Neurobiology, 1992, 23(8): 1037- 1039.
[9] Fan J, Raper J A. Localized collapsing cues can steer growth cones without inducing their full collapse [J]. Neuron, 1995, 14(2): 263- 274.
[10] Rosner H, Fischer H. In growth cones of rat cerebral neurons and human neuroblastoma cells, activation of protein kinase C causes a shift from filopodial to lamellipodial actin dynamics[J]. Neurosci Lett, 1996, 219(3): 175- 178.
[11] He Q, Dent EW, Meiri KF. Modulation of actin Filament behavior by GAP-43(Neuromodulin) is dependent on the phosphorylation status of serine 41, the protein kinase C site[J]. J Neurosci, 1997, 17(10): 3515- 3518.
[12] Bush M S, Tonge D A, Woolf C, *et al*. Expression of a developmentally regulated phosphorylated isoform of microtubule-associated protein 1B in regenerating axons of the sciatic nerve[J]. Neurosci, 1996, 73(2): 553- 558.
[13] Diaz-Nido J, Serrano L, Hernandez M, *et al*. Phosphorylation of microtubule protein in rat brain at different developmental stages: Comparison with that found in neuronal cultures [J]. J Neurochem, 1990, 54(1): 211- 214.
[14] Xu X M. Roles of Schwann cells in the repair and regeneration of the central nervous system [J]. Chin J Neuroanatomy, 1996, 12(4): 291- 294.
[15] Yoshimura T, Goda S, Kobayashi T, *et al*. Involvement of protein kinase C in the proliferation of cultured Schwann cells[J]. Brain Res, 1993, 617(1): 55- 58.
[16] Yamada H, Martin P, Suzuki K. Impairment of protein kinase C activity in twitcher Schwann cells *in vitro*. Brain Res, 1996, 718(1- 2): 138- 140.

(编辑 汪俭勤)

文章编号: 1000-5404(1999)12-0960-03

心脏功能的 MRI评价

MRI evaluation of cardiac function

邹利光 综述,戴书华 审校 (第三军医大学附属新桥医院放射科,重庆 400037)

MRI的成像方式大致可分为自旋回波(SE)和电影 MRI, SE序列 MRI可提供心脏三维影像,由于心腔内血液的"流空效应",很容易确定心内膜、心肌和心外膜;相反地,电影 MRI的任何成像序列(如快速梯度回波、回波平面成像等)流动的血液都表现为高信号。 MRI具有很高的空间分辨率,可准确显示人体心脏的解剖结构,它既可显示心腔的结构,也可显示心脏房室壁的结构,同时由于 MRI有较高的时间分辨率,它也可准确地反映心内跨瓣血流方式、室壁运动和增厚率、总体和区域射血分数等[1- 4]。

1 心室整体收缩功能的测定

用心电图波信号激发磁共振成像(Magnetic resonance imaging, MRI)使心脏在心动周期的特定时相成像,能获得高分辨的心脏影像。 在一个心动周期中,可通过二尖瓣的运动情况确切地识别心脏各时相,紧邻二尖瓣开放前的一幅图像为收缩末期,紧邻二尖瓣关闭前的一幅图像为舒张末期,左、右心室各时相相同。左、右心房于心室收缩末为最大容积,心室舒张末期为最小容积。 将这些时相的图像选出静止于监视屏上,用计算机软件画出兴趣区,可计算心腔容积。 左心室容积的测定一般多选用垂直于室间隔的左室长轴像,于左室中部层面像连接二尖瓣中点至心尖成一直线,于该直线中点作一垂线,分别测得舒张末期和收缩末期左心室短径、左室壁和室间隔厚度。左、右心室容积测量结果见表 1,不同作者由于机器型号及检查、测量方法的不同,测量结果稍有不同[2- 5]。

为了与经典成熟的 X线左室造影的右前、左前斜位对比,也有报道用 Simpson法和面积-长度法测定左心室的容积和射血分数。 取平行于室间隔的左室长轴像(LAPAS)及垂直于室间隔的左室长轴像(LAPES),将左室舒张末和收缩末图像静止于监视屏上,勾画出心内膜轮廓,即可计算出左室舒张末期容积(EDV)和收缩末期容积(ESV),结果见表 2 正常人用 2种不同方法测量结果无明显差异,但 LAPES成像所测得 EDV及 DSV均较 LAPAS像测得值大, EF值无显著差异。

K空间节段电影 MRI用于心脏的功能性检查可明显缩短检查所需时间,所需时间仅仅是心脏常规电影 MRI的 20%~40%[6]。快速螺旋成像、回波平面成像和快速小角度激发(FLASH) 3种 MRI快速成像技术对心室容积测定的比较研究结果,梯度回波成像(FLASH)虽然时间分辨率较差,但图像质量较高,测量更可靠[7]。 电影 MRI与 X线心室造影、超声心动图、放射性同位素成像和标记物稀释法所测得左心室每搏输出量十分接近[8,9],而且有报道,电影 MRI测量的可重复性强,优

作者简介: 邹利光,男, 1964.01.19生,硕士,副主任医师,副教授,四川省江油市人,主要从事心血管影像诊断及介入治疗方面的研究,发表论文 10余篇。电话: (023) 68754114-74680

收稿日期: 1999-04-21;修回日期: 1999-06-09

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于心室造影及超声心动图。对电影 MRI放射性核素血池成像、X线心室造影 3种方法测定的射血分数比较,发现相对误差分别为 4.4%~ 8.5%、7.1%~ 22.4%、7.9%~ 60%。

表 1 短轴长径法左、右心室容积测量结果

	左心室	右心室
EDV(ml)	100.8± 25.9	90± 7
ESV(ml)	28.8± 10.3	34± 4
SV(ml)	72.0± 20.6	56± 6
EF(%)	71.4± 7.3	62± 7

EDV: 舒张末期容积; ESV: 收缩末期容积;
SV: 每搏输出量; EF: 射血分数

表 2 Simpson法及面积-长度法左心室收缩功能测量结果

	EDV(ml)	ESV(ml)	EF(%)
LAPAS			
Simpson法	82.9± 28.0	23.8± 8.7	70.5± 9.2
面积-长度法	89.6± 30.4	26.2± 9.3	69.9± 9.4
LAPES			
Simpson法	128.0± 53.5	36.1± 16.8	70.6± 9.1
面积-长度法	133.2± 54.5	39.0± 19.0	69.5± 10.2

LAPAS: 平行于室间隔的左室长轴像;
LAPES: 垂直于室间隔的左室长轴像

2 心室区域收缩功能的测定

大多数影像技术把左室壁运动的定性或定量分析作为缺血性心肌功能不全的诊断指标,舒张末期室壁厚度及收缩期室壁增厚率的电影 MRI测定结果作为心肌梗塞后心肌活力的指标已经得到验证,电影 MRI检查时舒张末期室壁厚度等于或大于 6 mm和室壁增厚度大于 1 mm通常提示心肌有活力。电影 MRI不但能反映左心室的总体射血分数,而且可以计算左心室的区域性射血分数[2,3],区域射血分数可以反映左心室各部位的泵血功能,避免相互代偿而掩盖病变部分,是评价左心室不同部位泵血功能的敏感指标。

测定左心室区域射血分数的另一指标是左心室各壁的平均面积缩短率(PAR)和平均半径缩短率(PRS),方法是选定左心室的长轴像,以二尖瓣环连线中点到心尖最远距离的连线作为左室长轴,通过左心室长轴的中点与二尖瓣环连线中点的射线作为起始射线(半径),每隔 15°画一射线与左室内膜轮廓相交,将轮廓划分为 24个节段,即可求出各壁所属节段由舒张末到收缩末的 PAR和 PRS。由于节段收缩的正常范围较大,利用正常值估价室壁运动障碍应当慎重。

3 心房容积和功能的 MRI评价

用电影 MRI评价左心房的容积和功能,沿左心房长轴获取连续断面影象 6~ 12层,包含整个左心房,通过容积-时间曲线可测出左心房的最大容积和最小容积、局部容积变化、心功能储备、射血分数、以及平均充盈率和排空率等[10,11]。对正常个体、扩张性心肌病和肥厚性心肌病心房长轴像的电影 MRI进行测定,结果左心房最小容量分别为(51± 14) ml、(94± 37) ml和(86± 40) ml,左心房射血分数分别为(28± 7)%、(16± 6)%和(19± 12)%,左心房最小容量和射血分数在 2种类型的心肌病无差异,心房充盈和排空率在 2种类型心肌病均有下降,因此,心房电影 MRI的三维容积测定能反映心房容积和功能的改变。

4 心室肌块的定性及定量测定

MRI可准确地显示心肌的内外边界,测量心肌肌块时首先描记心内、外膜轮廓所包围的面积,分别将相邻层面的对应面积相迭加,得出 2个体积值,再用心外膜轮廓所测值减去心内膜轮廓所测值,余数即为心室肌的体积或称为肌块,如再乘以心肌比重(1.009)即可得出心肌质量[12]。在心脏收缩末期、舒张末期分别画出心内膜、心外膜边缘,可算出心壁厚度改变和心室肌块的改变,可对心室壁进行定量分析。对心肌收缩性能的评价,心肌收缩期厚度比心壁运动情况更具有特征性。电影 MRI对左心室局部室壁厚度测量值与超声所测量值相似,电影 MRI测得左心室肌块重量为(145.2± 23.1) g,检查次数之间与观察者之间变异均小于 5%;右心室肌块重量为(45± 8) g,观察者之间变异小于 5%。也有报道,正常人收缩期室壁增厚率为 35%~ 75%,室壁增厚率在左室基底部最低,朝向心尖部明显增加[2]。心肌肌块在估计心室壁压力和评价高血压病或肺动脉高压的影响方面十分重要,多种动物实验 MRI心肌肌块测定与实测心肌肌块相比,2种测定结果十分接近,相关系数为 0.94~ 0.99。MRI测定右心室心肌肌块也有重要意义,右心室心肌肌块增加对早期发现右室壁肥厚可能有较重要的意义,对慢性阻塞性肺病患者心脏射血分数为正常范围时 MRI可发现右心室心肌质量增加,提示有右心室肥厚,并可于心力衰竭之前测定右心室压力负荷的改变[13]。

5 室壁应力的测定

心室壁应力是心脏功能和心肌供氧情况的一个重要指标,准确估计心壁应力的变化非常重要。传统方法估计心室壁应力是用二维超声心动图或电影心血管造影测定,只能估计其平均值。然而心室壁应力是一个局部功能参数,由于心室壁复杂的几何形状及其高度非线性特性,离体心肌研究的结论不能直接应用于活体心脏,人们提出了许多活体预测心室壁应力的数学模型,Arts等提出的室壁应力模型较为全面,将心室收缩时围绕其长轴的旋转及心肌组织的各向异性均考虑在内,提出公式如下:

$$\text{室壁应力} = \text{ESP} \times (3\,\text{ESV}/\text{WV} + 1)$$

注: ESP为收缩末期左室压, ESV为收缩末期左室容积, WV为室壁体积。对左心室短轴局部收缩末期应力的研究发现,从心尖部至心底部室壁应力逐步增加,研究还发现扩张性心肌病患者收缩峰值和收缩末期左室壁应力明显高于正常人[1]。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

6 MRI心肌标记评价局部心肌功能

MRI可测定心室局部功能,主要指标有:室壁节段性运动状态和收缩期增厚率、短轴缩短率等。由于心脏的长短轴收缩期均缩短,其幅度在各方向上不同,故 MRI在同一扫描层面上收缩末期和舒张末期所获图像显示的解剖水平不同,导致可能低估心室底部和中部的短轴缩短率,尤其在斜切心脏的层面上误差较大。

为了克服上述局限性,发明了心肌标记法[14~16],心脏 MRI扫描时,在所获图像上重叠一个磁化栅格,此磁化栅格改变了心肌局部磁化强度,该磁化强度作为一个心肌的组织特性在整个心动周期中随心肌壁同步运动,栅格内部线的交点作为心肌内的固定参照点,参照点随心肌同步运动,可以显示心脏收缩期室壁运动的旋转成分。利用移动 K空间技术结合频谱标记可以更加准确地示踪心肌的运动状况[16]。

采用 MRI心肌标记有助于评价心动周期心室壁的复杂运动,心脏实际上是在进行旋转和位移运动,左心室收缩期的扭转运动包括心底部的顺时针旋转和心尖部的反时针旋转,而在舒张期表现为"反扭转"运动。在等容舒张期心室原则上不旋转,此期的心肌储备所释放的能量可能有利于舒张早期心室的充盈。在肥厚和冬眠的心肌这种反扭转持续时间长,因此心力衰竭伴有心脏机械功能的内在改变,表现为收缩期的扭转和舒张期的反扭转运动的改变。定量研究由心底至心尖的心脏长轴方向心肌短缩发现,心底部位置变化最大,而心尖部几乎不动。MRI组织标记研究发现,心内膜侧心肌纤维短缩在肌纤维垂直方向较明显,而心外膜侧心肌纤维短缩在肌纤维的纵行方向上较明显。

MRI能准确显示心脏的解剖结构,对心脏功能的分析有较高的准确性和可重复性,随着电影 MRI成像技术的应用和不断发展,MRI对心脏功能的分析将发挥更大的作用,MRI新的成像技术将更多地用于临床工作中。

关键词 心脏功能;心力衰竭;磁共振成像
中图法分类号 R331.3+1;R445.2 文献标识码 A

参考文献

[1] 李坤成. 心血管磁共振成像诊断学 [M]. 北京:人民卫生出版社,1997. 78~81.
[2] 谢道海,丁 乙,陈学仁,等. 电影磁共振对正常人左心功能的测定 [J]. 中华放射学杂志,1994,28(7):444~447.
[3] 杜立新,傅加平,梁碧玲,等. 电影 MR四腔室多层面多相位序列对左心功能的测定与评价 [J]. 中华放射学杂志,1998,32(1):51~52.
[4] Soldo S J, Haywood L J, Norris S L, *et al*. Method for assessing cardiac function using magnetic resonance imaging [J]. Biomed Instrum Technol, 1996, 30(4): 359~363.
[5] Nachtomy E, Cooperstein R, Vaturi M, *et al*. Automatic assessment of cardiac function from short-axis MRI: Procedure and clinical evaluation [J]. Magn Reson Imaging, 1998, 16(4): 365~376.
[6] Schulen V, Schick F, Loichat J, *et al*. Evaluation of K-space segmented cine sequences for fast functional cardiac imaging [J]. Invest Radiol, 1996, 31(8): 512~522.
[7] Wiesmann F, Gatehouse P D, Panting J R, *et al*. Comparison of fast spiral, echo planar, and fast low-angle shot MRI for cardiac volumetry at 5T [J]. JMRI, 1998, 8(5): 1033~1039.
[8] Globits S, Pacher R, Frank H, *et al*. Comparative assessment of right ventricular volumes and ejection fraction by thermodilution and magnetic resonance imaging in dilated cardiomyopathy [J]. Cardiology, 1995, 86(1): 67~72.
[9] Higgins C B, Sakuma H. Heart disease: Functional evaluation with MR imaging [J]. Radiology, 1996, 199(2): 307~315.
[10] Jarvinen V M, Kupari M M, Poutanen V P, *et al*. A simplified method for the determination of left atrial size and function using cine magnetic resonance imaging [J]. Magn Reson Imaging, 1996, 14(3): 215~226.
[11] Jarvinen V M, Kupari M M, Poutanen V P, *et al*. Right and left atrial phasic volumetric function in mildly symptomatic dilated and hypertrophic cardiomyopathy: Cine MR imaging assessment [J]. Radiology, 1996, 198(2): 487~495.
[12] Furber A, Balzer P, Cavar-Menard C, *et al*. Experimental validation of an automated edge-detection method for simultaneous determination of the endocardial and epicardial borders in short-axis cardiac MR images: Application in normal volunteers [J]. JMRI, 1998, 8(5): 1006~1014.
[13] Marcus J T, Noordgraaf A V, Vries P M, *et al*. MRI evaluation of right ventricular pressure overload in chronic obstructive pulmonary disease [J]. JMRI, 1998, 8(5): 999~1005.
[14] Matter C, Nagel E, Stuber M, *et al*. Assessment of systolic and diastolic LV function by MR myocardial tagging [J]. Basic Res Cardiol, 1996, 91(Suppl 2): 23~28.
[15] MacGowan G A, Shapiro E P, Azhari H, *et al*. Noninvasive measurement of shortening in the fiber and cross-fiber directions in the normal human left ventricle and in idiopathic dilated cardiomyopathy [J]. Circulation, 1997, 15(2): 535~541.
[16] Crum W R, Berry E, Ridgway J P, *et al*. Frequency domain simulation of MR tagging [J]. JMRI, 1998, 8(5): 1040~1050.

(编辑 薛国文)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net