

## 论著·临床研究

## 经皮氧饱和度测定结合心脏超声远程会诊筛查新生儿危重先天性心脏病

沈奕<sup>1</sup>, 赵莉晴<sup>2</sup>, 刘晓青<sup>1</sup>, 郁燕<sup>1</sup>, 刘岚<sup>1</sup>, 武育蓉<sup>2</sup>

1. 上海交通大学医学院附属新华医院崇明分院儿科, 上海 202150; 2. 上海交通大学医学院附属新华医院小儿心血管科, 上海 200092

**[摘要]** **目的**·探讨经皮氧饱和度测定结合心脏超声远程会诊在偏远地区新生儿危重型先天性心脏病 (critical congenital heart disease, CCHD) 筛查及转诊中的价值。**方法**·以上海崇明区 2014—2016 年的活产新生儿为筛查对象, 于生后 24 ~ 48 h 进行经皮氧饱和度测定筛查 CCHD, 同时按照先天性心脏病分段诊断方法录制标准切面, 将心脏超声图像通过微信平台远程会诊后进行初步确诊。**结果**·共 4 450 例活产新生儿接受筛查, 阳性 11 例, 经心脏超声远程会诊初步确诊 CCHD 6 例, 筛查阴性者中 1 例后经心脏超声诊断为肺动脉闭锁伴室间隔缺损。经皮氧饱和度筛查 CCHD 的敏感度为 85.71%, 特异度为 99.89%, 假阳性率为 0.11%, 假阴性率为 14.29%, ROC 曲线下面积为 0.928。**结论**·经皮氧饱和度测定可以有效筛查出 CCHD, 结合微信平台心脏超声远程会诊可以初步确诊 CCHD, 既可及时转诊, 又可避免不必要的转诊。该筛查模式简便易行, 在缺少先天性心脏病诊治专业医技人员的偏远地区有实用价值。

**[关键词]** 先天性心脏病; 氧饱和度; 筛查; 心脏超声; 远程会诊

**[DOI]** 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.11.014 **[中图分类号]** R722.1 **[文献标志码]** A

## Percutaneous oxygen saturation measurement combined with echocardiography remote consultation in screening of neonatal critical congenital heart disease

SHEN Yi<sup>1</sup>, ZHAO Li-qing<sup>2</sup>, LIU Xiao-qing<sup>1</sup>, YU Yan<sup>1</sup>, LIU Lan<sup>1</sup>, WU Yu-rong<sup>2</sup>

1. Department of Paediatrics, Xinhua Hospital Chongming Branch, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 202150, China; 2. Department of Pediatric Cardiovascular, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China

**[Abstract]** **Objective**·To investigate the value of percutaneous oxygen saturation measurement combined with echocardiography remote consultation in the screening and referral of neonatal critical congenital heart disease (CCHD) in remote areas. **Methods**·The live newborns who were born between 2014 and 2016 in Chongming District of Shanghai were taken as the objects of study, the percutaneous oxygen saturation was measured at 24–48 h after birth. The data were classified according to congenital heart disease segmental diagnosis standard in the mean time, and the echocardiography was preliminary diagnosed after the remote consultation through WeChat platform. **Results**·A total of 4 450 live newborns were screened, 11 cases were positive, 6 cases were preliminary diagnosed as CCHD by the echocardiography remote consultation, and 1 case of negative screening was later diagnosed as pulmonary atresia with ventricular septal defect by echocardiography. The sensitivity of percutaneous oxygen saturation screening for CCHD was 85.71%, the specificity was 99.89%, the false positive rate was 0.11%, the false negative rate was 14.29%, and the area under the ROC curve was 0.928. **Conclusion**·CCHD can be screened out effectively by percutaneous oxygen saturation combined with the WeChat platform, and it can be preliminary diagnosed by the echocardiography remote consultation, which can provide timely referral and avoid unnecessary referral. This screening model is simple and practical. It has practical value in remote areas where are lack of professional medical technicians for the diagnosis and treatment of congenital heart disease.

**[Key words]** congenital heart disease; oxygen saturation; screening; echocardiography; remote consultation

先天性心脏病 (congenital heart disease, CHD) 是最常见的出生缺陷, 其发病率为 0.7% ~ 0.9%, 其中约 25% 为危重型先天性心脏病 (critical congenital heart disease, CCHD), 需要在新生儿期或生后第一年内接受心脏手术或者导管介入治疗<sup>[1-2]</sup>。随着超声技术应用于 CHD 筛查

及诊断, 约 50% 的 CHD 可以在产前获得诊断<sup>[3-4]</sup>; 但仍有部分种类的 CHD 产前不易诊断, 尤其是主动脉弓中断、肺静脉异位引流等。因此, CHD 特别是 CCHD 患儿出生后早期的筛查及诊断十分重要。2011 年美国心脏学会和美国儿科学会推荐新生儿出院前使用经皮氧饱和度

**[基金项目]** 2011 年新华医院重点扶植学科; 上海交通大学医工交叉项目 (YG2015MS70) (Key Discipline of Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine; Biomedical Engineering Cross Foundation of Shanghai Jiao Tong University, YG2015MS70)。

**[作者简介]** 沈奕 (1983—), 女, 住院医师, 学士; 电子邮箱: tao15021859895@163.com。

**[通信作者]** 武育蓉, 电子邮箱: wuyurong@xinhumed.com.cn。



(percutaneous oxygen saturation, SpO<sub>2</sub>) 测定进行 CCHD 筛检, 以达到早期发现早期治疗的目的<sup>[5]</sup>。崇明是上海偏远的岛区, 缺少小儿 CHD 诊治的专业医护人员, CCHD 必须早期发现并及时转诊, 否则死亡率极高。微信平台传输图像数据简便易行, 在手机及电脑中均应用方便, 在不依赖高端远程会诊系统的情况下, 可以实现心脏超声的远程会诊。本研究将探讨 SpO<sub>2</sub> 测定结合微信平台心脏超声远程会诊在崇明地区新生儿 CCHD 筛查及诊断中的价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

以 2014 年 8 月 1 日—2016 年 8 月 31 日在中国上海崇明地区 2 家医院 (上海交通大学医学院附属新华医院崇明分院、崇明堡镇医院) 连续出生的活产新生儿为研究对象。本研究经新华医院崇明分院医院伦理委员会批准, 新生儿监护人签署知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 SpO<sub>2</sub> 测定 应用标准化血氧浓度仪 MASIMO Rad-5 测量血氧饱和度。测定时间为出生后 24 ~ 48 h。待受检儿安静后, 同时或者前后连续测定右手和足 (左或右足之一) 的 SpO<sub>2</sub>, 在检测到稳定的心率或脉搏波形时记录即刻值。

1.2.2 超声心动图检查 所有参加研究的新生儿在完成血氧饱和度筛查后接受当地超声心动图检查, 最晚不超过生后 7 d。筛检阳性者 1 h 内进行心脏超声检查。应用 Philips IE33 彩色多普勒超声仪, 经胸探头频率为 3 ~ 8 MHz, 采用 CHD 的顺序分段诊断方法, 录制各切面动态及静态图像。按要求将各切面图像保存为 JPG 或者 AVI 格式后再利用微信平台传至新华医院, 由小儿心血管超声专科医师进行会诊, 24 h 内反馈会诊结果。会诊后诊断为 CCHD 的患儿立即转诊至新华医院小儿心血管科再次行心脏超声检查明确诊断, 非 CCHD 患儿于 3 月龄左右至新华医院再次复查心脏超声。

1.3 筛检标准及流程

1.3.1 阴性标准 记录一次右手或任一足的 SpO<sub>2</sub> 值 ≥ 95%, 同时手足 SpO<sub>2</sub> 值差距 ≤ 3%。

1.3.2 阳性标准 ①连续 3 次 (每次间隔 30 min) 皆无法符合“阴性标准”。②第一次不符合“阴性标准”, 且第二次 (间隔 30 min) 记录到任一点 (右手或任一足) SpO<sub>2</sub> 值 <90%<sup>[6]</sup> (图 1)。

1.4 统计学方法

采用 SPSS19.0 统计软件进行分析。以超声心动图检查结果作为 CCHD 的诊断依据, 分别计算 3 次筛检的敏感度、特异度、假阳性率、假阴性率以及受试者工作特征 (receiver operating characteristics, ROC) 曲线下面积 (area under curve, AUC)。

2 结果

2.1 SpO<sub>2</sub> 筛查完成率

连续出生活产新生儿共 4 510 例, 4 450 例于生后 24 ~ 48 h 内接受了 CCHD 筛检, 筛检率为 98.67%。60 例新生儿未筛检, 包括拒绝筛检 11 例, 因病情危重转院而未筛检 43 例, 漏筛检 (未经院方同意 24 h 内自动出院) 6 例。

2.2 超声心动图检查结果

4 450 例参加筛查的新生儿均完成心脏超声检查, 所有患儿的超声图像均经微信平台远程会诊, 确诊 CHD 56 例, 较多见的 CHD 为房间隔缺损 (14 例)、室间隔缺损 (11 例)、肺动脉瓣狭窄 (5 例), 其中 CCHD 有 7 例。远程会诊超声心动图检查结果见表 1。

3 月龄后 4 008 例至新华医院小儿心血管科随访, 失访率为 9.9%; 448 例动脉导管未闭患儿中有 405 例获随访, 102 例未闭合, 303 例自然闭合, 自然闭合率 75%; 1 313 例 ≤ 5 mm 的房间隔缺损患儿中有 1 197 例获随访, 722 例未闭合, 475 例自然闭合, 自然闭合率 39.6%。56 例诊断为 CHD 者全部至新华医院随访, 诊断符合率 100%; 平台远程会诊诊断正常者中漏诊 1 例肺动脉吊带、1 例部分型肺静脉异位引流、1 例主肺动脉窗、1 例左冠状动脉异常起源于肺动脉, 其余诊断正确。新华医院超声心动图随访及漏诊病例检查结果见表 2。

表 1 4 450 例新生儿远程会诊心脏超声检查结果  
Tab 1 Echocardiographic results of 4 450 newborns through remote consultation

疾病	远程会诊 /n	占筛查人数的比例 /%
正常	2 633	59.17 (2 633/4 450)
动脉导管未闭	448	10.07 (448/4 450)
房间隔缺损 (≤ 5 mm) / 卵圆孔未闭	1 313	29.50 (1 313/4 450)
房间隔缺损 (Ⅱ) >5 mm	14	0.31 (14/4 450)
室间隔缺损	11	0.24 (11/4 450)
肺动脉瓣狭窄	5	0.11 (5/4 450)
部分性肺静脉异位引流	1	0.02 (1/4 450)
轻度主动脉瓣狭窄	2	0.04 (2/4 450)
肺动脉吊带	1	0.02 (1/4 450)
右位主动脉弓	3	0.07 (3/4 450)

(续表 1)

疾病	远程会诊 /n	占筛查人数的比例 /%
冠状动脉瘘	2	0.04 (2/4 450)
William's 综合征	1	0.02 (1/4 450)
完全性房室间隔缺损	2	0.04 (2/4 450)
法洛四联症	1	0.02 (1/4 450)
三尖瓣下移畸形	2	0.04 (2/4 450)
主肺动脉窗	1	0.02 (1/4 450)
左上腔静脉残存	3	0.07 (3/4 450)
主动脉弓中断	3	0.07 (3/4 450)
完全性大动脉转位	1	0.02 (1/4 450)
完全性肺静脉异位引流	1	0.02 (1/4 450)
肺动脉闭锁 / 室间隔缺损	1	0.02 (1/4 450)
单心室 / 肺动脉狭窄	1	0.02 (1/4 450)

表 2 超声心动图随访及漏诊病例检查结果 (n)  
Tab 2 Echocardiographic results of follow-up and missed diagnosis patients (n)

疾病	微信平台远程 超声会诊	新华医院超声诊断
正常	2 633	2 346
动脉导管未闭	448	102 (303 例愈合)
房间隔缺损 (≤ 5 mm) / 卵圆孔未闭	1 313	722 (475 例愈合)
部分型肺静脉异位引流	1	2 (漏诊 1 例)
主肺动脉窗	1	2 (漏诊 1 例)
肺动脉吊带	1	2 (漏诊 1 例)
左冠状动脉异常起源于肺动脉	0	1 (漏诊 1 例)

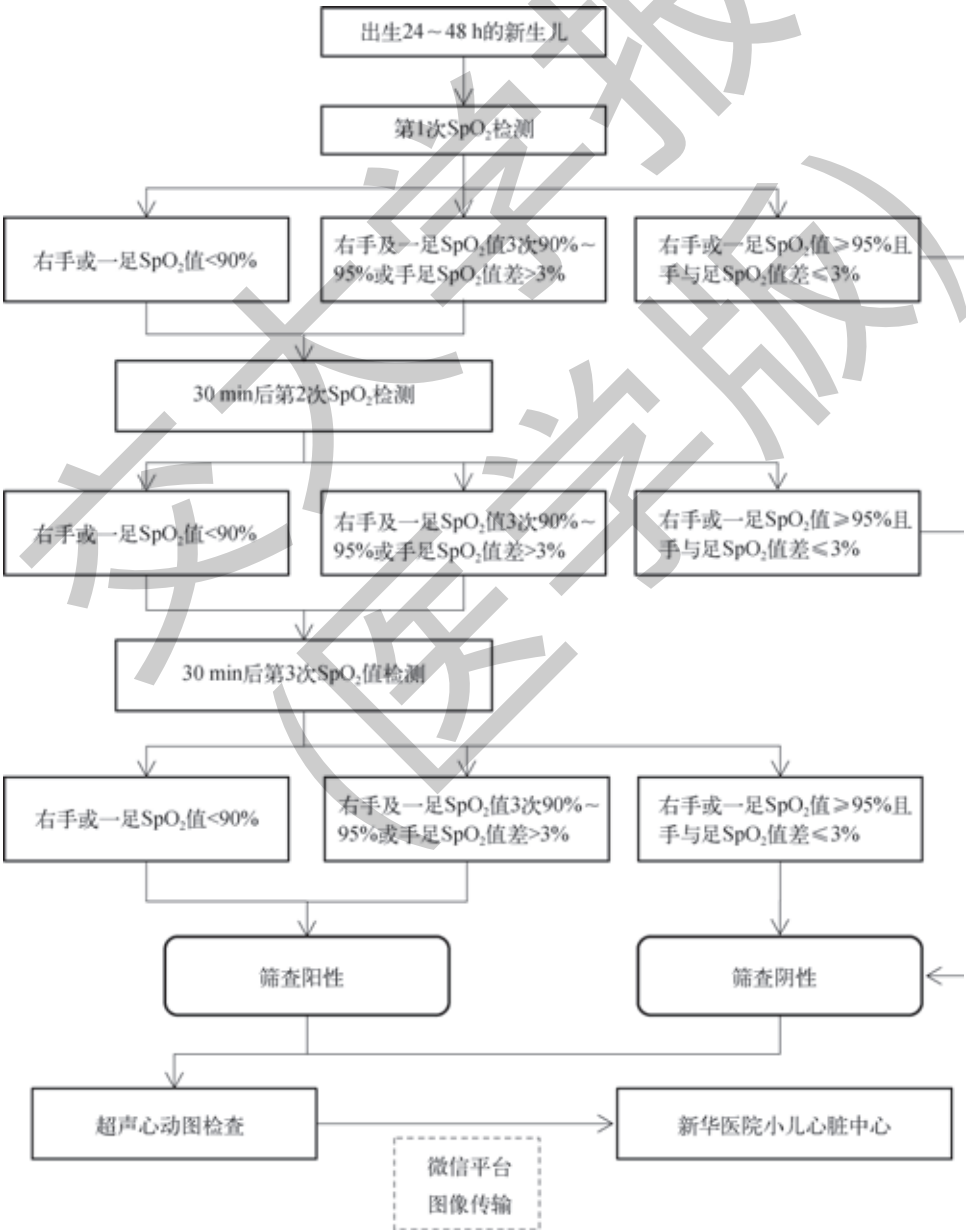


图 1 SpO<sub>2</sub> 法筛查 CCHD 操作流程  
Fig 1 Flowchart of screening CCHD by SpO<sub>2</sub>

2.3 微信平台远程超声会诊的诊断价值

以新华医院超声心动图诊断结果作为标准, 评价微信平台远程超声会诊对 CHD 的诊断价值, 结果见表 3。因为 3 个月内超声检查结果提示  $\leq 5\text{ mm}$  房间隔缺损、卵圆孔未闭、动脉导管未闭等不视为 CHD, 因此这部分病例在计算诊断价值时未计入。微信平台远程会诊诊断 CHD 的敏感度为 93.33%, 特异度为 100%, 假阴性率为 6.67%。

表 3 微信平台远程会诊诊断 CHD 的价值 (n)  
Tab 3 Value of remote consultant diagnosis with WeChat on CHD (n)

远程会诊	新华医院超声心动图诊断		合计
	CHD	非 CHD	
CHD	56	0	56
非 CHD	4	2 346	2 350
合计	60	2 346	2 406

2.4 微信平台远程超声会诊诊断 CCHD 的价值

经心脏彩色超声微信平台远程会诊初步确诊 7 例 CCHD (表 4), 转诊至新华医院新生儿监护室后再次行心脏超声检查做出最终详细诊断, 基本诊断符合率 100%。

表 4 7 例经心脏超声远程会诊确诊的 CCHD 病例  
Tab 4 Seven cases of CCHD diagnosed by echocardiographic remote consultation

编号	远程会诊超声诊断	专科医院心脏超声诊断	右手 SpO <sub>2</sub> /%	足 SpO <sub>2</sub> /%
1	主动脉弓中断	主动脉弓中断 A 型	95	90
2	主动脉弓中断	主动脉弓中断 A 型	93	89
3	主动脉弓中断	主动脉弓中断 B 型	90	83
4	完全性大动脉转位	完全性大动脉转位 / 室间隔完整 / 房间隔缺损	78	74
5	单心室 / 肺动脉狭窄	单心室 / 肺动脉狭窄	88	88
6	完全性肺静脉异位引流	完全性肺静脉异位引流 (梗阻型)	87	88
7	肺动脉闭锁 / 室间隔缺损	肺动脉闭锁 / 室间隔缺损 / 动脉导管未闭	95	95

2.5 SpO<sub>2</sub> 测量筛查 CCHD 的检验效能

第 1 次筛检阴性者 4 423 例, 阳性 27 例; 阳性者 30 min 后进行第 2 次筛检, 6 例转为阴性; 剩余 21 例阳性者经第 3 次筛检, 10 例转为阴性, 仍为阳性者 11 例; 其中 6 例为 CCHD, 3 例主动脉弓离断, 1 例单心室 / 肺动脉狭窄, 1 例室间隔完整型完全性大动脉转位, 1 例完全性肺静脉异位回流 (心上型, 梗阻型); 其余 5 例为假阳性, 其中 2 例为室间隔缺损, 2 例为 5 mm 以上房间隔缺损, 1 例心脏结构正常。筛检阴性者中有 1 例经心脏

超声远程会诊确诊为肺动脉闭锁 / 室间隔缺损, 筛检后第 2 日患儿血氧饱和度下降, 后转诊至新华医院。以超声心动图诊断结果作为金标准, 计算第 1 次筛检的敏感度为 85.71%, 特异度为 99.53%, 假阳性率为 0.47%, 假阴性率为 14.29%, 准确率为 99.50%, AUC 为 0.926; 第 2 次筛检的敏感度为 85.71%, 特异度为 99.66%, 假阳性率为 0.34%, 假阴性率为 14.29%, 准确率为 99.64%, AUC 为 0.927; 第 3 次筛检的敏感度为 85.71%, 特异度为 99.89%, 假阳性率为 0.11%, 假阴性率为 14.29%, 准确率为 99.87%, AUC 为 0.928 (图 2)。经统计, 第 2 次筛检与第 1 次筛检相比, 诊断价值无显著差异; 第 3 次筛检与第 2 次筛检相比, 诊断价值明显改善 ( $P<0.05$ )。

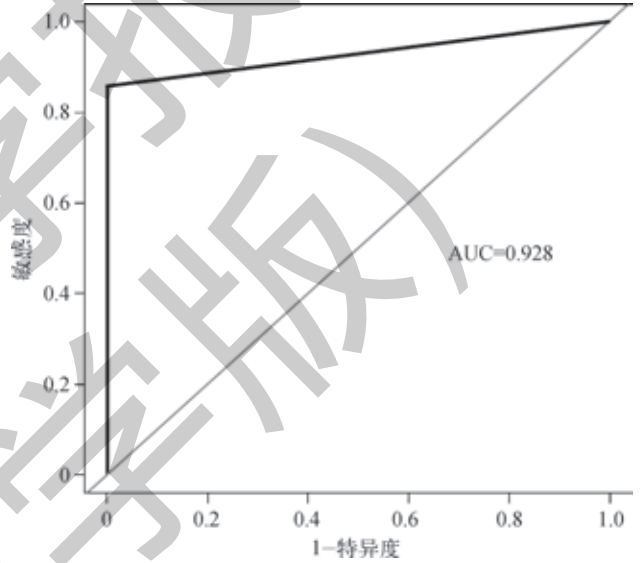


图 2 3 次 SpO<sub>2</sub> 筛检 CCHD 的 ROC 曲线  
Fig 2 ROC curve of SpO<sub>2</sub> for screening CCHD

3 讨论

CCHD 是指动脉导管依赖的 CHD, 如左心发育不良综合征、主动脉弓中断或重度主动脉缩窄、室间隔完整的大动脉转位、肺动脉闭锁伴室间隔完整或室间隔缺损等, 或需要在新生儿期手术治疗的 CHD, 如梗阻型肺静脉异位引流等。这类 CHD 患儿病情危重, 若处理不当, 可能因严重缺氧或循环衰竭而死亡, 因此早期诊断及治疗至关重要。大多数 CCHD 伴有低氧血症或低血氧饱和度, 但是早期可能因青紫轻微而临床难以察觉<sup>[7]</sup>。血氧浓度仪 (pulse oximetry, POX) 是一种准确、简便的 SpO<sub>2</sub> 测定工具, 用于临床筛查 CCHD 已有 10 余年。SpO<sub>2</sub> 测定筛查 CCHD 的方法及价值已有多项研究, 总的筛查敏感度为 76.5%, 特异度为 99.5%<sup>[8]</sup>。目前各项研究中, SpO<sub>2</sub> 筛查



方法的阳性判断标准大致相仿,但在筛查时间、重复筛查间隔、附加其他指标等方面不尽相同<sup>[9-10]</sup>。实施 SpO<sub>2</sub> 测定筛查 CCHD 的时间是影响假阳性率的重要因素。新生儿血氧饱和度在出生后 24 h 内变化较大,生后 24 h 内进行筛检会增加假阳性率<sup>[11]</sup>,而过晚筛检则可能错失早期诊断的良机<sup>[12]</sup>。因此,本研究选择生后 24 ~ 48 h 作为筛查时间点。

国外研究发现,重复筛查可以显著降低假阳性率<sup>[8]</sup>,减少不必要的转诊。本研究中对筛检阳性患儿进行重复筛检后,阳性者从 27 例降至 11 例,假阳性率显著下降。不同的筛查方案中重复筛检的间隔时间不同,目前国内的方案中重复筛检间隔时间为 4 h<sup>[13]</sup>。动脉导管依赖型 CCHD 患儿中,生后 12 ~ 24 h 动脉导管发生自然闭合的概率较高;鉴于崇明地区偏远的特点,间隔 4 h 重复筛查会延长整个筛查时间,影响及时转诊及治疗,因此我们采取重复筛检时间间隔为 30 min、共筛检 3 次的方案。本研究结果证明,按此间隔时间重复筛检可以有效降低假阳性率,并且缩短了整个筛查时间,既显著减少了不必要的转诊,也为 CCHD 患儿得到及时治疗赢得了宝贵时间。

辅助心脏杂音的检测有助于提高 CCHD 筛查的准确性。本研究中 1 例肺动脉闭锁合并室间隔缺损出现漏诊,筛检后第 2 日出现血氧饱和度下降,转诊至新华医院后超声检查提示动脉导管即将关闭。筛检时患儿尚未出现动脉导管关闭引起的血氧饱和度下降是漏诊的主要原因。如果附加心脏听诊,有可能早期发现<sup>[14]</sup>。本研究中若增加心脏听诊可以发现这一例漏诊的肺动脉闭锁合并室间隔缺损,同时漏诊的 3 例非 CCHD 也容易发现。心脏杂音听诊在基层医院不易实现,所以本研究中未采用。上海市 2016 年 7 月开始的新生儿 CHD 筛查项目中,要求辅助心脏杂音听诊并已开始人员筛查培训,数据有待进一步整理分析。

应用 SpO<sub>2</sub> 筛查 CCHD 具有较高的特异度、中等的敏感度<sup>[8,15]</sup>及较低的假阳性率<sup>[16-17]</sup>,且经济成本较低<sup>[18-20]</sup>,简单易操作<sup>[13,21]</sup>,目前已被国外广泛应用,国内也正逐步推行。本研究证实在崇明地区,应用 SpO<sub>2</sub> 筛查 CCHD 是可行的,准确率高。但是,SpO<sub>2</sub> 仅是一种筛检工具,在筛查阳性时对临床没有指导意义。CCHD 中动脉导管依赖型心脏病患儿不能吸氧,而部分非动脉导管依赖的 CCHD 患儿则需要吸氧以改善低氧症状,处理原则截然不同。在偏远的崇明地区,转诊至市级医疗中心需要较长时间,因此筛查出 CCHD 后如果能够在当地行初步的正确治疗有可能明显改善该类患儿的预后。崇明地区缺少复杂 CHD 诊治的专科医师,研究证实远程医疗可弥补偏远地区小儿心脏超声专科医师的缺乏<sup>[22]</sup>。

微信平台传输静态及动态图像数据简便易行,在计算机、平板电脑以及移动手机等设备上均方便使用,而且在人群中应用非常普及,能够随时随地交流,在崇明地区缺少远程会诊高端医疗设备的情况下容易实现对图像数据的会诊,因此本研究选用微信平台作为远程心脏超声会诊平台。本研究中微信平台远程会诊对于 CHD 诊断的敏感度和特异度均较高,对筛检阳性的 7 例 CCHD 的诊断准确率达到 100%。研究结果证明,基层心脏超声技术人员经过专业培训,操作标准规范,并能按会诊中心要求采集、保存相关切面图像,利用微信平台传送进行远程会诊可以实现 CCHD 的初步诊断。

本研究提示,生后 24 ~ 48 h、间隔 30 min 重复 3 次筛查 SpO<sub>2</sub> 的新生儿 CCHD 筛查方案在崇明地区切实可行,联合微信平台心脏超声远程会诊不仅可以使 CCHD 患儿得到早期诊断与治疗,而且可以减少或避免不必要的转诊,减轻家庭及社会的医疗负担。这种 CCHD 筛查模式值得进一步推广,尤其是在偏远地区或者医疗条件较差的地方。

## 参·考·文·献

- [1] Mahle WT, Newburger JW, Matherne GP, et al. Role of pulse oximetry in examining newborns for congenital heart disease: a scientific statement from the American Heart Association and American Academy of Pediatrics[J]. Circulation, 2009, 120(5): 447-458.
- [2] Ewer AK, Middleton LJ, Furmston AT, et al. Pulse oximetry screening for congenital heart defects in newborn infants (PulseOx): a test accuracy study[J]. Lancet, 2011, 378(9793): 785-794.
- [3] Brown KL, Sullivan ID. Prenatal detection for major congenital heart disease: a key process measure for congenital heart networks[J]. Heart, 2014, 100(5): 359-360.
- [4] Levy DJ, Pretorius DH, Rothman A, et al. Improved prenatal detection of congenital heart disease in an integrated health care system[J]. Pediatr Cardiol, 2013, 34(3): 670-679.
- [5] Mahle WT, Martin GR, Beekman RH III, et al. Endorsement of Health and Human



- Services recommendation for pulse oximetry screening for critical congenital heart disease[J]. *Pediatrics*, 2012, 129(1): 190-192.
- [6] Tsao PC, Shiau YS, Chiang SH, et al. Development of a newborn screening program for critical heart disease (CCHD) in Taipei[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153407.
- [7] Zhao QM, Liu F, Wu L, et al. Assessment of undiagnosed critical congenital heart disease before discharge from the maternity hospital[J]. *Chin J Pediatr*, 2017, 55(4): 260-266.
- [8] Riede FT, Worner C, Dahnert I, et al. Effectiveness of neonatal pulse oximetry screening for detection of critical congenital heart disease in daily clinical routine-results from a prospective multicenter study[J]. *Eur J Pediatr*, 2010, 169(8): 975-981.
- [9] Wong KK, Fournier A, Fruitman DS, et al. Canadian Cardiovascular Society/Canadian Pediatric Cardiology Association Position Statement on pulse oximetry screening in newborns to enhance detection of critical congenital heart disease[J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(2): 199-208.
- [10] Hamlickan S, Can E. Critical congenital heart disease screening with a pulse oximetry in neonates[J]. *J Perinat Med*, 2018, 46(2): 203-207.
- [11] Thangaratinam S, Brown K, Zamora J, et al. Pulse oximetry screening for critical congenital heart defects in asymptomatic newborn babies: a systematic review and meta-analysis[J]. *Lancet*, 2012, 379(9835): 2459-2464.
- [12] Riede FT, Wörner C, Dahnert I, et al. Effectiveness of neonatal pulse oximetry screening for detection of critical congenital heart disease in daily clinical routine-results from a prospective multicenter study[J]. *Eur J Pediatr*, 2010, 169(8): 975-981.
- [13] Zhao QM, Ma XJ, Ge XL, et al. Neonatal Congenital Heart Disease screening group. Pulse oximetry with clinical assessment to screen for congenital heart disease in neonates in China: a prospective study[J]. *Lancet*, 2014, 384(9945): 747-754.
- [14] Hu XJ, Ma XJ, Zhao QM, et al. Pulse oximetry and auscultation for congenital heart disease detection[J]. *Pediatrics*, 2017, 140(4): e20171154.
- [15] Huizing MJ, Villamor-martinez E, Chavagne IA, et al. Reliability and validity of a smartphone-paired pulse oximeter for screening of critical congenital heart defects in newborns[J]. *Neonatology*, 2017, 112(4): 324-329.
- [16] Nuntnarumit P, Thanomsingh P, Limrungsikul A, et al. Pulse oximetry screening for critical congenital heart diseases at two different hospital settings in Thailand[J]. *J Perinatol*, 2018, 38(2): 181-184.
- [17] Garg LF, van Naarden Braun K, Knapp MM, et al. Results from the New Jersey statewide critical congenital heart defects screening program[J]. *Pediatrics*, 2013, 132(2): e314-e323.
- [18] Peterson C, Grosse SD, Glidewell J, et al. A public health economic assessment of hospitals' cost to screen newborns for critical congenital heart disease[J]. *Public Health Rep*, 2014, 129(1): 86-93.
- [19] Tobe RG, Martin GR, Li F, et al. Cost-effectiveness analysis of neonatal screening of critical congenital heart defects in China[J]. *Medicine*, 2017, 96(46): A17.
- [20] Peterson C, Grosse SD, Oster ME, et al. Cost-effectiveness of routine screening for critical congenital heart disease in US Newborns[J]. *Pediatrics*, 2013, 132(3): e595-e603.
- [21] Ismail AQT, Cawsey M, Ewer AK. Newborn pulse oximetry screening in practice[J]. *Arch Dis Child Educ Pract Ed*, 2017, 102(3): 155-161.
- [22] Sable CA, Cummings SD, Pearson GD, et al. Impact of telemedicine on the practice of pediatric cardiology in community hospitals[J]. *Pediatrics*, 2002, 109(1): E3.

[ 收稿日期 ] 2018-04-24

[ 本文编辑 ] 吴 洋