

◁心脏、血管影像学▷

4D Auto LVQ 及无创心肌做功技术评估鼻咽癌患者
化疗后左心室收缩功能变化的初步研究吕 俏¹, 刘丽华¹, 吴桂花¹, 周长江¹, 游宇光²

(1. 山东第一医科大学附属人民医院超声科, 山东 济南 271100;

2. 赣南医学院第一附属医院超声医学科, 江西 赣州 341000)

[摘要] 目的:应用四维左心室自动定量分析技术(4D Auto LVQ)及无创心肌做功技术监测局部晚期鼻咽癌患者接受诱导化疗后各时间点左心室整体及局部收缩功能的改变,探讨两种技术的应用价值。方法:选取 42 例鼻咽癌患者为研究对象,分别在化疗前基础状态(T0)及化疗第 2 周期(T2)、第 4 周期(T4)结束后进行心脏超声检查。常规测量二维超声心动图参数,应用 4D Auto LVQ 测量四维左心室容积及应变参数,应用无创心肌做功技术获取整体及局部心肌做功指标,比较各参数在化疗不同时间点间的差异并分析其相关性。结果:T4 组二维左心室射血分数(2D-LVEF)、二维整体纵向应变(2D-GLS)、四维左心室射血分数(4D-LVEF)、四维整体圆周应变(4D-GCS)出现降低,T2 组、T4 组的整体做功指数(GWI)、整体有效功(GCW)、整体做功效率(GWE)较 T0 组出现减低,差异均有统计学意义($P<0.05$)。与化疗前相比,化疗后四维整体纵向应变(4D-GLS)、四维整体面积应变(4D-GAS)、GWI 呈逐渐减低趋势,差异具有统计学意义($P<0.05$)。左心室不同水平局部心肌做功参数中 T2 组、T4 组左心室心肌 3 个水平的平均局部心肌做功指数(RMWI)及左心室中段平均局部心肌做功效率(RMWE)均较 T0 组减低,差异有统计学意义($P<0.05$),其中以基底段平均 RMWI 减低为著。相关性分析显示 2D-LVEF 与 4D-LVEF 呈强正相关($r=0.71, P<0.01$)。四维应变参数与心肌做功参数间存在一定的相关性,但相关性较弱。结论:与常规超声相比,4D Auto LVQ 或无创心肌做功技术均能早期发现鼻咽癌患者化疗后的亚临床心功能损伤,值得临床进一步验证。

[关键词] 心室功能,左;鼻咽癌;超声心动描记术**[中图分类号]** R331.31;R739.63;R540.45**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1008-1062(2025)01-0024-06

DOI:10.12117/jccmi.2025.01.006

Preliminary study on the evaluation of left ventricular systolic function changes in nasopharyngeal carcinoma patients after chemotherapy using 4D Auto LVQ and non-invasive myocardial workLV Qiao¹, LIU Li-hua¹, WU Gui-hua¹, ZHOU Chang-jiang¹, YOU Yu-guang²

(1. Department of Sonography, People's Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan 271100, China;

2. Department of Ultrasound Medicine, the First Affiliated Hospital of Gannan Medical College, Ganzhou Jiangxi 341000, China)

Abstract: Objective: To apply four-dimensional automatic left ventricular quantitative analysis (4D Auto LVQ) and myocardial work technique (MW) to monitor the changes of global and local systolic function of left ventricle at various time points in patients with locally advanced nasopharyngeal carcinoma after induction chemotherapy, and to explore the application value of the two techniques. **Methods:** A total of 42 newly diagnosed nasopharyngeal carcinoma patients were selected as the study subjects. Cardiac ultrasound examinations were performed before chemotherapy in basal state(T0) and after the 2nd cycle (T2) and 4th cycle (T4) of chemotherapy. Two-dimensional echocardiographic parameters were measured routinely, four-dimensional left ventricular volume and strain parameters were measured by 4D Auto LVQ, and global and local myocardial work indexes were obtained by non-invasive MW. The differences of each parameter at different time points of chemotherapy were compared and their correlations were analyzed. **Results:** The 2D left ventricular ejection fraction(2D-LVEF), 2D global longitudinal strain (2D-GLS), 4D left ventricular ejection fraction (4D-LVEF) and 4D global circumferential strain (4D-GCS) were decreased in T4 group. The global work index(GWI), global contractive work(GCW) and global work efficiency(GWE) of T2 and T4 groups were lower than those of T0 group, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). Compared with before chemotherapy, the four-dimensional global longitudinal strain(4D-GLS), four-dimensional global area strain(4D-GAS) and global work index (GWI) showed a gradually decreasing trend after chemotherapy, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). The mean regional myocardial work index(RMWI) and mean regional myocardial work efficiency(RMWE) of left ventricular myocardium in T2 and T4 groups were lower than those in T0 group, and the difference was statistically significant ($P<0.05$), especially the mean RMWI of basal segment was lower. Correlation analysis showed a strong positive correlation be-

[收稿日期] 2023-12-04; **[修回日期]** 2024-02-07**[作者简介]** 吕俏(1995-),女,山东济南人,医师。E-mail:747544081@qq.com**[通信作者]** 游宇光,赣南医学院第一附属医院超声医学科,341000。E-mail:gygyou@163.com

tween 2D-LVEF and 4D-LVEF ($r=0.71$, $P<0.01$). There was a certain correlation between four-dimensional strain parameters and myocardial work parameters, but the correlation was weak. **Conclusion:** Compared with conventional ultrasound, 4D Auto LVQ or non-invasive MW can detect subclinical cardiac function injury in nasopharyngeal carcinoma patients after chemotherapy at an early stage, which is worthy of further clinical verification.

Key words: Ventricular Function, Left; Nasopharyngeal Carcinoma; Echocardiography

中国的鼻咽癌发病率和死亡率均明显高于世界平均水平^[1],发生远处转移是鼻咽癌治疗失败的主要原因^[2],诱导化疗能显著降低患者复发或转移的风险^[3]。而化疗药物所致的短期或长期心血管并发症已成为严重威胁患者生存质量的因素^[4],有必要寻找方法来敏感地发现化疗药物导致的心脏损伤。

实时三维超声心动图可实时采集接近真实解剖结构的动态三维图像,并得出左心室各节段在同一心动周期的时间-容积变化规律,可以准确测量房室腔容积、评估室壁运动^[5]。四维左心室定量分析技术(4D Auto LVQ)是基于实时三维超声心动图形成的临床应用软件,4D Auto LVQ 中四维应变技术将实时三维超声心动图和斑点追踪技术相结合,实时追踪三维图像中的心肌斑点,并能够迅速获得心肌朝各个方向运动的形变参数。四维应变技术在评估室壁运动情况方面不存在使用组织多普勒技术测量时的角度依赖,与二维斑点追踪相比不受几何假设的限制,显然具备更加客观的参考价值。无创心肌做功技术是通过超声的方法将心肌应变和压力指标相结合得到心肌做功参数,可以反映左心室的代谢和氧耗,其优势在于将心脏的前后负荷对心肌运动的影响考虑在内,克服了左心室射血分数(LVEF)及应变对负荷的依赖性^[6]。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取确诊的局部晚期鼻咽癌患者 42 例(男 23 例,女 19 例,年龄 20~68 岁,平均 (46.38 ± 10.51) 岁),均接受顺铂联合紫杉醇类化疗方案,每 21 天为一个化疗周期,在化疗前(T0)、化疗 2 个周期后(T2)、化疗 4 个周期后(T4)三个阶段行二维超声心动图、实时三维超声心动图检查并测量相关参数。

纳入标准:①经病理学诊断为鼻咽癌,临床分期为 III~IVa 期(参照 AJCC 分期第 8 版),均接受紫杉醇类+顺铂诱导化疗方案,且在此前未进行过放疗或化疗;②经超声心动图排除严重心脏结构性病变及运动功能障碍,LVEF 男性 $\geq 52\%$,LVEF 女性 $\geq 53\%$ ^[7],化疗前后心电图无明显异常;③实验室检查包括肌钙蛋白、血压、血糖、血脂等无明显异常。

排除标准:①有心脏基础疾患及其他心血管高危疾患;②合并有其他恶性肿瘤,或原发肿瘤发生转

移;③随访中途更换诱导化疗方案者;④无法配合,无法获取清晰图像,影响后期分析者。

本研究已获本院伦理委员会批准,所有受试者在受检前均知晓研究目的并签署知情同意书。

1.2 仪器与方法

仪器:GE Vivid E95 超声诊断仪,配备 M5Sc 相控阵探头(频率 1.7~3.3 MHz)、4V 全容积探头(频率 1.7~3.3 MHz),另配备有脱机定量分析软件 Echo PAC 工作站(Version 204)。

图像采集:于胸骨旁获取左心室长轴切面,于心尖部获取左心室四腔心、三腔心和两腔心切面,并储存二维动态图像(50~80 帧/s);TVI 模式下于心尖四腔心切面获取组织多普勒成像;启动 4D 模式,在心尖四腔心切面调整拼接心动周期数,使容积帧帧频 ≥ 20 ,适当调整图像扇角及深度,选取图像最清晰时嘱患者屏气并存图。

参数测定:于胸骨旁左心室长轴切面测量舒张末期室间隔厚度(IVSTd)和左心室后壁厚度(LVPWTd),及左心室舒张末期前后径(LVEDd)、左心室收缩末期前后径(LVESd)、左心室短轴缩短率(LVFS);应用双平面 Simpson 法得出二维 LVEF(2D-LVEF);于心尖四腔心切面组织速度成像中测量后间隔侧二尖瓣瓣环收缩期峰值速度(S'-Post-Sept)。选择左心室全容积动态图像,应用 4D Auto LVQ 测量左心室舒张末期容积、收缩末期容积、心搏量和射血分数(4D-LVEF),并获得四维整体应变数据:面积应变(4D-GAS)、纵向应变(4D-GLS)、圆周应变(4D-GCS)、径向应变(4D-GRS);选择心尖三腔心、四腔心及两腔心切面,应用自动功能成像生成二维左心室壁心肌应变参数后,应用 Myocardial Work 得出整体心肌做功指标:整体做功指数(GWI)、整体有效功(GCW)、整体无效功(GWW)、整体做功效率(GWE);根据 17 个节段心肌做功参数,分别计算基底段、中间段和心尖段 3 个不同水平的平均局部心肌做功指数(RMWI)和平均局部心肌做功效率(RMWE),其中基底段和中间段各包括 6 个节段:前壁、前侧壁、后侧壁、下壁、前室间隔、后室间隔,心尖段包括前壁、侧壁、下壁、间隔、心尖帽 5 个节段。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件。本文中 2D-GLS、4D-

GLS、4D-GAS、4D-GCS 参数均描述其绝对值的变化。所有资料均进行正态性和方差齐性检验。正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示。各参数在化疗不同时间点的组间比较采用重复测量方差分析,各时间点组间的多重比较使用 Bonferroni 校正法。参数间相关性分析采用 Pearson 相关分析。采用 Bland-Altman 分析法进行重复性检验,比较观察者内和观察者间差异。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本临床资料

对比鼻咽癌患者化疗前后的体质量指数、体表面积、收缩压、舒张压、心率,差异均无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 常规超声心动图及二维应变参数

化疗前后常规二维超声心动图及二维应变参数相比,IVSTd、LVPWTd、LVEDd、LVESd、LVFS、S'-PostSept 差异无统计学意义($P>0.05$)。2D-LVEF、2D-GLS 出现显著性组间差异($P<0.05$),T4 组的 2D-LVEF、2D-GLS 低于 T0 组和 T2 组($P<0.05$)。见表 1。

2.3 实时三维超声心动图参数

与化疗前相比,化疗后 4D-GLS、4D-GAS 呈逐渐减低趋势,4D-GCS、4D-LVEF 在 T4 时明显减低,结果具有统计学显著性差异($P<0.05$)。见表 2 和图 1。

2.4 心肌做功参数

2.4.1 左心室整体心肌做功参数

与化疗前基线水平相比,化疗后 GWI、GCW、GWE 均出现减低,差异有统计学意义($P<0.05$),其中 T2 组、T4 组 GWI 较 T0 组逐渐减低($P<0.05$);GWW 在 T4 组出现明显升高,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 3。

2.4.2 左心室不同水平局部心肌做功参数

T2 组、T4 组左心室心肌 3 个水平的平均 RMWI 及左心室中间段平均 RMWE 均较 T0 组减低,差异有统计学意义($P<0.05$),其中以基底段平均 RMWI 减低为著。见表 4 和图 2。

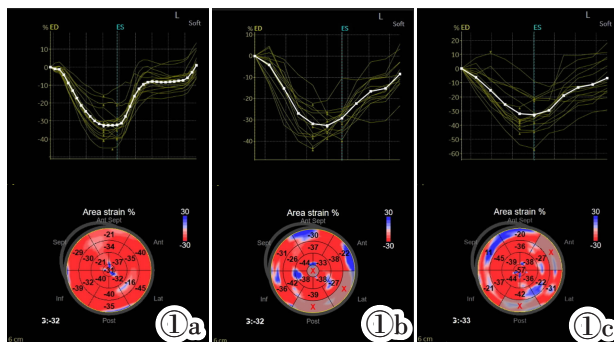


图 1a~1c 分别为同一名受检者 T0、T2、T4 时四维面积应变牛眼图。

Figure 1a~1c. The four-dimensional area strain bull's eye maps were obtained for T0, T2 and T4 of the same subject.

表 1 化疗各时间点常规二维超声心动图及二维应变参数比较

	T0 组	T2 组	T4 组	F	P
IVSTd(mm)	8.40±1.02	8.44±0.94	8.31±1.02	0.25	0.77
LVPWTd(mm)	8.57±1.15	8.73±0.94	8.59±0.99	0.70	0.50
LVEDd(mm)	46.40±4.59	45.93±3.56	45.07±3.80	2.22	0.12
LVESd(mm)	30.87±3.29	31.05±2.96	30.38±2.81	1.15	0.32
LVFS(%)	33.34±2.58	32.40±3.12	32.31±3.34	2.85	0.07
2D-LVEF(%)	62.64±3.30	62.19±3.32	61.24±3.43 ¹	4.73	0.02
S'-PostSept(cm/s)	7.13±1.15	6.81±1.20	6.78±0.97	2.92	0.06
2D-GLS(%)	20.21±2.32	19.43±2.27	18.76±2.38 ¹	11.65	<0.01

注:1:与 T0 组比较, $P<0.05$ 。

表 2 化疗各时间点实时三维超声心动图容积及应变参数比较

	T0 组	T2 组	T4 组	F	P
LVEDV(mL)	77.69±13.33	77.62±16.05	78.57±13.04	0.09	0.92
LVESV(mL)	29.90±6.02	30.81±6.82	31.95±6.14	1.57	0.22
SV(mL)	47.71±8.50	46.81±10.66	46.64±8.78	0.26	0.77
4D-LVEF(%)	61.69±3.72	60.81±3.88	59.00±3.89 ¹	9.86	<0.01
4D-GLS(%)	21.86±1.96	20.94±1.72 ¹	19.67±1.80 ^{1,2}	31.80	<0.01
4D-GAS(%)	36.40±3.49	34.54±2.85 ¹	32.93±2.85 ^{1,2}	24.28	<0.01
4D-GRS(%)	54.86±12.67	52.48±11.48	51.52±9.31	1.87	0.17
4D-GCS(%)	23.73±3.61	22.71±3.31	22.26±2.45 ¹	4.26	0.02

注:1:与 T0 组比较, $P<0.05$;2:与 T2 组比较, $P<0.05$ 。LVEDV:左心室舒张末期容积, LVESV:收缩末期容积,SV:心搏量。

表 3 化疗各时间点整体心肌做功参数比较

	GWI(mmHg%)	GCW(mmHg%)	GWW(mmHg%)	GWE(%)
T0 组	1520.19±340.99	2021.33±287.60	140.26±75.71	92.14±4.16
T2 组	1374.38±304.10 ¹	1913.45±290.14 ¹	165.81±85.97	90.50±4.34 ¹
T4 组	1292.83±312.99 ^{1,2}	1831.52±311.74 ¹	189.74±100.13 ¹	89.24±5.17 ¹
<i>F</i>	15.32	11.36	8.02	12.84
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注:1:与 T0 组比较,*P*<0.05;2:与 T2 组比较,*P*<0.05。

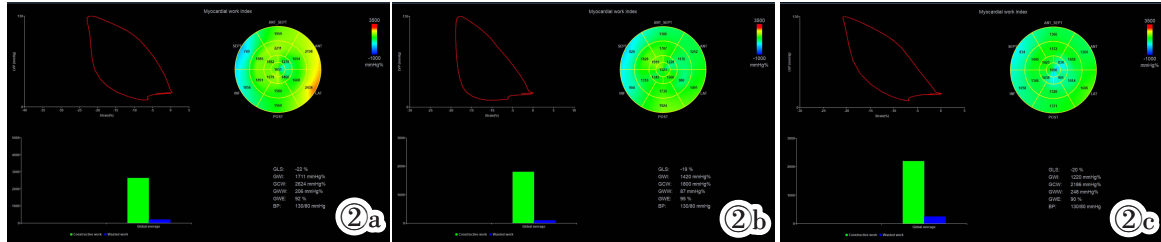


图 2a~2c 分别为同一名受检者 T0、T2、T4 时心肌做功结果图。

Figure 2a-2c. The results of myocardial work at T0, T2 and T4 of the same subject were respectively shown.

表 4 化疗各时间点左室不同水平局部心肌做功参数比较

	平均 RMWI(mmHg%)			平均 RMWE(mmHg%)		
	基底段	中间段	心尖段	基底段	中间段	心尖段
T0 组	1 428.77±333.20	1 439.94±345.50	1 683.12±468.06	91.03±4.13	93.04±4.45	93.56±4.90
T2 组	1 307.69±324.70 ¹	1 302.03±337.73 ¹	1 509.68±401.52 ¹	89.83±3.46	91.46±4.68 ¹	92.04±4.98
T4 组	1 193.04±334.94 ^{1,2}	1 244.71±315.44 ¹	1 439.86±483.34 ¹	87.47±5.56 ¹	90.57±4.80 ¹	91.41±5.87 ¹
<i>F</i>	21.67	12.33	9.36	10.67	9.54	3.57
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04

注:1:与 T0 组比较,*P*<0.05;2:与 T2 组比较,*P*<0.05。

2.5 相关性分析

2D-LVEF 与 4D-LVEF 呈显著正相关($r=0.71, P<0.01$)。4D-GLS 与 GWI($r=0.30, P<0.01$)、GCW($r=0.33, P<0.01$)、GWE ($r=0.33, P<0.01$) 呈正相关,与 GWW($r=-0.26, P<0.05$)呈负相关;4D-GAS 与 GWI ($r=0.20, P<0.05$)、GCW ($r=0.20, P<0.05$)呈正相关;4D-GRS 与 GWI($r=0.19, P<0.05$)呈正相关;4D-GCS

与 GWI($r=0.31, P<0.01$)、GWE($r=0.20, P<0.05$)呈正相关。

2.6 重复一致性检验结果

随机抽取 20 位受检者进行 4D-GAS 和 GWI 的一致性检验,Bland-Altman 图结果显示观察者内及观察者间的重复性良好,见图 3。

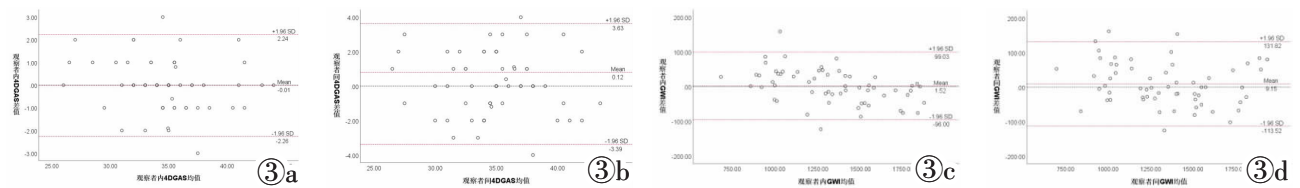


图 3a~3d 观察者内及观察者间 Bland-Altman 图。

Figure 3a-3d. Intra-observer and inter-observer Bland-Altman plots.

3 讨论

鼻咽癌在耳鼻咽喉恶性肿瘤中发病率居首位,多西紫杉醇联合顺铂的诱导化疗方案能够明显提高鼻咽癌患者的远处转移控制率^[8]。但有研究指出,接受以顺铂为基础的化疗后患者在第一年发生心血管毒性的风险增加,包括血栓栓塞、心肌梗死等^[9]。在诱导心脏毒性的病理切片中观察到注射顺铂可导致整个心肌脉管系统扩张、充血,心肌细胞核出现空泡

样变性,部分心肌纤维断裂,肌纤维排列紊乱^[10-11]。另外,紫杉醇类药物可导致线粒体毒性,线粒体供能不足也将引起心肌细胞功能障碍及凋亡。心肌细胞的损伤是不可逆的,一旦发生,除暂时的心脏毒性外,还可发展为持续性心脏并发症,甚至导致充血性心力衰竭。在诱导化疗阶段能够筛选出亚临床心肌损伤的人群并及时给予干预,对患者来说无疑是一种福音。

通过 LVEF 评估是临床检测心脏功能变化应用

最广泛的方法,超声心动图简便、无创、可动态扫描,是目前临床监测 LVEF 的首选工具,LVEF 降低 $\geq 10\%$ 且低于正常值下限(53%)^[12]被定义为肿瘤治疗相关心功能不全,但 LVEF 的下降往往表明心肌损伤已较为严重。Esmailzadeh 等^[13]发现 4D-LVEF 对肿瘤治疗相关心功能不全的敏感性和特异性高于 2D-LVEF,而二维斑点追踪参数中的 GLS 比 2D-LVEF 或 4D-LVEF 具有更高的敏感性,与本研究的结果一致。因斑点追踪技术是根据心肌的延长与缩短来判断心肌收缩功能,将比射血分数更早出现异常,GLS 较基线值降低至 $\geq 15\%$ 提示发生亚临床心功能损伤^[12]。

4D Auto LVQ 是一种在实时三维超声心动图的基础上测量左心室容积及应变等参数的测量工具,实时三维图像将整个左心室包含在全容积数据集内,无需移动探头即可实现对心脏多个切面图像的采集,可量化左心室心肌朝各个方向的运动。在应用蒽环类药物的乳腺癌患者中,既往研究发现从化疗药物应用早期至随访一年后,与二维应变参数相比,四维应变参数的变化始终更为明显^[13]。另有研究表明,使用不同厂家超声仪器测量的四维应变参数均较二维应变的结果更为准确^[6]。本研究中,化疗后 4D-GLS、4D-GAS 在化疗 2、4 个周期后呈逐渐减低趋势。理论上四维应变参数中的面积应变包含纵向应变和圆周应变两项指标,可综合反映心肌在多个方向上的运动情况,对心肌形变的反映可能更为准确,但在本研究中 4D-GLS 的减低较 4D-GAS 更为明显,考虑原因是铂类联合紫杉醇类药物主要会导致心肌纵向肌纤维受损。心肌收缩运动虽包括纵向、径向和旋转收缩,但心肌纵行纤维占了近 70%,使得心肌收缩时以纵向收缩为主,纵向肌纤维受损使仅反映纵向收缩功能的 4D-GLS 下降更为显著,而综合反映心肌在多个方向上收缩功能的 4D-GAS 次之。

LVEF 及应变指标会受到心脏负荷情况影响,容量负荷增加会导致 LVEF 相应增加,GLS 绝对值偏高,而压力负荷增加则反之。肿瘤患者在接受化疗期间,其心脏负荷会因静脉输液、呕吐等因素而波动,使测量出现误差。无创心肌做功技术是一种将心脏负荷变化考虑在内的超声新技术,本研究中 GWI、GCW、GWE 及左心室平均 RMWI 均在患者接受 2 个周期的化疗后表现出明显改变,说明在化疗药物应用早期就会导致心脏射血所做的功减少。一项纳入 598 例接受蒽环类药物化疗患者的研究显示^[14],在蒽环类药物化疗期间和之后,2D-LVEF、2D-GLS 和 GWI、GCW 均显著恶化,GWI 和 GCW 的恶化水

平相似,先于 2D-LVEF 和 2D-GLS,这与本研究的结果基本一致,无创心肌做功指数为化疗相关心功能不全的进展提供了更早、更敏感的标志物。与本研究不同的是,其 GWE 得以保留,而本研究中 GWE 在 T2 期后即出现下降,这反映了在化疗 2 个周期后鼻咽癌患者心室功能即受到损害,但 T4 期与 T2 期 GWE 相比未见明显下降,考虑原因是铂类联合紫杉醇类药物的化疗方案会在早期造成心功能轻度下降,而不会在短时间内使心功能急剧恶化。另有一项纳入了 136 例乳腺癌患者的研究得出,心肌做功参数与 2D-GLS 的变化有明显相关性,但并没有改善后续肿瘤治疗相关心功能不全的识别^[15]。可见心肌做功参数,尤其是 GWW、GWE 和局部心肌做功参数,在肿瘤心脏病评估中的作用呈现出一定的异质性。本研究所得四维应变参数与无创心肌做功参数间存在一定的相关性,进一步表明无创心肌做功技术是在应变技术的基础上发展而来的。但相关性并不十分显著,说明不同的心脏后负荷状态会对心肌力学产生较大的影响。

本研究中左心室局部无创心肌做功参数的检测结果显示,平均 RMWI 和平均 RMWE 存在从心尖到基底水平的梯度改变,基底段降低最为明显,考虑是由于基底段心肌的受力方向和心脏运动的方向更为一致,心肌细胞受损使左心室基底段的心肌纤维更容易发生铂类联合紫杉醇类药物诱导的异常病理生理学改变。

本研究的局限性:①样本量较少,随访时间较短,无法反映化疗药物迟发性的心脏毒性,后期还需扩大样本量做用药更长时间心功能评估的研究;②实时三维图像的空间分辨率及时间分辨率偏低,对图像质量要求高。

综上所述,与常规超声相比,4D Auto LVQ 和无创心肌做功技术均能早期发现鼻咽癌患者的亚临床心功能损伤,左心室基底段心肌做功能力的受损伤程度较中间段和心尖段更为严重;两种超声技术可为治疗方案的选择提供新的参考依据及评估方法,值得临床进一步验证。

【参考文献】

- [1]Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries [J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2]Chen J, Qi J, Yu B, et al. A Retrospective Study to Compare Five Induction Chemotherapy Regimens Prior to Radiotherapy in the Reduction of Regional Lymph Node Size in Patients with Nasopharyngeal Carcinoma [J]. Med Sci Monit, 2018, 24: 2562-2568.

- [3]Sun Y, Li W, Chen N, et al. Induction chemotherapy plus concurrent chemoradiotherapy versus concurrent chemoradiotherapy alone in locoregionally advanced nasopharyngeal carcinoma: a phase 3, multicentre, randomised controlled trial[J]. *Lancet Oncol*, 2016, 17(11): 1509–1520.
- [4]Awadalla M, Mahmood SS, Groarke JD, et al. Global Longitudinal Strain and Cardiac Events in Patients With Immune Checkpoint Inhibitor-Related Myocarditis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(5): 467–478.
- [5]Nabeshima Y, Seo Y, Takeuchi M. A review of current trends in three-dimensional analysis of left ventricular myocardial strain[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2020, 18(1): 23.
- [6]Hubert A, Le Rolle V, Leclercq C, et al. Estimation of myocardial work from pressure-strain loops analysis: an experimental evaluation [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19 (12): 1372–1379.
- [7]中华医学会超声医学分会超声心动图学组,中国医师协会心血管分会超声心动图专业委员会. 超声心动图评估心脏收缩和舒张功能临床应用指南[J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(6): 461–477.
- [8]Li W, Chen N, Zhang N, et al. Concurrent chemoradiotherapy with/without induction chemotherapy in locoregionally advanced nasopharyngeal carcinoma: Long-term results of phase 3 randomized controlled trial[J]. *Int J Cancer*, 2019, 145(1): 295–305.
- [9]Kadambi S, Clasen SC, Fung C. How to Manage Cisplatin-Based Chemotherapy-Related Cardiovascular Disease in Patients With Testicular Cancer[J]. *JACC CardioOncol*, 2022, 4(3): 409–412.
- [10]Dasari S, Tchounwou PB. Cisplatin in cancer therapy: molecular mechanisms of action[J]. *Eur J Pharmacol*, 2014, 740: 364–378.
- [11]Rosic G, Selakovic D, Joksimovic J, et al. The effects of N-acetylcysteine on cisplatin-induced changes of cardiodynamic parameters within coronary autoregulation range in isolated rat hearts[J]. *Toxicol Lett*, 2016, 242: 34–46.
- [12]杨安琪,张运,张梅. 世界超声心动图联盟(WASE)心脏超声正常值对抗肿瘤治疗相关心肌损伤超声评估指标的潜在影响 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2021, 30(1): 15–19.
- [13]Esmailzadeh M, Urzua Fresno CM, Somerset E, et al. A Combined Echocardiography Approach for the Diagnosis of Cancer Therapy-Related Cardiac Dysfunction in Women With Early-Stage Breast Cancer[J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7(3): 330–340.
- [14]Zhan J, Van den Eynde J, Cordrey K, et al. Deterioration in myocardial work indices precedes changes in global longitudinal strain following anthracycline chemotherapy [J]. *Int J Cardiol*, 2022, 363: 171–178.
- [15]Calvillo-Argüelles O, Thampinathan B, Somerset E, et al. Diagnostic and Prognostic Value of Myocardial Work Indices for Identification of Cancer Therapy-Related Cardiotoxicity [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(8): 1361–1376.
- (上接 18 页)
- [14]滑思,唐笑先. 双能量 CT 在涎腺肿瘤诊断中的研究进展[J]. *肿瘤研究与临床*, 2022, 34(2): 158–160.
- [15]Xie Y, Zhang S, Liu J, et al. Value of CT spectral imaging in the differential diagnosis of thymoma and mediastinal lymphoma [J]. *Br J Radiol*, 2019, 92(1095): 20180598.
- [16]曾艳妮,魏慧慧,梅邹. 256 排能谱 CT 成像参数在肺腺癌诊断及治疗指导中的应用观察 [J]. *国际医药卫生导报*, 2022, 28(14): 2018–2022.
- [17]Zhang Z, Zou H, Yuan A, et al. A Single Enhanced Dual-Energy CT Scan May Distinguish Lung Squamous Cell Carcinoma From Adenocarcinoma During the Venous phase[J]. *Acad Radiol*, 2020, 27(5): 624–629.
- [18]丁聪,田为中,梁雯丽,等. Revolution CT 在显示食管癌病变的最佳单能量分析[J]. *医学影像学杂志*, 2020, 30(5): 889–892.
- [19]宋昕. 原发食管鳞癌与腺癌基因组学特征对比[D]. 郑州:郑州大学, 2022.
- [20]Zhou Y, Hou P, Zha K, et al. Spectral Computed Tomography for the Quantitative Assessment of Patients With Carcinoma of the Gastroesophageal Junction: Initial Differentiation Between a Diagnosis of Squamous Cell Carcinoma and Adenocarcinoma[J]. *Comput Assist Tomogr*, 2019, 43(2): 187–193.
- [21]Wang Y, Tian W, Tian S, et al. Spectral CT—a new supplementary method for preoperative assessment of pathological grades of esophageal squamous cell carcinoma [J]. *BMC Med Imaging*, 2023, 23(1): 110.
- [22]刘月华,朱绍成,史大鹏,等. CT 能谱成像术前评估食管鳞状细胞癌病理分级的临床价值 [J]. *中华医学杂志*, 2017, 97(43): 3406–3411.
- [23]Lin LY, Zhang Y, Suo ST, et al. Correlation between dual-energy spectral CT imaging parameters and pathological grades of non-small cell lung cancer [J]. *Clin Radiol*, 2018, 73 (4): 411–412.
- [24]Lu Z, Wu S, Yan C, et al. Clinical value of energy spectrum curves of dual-energy computer tomography may help to predict pathological grading of gastric adenocarcinoma [J]. *Transl Cancer Res*, 2021, 10(1): 1–9.
- [25]郑欢欢,刘松,宋妍,等. 双层探测器光谱 CT 在评估食管癌分化程度及脉管神经侵犯中的应用价值[J]. *东南大学学报(医学版)*, 2022, 41(4): 510–516.