

## · 专家共识与指南 ·

## 心磁图心肌缺血临床诊断专家共识

CMIA中国医药信息学心功能学术委员会/CPDE全国医药技术市场协会心功能信息学专业委员会

【中图分类号】R542.2

【文献标志码】A

开放科学(源服务)标识码(OSID)



心血管疾病发生率很高,心源性猝死高发。如何早期发现和诊断出心肌缺血的病人从而达到预防心源性猝死至关重要。基于量子精密测量技术的心磁图可以检测由心肌细胞兴奋在心脏周围产生的磁场,记录和处理心脏磁场信息,分析其变化特征,为临床诊断心肌缺血等心脏疾病提供有价值的参考。目前应用在医院、各种医疗机构和其它研究单位的心磁图,由于技术路线、设备性能、分析方法等不同,存在着判定指标各不相同的问题,对其应用及推广构成严重困扰。在借鉴国内外最新研究的基础上,结合我国具体情况,国内相关领域专家制定了一套心磁图心肌缺血临床诊断专家共识,以供临床应用和参考。

### 1 目的和意义

根据流行病学调查研究显示<sup>[1-4]</sup>,心血管病现患人数均3.3亿,死亡率居首位,占居民疾病死亡构成的45%以上,急性心肌梗死死亡率呈快速上升趋势,特别是农村心血管病死亡率持续高于城市。心脏性猝死80%为冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)患者,猝死发生率为41.84/10万,占总死亡人数的54.4万/年。心血管疾病已成为威胁人民群众健康的“第一杀手”。如何早期发现和诊断心肌缺血患者,从而达到预防心源性猝死至关重要,目前心肌缺血的早期筛查手段和方法十分缺乏。

随着量子科学的发展<sup>[5-17]</sup>,基于量子精密测量传感技术的超导量子干涉仪(superconducting quantum interference devices, SQUID)和无自旋交换弛豫原子磁力计(spin exchange relaxation free atomic magnetometer, SERFAM)的心磁图(magnetocardiogram, MCG)可检测由心肌细胞兴奋在心脏周围产生的磁场,记录和处理这些心脏磁场信息,并分析其变化特征,为临床诊断心肌缺血等心脏疾病提供有价值的参考。通过心磁图的研究和临床应用证明,它是一种检测心脏疾病非常有用的工具<sup>[18-27]</sup>,特别是在早期心肌缺血疾病诊断方面相比于心电图(ECG)等诊断设备具有更高的灵敏度和特异性<sup>[28,29]</sup>。近年来,心磁图因其出色的检测能力,逐渐得到临床的认可<sup>[18,30-32]</sup>。

目前国内外各个医学中心、研究机构使用的心磁图,由于技术路线、分析方法、设备性能等不同,使用指标各不相同,标准也不统一,对心磁图的普及与应用构成严重

困扰<sup>[13,15,20,21,33-40]</sup>。因此,制定一套心磁图心肌缺血临床诊断专家共识,可避免现在临床应用的无序混乱,更好地服务于人民大众,更好地服务于国家战略。

本《心磁图心肌缺血临床诊断专家共识》,是在参考国内外心磁图设备的基础上,结合我们的研究开发和临床实践编制而成的。它将促进国内心磁图的普及与应用,为目标群体(心血管疾病患者和健康管理者)的心肌缺血初筛和辅助诊断提供有效的技术支撑,进而达到早期诊断、早期预防的目的。

### 2 国内外现状

1963年美国科学家使用200万匝线圈在世界上首次测到了人体心脏磁场。1972年D.Cohen首次在磁场屏蔽室内使用单通道SQUID测定人体磁场<sup>[41,42]</sup>,开创了人体磁场测量的新纪元。

作为一种无损检测仪器,心磁图经历了两个主要发展阶段:SQUID心磁图仪和SERF原子磁力计磁图仪。随着超导技术的日臻成熟,从上世纪九十年代开始,美国、德国、日本、意大利相继开发了SQUID心磁图仪,并应用在临床诊断上<sup>[41-54]</sup>。作为一种能够早期筛查心肌缺血,特别是能够快速、有效、辅助诊断心肌缺血的新的工具<sup>[45,46,55-65]</sup>,从本世纪零零年代开始,我国陆续引进了SQUID心磁图仪,应用在北京阜外医院和上海瑞金医院等医院。进入到本世纪十年代,在借鉴国外心磁图仪的基础上,上海漫迪和苏州卡迪默克公司研制成功了SQUID心磁图仪。这些心磁图仪,由于液态氮的紧缺,运行费用昂贵,加之没有统一的诊断标准,严重制约了SQUID心磁图仪临床推广和普及。近十年来,伴随着量子科学的发展,及原子磁力计的研制成功,开启了原子磁力计心磁图仪的新时代。美国Genetesis公司于2019年在世界上研发了首台SERF原子磁力计心磁图仪CardioFlux,通过融合法拉利云计算,把心磁研究与临床应用推向了新阶段。国内杭州昕磁科技等公司研发成功了基于SERF原子磁力计的心磁图仪,在心肌缺血的临床实验上取得了良好效果,展现出了广阔的市场应用前景。

目前为止,国内国外尚无统一的心磁诊断共识<sup>[6,14,18,30,35-37,45,60,66]</sup>,对心磁图普及与应用与推广构成严重困扰。为尽早解决这一问题,在使用SQUID心磁图仪的几十年的经验总结,和近几年开发原子磁力计心磁图仪经历,以及基于美国约翰斯·霍普金斯医院界定的心肌缺血分析窗口的理论上<sup>[24]</sup>,结合国内外发表的各种有关心肌缺血文献、著作和临床经验总结,我们在国内外首次提出了《心磁图心肌缺血临床诊断专家共识》,将对心磁图的进一步应用产生重要影响。

### 3 专家共识制定的原则

3.1 实事求是原则 该专家共识主要是服务于中国临床。因

专家成员:唐发宽,李俊峡,曹雪滨,樊荣,黄党生,徐勇,马东星,高梅,刘进军,程康,王海燕,刘斌,李运田,徐延敏,李巍远,孙冬冬,马恒,王天勋,田新桥,李良

共同通讯作者:唐发宽,E-mail:tfk616@sina.com;

李俊峡,E-mail:18600090805@163.com;

曹雪滨,E-mail: caoxb252@163.com

doi: 10.3969/j.issn.1674-4055.2024.06.01

此, 从我国实际情况出发, 结合我国目前医学临床和大健康的现状, 制定适合我国应用心磁图的临床诊断专家共识, 进而在各级医院、体检机构、特殊门诊、事业、企业、机关、社区健康管理等人口密集单位进行推广应用, 最终达到早期诊断、早期预防、延缓病情发展、预防猝死目的。

**3.2 有效性原则** 该专家共识的应用, 关系到使用心磁图检测心肌缺血疾病的有效性, 关系到弱磁检测技术在医学领域中的应用, 与健康中国战略内涵高度契合, 有利于心磁图产品的临床实践, 服务于社会, 造福人类。

**3.3 技术先进性原则** 在该专家共识中为判定心肌缺血。一方面, 使用心磁图的磁极结构形态、磁场向量, 以及伪电流图(电流密度分布图)综合电流向量描述其变化特征, 使其可视化; 另一方面, 从T波早期部分到T波峰值的复极期间参数被比较, 包括向量最小和最大角度值、角度变化范围等。这些都验证了心磁图是一种允许对心脏电活动产生的心脏磁场进行无创测量和可视化的技术。本专家共识中各项性能指标的确定, 均为近几十年来国内外该领域专家和临床医务人员发表在各个核心权威杂志上的医学成果和研究结论<sup>[42,45,46,49,50,52,67,68]</sup>, 能够反映当前该领域磁成像技术的先进成果和先进经验<sup>[69,70,71]</sup>, 使专家共识起到有效快速对心肌缺血的识别, 特别是急性胸痛的患者甄别起到促进作用, 结合统一的有效指标的落实, 对该领域的学术推广起到促进作用, 为推动该项技术的快速发展起到核心作用。

**4 专家共识主要内容**

该专家共识包括: 范围、规范性引用文件外、术语和定义、缩略语、判定要求、分级要求。其中, 术语和定义包括: 磁场方向、磁场向量; 缩略语包括: TP<sub>post</sub>等十个参数; 判定要求包括定性指标、定量指标及基于定性指标和定量指标进行分级; 分级要求包括: 通则、分级。

**4.1 范围** 本文件界定了心磁图心肌缺血临床诊断的术语和定义, 规定了判定要求和分级要求。本文件适用于各级医院, 体检中心, 研究机构。用于开展冠心病心肌缺血的早期筛查和诊断, 及不明原因胸痛患者的心肌缺血的甄别。

**4.2 规范性引用文件** 本文件没有规范性引用文件。

**4.3 术语和定义** 下列术语和定义适用于本文件。

**4.3.1 磁场方向 (magnetic field direction)** 垂直于胸壁且向内的磁感应强度方向 (图1)。

**4.3.2 磁场向量 (magnetic field vector)** 在心磁图的心动周期中, 随时间变化的综合电流向量在一定空间区域内产生的连续分布的向量场。磁场向量和综合电流向量是通过测量值进行计算得到的。

**4.4 缩略语** 下列缩略语适用于本共识。

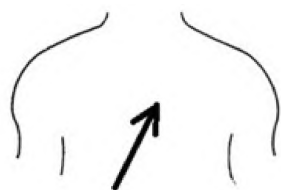


图1 磁场方向

(箭头所示为法线方向又称Z方向)

T<sub>MA</sub>: T波磁场向量角度 (T-wave magnetic angle);

T<sub>CA</sub>: T波综合电流向量角度 (T-wave current angle);

TP<sub>pre</sub>: T波峰前磁场向量角度变化 (T-wave peak previous);

TP<sub>post</sub>: T波峰后磁场向量角度变化 (T-wave peak posterior);

T<sub>MAD</sub>: T波磁场向量角度变化 (T-wave magnetic angle diversity);

T<sub>MA\_max</sub>: T波磁场向量最大角度 (T-wave magnetic angle maximum);

T<sub>MA\_min</sub>: T波磁场向量最小角度 (T-wave magnetic angle minimum);

T<sub>CAD</sub>: T波综合电流向量角度变化 (T-wave current angle diversity);

T<sub>CA\_max</sub>: T波综合电流向量最大角度 (T-wave current angle maximum);

T<sub>CA\_min</sub>: T波综合电流向量最小角度 (T-wave current angle minimum)。

红线表示磁场向量 (相当于图2实心白色箭头), 在T峰时刻, T<sub>MA</sub>表示T波磁场向量的角度。黄线表示综合电流向量 (相当于图2黑色实心箭头), T<sub>CA</sub>表示T波综合电流向量的角度。TP<sub>pre</sub>表示在T峰之前 t<sub>RT</sub>/3 (R峰到T峰的时间间隔) 到T峰的时间内, 磁场向量的角度变化。TP<sub>post</sub>表示T峰时刻到T峰之后 t<sub>RT</sub>/3的时间内, 磁场向量的角度变化。T<sub>CAD</sub>表示在T峰前 t<sub>RT</sub>/6到T峰后 t<sub>RT</sub>/6的时间内, T波综合电流向量的角度变化 (图3)。

**4.5 判定要求**

**4.5.1 心磁图心肌缺血的临床诊断应基于定性指标和定量指标两项指标综合判定得出。**

**4.5.2 定性指标** 应由心磁图的磁极结构形态、磁场向量以及伪电流图 (电流密度分布图) 综合电流向量组成。

**4.5.3 定量指标** 健康者的定量指标应符合表1的要求, 定量指标应 ≥ 最小值、≤ 最大值, (表1)。

**4.5.4 诊断结论** 应基于定性指标和定量指标得出, 心磁图心肌缺血的临床诊断从轻到重分为如下五级: ①0级: 正常或大致正常; ②1级: 轻度异常; ③2级: 中度异常; ④3级: 重度异常; ⑤4级: 极重度或严重异常。如定性分级和定量分级严重程度不一致时, 诊断结论应依据两者中严重程度更重的给出判定。

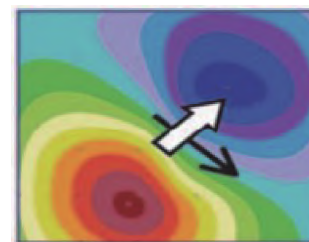


图2 磁场向量和电流向量

注: 左下部分为正磁场, 中心点是正值最大极点; 右上部分为负磁场, 中心点是负值最小极点, 磁场向量方向 (实心白色箭头) 与相应的综合电流向量方向 (黑色实心箭头), 顺时针方向为向量角方向; 基于电磁场理论, 磁场向量连续垂直于综合电流向量

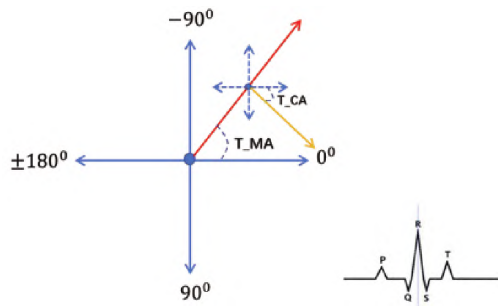


图3 T\_MA和T\_CA

表1 心磁图定量指标及其正常参考值

指标	最小值	最大值
T_MA	-85	-45
T_CA	-5	75
TP_pre	0	40
TP_post	0	40
T_MAD	0	20
T_MA_max	100	-35
T_MA_min	85	-50
T_CAD	0	20
T_CA_max	-10	80
T_CA_min	-20	55

4.6 分级要求

4.6.1 通则

4.6.1.1 心磁图定性指标以描述一个偶极子心磁图为例（图4），相同的颜色表示磁场强度相等的区域，左侧的垂直条标出了磁场强度的大小。红色区域表示正值，蓝色区域表示负值。红色区域表示磁场方向由外向内（涌进），蓝色区域表示磁场方向由内向外（涌出）。

4.6.1.2 表示正值最大磁场位置的点标记为“+”（正极），表示负值最小磁场位置的点标记为“-”（负极）。磁场向量方向由“+”指向“-”，磁场向量大小，通过计算获取。

4.6.1.3 角度(α)是磁场向量（连接正极和负极并指向负极）与水平轴之间夹角。从水平轴0° 向开始，逆时针旋转是-180° ~0°，顺时针旋转是0° ~180°。

4.6.1.4 在从T波早期部分到T波峰值的复极期间，参数被检验，作为心磁图参数的正常边界。

4.6.1.5 健康者角度α范围：-110° ≥ α ≤ 20°，且在30 ms内旋转<45°，否则为非健康者即心肌缺血患者。

4.6.1.6 应根据定量指标项的异常数依次进行分级。

4.6.2 分级

4.6.2.1 判定0级 定性判定：心磁图表现为一个偶极子心磁图模式，即一个正极和一个负极，正极在图的左下方红色区域，负极在图的右上方蓝色区域，角度（α）在正常范围内，磁场向量正常；负极周围的等磁线呈同心圆分布，等磁线平滑，无变形（图5A）。综合电流向量（红色虚线箭头）方向指向右下，范围在-5° ~75° 之间，（图5B）。基于以上判定为0级。定量判定：心磁图定量指标中异常项数量为0，判定为0级（表2）。

4.6.2.2 判定1级 定性判定：伪电流图表现为：两个环形结构（红色虚线圆形），大小不等，综合电流向量（红色虚线箭头）方向指向右下，范围在-5° ~75° 之间（图6B）；伪电流图表现为两个环形结构，大小基本相等，综合电流向量方向指向左下，范围在-20° ~-5° 之间或75° ~110°

之间（图6C）；存在两个综合电流向量，一个在正常范围-50° ~75° 之间，另一个为明显的病理性指向（红色虚线矩形），微弱且杂乱无章（图6D）。基于以上判定1级。定量判定：心磁图定量指标中异常项数量为1~3项判定为1级（表3）。

4.6.2.3 判定2级 定性判定：心磁图表现为一个偶极子心磁图模式，但正、负极区域边缘略不规整，磁场向量方向异常，角度（α）不在正常范围内（图7A）。伪电流图双极环形结构（红色虚线圆形）面积大小不等，具有两个综合电流向量（红色虚线箭头），（图7B）；一个综合电流向量范围在-110° ~-20° 之间（图7C）。基于以上判定为2级。定量判定：心磁图定量指标中异常项数量为4~6项判定为2级（表4）。

4.6.2.4 判定3级 定性判定 心磁图正、负极表现不明显，

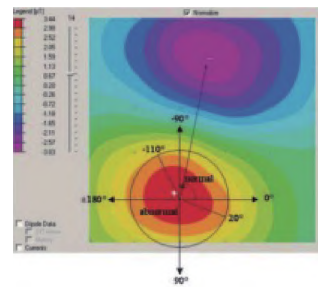
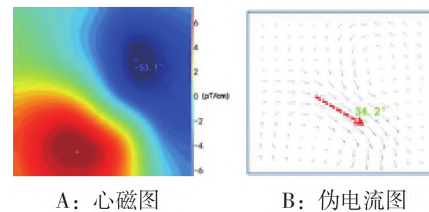


图4 偶极子磁场图



A: 心磁图 B: 伪电流图

图5 判定0级

表2 0级定量指标

指标	正常范围	实测值	评价
T_MA	-85~-45	-53.1	
T_CA	-5~75	34.2	
TP_pre	0~40	24.8	
TP_post	0~40	22.8	
T_MAD	0~20	14.2	
T_MA_max	-100~-35	-47.5	
T_MA_min	-85~-50	-61.7	
T_CAD	0~20	15.7	
T_CA_max	-10~80	47.9	
T_CA_min	-20~55	32.2	

表3 1级定量指标

定量指标	正常范围	实测值	评价
T_MA	-85~-45	-102.1	↓
T_CA	-5~75	-4.4	
TP_pre	0~40	8.8	
TP_post	0~40	50.8	↑
T_MAD	0~20	12.1	
T_MA_max	-100~-35	-93.8	
T_MA_min	-85~-50	-105.9	↓
T_CAD	0~20	6.4	
T_CA_max	-10~80	0.7	
T_CA_min	-20~55	-5.8	



正极部分不完整，边缘不规整，且正、负极位置颠倒，磁场向量方向明显异常，角度（ $\alpha$ ）不在正常范围内（图8A）。伪电流图具有两个以上的环状结构（红色虚线圆形），（图8B）；有两个明显环形结构，但是综合电流向量指向反向（图8C）。基于以上判定为3级。定量判定：心磁图定量指标中异常项数量为7~9项判定为3级（表5）。

**4.6.2.5 判定4级** 定性判定：心磁图正、负极不止一个即表现多极，其图形不规整，畸形明显，正、负极位置颠倒图，磁场向量方向多个、且明显异常，角度（ $\alpha$ ）不在正常范围内（图9A）。伪电流图电流排列紊乱，分布在不同方向（图9B）。基于以上判定为4级。定量判定：心磁图定量指标中异常项数量为10项判定为4级（表6）。

本专家共识执笔的专家：唐发宽（CMIA心功能学术委员会/CPDE心功能信息学专业委员会）、李俊峡（解放军总医院第七医学中心）、曹雪滨（陆军第82集团军医院）、樊荣（空军军医大学生理学教研室）、刘迈，董斌（昕磁科技）。

本专家共识讨论并发表意见的专家：马恒（空军军医大学基础医学院）、黄党生，李良，张丽伟（解放军总医院第四医学中心）、徐勇（解放军总医院心血管学部）、

马东星（解放军总医院第三医学中心）、高梅（山东医科大学第一附属医院）、刘进军（西安交通大学医学部）、程康（西安市人民医院/第四医院、心血管病医院）、刘斌，王珺楠（吉林医科大学第二医院）、王海燕（西安交通大学第一附属医院）、李运田（解放军第三〇五医院）、徐延敏（天津医科大学附属第二医院）、李岚远（南京医科大学附属苏州医院）、孙冬冬（空军军医大学附属第一医院），王天勋，赵正杭（四川广元第一人民医院）、田新桥（河南省人民医院心脏中心/阜外华中心心血管病医院）、刘亚军（中国医学装备协会医疗器械创新与应用分会）、葛震（中华全科继续教育学院、中国医学救援协会标准化工作委员会）、孔永梅（山西省心血管病医院）、石宇杰（解放军总医院第七医学中心）、华宁，黄骁，林乐健（解放军总医院第八医学中心）、田海涛（解放军总医院第六医学中心）、任风学（北京中国航天总医院）、张建军（北京朝阳医院）、郭金成（北京潞河医院）、肖文良，殷洪山（河北医科大学附属第三医院）、

表5 3级定量指标

指标	正常范围	实测值	评价
T_MA	-85~-45	59.0	↑
T_CA	-5~75	143.8	↑
TP_pre	0~40	28.0	
TP_post	0~40	100.7	↑
T_MAD	0~20	5.3	
T_MA_max	-100~-35	59.0	↑
T_MA_min	-85~-50	53.7	↑
T_CAD	0~20	285.0	↑
T_CA_max	-10~80	145.7	↑
T_CA_min	-20~55	-139.3	↓

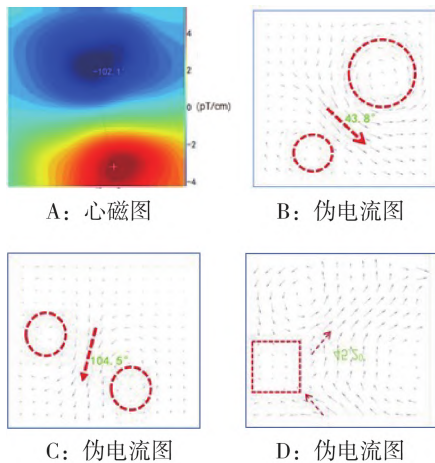


图6 判定1级

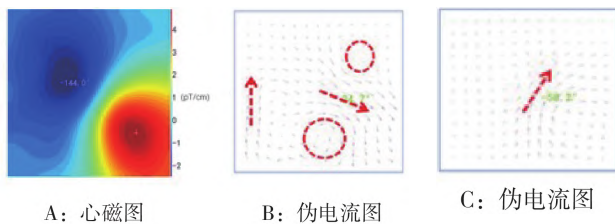


图7 判定2级

表4 2级定量指标

指标	正常范围	实测值	评价
T_MA	-85~-45	-144.0	↓
T_CA	-5~75	-58.2	↓
TP_pre	0~40	10.0	
TP_post	0~40	15.3	
T_MAD	0~20	12.5	
T_MA_max	-100~-35	-135.0	↓
T_MA_min	-85~-50	-147.5	↓
T_CAD	0~20	2.5	
T_CA_max	-10~80	-56.5	↓
T_CA_min	-20~55	-59.0	↓

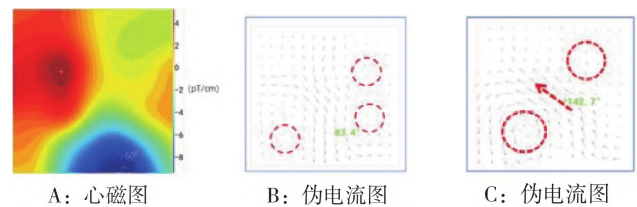


图8 判定3级

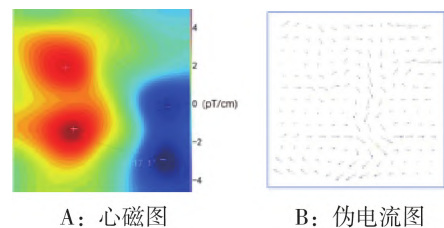


图9 判定4级

表6 4级定量指标

指标	正常范围	实测值	评价
T_MA	-85~-45	17.1	↑
T_CA	-5~75	114.6	↑
TP_pre	0~40	161.1	↑
TP_post	0~40	43.7	↑
T_MAD	0~20	38.1	↑
T_MA_max	-100~-35	17.1	↑
T_MA_min	-85~-50	-21.0	↑
T_CAD	0~20	69.1	↑
T_CA_max	-10~80	117.4	↑
T_CA_min	-20~55	58.3	↑

郑群(河北衡水市人民医院)、苗立夫(清华大学附属华信医院)、羊镇宇, 张煜(江苏无锡市人民医院)、张卫泽(西安国际心血管病医院)、刘元伟(清华大学附属长庚医院)、张文昶(北京中国航空医院)、侯林(河北邯郸市永年区第一医院)、田建伟(解放军空军特色医学中心)、杨静(河北沧州中西医结合医院)、陶耀兵(北京市房山区第一人民医院)、孙慧娜, 李晓冉(北京友谊医院)、夏灵, 寿国法(浙江大学生物医学工程与仪器科学学院)、陆宏(北京大学国际医院)、王波(山东沂水县人民医院)、何素玉, 王志强, 黄刚(四川遂宁市中心医院)、林昊嵩, 徐健敏, 郭慧(昕磁科技)、向生平, 邓光兰, 罗伟涵(四川彭州市同一医院)、王超(保定市第一中心医院、周发展(山东泰安市中心医院)、贾维坤(成都医学院第一附属医院)、杜巨豹(北京市宣武医院)、高延(西安工会医院)、朴哲浩(温州医科大学附属第二医院)、王友华(西安师范大学国家科普基地)。

**利益声明** 本指南共识的所有参与制订者均不涉及利益冲突。

### 参考文献

- [1] 国家心血管病中心. 中国心血管健康与疾病病报2021[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(6): 553-78.
- [2] 卫生部心血管病防治研究中心. 中国心血管病报道2007[M]. 中国大百科全书出版社, 2008: 1-10.
- [3] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会, 等. 稳定性冠心病诊断与治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2018, 46(9): 680-94.
- [4] Diamond GA. A clinically relevant classification of chest discomfort[J]. J Am Coll Cardiol, 1983, 1(2 Pt 1): 574-5.
- [5] Wang Qian, Ma Ping, Tang Fa-Kuan, et al. Inverse computation for cardiac source using sing current dipole and current multipole models[J]. Chin Phys B, 2009, 18(12): 5566-74.
- [6] 张闯, 唐发宽. 心磁图检查和冠状动脉造影术诊断冠心病的对比分析[J]. 中国医疗设备, 2009, 24(4): 11-2.
- [7] 王倩, 马平, 唐发宽, 等. 基于心磁信号的心脏电流偶极子阵列成像及相关性质的研究[J]. 物理学报(ACTA PHYSICA SINICA), 2010, 59(4): 2882-8.
- [8] Wang Qian, Ma Ping, Tang Fa-Kuan, et al. The forward and inverse problem of cardiac magnetic fields based on centric ellipsoid torso-heart model[J]. Chin Phys B, 2010, 9(8): 080601-1-11.
- [9] Tang Fa-Kuan, Wang Qian, Ma Ping, et al. Forward and inverse problem for cardiac magneti field and electric potential using boundary element methods[J]. Chin Phys B, 2010, 19(12): 120601-1-10.
- [10] Tang Fa-Kuan, Wang Qian, Ma Ping, et al. Cardiac magnetic source imaging based on current multipole model[J]. Chin Phys B, 2011, 20(1): 010702-1-9.
- [11] Shou Guo-Fa, Xia Ling, Tang Fa-Kuan, et al. Simulation study of a magnetocardiogram based on a virtual heart model: effect of a cardiac equivalent source and a volume onductor[J]. Chin Phys B, 2011, 20(3): 030702-1-8.
- [12] Zhang Chen, Shou Guo-Fa, Tang Fa-Kuan, et al. A New magnetocardiogram study using a vector model with a virtual heart and the boundary element method[J]. Chin Phys B, 2013, 22(9): 090701-1-5.
- [13] 杨静, 唐发宽, 邸春霞, 等. 高温超导心磁图对冠心病诊断价值的初步探讨[J]. 中国心血管病研究, 2013, 11(5): 326-8.
- [14] 王波, 唐发宽, 华宁, 等. 高温超导量子干涉器在不稳定性心绞痛诊断中的初步研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2014, 12(8): 808-10.
- [15] 孙慧娜, 唐发宽, 黄骁, 等. 心磁图的主要临床应用及研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2014, 6(4): 499-500, 508.
- [16] 赵丹, 陈元禄, 刘芳, 等. 心磁图在冠心病诊断中的临床应用[J]. 天津医科大学学报, 2010, 16(2): 242-4.
- [17] 布伦, 唐发宽, 华宁, 等. 心磁图对不稳定型心绞痛的诊断价值[J]. 中国医疗设备, 2009, 3(4): 7-8.
- [18] 王春宁, 高润霖, 胡奉环, 等. 心磁图对常规心电图正常冠心病的诊断价值的初步探讨[J]. 中华心血管病杂志, 2004, 32(5): 422-6.
- [19] 权薇薇, 陆国平, 李英梅, 等. 心电图正常或呈非特异性改变的冠心病患者心磁图分析[J]. 中华心血管病杂志, 2006, 34(6): 500-3.
- [20] 村上正浩, 鈴木博之, 内藤茂昭. 日立心磁磁気計測システムMC-6400[J]. Lab Clin Pract, 2006, 24(2): 132-9.
- [21] Kanzaki H, Nakatani S, Kandori A, et al. A new screening method to diagnose coronary artery disease using multichannel magnetocardiogram and simple exercise[J]. Basic Res Cardiol, 2003.
- [22] On K, Watanabe S, Yamada S, et al. Integral value of JT interval in magnetocardiography is sensitive to coronary stenosis and improves soon after coronary revascularization[J]. Circ J, 2007, 71(10): 1586-92.
- [23] Ogata K, Kandori A, Watanabe Y, et al. Repolarization spatial-time current abnormalities in patients with coronary heart disease[J]. PACE, 2009, 32(4): 516-24.
- [24] Benjamin A, Steinberg, BA, Ariel Roguin, et al. Magnetocardiogram recordings in a nonshielded environment—reproducibility and ischemia detection[J]. ANE, 2005, 10(2): 152-60.
- [25] Yamada SI, Yamaguchi. Magnetocardiograms in clinical medicine: unique information on cardiac ischemia, arrhythmias, and fetal diagnosis[J]. Intern Med, 2005, 44(1): 19.
- [26] Tumanovskii NM, Safonov ID, Provotorov, VM. Diagnosis of hyperfunction and hypertrophy of the myocardium in hypertension by means of magnetocardiography[J]. Ter Arkh, 1967, 39: 7-34.
- [27] Park JW, Shin ES, Ann SH, et al. Validation of magnetocardiography versus fractional flow reserve for detection of coronary artery disease[J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2015, 59: 267-81.
- [28] Smith FE, Langley P, Van Locuwen, et al. Comparison of magnetocardiography and electrocardiography[J]. Anadolu Kardiyoloji Dergisi, 2007, 7(Suppl 1): 20-2.
- [29] Park JW, Leithäuser B, Vrsansky M, et al. Dobutamine stress magnetocardiography for the detection of significant coronary artery stenoses—a prospective study in comparison with simultaneous 12-lead electrocardiography[J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2008, 39: 21-32.
- [30] Sato M, Terada Y, Mitsui T, et al. Detection of myocardial ischemia by magnetocardiogram using 64-channel SQUID system[C]//Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2001: 523-6.
- [31] Tsukada K, Miyashita T, Kandori A, et al. Magnetocardiographic mapping characteristic for diagnosis of ischemic heart disease[C]//Computers in Cardiology 2000. Vol. 27 (Cat. 00CH37163). IEEE, 2000: 505-8.
- [32] 林乐健, 唐发宽. 心磁图和心电图早期诊断冠心病的真实性指标比较[J]. 心脏杂志, 2015, 27(5): 606-8.
- [33] 许文娟, 唐发宽, 黄骁, 等. 基于超导信息心磁图仪参数的临床研究进展[J]. 医学研究杂志, 2015, 44(10): 189-91.
- [34] 黄骁, 华宁, 李玲, 等. 低温超导心磁图对冠心病早期诊断价值的研究[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2019, 11(8): 1046-9.
- [35] Xiao Huang, Ning Hua, Fakuan Tang, et al. Effectiveness of magnetocardiography to identify patients in need of coronary artery revascularization: a cross-sectional study[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2020, 10(4): 831-40.

- [36] Huang Xiao, Pengfei Chen, Tang Fakuan, *et al.* Detection of coronary artery disease in patients with chest pain: a machine learning model based on magnetocardiography parameters[J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2021, 78(3):227–36.
- [37] Lim HK, Chung N, Ko YG, *et al.* Magnetocardiogram difference between healthy subjects and ischemic heart disease patients[J]. *IEEE Trans Magn*, 2009, 45(6):2890–3.
- [38] Fenici R, Brisinda D, Meloni AM. Clinical application of magnetocardiography[J]. *Expert Rev Mol Diagn*, 2005, 5:291–313.
- [39] Ikefuji H, Nomura M, Nakaya Y, *et al.* Visualization of cardiac dipole using a current density map: detection of cardiac current undetectable by electrocardiography using magnetocardiography[J]. *J Med Invest*, 2007, 54:116–23.
- [40] Cohen D, Norman JC, Molokhia F, *et al.* Magnetocardiography of direct currents: S–T segment and baseline shifts during experimental myocardial infarction[J]. *Science*, 1971, 172(3990):1329–33.
- [41] Cohen D, Kaufman LA. Magnetic determination of the relationship between the S–T segment shift and the injury current produced by coronary artery occlusion[J]. *Circ Res*, 1975, 36(3):414–24.
- [42] Lim HK, Kwon H, Chung N, *et al.* Usefulness of magnetocardiogram to detect unstable angina pectoris and non–ST elevation myocardial infarction[J]. *Am J Cardiol*, 2009, 103(4):448–54.
- [43] Baule G. and McFee R. Detection of the magnetic field of the heart[J]. *Am Heart J*, 1963, 66(1):95–6.
- [44] Kwon H, Kim K, Lee YH, *et al.* Non–invasive magnetocardiography for the early diagnosis of coronary artery disease in patients presenting with acute chest pain[J]. *Circ J*, 2010, 74(7):1424–30.
- [45] Kyoon LH, Kim K, Lee YH, *et al.* Detection of non–ST–elevation myocardial infarction using magnetocardiogram: new information from spatiotemporal electrical activation map[J]. *Ann Med*, 2009, 41(7):533–46.
- [46] Sorbo AR, Lombardi G, La Brocra L, *et al.* Unshielded magnetocardiography: repeatability and reproducibility of automatically estimated ventricular repolarization parameters in 204 healthy subjects[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2018.
- [47] Hailer B, Chaikovskiy I, Auth–Eisernitz S, *et al.* The value of magnetocardiography in patients with and without relevant stenoses of the coronary arteries using an unshielded system[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2005, 28(1):8–16.
- [48] Koch H. Recent advances in magnetocardiography[J]. *J Electrocardiol*, 2004.
- [49] Wu YW, Lee CM, Liu YB, *et al.* Usefulness of magnetocardiography to detect coronary artery disease and cardiac allograft vasculopathy[J]. *Circ J*, 2013, 77(7):1783–90.
- [50] Lazzara R, Scherlag BJ. Electrophysiologic basis for arrhythmias in ischemic heart disease[J]. *Am J Cardiol*, 1984, 53(5):1B–7B.
- [51] Higham PD, Furniss SS, Campbell RW. QT dispersion and components of the QT interval in ischaemia and infarction[J]. *Br Heart J*, 1995, 73(1):32–6.
- [52] Cohen D, Edelsack EA, Zimmerma Je. Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting point–contact magnetometer[J]. *Applied Physics Letters*, 1970, 16(7):278.
- [53] Stratbucker Ra, Hyde Cm, Wixson Se. The magnetocardiogram—a new approach to the fields surrounding the heart[J]. *IEEE Trans BiomedEng*, 1963, 10(4):145–9.
- [54] Ramesh R, Senthilnathan S, Sathesh S, *et al.* Magnetocardiography for identification of coronary ischemia in patients with chest pain and normal resting 12–lead electrocardiogram[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2020.
- [55] Pena ME, Pearson CL, Goulet MP, *et al.* A 90–second magnetocardiogram using a novel analysis system to assess for coronary artery stenosis in Emergency department observation unit chest pain patients[J]. *Int J Cardiol Heart Vasc*, 2020.
- [56] Shin ES, Chung JH, Park SG, *et al.* Comparison of exercise electrocardiography and magnetocardiography for detection of coronary artery disease using ST–segment fluctuation score[J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2019, 73(2):283–91.
- [57] Shin ES, Park SG, Saleh A, *et al.* Magnetocardiography scoring system to predict the presence of obstructive coronary artery disease[J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2018, 70(4):365–73.
- [58] Shin ES, Park JW, Lim DS. Magnetocardiography for the diagnosis of non–obstructive coronary artery disease 1[J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2018, 69(1–2):9–11.
- [59] Chaikovskiy I, Hailer B, Sosnytskyy V, *et al.* Predictive value of the complex magnetocardiographic index in patients with intermediate pretest probability of chronic coronary artery disease: results of a two–center study[J]. *Coron Artery Dis*, 2014, 25(6):474–84.
- [60] Park JW, Hill PM, Chung N, *et al.* Magnetocardiography predicts coronary artery disease in patients with acute chest pain[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2005, 10(3):312–23.
- [61] Goernig M, Liehr M, Tute C, *et al.* Magnetocardiography based spatiotemporal correlation analysis is superior to conventional ECG analysis for identifying myocardial injury[J]. *ANN BIOMED ENG*, 2009, 37(1):107–11.
- [62] Camm AJ, Henderson R, Brisinda D, *et al.* Clinical utility of magnetocardiography in cardiology for the detection of myocardial ischemia[J]. *J Electrocardiol*, 2019.
- [63] Park JW, Jung F. Qualitative and quantitative description of myocardial ischemia by means of magnetocardiography[J]. *Biomed Tech (Berl)*, 2004, 49(10):267–73.
- [64] Hanninen H, Holmstrom M, Vesterinen P, *et al.* Magnetocardiographic assessment of healed myocardial infarction[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2006, 11(3):211–21.
- [65] 李勇, 石曦, 陈伟宁. 心磁图原理及最新进展[J]. *中国医疗设备*, 2008, 23(8):46–8.
- [66] Shin ES, Lam YY, Her AY, *et al.* Incremental diagnostic value of combined quantitative and qualitative parameters of magnetocardiography to detect coronary artery disease[J]. *Int J Cardiol*, 2017.
- [67] Wu YW, Lin LC, Tseng WK, *et al.* QTc heterogeneity in rest magnetocardiography is sensitive to detect coronary artery disease: in comparison with stress myocardial perfusion imaging[J]. *Acta Cardiol Sin*, 2014, 30(5):445–54.
- [68] Li Y, Che Z, Quan W, *et al.* Diagnostic outcomes of magnetocardiography in patients with coronary artery disease[J]. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(2):2441–6.
- [69] Bang WD, Kim K, Lee YH, *et al.* Repolarization heterogeneity of magnetocardiography predicts long–term prognosis in patients with acute myocardial infarction[J]. *Yonsei Med J*, 2016, 57(6):1339–46.
- [70] Lim HK, Chung N, Kim K, *et al.* Can magnetocardiography detect patients with non–ST–segment elevation myocardial infarction? [J]. *Ann Med*, 2007, 39(8):617–27.

本文编辑：张晓冬，孙竹