事件,而心脑血管事件的发生主要与动脉硬化等因素引起的血管损伤相关^[3]。CKD 患者的颈动脉管壁会出现 2 种不同的改变,即动脉粥样硬化和动脉硬化。动脉粥样硬化是一种以斑块状分布为主的动脉性疾病,由动脉管壁内膜的脂质沉积导致内中膜增厚,从而进展为动脉粥样硬化斑块形成;而动脉硬化是由动脉管壁的功能异常(即内皮功能障碍)和动脉管壁的结构异常(即动脉管壁内膜的增厚和钙化)所致,2 种改变的形成机制不尽相同而又有部分相似^[4]。CKD 患者动脉管壁的功能性改变往往发生于动脉管壁结构性异常之前。有研究表明,CKD 患者动脉管壁弹性功能的变化与 CKD 患者内环境的异常相关^[5]。简单地说,CKD 患者尿毒素环境,如促炎性细胞因子水平升高、氧化应激反应、酸中毒持续的低级别炎症状态等一系列因素会对血管内皮产生直接或间接的损伤,从而引起动脉血管平滑肌细胞的损伤、动脉管壁的钙化、动脉管壁内胶原蛋白含量增加、弹性纤维数量减少等一系列变化,从而引起或加速动脉硬化的发生与发展^[6]。提早对 CKD 患者动脉硬化程度及其相关危险因素进行有效控制可缓解 CKD 患者病情,控制心脑血管事件的发生,降低其死亡率。

颈动脉硬化是外周血管动脉硬化中引起严重后果的直接原因,颈动脉硬化在一定程度上也能代表全身动脉硬化的情况,一般将颈动脉作为评估全身动脉硬化程度的指标^[7-9]。监测全身动脉硬化最简便、常用的手段为超声检查,而传统评价动脉硬化的方法主要是检测颈动脉 cIMT 与斑块大小,但本研究结果显示,病例组患者 cIMT 与对照组比较,差异无统计学意义($P>0.05$),而 2 组研究对象颈总动脉环向弹性模量(PWV-BS、PWV-ES)及纵向弹性模量(a-ME_{mean}、p-ME_{mean})比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。说明传统评价动脉硬化指标 cIMT 及斑块对评价早期动脉硬化具有局限性,在血管发生形态学改变之前难以量化血管弹性功能的改变,与以往相关文献报道一致^[10-11]。

SWE 是一种新兴的技术,可通过计算弹性模量直接量化局部动脉壁硬度^[12]。在超声成像中超声辐射力在动脉管壁上诱导产生宽频带剪切波(100~1 500 Hz),以高帧率跟踪、获取剪切波传播并成像。根据弹性模量方程($E=3\rho c^2$, E 表示组织弹性, ρ 表示介质密度,单位为 kg/m^3 , c 为剪切波传播速度,单位为 m/s),可得出剪切波传播速度与动脉管壁弹性直接相关^[13-14]。即动脉壁越硬弹性模量越高,剪切波传播速度越高。因此,SWE 能估计动脉管壁的纵向弹性模

量,从而在时间和空间上准确描述动脉管壁的黏弹性特征,并可以通过计算弹性模量展示动脉管壁硬度的精细表征^[15]。

ufPWV 是一种新兴的精确测量颈动脉 PWV 的技术,进而有效地评估颈动脉环向的弹性功能,其最大的特点为无创、实时测量、简单和高精度^[16]。ufPWV 的原理主要是采用超极速成像技术确定 PWV 值,帧率约为 2 000 帧/秒,能准确显示和记录 2 s 内动脉管壁的运动过程,利用组织多普勒成像算法获取和记录动脉壁的微运动速度和方向^[17]。有研究表明,PWV 与动脉管壁的环向硬度呈正相关,根据测量的 PWV,可评价动脉管壁环向的弹性程度,反映动脉管壁的僵硬度,即 PWV 越大动脉管壁的僵硬度越大^[2]。

本研究对 CKD 患者颈总动脉血管壁环向及纵向硬度进行分析发现,CKD 患者颈总动脉血管壁硬度与 GFR 相关。随着 GFR 下降,CKD 患者颈总动脉纵向弹性模量值(a-ME_{mean}、p-ME_{mean})及环向弹性模量值(PWV-BS、PWV-ES)均增大,说明随着肾脏损伤程度的增加,血管内毒素的积聚引起独特的血流动力学和代谢机制的改变,诱发和加速动脉硬化的产生与发展。本研究结果显示,GFR 与颈总动脉管壁 a-ME_{mean}、p-ME_{mean}、PWV-BS、PWV-ES 呈负相关($r=-0.517$ 、 -0.585 、 -0.515 、 -0.430),说明由于血管壁的各向异性,CKD 患者引起的颈总动脉管壁在环向及纵向硬度的改变不尽相同,尤以在血管壁纵向上硬度的增加较为明显。在 CKD 患者颈总动脉管壁纵向硬度中前壁与后壁硬度也有差异,颈总动脉前壁硬度大于后壁,可能是由于颈总动脉前壁和颈总动脉后壁的解剖位置不同,前壁位于颈静脉下方,附着在静脉壁上,但与周围其他组织分离得很好,可非常自由地移动,而后壁直接与下面的肌肉组织相连,这种结合会影响血管壁的移动和硬度,这种影响对前壁可能相当有限,但对后壁较为显著。

本研究还发现,病例组患者颈总动脉管壁 a-ME_{mean}、p-ME_{mean}、PWV-BS、PWV-ES 均与年龄呈正相关($r=0.352$ 、 0.390 、 0.236 、 0.218),说明年龄也是 CKD 患者动脉硬化的一个独立危险因素。与以往动脉硬化的主要危险因素的研究结果一致^[18],主要是由于随着年龄增加,血管壁弹力蛋白降解,胶原蛋白堆积,血管扩张能力降低,血管壁硬度增加,导致剪切波及脉搏波在颈总动脉血管内的传播速度加快,最终表现为血管壁纵向及环向的硬度均增高。

本研究也存在一定的局限性,由于部分中晚期 CKD 患者常继发肾性高血压及肾性糖尿病或已出现动脉粥样硬化斑块,使中晚期 CKD 入组患者数较少,后期将增加病例数进一步验证本研究结果。

综上所述,CKD 患者在颈总动脉出现结构性改变之前就可发生功能性改变,SWE 和 ufPWV 技术可评价颈总动脉血管壁的纵向及环向硬度,为临床早期预防及干预 CKD 患者动脉硬化提供了更准确的依据。

参考文献

[1] KOUSIOS A,KOUI S P,HADJIVASILIS A,et al. Cardiovascular risk assessment using ultrasonographic surrogate markers of atherosclerosis and arterial stiffness in patients with chronic renal impairment: A narrative review of the evidence and a critical view of their utility in clinical practice[J]. Can J Kidney Health Dis,2020,7:2054358120954939.

[2] ZHU Z Q,CHEN L S,WANG H,et al. Carotid stiffness and atherosclerotic risk: Non-invasive quantification with ultrafast ultrasound pulse wave velocity[J]. Eur Radiol,2019,29(3):1507-1517.

[3] MARAIS L,PERNOT M,KHETTAB H,et al. Arterial stiffness assessment by shear wave elastography and ultrafast pulse wave imaging: Comparison with reference techniques in normotensives and hypertensives [J]. Ultrasound Med Biol,2019,45(3):758-772.

[4] ZANOLI L C,MIKHAILIDIS D P. Narrative review of carotid disease and the kidney[J]. Ann Transl Med,2021,9(14):1210.

[5] AKCHURIN O M,KASKEL F. Update on inflammation in chronic kidney disease[J]. Blood Purif,2015,39(1/3):84-92.

[6] ZANOLI L C,EMPANA J P,PERIER M C,et al. Increased carotid stiffness and remodelling at early stages of chronic kidney disease[J]. J Hypertens,2019,37(6):1176-1182.

[7] GISTERÅ A,HANSSON G K. The immunology of atherosclerosis [J]. Nat Rev Nephrol,2017,13(6):368-380.

[8] 黄林海,李丽丽,吴劲峰. 右锁骨下动脉与颈总动脉超声在健康体检人群颈部动脉粥样硬化检查中的应用[J]. 中国超声医学杂志,2022,38(7):767-770.

[9] NISHIZAWA H,MAEDA N,SHIMOMURA I. Impact of hyperuricemia on chronic kidney disease and atherosclerotic cardiovascular disease[J]. Hypertens Res,2022,45(4):635-640.

[10] 朱琴,贲志飞,朱学平. 极速脉搏波技术评价慢性肾脏病患者早期动脉硬化的(下转第 609 页)

throsopic treatment for symptomatic discoid meniscus in children; Midterm outcomes and prognostic factors[J]. *Arthroscopy*, 2015, 31(12):2327-2334.

[6] AHN J H, KIM K I, WANG J H, et al. Long-term results of arthroscopic reshaping for symptomatic discoid lateral meniscus in children[J]. *Arthroscopy*, 2015, 31(5):867-873.

[7] BISICCHIA S, BOTTI F, TUDISCO C. Discoid lateral meniscus in children and adolescents: A histological study[J]. *J Exp Orthop*, 2018, 5(1):39.

[8] ATAY O A, PEKMEZCI M, DORAL M N, et al. Discoid meniscus: An ultrastructural study with transmission electron microscopy[J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35(3):475-478.

[9] MOSICH G M, LIEU V, EBRAMZADEH E, et al. Operative treatment of isolated meniscus injuries in adolescent patients: A meta-analysis and review[J]. *Sports Health*, 2018, 10(4):311-316.

[10] SHIEH A, BASTROM T, ROOCROFT J, et al. Meniscus tear patterns in relation to skeletal immaturity: Children versus adolescents[J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(12):2779-2783.

[11] OKAZAKI K, MIURA H, MATSUDA S, et al. Arthroscopic resection of the discoid lateral meniscus: Long-term follow-up for 16 years[J]. *Arthroscopy*, 2006, 22(9):967-971.

[12] KOCHER M S, LOGAN C A, KRAMER D E. Discoid lateral meniscus in children: Diagnosis, management, and outcomes[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2017, 25(11):736-743.

[13] SABBAG O D, HEVESI M, SANDERS T L, et al. High rate of recurrent meniscal tear and lateral compartment osteoarthritis in patients treated for symptomatic lateral discoid meniscus: A population-based study[J]. *Orthop J Sports Med*, 2019, 7(7):2325967119856284.

[14] 穆亮, 张志宏, 董恒纲. 关节镜治疗膝关节盘状半月板损伤患者对其膝关节功能及生活质量的影响[J]. *医学信息*, 2022, 35(14):92-94.

[15] 朱慧新, 戴丽群, 黄秀芬, 等. 术后疼痛对膝关节盘状半月板损伤患者膝关节功能、生活质量及心理状态的影响及其危险因素的 logistic 回归分析[J]. *现代生物医学进展*, 2023, 23(8):1487-1492.

(收稿日期:2023-07-15 修回日期:2023-11-01)

(上接第 604 页)

应用价值研究[J]. *现代医药卫生*, 2022, 38(12):1994-1999.

[11] 邹春鹏, 吴笑英, 黄品同, 等. 2 型糖尿病合并高脂血症患者颈动脉内膜-中层厚度与动脉弹性的相关性研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2010, 19(3):212-215.

[12] 罗向红, 张健慧, 邵思惠, 等. 超声剪切波频散成像评估颈动脉黏弹性的初步研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28(9):753-758.

[13] PRUIJSSEN J T, DE KORTE C L, VOSS I, et al. Vascular shear wave elastography in atherosclerotic arteries: A systematic review[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(9):2145-2163.

[14] 王晓曦, 侯慧卿, 刘艳宁, 等. 颈动脉不稳定斑块的影像学评估与组织病理学的对比研究[J]. *中国超声医学杂志*, 2022, 38(12):1337-1340.

[15] WANG Y H, ZHAO C T, MENG P P, et al. Incremental value of carotid elasticity modulus using shear wave elastography for identifying coronary artery disease in patients without carotid plaque[J]. *J Hypertens*, 2021, 39(6):1210-1220.

[16] 刁玉红, 刘志兴, 彭娟, 等. 超声极速成像技术评价烟雾病患者颈动脉血管弹性的临床应用价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2023, 39(1):99-102.

[17] LI Y H, ZHANG J, AN X, et al. Evaluation of carotid artery elastic function using ultrafast pulse wave velocity in patients with rheumatoid arthritis[J]. *Echocardiography*, 2022, 39(4):552-560.

[18] 孙琳, 孙晓枫, 余芬, 等. 极速脉搏波技术在糖尿病前期患者颈动脉弹性功能评估中应用价值[J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32(10):1670-1674.

(收稿日期:2023-05-18 修回日期:2023-10-19)