

猪心肺复苏中颈动脉血流与脉搏血氧波形衍生参数的相关性研究

尹路^{1,2} 王建岗³ 罗伟⁴ 付阳阳¹ 朱华栋¹ 徐军¹ 于学忠¹

¹ 中国医学科学院北京协和医院急诊科, 北京 100730; ² 安徽医科大学第二附属医院重症医学科, 合肥 230601; ³ 杭州市急救中心医教培训科, 杭州 310021;

⁴ 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司, 深圳 518057

通信作者: 徐军, Email: xujunfree@126.com; 于学忠, Email: yxzpumch@126.com

【摘要】目的 探讨猪心肺复苏中颈动脉血流与脉搏血氧波形衍生参数的相关性, 为心肺复苏中颈动脉血流监测提供新指标。**方法** 选择 7 只雄性家猪通过电刺激法建立室颤心脏骤停模型。心脏骤停 8 min 后予以人工胸外按压 4 min, 在按压 2 min 后予以肾上腺素 20 μ g/kg 静脉注射。持续监测并记录按压频率、按压深度、右颈动脉血流量、脉搏血氧波形、主动脉压、右心房压力及呼气末二氧化碳分压。从按压 30 s 至 4 min, 每隔 30 s 为时间点, 计算时间点前 6 s 的平均右颈动脉血流量、脉搏血氧波形曲线下面积、平均灌注指数、平均冠状动脉灌注压及平均呼气末二氧化碳分压, 并将右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积及灌注指数分别作相关性分析。**结果** 7 只雄性家猪均成功被诱发室颤。4 min 胸外按压过程中, 每分钟的平均按压频率及按压深度的差异无统计学意义。胸外按压 30 s 测算的右颈动脉血流量为 (92.7 \pm 32.7) mL/min, 在按压 1 min 时下降至 (48.5 \pm 23.5) mL/min ($P < 0.05$)。注射肾上腺素前后血流量变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。胸外按压期间脉搏血氧波形曲线下面积及灌注指数与右颈动脉血流量呈同步变化趋势。冠状动脉灌注压及呼气末二氧化碳分压与右颈动脉血流量呈不同变化趋势。右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积具有正相关性 ($r = 0.66$, $P < 0.01$), 与灌注指数也呈正相关性 ($r = 0.57$, $P < 0.01$)。**结论** 猪心肺复苏中颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积和灌注指数具有正相关性, 即时监测这两种脉搏血氧波形衍生参数一定程度上可反映颈动脉血流量的变化情况。

【关键词】 心肺复苏; 心脏骤停; 颈动脉血流; 脉搏血氧波形; 灌注指数; 冠状动脉灌注压; 呼气末二氧化碳分压

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82172179); 睿 E (睿意) 急诊医学研究专项基金资助项目 (R2021005)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.01.006

The correlation between carotid blood flow and the parameters derived by pulse oximetry plethysmographic waveform during cardiopulmonary resuscitation in a porcine model

Yin Lu^{1,2}, Wang Jiangan³, Luo Wei⁴, Fu Yangyang¹, Zhu Huadong¹, Xu Jun¹, Yu Xuezhong¹

¹Department of Emergency, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Science, Beijing 100730, China; ²Intensive Care Unit, the Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601, China; ³Medical Education and Training Department, Hangzhou Emergency Medical Center, Hangzhou 310021, China; ⁴Institute of Life Monitoring, Mindray Corporation, Shenzhen 518057, China
Corresponding author: Xu Jun, Email: xujunfree@126.com; Yu Xuezhong, Email: yxzpumch@126.com

【Abstract】Objective To explore the correlation between carotid blood flow and the parameters derived by pulse oximetry Plethysmographic waveform in cardiopulmonary resuscitation, so as to provide a new index for carotid blood flow monitoring in cardiopulmonary resuscitation. **Methods** Seven male domestic pigs were utilized for cardiac arrest model through ventricular fibrillation induced by electrical

stimulation. Eight minutes after cardiac arrest, artificial chest compression was given for 4 min, and epinephrine 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ was injected intravenously at 2 min after chest compression. The compression frequency, compression depth, right carotid blood flow, pulse oximetry plethysmographic waveform, aortic pressure, right atrium pressure and end tidal carbon dioxide partial pressure were continuously monitored and recorded. From 30 s to 4 min after chest compression, the values of the mean right carotid blood flow, the area under curve (AUC) of pulse oximetry plethysmographic waveform, the mean perfusion index, the mean coronary perfusion pressure and the average end-tidal carbon dioxide partial pressure during 6 s before time point were calculated every 30 s. The correlations between right carotid blood flow and the AUC of pulse oximetry plethysmographic waveform and perfusion index were analyzed respectively.

Results Ventricular fibrillation was induced successfully in seven animals. There were no significant differences in the mean chest compression frequency and depth per min during 4 min of chest compression. Right carotid blood flow at 30 s after chest compression was (92.7 ± 32.7) mL/min, and decreased to (48.5 ± 23.5) mL/min at 1 min after chest compression ($P<0.05$). There was no significant difference in blood flow before and after epinephrine injection ($P>0.05$). The AUC of the blood oxygen plethysmographic waveform and perfusion index showed synchronous change trends with right carotid blood flow. Both coronary perfusion pressure and end-tidal carbon dioxide partial pressure showed different change trends with right carotid blood flow. There was a positive correlation between the right carotid blood flow and the AUC of blood oxygen plethysmographic waveform ($r=0.66, P<0.01$), and also a positive correlation between right carotid blood flow and perfusion index ($r=0.57, P<0.01$). **Conclusions** Carotid blood flow is positively correlated with the AUC of blood oxygen plethysmographic waveform and perfusion index in a porcine model of cardiopulmonary resuscitation. Real-time monitoring of the two parameters derived by pulse oximetry plethysmographic waveform can reflect the changes of carotid blood flow to a certain extent.

【 Keywords 】 Cardiopulmonary resuscitation; Cardiac arrest; Carotid blood flow; Pulse oximetry plethysmographic waveform; Perfusion index; Coronary perfusion pressure; End-tidal carbon dioxide partial pressure

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82172179); Rui E Special Fund for Emergency Medicine Research (R2021005)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.01.006

心搏骤停仍是全球重要的公共卫生健康问题,发病率高,生存率低^[1-3]。心脏骤停一旦发生,心脏有效搏动停止,将不能有效泵出血液继而导致全身血流突然中断,若不能及时恢复,将引起重要脏器的严重损伤甚至患者死亡^[4]。而及时胸外按压所产生的前向血流,尤其是脑灌注血流,与复苏后是否发生脑损伤有关。颈动脉血流是脑血流灌注的主要来源^[5],因此即时监测颈动脉血流量的变化,在得到反馈后保持或及时提高复苏质量,甚至调整复苏策略,将有利于维持提高优化脑血流灌注,改善复苏预后。然而目前临床对心肺复苏时颈动脉血流量的监测,仍缺少有效方法。

脉搏血氧监测是急诊常用简便易行的监测手段。脉搏血氧波形源于末端组织的搏动性血流对发出的红外线产生的不同光谱,对其进行分析可以反映末梢组织的灌注情况^[6-7]。笔者此前研究中已发

现,在心肺复苏时末端组织也有搏动性血流产生,其可被探测,也可用脉搏血氧波形衍生参数进行量化,反映胸外按压质量并对预后做出评估^[8-9]。因此推测脉搏血氧波形衍生参数可能和颈动脉血流量存在一定关联,本研究旨在探索在心肺复苏中末梢血氧波形衍生参数与颈动脉血流之间的关系。

1 材料与方 法

本动物实验方案获得北京协和医院伦理审查委员会批准,符合动物实验伦理规范要求(伦理审批文件编号:XHDW-2020-040),实验流程见图1。

1.1 动物模型建立

选择7只体重为35~40 kg的雄性家猪建立猪心脏骤停模型。实验动物在夜间予禁食,不限制饮水。动物肌肉注射氯胺酮(20 mg/kg)麻醉,然后仰卧放置在U形固定架上,再注射戊巴比妥钠(30 mg/kg)。

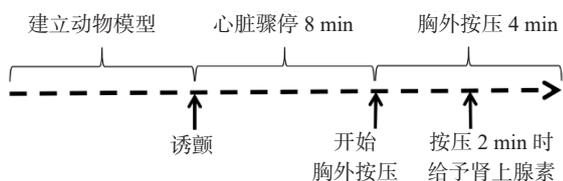


图 1 具体实验流程

Fig 1 Specific experimental procedure

将脉搏血氧计传感器 (520A, 深圳迈瑞, 中国) 包裹动物尾部, 监测脉率和血氧饱和度。每头猪用 6.5 mm 气管导管插管, 用呼吸机 (Mindray-E5, 深圳迈瑞, 中国) 以吸入氧气浓度 0.21, 潮气量 10 mL/kg 进行机械通气。使用主流二氧化碳模块 (Capnostat 5, 伟康, 美国) 监测呼气末二氧化碳分压。调整呼吸频率, 使呼气末二氧化碳分压维持在 35~40 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。用电热毯将动物的体温维持在 36.5~37.5 °C 之间, 并进行直肠温度监测。将胸腔按压反馈仪 (PCPR-B1, 苏州尚领, 中国) 粘贴固定在第五肋间隙水平正中线位置的胸骨上, 在胸外按压时实时监测记录按压频率和按压深度。通过右股动脉将 6 F 导管插入胸主动脉, 测量主动脉血压并记录动脉波形。将与超声血流仪相连的高精度血管血流超声探头 (TS420, Transonic, 美国) 围绕固定于右颈动脉, 持续监测右颈动脉血流量, 并采用生理多导仪 (MP150, BIOPAC, 美国) 记录。将 7.5 F Swan-Ganz 导管 (Edwards Life Sciences, 美国) 从右股静脉置入右心房, 测量核心体温和右心房压力, 两个导管均用含 5 U/mL 肝素的生理盐水间歇冲洗。从右颈外静脉将 5 F 起搏导管 (EP, 美国) 置入右心室。在诱发心室颤动之前, 以 5 mL/(kg·h) 的速度注射葡萄糖氯化钠, 以使右心房压力维持在 3~5 mmHg 之间。使用监护仪 (N22, 深圳迈瑞, 中国) 连续监测和记录心电图、脉率、主动脉压和右心房压力。

1.2 实验步骤

在诱发心室颤动 (VF) 前 15 min 获得实验动物基础生理指标测量值。用右心室起搏电极, 以 24 V/50 Hz 交流电诱发心室颤动, 建立心室颤动后停止机械通气。ECG 室颤波形和动脉血压迅速降至 20 mmHg 确认致颤成功, 并在开始复苏前取出致颤起搏导管。

未予干预的心室颤动 8 min 后, 有经验的急诊医生开始人工按压, 目标频率为 100~120 次/min, 目标按压深度为 4~5 cm, 持续按压时间为 4 min。

实验前所有参与胸外按压人员予以上述目标频率深度的心肺复苏培训, 考核过关后方可作为复苏者参与实验。在胸外按压 1 min 5 s、2 min 5 s、3 min 5 s 更换按压人员, 中断按压时间不超过 2 s。一旦开始胸部按压, 呼吸机重新连接气管导管, 选择容量控制模式, 呼吸机参数设置: 潮气量 8 mL/kg, 恒定流量 30 L/min, 呼气末正压 0 cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa), 吸入氧浓度 1.0, 呼吸频率 10 次/min。气道压力上限设为 60 cmH₂O, 关闭吸气触发灵敏度。在按压 2 min 时予以肾上腺素 20 μg/kg 静脉注射。持续监测并记录按压频率、按压深度、右颈动脉血流量、脉搏血氧波形、主动脉压、右心房压力及呼气末二氧化碳分压。

1.3 参数计算分析

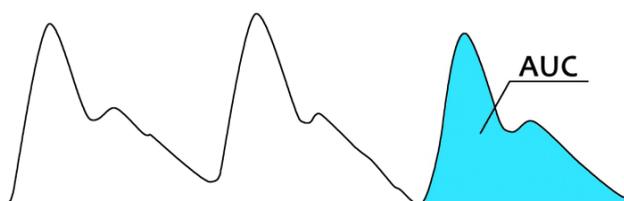
从胸外按压 30 s 至 4 min, 每隔 30 s 为时间点, 计算每个时间点前 6 s 的平均右颈动脉血流量、脉搏血氧波形曲线下面积、平均灌注指数、平均冠状动脉灌注压及平均呼气末二氧化碳分压, 将计算出的数值作为该时间点的右颈动脉血流量、脉搏血氧波形曲线下面积、灌注指数、冠状动脉灌注压及呼气末二氧化碳分压。每个时间点前 6 s 的平均右颈动脉血流量采用软件 (Acknowledge, BIOPAC, 美国) 分析计算。平均右颈动脉血流量定义为 6 s 内右颈动脉前向血流量的均值, 右颈动脉血流量时间曲线参见图 2。每个时间点之前 6 s 的脉搏血氧波形曲线下面积、平均灌注指数、平均冠状动脉灌注压及平均呼气末二氧化碳分压应用软件 (Heart lung recovery platform, 深圳迈瑞, 中国) 分析计算得出。脉搏血氧波形曲线下面积定义为时间点前 6 s 内脉搏轮廓曲线下面积总和, 脉搏血氧波形时间曲线参见图 3。平均灌注指数、平均冠状动脉灌注压及平均呼气末二氧化碳分压分别为 6 s 内该指标所测得数值的均值。冠状动脉灌注压定义为主动脉舒张压减去右心房压力得到的差值。将各时间点右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积及灌注指数分别作相关性分析。

1.4 统计学方法

使用 IBM SPSS 19 软件包进行统计分析, 使用 GraphPad Prism 6 软件作图。对计量资料进行正态分布检验, 符合正态分布的变量用均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 描述; 组间比较使用单因素方差分析 (ANOVA); 自身前后对照用配对 *t* 检验; 相关分析采用 Pearson 相关分析。而不符合正态分布的变



图 2 右颈动脉血流时间曲线
Fig 2 Right carotid blood flow-time curve



AUC 为曲线下面积
图 3 脉搏血氧波形曲线下面积
Fig 3 The area under the curve of pulse oximetry plethysmographic waveform

量用中位数 (四分位数) $[M(Q_1, Q_3)]$ 表示, 组间比较用 Mann-Whitney U 检验, 自身前后对照用 Wilcoxon 符号秩检验, 相关分析采用 Spearman 相关分析。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 诱颤前实验动物基础生理指标

诱颤前 7 只雄性家猪的各项基础生理指标测量结果, 见表 1。

表 1 实验动物基础生理指标 ($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Baseline characteristics of rats ($\bar{x} \pm s$)

生理指标	测量值 ($n=7$)
体重 (kg)	39.0 ± 1.8
心率 (次/min)	87.0 ± 7.8
呼吸频率 (次/min)	15.7 ± 1.3
平均动脉压 (mmHg)	105.9 ± 5.6
呼气末二氧化碳分压 (mmHg)	43.1 ± 0.9
脉搏血氧饱和度 (%)	96.4 ± 1.3
乳酸 (mmol/L)	1.1 ± 0.5

2.2 胸外按压质量分析

7 只猪均成功诱颤建模, 在发生室颤 8 min 后开始胸外按压, 按压每分钟的平均按压频率及按压深度的差异无统计学意义, 见表 2。

2.3 胸外按压 30 s 至 4 min 研究参数的变化情况

胸外按压 30 s 测算的右颈动脉血流量为 (92.7 ± 32.7) mL/min, 随后在按压 1 min 时下降至 (48.5 ± 23.5) mL/min ($P < 0.05$, 图 4)。在此之后血流量并无明显变化, 在按压 2 min 静脉注射肾上

表 2 胸外按压每分钟平均频率及深度的比较

Table 2 Comparison of average frequency and depth of chest compressions per minute

指标	按压 1 min	按压 2 min	按压 3 min	按压 4 min	F 值	P 值
胸外按压频率 (次/min)	109.4 ± 2.8	105.3 ± 3.5	106.3 ± 2.9	105.9 ± 3.4	2.395	0.090
胸外按压深度 (cm)	4.1 ± 0.3	4.6 ± 0.5	4.4 ± 0.4	4.3 ± 0.4	1.662	0.200

腺素后至按压 4 min 血流量变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

胸外按压开始后脉搏血氧波形曲线下面积与右颈动脉血流量呈同步变化趋势。胸外按压 30 s 测算的脉搏血氧波形曲线下面积最高达 $(11\ 614.0 \pm 2\ 461.8)$, 在 1.5 min 时降至 $(9\ 877.7 \pm 1\ 966.1)$ ($P < 0.05$, 图 4A), 2 min 时进一步降低到 $(9\ 331.7 \pm 1\ 840.3)$, 较 1.5 min 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 在静脉注射肾上腺素后至按压 4 min 变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

胸外按压开始后灌注指数与右颈动脉血流量也呈类似同步变化趋势。胸外按压 30 s 监测的灌注指数达 (1.22 ± 0.58) , 在 1.5 min 时降至 (0.77 ± 0.47) ($P < 0.05$, 图 4B), 2 min 时为 (0.62 ± 0.40) , 较 1.5 min 差异无统计学意义, 在静脉注射肾上腺素后, 2.5 min 时进一步降低至 (0.56 ± 0.38) , 较 2 min 变化差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 其后变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

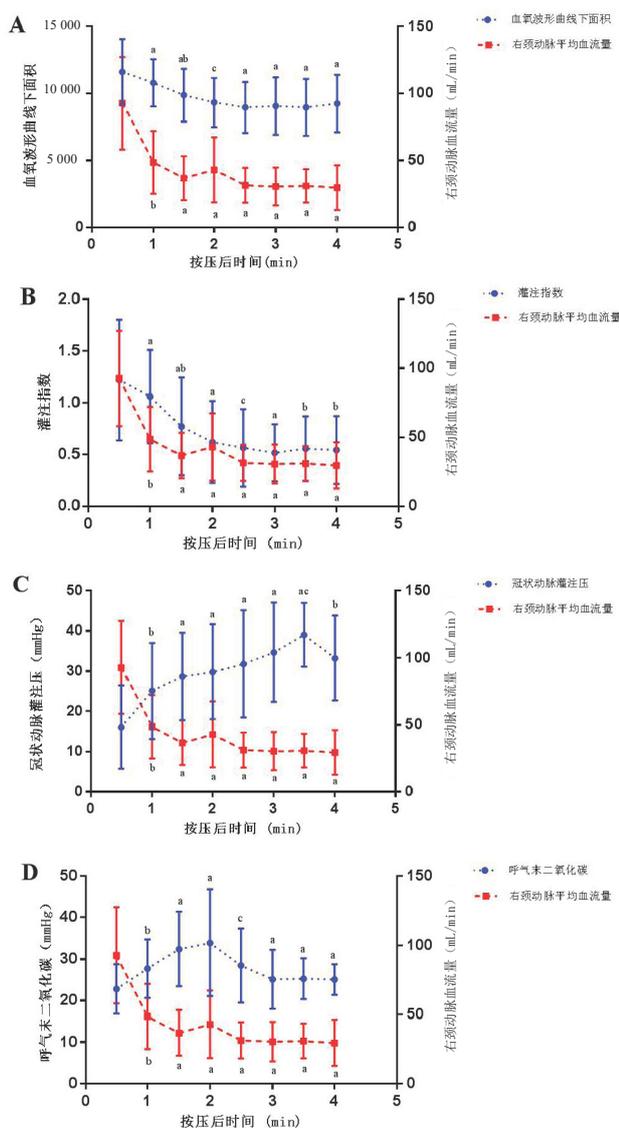
胸外按压开始后冠状动脉灌注压与右颈动脉血流量呈不同变化趋势。胸外按压 30 s 测算的冠状动脉灌注压为 (16.1 ± 10.3) mmHg, 在 1 min 时升高至 (25.1 ± 11.9) mmHg ($P < 0.05$, 图 4C), 2 min 时达 (29.4 ± 12.5) mmHg, 较 1 min 变化差异无统计学意义。在静脉注射肾上腺素后, 冠状动脉灌注压在按压 3.5 min 时升高达 (39.1 ± 7.9) mmHg, 与 2 min 时相比差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。按压 4 min 冠状动脉灌注压下降至 (33.2 ± 10.6) mmHg, 与 3.5 min 时相比差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

胸外按压开始后呼气末二氧化碳分压与右颈动脉血流量也呈不同步变化趋势。胸外按压 30 s 测算的呼气末二氧化碳分压为 (22.8 ± 6.0) mmHg, 在 1 min 时升高达 (27.7 ± 7.1) mmHg ($P < 0.05$, 图 4D), 2 min 时达 (34.0 ± 12.8) mmHg, 较 1 min 变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。在静脉注射肾上腺素后, 呼气末二氧化碳分压在按压 2.5 min 时降至 (28.5 ± 8.9) mmHg, 与 2 min 时相比

差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。其后变化差异无统计学意义。

2.4 右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积及灌注指数的相关性分析

右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积、灌注指数均具有正相关性 ($r = 0.66, P < 0.01$; $r = 0.57, P < 0.01$), 见图 5、6。



A 为右颈动脉血流量和脉搏血氧波形曲线下面积的变化, B 为右颈动脉血流量和灌注指数的变化, C 为右颈动脉血流量和冠状动脉灌注压的变化, D 为右颈动脉血流量和呼气末二氧化碳分压的变化; ^a 为和前一时间点相比, $P > 0.05$; ^b 为和 30 s 时间点相比, $P < 0.05$; ^c 为和前一时间点相比, $P < 0.05$

图 4 胸外按压 30 s 至 4 min 右颈动脉血流量、脉搏血氧波形曲线下面积、灌注指数、冠状动脉灌注压及呼气末二氧化碳分压的变化情况

Fig 4 Changes of right carotid blood flow, the area under the curve of pulse oximetry plethysmographic waveform, perfusion index, coronary perfusion pressure and end tidal carbon dioxide partial pressure during 30 s to 4 min of chest compression

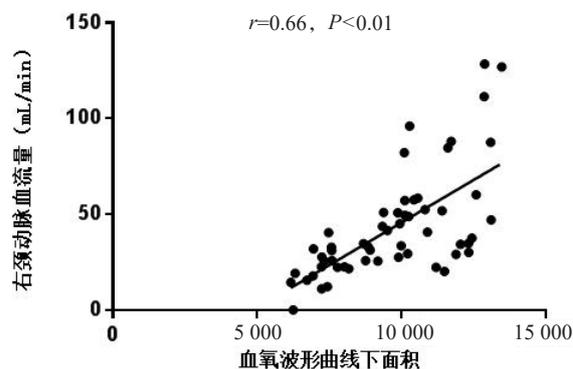


图 5 右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积的相关性
Fig 5 Correlation between right carotid blood flow and area under the curve of pulse oximetry plethysmographic waveform

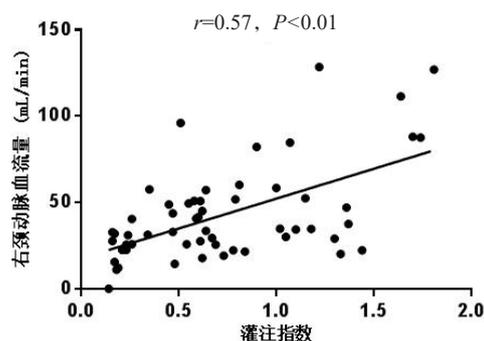


图 6 右颈动脉血流量与灌注指数的相关性
Fig 6 Correlation between right carotid blood flow and perfusion index

3 讨论

血液循环是生命赖以存在的基础, 当心脏骤停导致循环中断, 由胸外按压所产生的前向血流, 是影响心脏骤停患者预后的一个重要因素。而心肺复苏时产生的血流量与多种因素相关, 如胸外按压质量、患者基础疾病及机体生理状况、心肺复苏的时间进程及用药情况等。正因为心肺复苏时血流的变化能提示丰富重要的血流动力学信息, 所以在直接监测困难的情况下, 寻找实用有效的间接指标反映其变化具有重要临床意义。本实验发现在胸外按压质量相对恒定的情况下, 测算的右颈动脉血流量呈时相性改变。与此同时脉搏血氧波形曲线下面积及灌注指数与右颈动脉血流量具有同步变化趋势, 而冠状动脉灌注压及呼气末二氧化碳分压与右颈动脉血流量相比呈不同变化趋势。右颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积和灌注指数均具有一定正相关性。

研究发现随着胸部按压时间延长, 右颈动脉血流量呈时相性改变。这一结果再次证实心脏骤停后胸外按压可以产生一定的前向血流^[10]。在胸外按压 4 min

的时间内,每一分钟胸部按压深度和频率并无显著差异的前提下,右颈动脉产生的前向血流呈时相性变化。研究结果显示右颈动脉血流量在按压 30 s 时最高,在按压 1 min 时下降明显,其后维持在这一水平。这种右颈动脉血流量随复苏进程延长而减少的现象,考虑与循环动静脉压力差降低、静脉回流不充分及外周血管阻力升高有关。本研究还发现使用肾上腺素并不能增加颈动脉血流量。既往研究发现心肺复苏使用肾上腺素降低颈动脉血流和脑血流^[11-12],也有研究发现使用肾上腺素可以提高脑血流^[13-14]。虽然本实验中使用肾上腺素前后血流量的变化差异无统计学意义,但血流量呈下降趋势,结合灌注指数和呼气末二氧化碳分压的明显降低,共同提示肾上腺素并不能增加循环前向血流,可能反而会降低循环前向血流,其机制可能与其强大的 α 受体激动作用导致外周血管阻力明显升高有关。这也从侧面提示在复苏过程中即时监测循环血流量变化对于帮助判断复苏效果非常重要。

呼气末二氧化碳分压被认为与血流量相关^[15]。然而本研究发现在按压质量恒定的情况下,呼气末二氧化碳分压无论升高达到峰值还是下降,整个过程要晚于血流量的变化,这一结果并不意味着呼气末二氧化碳分压和血流量无关,而是提示其作为体循环血流量的后向指标,在早期按压阶段,其绝对数值并不能即时反映颈动脉血流量,可能存在一定的滞后性。冠状动脉灌注压在本研究中也存在类似情况,在颈动脉血流量处于下降过程时,其表现为升高过程。发生这种现象的原因可能是胸外按压早期主动脉舒张压上升的速度要慢于颈动脉血流量的增加。当静脉注射肾上腺素后,外周血管阻力的升高导致主动脉舒张压相较于右心房压力的上升更为明显,表现为冠脉灌注压显著升高,然而颈动脉血流量并没有升高。这在一定程度上可以解释在一项大规模随机对照临床实验中所发现的,使用肾上腺素可以提高复苏成功率,但并不能减少复苏后脑损伤的发生^[16]。

目前心肺复苏时监测参数主要为物理监测参数和生理监测参数,物理监测是使用物理的方法进行参数监测并与指南推荐的标准进行比较。物理监测仅能从心肺复苏实施方面实现质量标准化和同质化,但无法从机体病理生理状态层面实现个体监测和优化。传统生理监测参数当中临床使用较多的是呼气末二氧化碳,然而其使用大多需要气管插管,

也受肺本身状态和通气情况的影响^[17]。脉搏血氧波形衍生参数也属于生理监测参数,其反映的是末梢血流的灌注情况,和大循环的血流密切相关。脉搏血氧波形曲线下面积取决于脉率和每一次脉搏的幅度和持续时间。笔者之前的研究也已证明脉率和胸外按压频率有高度一致性^[18],而每一次脉搏的幅度和持续时间与每搏输出量有关^[19],因此理论上脉搏血氧波形曲线下面积应和胸外按压产生的颈动脉前向血流量密切相关。同样受每搏输出量影响的指标灌注指数,理论上也应与颈动脉前向血流量密切相关。本研究结果证实这两种脉搏血氧波形衍生参数和右颈动脉血流量的同步性变化以及正相关性的客观存在。这使得在临床上通过监测脉搏血氧波形衍生参数,从而反映复苏过程中的前向血流量成为可能,这对于在心肺复苏时更多获取血流动力学信息、改善心肺复苏质量及预测自主循环恢复具有重要意义。

本研究也存在一定的局限性。第一,虽然每分钟按压深度和频率没有明显差异,但按压者的轮换可能会对结果产生影响。第二,未分组比较复苏失败和成功组动物之间指标差异,有待进一步探索。

综上所述,本研究发现猪心肺复苏中颈动脉血流量与脉搏血氧波形曲线下面积和灌注指数具有正相关性,即时监测这两种脉搏血氧波形衍生参数一定程度上可反映颈动脉血流量的变化情况。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 尹路、王建岗:实验操作、论文撰写;罗伟、付阳阳:数据收集及整理、统计学分析;徐军、朱华栋、于学忠:研究设计、论文修改

参 考 文 献

- [1] Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, et al. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: Systematic review of 67 prospective studies[J]. Resuscitation, 2010, 81(11): 1479-1487. DOI:10.1016/j.resuscitation.2010.08.006.
- [2] Xu F, Zhang Y, Chen YG. Cardiopulmonary resuscitation training in China: current situation and future development[J]. JAMA Cardiol, 2017, 2(5): 469-470. DOI:10.1001/jamcardio.2017.0035.
- [3] 朱建良,朱建军,刘励军.心脏骤停后综合征患者早期集束化治疗进展[J].中华急诊医学杂志,2019,28(1):7-13. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.01.003.
- [4] Elmer J, Callaway CW. The brain after cardiac arrest[J]. Semin Neurol, 2017, 37(1): 19-24. DOI:10.1055/s-0036-1597833.

- [5] Onaizah O, Poepping TL, Zamir M. A model of blood supply to the brain via the carotid arteries: Effects of obstructive vs. sclerotic changes[J]. *Med Eng Phys*, 2017, 49: 121-130. DOI:10.1016/j.medengphy.2017.08.009.
- [6] Jubran A. Pulse oximetry[J]. *Crit Care*, 2015, 19: 272. DOI:10.1186/s13054-015-0984-8.
- [7] Segers P, O'Rourke MF, Parker K, et al. Towards a consensus on the understanding and analysis of the pulse waveform: Results from the 2016 Workshop on Arterial Hemodynamics: Past, present and future[J]. *Artery Res*, 2017, 18: 75-80. DOI:10.1016/j.artres.2017.03.004.
- [8] Xu J, Li C, Zheng LL, et al. Pulse oximetry: A non-invasive, novel marker for the quality of chest compressions in porcine models of cardiac arrest[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0139707. DOI:10.1371/journal.pone.0139707.
- [9] 李晨, 徐军, 吴杨鹏, 等. 心肺复苏质量指数对复苏患者预后的评估价值 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(2): 190-194. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.02.012.
- [10] Lucchetta L, Kwan TN, Kosaka J, et al. Carotid artery and cerebral blood flow during experimental cardiopulmonary resuscitation: A systematic review of the literature[J]. *Resuscitation*, 2019, 138: 46-52. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2019.02.016.
- [11] Burnett AM, Segal N, Salzman JG, et al. Potential negative effects of epinephrine on carotid blood flow and ET_{CO}₂ during active compression-decompression CPR utilizing an impedance threshold device[J]. *Resuscitation*, 2012, 83(8): 1021-1024. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.03.018.
- [12] Hardig BM, Götberg M, Rundgren M, et al. Physiologic effect of repeated adrenaline (epinephrine) doses during cardiopulmonary resuscitation in the cath lab setting: A randomised porcine study[J]. *Resuscitation*, 2016, 101: 77-83. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2016.01.032.
- [13] Mavroudis CD, Ko TS, Morgan RW, et al. Epinephrine's effects on cerebrovascular and systemic hemodynamics during cardiopulmonary resuscitation[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 1-13. DOI:10.1186/s13054-020-03297-4.
- [14] Nosrati R, Lin S, Mohindra R, et al. Study of the effects of epinephrine on cerebral oxygenation and metabolism during cardiac arrest and resuscitation by hyperspectral near-infrared spectroscopy[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(4): e349-e357. DOI:10.1097/CCM.0000000000003640.
- [15] Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S. Capnography during cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2018, 132: 73-77. DOI:10.1016/j.resuscitation.2018.08.018.
- [16] Perkins GD, Ji C, Deakin CD, et al. A randomized trial of epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest[J]. *N Engl J Med*, 2018, 379(8): 711-721. DOI:10.1056/NEJMoa1806842.
- [17] Xu J, Yu X, Zhang L, et al. Modified volumetric capnography-derived parameter: A potentially stable indicator in monitoring cardiopulmonary resuscitation efficacy in a porcine model[J]. *Resuscitation*, 2020, 150: 94-101. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.02.039.
- [18] Fu Y, Yin L, Seery S, et al. Pulse rate as an alternative, real-time feedback indicator for chest compression rate: a porcine model of cardiac arrest[J]. *J Clin Monit Comput*, 2021, 35(5):1159-1167. DOI: 10.1007/s10877-020-00576-x.
- [19] 李晨, 徐军, 韩飞, 等. 脉搏血氧波形参数正常人群参考值范围的制定 [J]. *中华急诊医学杂志*, 2016, 25(12): 1294-1300. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.12.018.

(收稿日期: 2021-05-24)

(本文编辑: 姜宇婷)