呼吸危重症 DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.001113

经皮无创血气监测在儿童危重症中的应用价值评估

唐林林[1]，符跃强[2]，刘成军[2]

（重庆医科大学附属儿童医院 1. 麻醉科；2. 重症医学科、儿童发育疾病研究教育部重点实验室、儿科学重庆市重点实验室，重庆 400014）

【摘 要】**目的**：分析不同血循环状态下经皮氧分压（transcutaneous oxygen pressure，$PctO_2$）与血氧分压（partial pressure of oxygen in arterial blood，PaO_2）、经皮二氧化碳分压（transcutaneous carbon dioxide pressure，$PctCO_2$）与血二氧化碳分压（partial pressure of oxygen in arterial blood，$PaCO_2$）的相关性及差异性，从而了解 $PctO_2$ 及 $PctCO_2$ 在微循环障碍时的监测意义。**方法**：对 2014 年 11 月至 2015 年 3 月在重庆医科大学附属儿童医院重症医学科住院的 56 例患儿进行 $PctO_2$/$PctCO_2$ 监测，因病情需要，部分患儿不同时段予动态监测，共采集 110 份数据。分析微循环正常组（n=75）、轻度障碍组（n=20）及重度障碍组（n=15）间 $PctO_2$ 与 PaO_2 及 $PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的相关性及差异性。用受试者工作特征曲线（receiver operating characteristics curve，ROC curve）评价 $PctO_2$、$PctCO_2$ 诊断低氧血症及二氧化碳潴留的敏感度及特异度。**结果**：相关性分析：在微循环正常组（n=75），$PctO_2$ 与 PaO_2、$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均有良好相关性（r=0.937、0.569，均 P<0.05）；在微循环轻度障碍组（n=20）及重度障碍组（n=15），患儿 $PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均具有良好的相关性（r=0.718、0.679，均 P<0.05），而 $PctO_2$ 与 PaO_2 无相关性（P=0.175、0.074）。氧分压差（ΔPO_2）：微循环正常组（n=75）、轻度障碍组（n=20）和重度障碍组（n=15）的 ΔPO_2 分别为：（0.24 ± 1.08）、（7.99 ± 7.99）和（9.71 ± 5.15）kPa。ROC 曲线分析：微循环正常组（n=75）中，$PctO_2$ 在 ROC 曲线下面积（area under the ROC curve，AUC）为 0.89（95%CI=0.82~0.96，P=0.036），$PctO_2$=10.25 kPa 时诊断缺氧的敏感度是 81.5%，特异度是 83.3%。$PctCO_2$ 的 AUC 为 0.77（95%CI=0.65~0.88，P=0.000），$PctCO_2$=5.45 kPa 时诊断二氧化碳潴留的敏感度是 81.5%，特异度是 66.7%。**结论**：在微循环正常时，$PctO_2$/$PctCO_2$ 监测在一定程度上可预测 PaO_2/$PaCO_2$。在微循环轻度障碍及重度障碍时，$PctCO_2$ 监测可预测 $PaCO_2$。$PctO_2$ 与 PaO_2 差别明显时往往提示微循环灌注不良，对于此类危重症患者，可结合 $PctO_2$/$PctCO_2$ 监测与血气分析中 PaO_2/$PaCO_2$ 综合判断。

【关键词】经皮氧分压；经皮二氧化碳分压；血氧分压；血二氧化碳分压；微循环

【中图分类号】R72 【文献标志码】A 【收稿日期】2015-11-29

Vaule of applying transcutaneous blood gas monitoring in critical ill children

Tang Linlin[1], Fu Yueqiang[2], Liu Chengjun[2]

(1. Department of Anesthesia; 2. Intensive Care Unit, Key Laboratory of Children Development Disease Research, Ministry of Education, Key Laboratory of Pediatrics, the Children's Hospital, Chongqing Medical University)

【Abstract】***Objective***: To assess the correlation of transcutaneous oxygen pressure ($PctO_2$) and partial pressure of oxygen in arterial blood (PaO_2), transcutaneous carbon dioxide pressure ($PctCO_2$) and partial pressure of carbon dioxide in arterial blood ($PaCO_2$) under different circulation states and to know the significance of $PctO_2$/$PctCO_2$ under micro-circulatory disorder. ***Methods***: Totally 110 sampling of $PctO_2$/$PctCO_2$ and arterial blood gases (ABG) from November 2014 to March 2015 in 56 cases were collected; the correlation and difference between $PctO_2$ and PaO_2, $PctCO_2$ and $PaCO_2$ under different circulation states were analyzed and the sensitivity and specificity of oxygen and carbon dioxide retention by $PctO_2$ and $PctCO_2$ under ROC curve were evaluated. ***Results***: In the normal micro-circulation group (n=75), $PctO_2$ and PaO_2, $PctCO_2$ and $PaCO_2$ were in good correlation (r=0.937, 0.569, P<0.05). In the mildly and seriously micro-circulation disorder group (n=20, 15), PctCO2 and $PaCO_2$ were in good correlation (r=0.718, 0.679, P<0.05); $PctO_2$ had no relation with PaO_2 (P=0.175, 0.074). The ΔPO_2 (PaO_2-$PctO_2$) in the normal micro-circulation group (n=75), the mildly micro-circulation disorder group (n=20) and the seriously micro-circulation disorder group (n=15) were (0.24 ± 1.08), (7.99 ± 7.99), (9.71 ± 5.15) kPa respectively. In the normal micro-cir-

作者介绍：唐林林，Email：ganlan0524@163.com，研究方向：小儿急救方向。

通信作者：刘成军，Email：liucwd@163.com。

基金项目：重庆市科委基础与前沿研究计划资助项目（编号：cstc2013jcyjA10031）。

优先出版：http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20161215.1616.092.html（2016-12-15）

culation group(n=75), the AUC of $PctO_2$ was 0.89(95%*CI*=0.82 to 0.96, P=0.036). $PctO_2$ can predict hypoxia with the optimal threshold value given by ROC analysis at 10.25 kPa (Sen:81.5%, Spe:83.3%). The AUC of $PctCO_2$ was 0.77 (95%*CI*=0.65 to 0.88, P=0.000). $PctCO_2$ can predict CO_2 retention with the optimal threshold value given by ROC analysis at 5.45 kPa(Sen:81.5%, Spe:66.7%). ***Conclusion***: In the normal micro-circulation, $PctO_2/PctCO_2$ monitoring can predict the $PaO_2/PctCO_2$ to some degree. Under the mildly and seriously micro-circulation disorder, $PctCO_2$ can predict the $PctCO_2$ to some degree. The obvious difference between $PctO_2$ and PaO_2 suggests poor micro-circulation perfusion, therefore, $PctO_2/PctCO_2$ monitoring combined with $PaO_2/PaCO_2$ is needed for critically ill patients who need ABG.

【Key words】transcutaneous oxygen pressure; transcutaneous carbon dioxide pressure; partial pressure of oxygen in arterial blood; partial pressure of carbon dioxide in arterial blood; microcirculation

微循环障碍以组织灌注不足及局部代谢产物堆积为主要特点，如不及时纠正，最终可导致局部组织坏死、感染，严重时可危及生命。迄今为止，微循环障碍的识别尚无金标准[1]，现主要通过皮肤花斑[2-3]、动脉血气、中心静脉压、血压、组织血氧饱和度、毛细血管充盈时间（capillary refill time，CRT）、乳酸等指标进行评估。动脉血气（arterial blood gases，ABG）是判断机体氧供、内环境是否紊乱的金标准[4]，但其为有创操作，可增加患儿的痛苦，亦有造成出血、医源性贫血的风险[5]，因此经皮氧分压/二氧化碳分压（transcutaneous oxygen pressure/Transcutaneous carbon dioxide pressure，$PctO_2/PctCO_2$）为监测机体氧供提供新的方法。$PctO_2/PctCO_2$ 监测仪具有无创性、可连续监测及操作方便等特点，已广泛应用于糖尿病足截肢平面的选择、创面修复、呼吸窘迫用氧的监测等领域[6-8]。有文献报道，$PctCO_2$ 与血二氧化碳分压（partial pressure of carbon dioxide in arterial blood，$PaCO_2$）有较好的相关性[9]，在血流动力学稳定时，$PctO_2$ 与血氧分压（partial pressure of oxygen in arterial blood，PaO_2）亦有较好的相关性[10]，然而在血流动力学不稳定时，$PctO_2$ 与 PaO_2 之间的相关性存在争议[11]。本次研究通过分析不同循环状态下 $PctO_2$ 与 $PctO_2$ 及 $PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的相关性及差异性，从而明确 $PctO_2$ 与 $PctCO_2$ 在儿童危重症中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 研究对象

1.1.1 纳入标准与排除标准 纳入标准：入住 PICU；同时监测 $PctO_2/PctCO_2$ 及血气分析；微循环灌注不良者需满足CRT≥3 s；同时至少需满足以下条件之一：①肢端凉，可见大理石样花纹；②血压低于同年龄组正常值 2 个标准差；③尿量少于 0.5 mL/(kg·h)。排除标准：患有遗传代谢性疾病；患有复杂型先天性心脏病（差异性紫绀）；患有皮肤烧伤、破溃及重型药疹；患有局部皮肤水肿。

1.1.2 一般资料 2014 年 11 月至 2015 年 3 月在重庆医科大学附属儿童医院重症医学科住院的患儿 56 例。其中男 30 例，女 26 例，年龄 43 日龄至 14 岁 11 个月，中位年龄 0.97（0.35~3.07）岁；总住院时间 1~90 d，中位住院时间 15（9.25~24.25）d；PICU 住院时间 1~90 d，中位住院时间 8.5（3.75~16）d。所有患儿均需符合以上纳入标准及排除标准条件。基础疾病：重症肺炎 18 例，脓毒性休克 8 例，严重脓毒症 4 例，车祸伤 6 例，感染性腹泻 2 例，中毒 3 例，急性喉炎 2 例，癫痫 2 例，类脊髓灰质炎 2 例，颅内感染 2 例，缺氧缺血性脑病 1 例，肺含铁血黄素沉着症 1 例，急性胰腺炎 1 例，颈前脓肿 1 例，腹膜后肿瘤 1 例，胆道闭锁 1 例，肝移植术后 1 例。所有患儿中 8 例患儿全身可见大理石样花纹，其中 44 例患儿予以呼吸机辅助呼吸。

1.2 方法

对所有患儿行 $PctO_2/PctCO_2$ 监测，同时抽取动脉血气对比 $PaO_2/PaCO_2$；结合患儿病情，部分患儿不同时段予以动态监测对比，共采集 110 例数据。以 CRT 分成 3 组即微循环正常组（CRT<3 s）、微循环轻度障碍组（3 s≤CRT<5 s）、微循环重度障碍组（CRT≥5 s）[12-13]。其中微循环正常组 36人，共收集 75 次结果对比；微循环轻度障碍组 13 人，共收集 20 次结果对比；微循环重度障碍组 7 人，共收集 15 次结果对比。

1.2.1 记录数据 记录患儿的性别、年龄、体质量、住院时间、基础疾病及转归，采血时的 $PctO_2$ 值、$PctCO_2$ 值、CRT、血气值等。动脉采血部位一般为桡动脉、足背动脉。

1.2.2 $PctO_2/PctCO_2$ 监测 采用 TCM CombiM 4.0 $PctO_2/PctCO_2$ 监测仪，使用前消毒皮肤，涂皮肤保护膜，对监测仪进行调试，电极温度为 43 ℃[14]，室温 25 ℃~27 ℃，固定贴环贴于电极上，固定环中央滴 1 小滴电极凝胶后粘贴于前胸壁或脐水平旁开 2 横指处，并予医用胶布固定。连续监测 $PctO_2$ 及 $PctCO_2$，待数据稳定后（10~20 min）抽取动脉血气，采血后立即行动脉血气分析（美国 GEM3000 血气分析仪），同时记录 $PctO_2$ 与 $PctCO_2$ 值及血气值。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 17.0 进行数据分析。计数资料以卡方检验分

析；计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示；$PctO_2$ 与 PaO_2、$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 分别做配对 t 检验；两变量间的相关性用Person相关分析，二者间关系予简单线性回归分析；用受试者工作特征曲线（receiver operating characteristics curve，ROC curve）评价 $PctO_2$、$PctCO_2$ 诊断低氧血症及二氧化碳潴留的敏感度及特异度。检验水准 α=0.05。

2 结 果

2.1 不同组间乳酸情况

以高乳酸血症（>2 mmol/L）[15]将乳酸分成 2 组，由表 1 可知，不同组间乳酸分布有统计学差异（P<0.05），随着微循环障碍程度加重，患高乳酸血症的概率越大，在微循环重度障碍组，患高乳酸血症的比例约 57.1%（4/7）。

表 1 不同组间乳酸情况（例）

Tab.1 The lactic acid distribution in different groups（cases）

分组	乳酸（mmol/L）		合计	χ^2 值	P 值
	≤2	>2			
微循环正常组	34	2	36		
微循环轻度障碍组	7	6	13	15.240	0.000
微循环重度障碍组	3	4	7		
合计	44	12	56		

2.2 转归

微循环正常组中 29 例治愈，3 例好转，4 例死亡（2 例因病情危重、家属放弃后死亡，2 例因呼吸、循环衰竭死亡）。微循环轻度障碍组中 7 例治愈，2 例好转，1 例因病情危重、家属放弃后死亡，1 例因脑疝、呼吸衰竭死亡，2 例因呼吸循环衰竭死亡。微循环重度障碍组中 2 例患儿治愈，4 例因病情危重、家属放弃后死亡，1 例因呼吸、循环衰竭死亡。

2.3 不同微循环状态下的相关性分析

不同微循环状态下的相关性分析结果见表 2。在微循环正常组（n=75），$PctO_2$ 与 PaO_2、$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均有良好相关性（0.909 vs. 0.569）；在微循环轻度障碍组（n=20）及重度障碍组（n=15），$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均有良好相关性，但 $PctO_2$ 与 PaO_2 无相关（P=0.175、P=0.074）。在微循环轻度障碍及重度障碍组中，$PctO_2$ 与 PaO_2 均有统计学差异（P<0.05），$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均无统计学差异（P>0.05）。

氧分压差（ΔPO_2，ΔPO_2=PaO_2−$PctO_2$）：微循环正常组、轻度障碍组和重度障碍组的 ΔPO_2 分别为（0.24 ± 1.08）、（7.99 ± 7.99）和（9.71 ± 5.15）kPa。随着微循环障碍程度加重，ΔPO_2 逐渐增加。

2.4 不同循环状态做回归分析

在微循环正常组，$PctO_2$ 与 PaO_2 的关系为 Y=0.89X+1.01（kPa），R^2=0.88；$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的关系为 Y=0.34X+3.67（kPa），R^2=0.29；P<0.05（图 1、2）。在微循环轻度障碍组，$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的关系为 Y=0.49X+2.34（kPa），R^2=0.49；P<0.05（图 3）。在微循环重度障碍组，$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的关系为 Y=0.53X+2.21（kPa），R^2=0.46；P<0.05（图 4）。

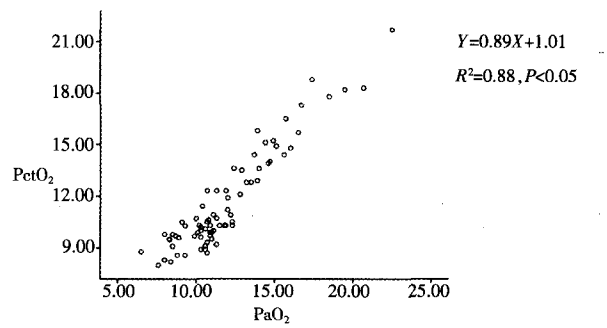


图 1 微循环正常时 $PctO_2$ and PaO_2 的回归图

Fig.1 Regression of $PctO_2$ and PaO_2 in normal micro-circulation group

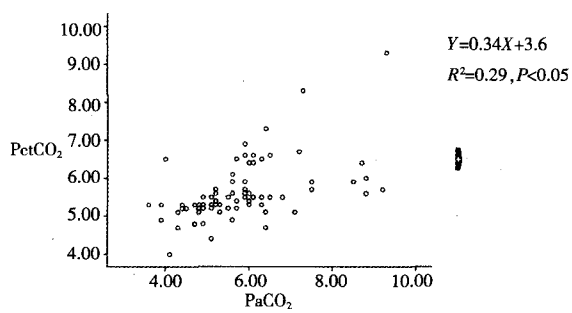


图 2 微循环正常时 $PctCO_2$ and $PaCO_2$ 的回归图

Fig.2 Regression of $PctCO_2$ and $PaCO_2$ in normal micro-circulation group

表 2 不同微循环状态下 $PctO_2$ 与 PaO_2、$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 的比较

Tab.2 Comparison of $PctO_2$ and PaO_2、$PctCO_2$ and $PaCO_2$ under different micro-circulation states

分组 / 项目	指标	次数	经皮监测（kPa）	血气分析（kPa）	r 值	t/P 值
微循环正常组（CRT<3 s）	PO_2	75	11.69 ± 2.95	11.93 ± 3.09	0.937	1.94（0.056）
	PCO_2	75	5.63 ± 0.79	5.78 ± 1.26	0.569	0.01（0.996）
微循轻度环障碍组（3 s≤CRT<5 s）	PO_2	20	9.95 ± 5.89	17.90 ± 7.57	0.316	4.47（0.000）
	PCO_2	20	4.63 ± 1.32	4.77 ± 2.01	0.718	0.45（0.661）
微循环重度障碍组（CRT≥5 s）	PO_2	15	8.82 ± 3.21	18.53 ± 5.83	0.474	7.28（0.002）
	PCO_2	15	4.63 ± 1.26	4.53 ± 1.61	0.679	−0.33（0.750）

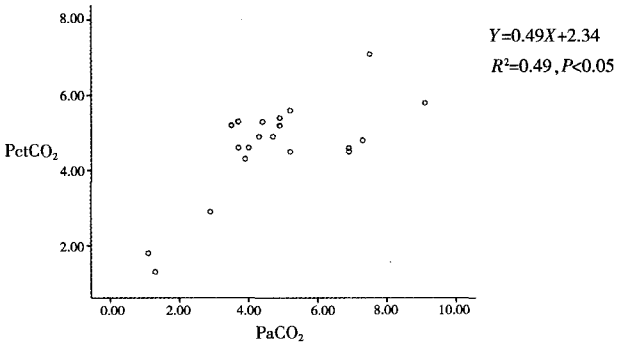


图 3 微循环轻度障碍时 $PctCO_2$ and $PaCO_2$ 的回归图

Fig.3 Regression of $PctCO_2$ and $PaCO_2$ in mildly micro-circulation disorder

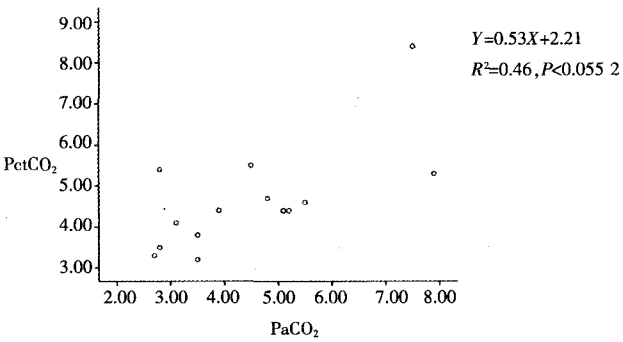


图 4 微循环重度障碍时 $PctCO_2$ and $PaCO_2$ 的回归图

Fig.4 Regression of $PctCO_2$ and $PaCO_2$ in seriously micro-circulation in disorder group

2.5 不同循环状态的 ROC 曲线分析

以血气分析中 PaO_2、$PaCO_2$ 为金标准，PaO_2<10.6 kPa 为低氧血症、$PaCO_2$>6 kPa 为二氧化碳潴留，ROC 曲线结果见表 3。其中微循环正常组，$PctO_2$ 为 10.25 kPa 时诊断低氧血症的敏感度(sensitivity,Sen)是 81.5%，特异度(specifility,Spe)是 83.3%。$PctCO_2$ 为 5.45 kPa 时诊断二氧化碳潴留的敏感度是 81.5%，特异度是 66.7%；微循环轻度障碍组，$PctCO_2$ 为 5.05 kPa 时诊断二氧化碳潴留的敏感度是 100%，特异度是 71.6%；微循环重度障碍组，$PctCO_2$ 为 3.95 kPa 时诊断二氧化碳潴留的敏感度是 100%，特异度是 36.4%。

3 讨 论

$PctO_2$/$PctCO_2$ 监测仪通过将加热的电极直接放于皮肤表面，使局部皮肤的毛细血管动脉化，从而测定组织的 PO_2 及 PCO_2。有文献报道，皮肤、胃肠道等微循环灌注在休克出现时最先受累，在复苏时亦为最后恢复的部位，而 $PctO_2$ 可较好地反映局部组织灌注水平[16]。

$PctO_2$ 监测受组织血流量、平均动脉压、血氧分压、组织含氧量、组织氧消耗量、电极氧消耗量、监测部位、局部温度等诸多因素的影响，$PctO_2$ 值往往较 PaO_2 值低。本研究发现，在不同循环状态下，患儿的 $PctO_2$ 值均低于 PaO_2 值。在微循环正常组，$PctO_2$ 与 PaO_2 有较好的相关性，与国内文献报道相似[10]，且 PaO_2 与 $PctO_2$ 二者呈线性相关，在 ROC 曲线下，$PctO_2$ 为 10.25 kPa 时诊断低氧血症的敏感度是 81.5%，特异度是 83.3%，故在一定程度上，$PctO_2$ 可预测 PaO_2。另一方面，随着 CRT 延长，ΔPO_2 增加越明显，所以当 ΔPO_2 越大时，提示微循环灌注越差，对此类患者可结合动脉血气综合判断，同时为早期休克识别及指导液体复苏、积极扩容等紧急处理有良好预警作用。

$PctCO_2$ 监测仪通过加热皮肤，使局部血流量增多；因二氧化碳弥漫功能强，皮肤角质层发生改变后更促进二氧化碳的弥散，使得 $PctCO_2$ 更接近 $PaCO_2$。Fanconi 和 Sigrist[17]对危重症新生儿行 $PctO_2$/$PctCO_2$ 监测发现 $PctO_2$/$PctCO_2$ 监测仪有利于识别高碳酸血症、低氧血症。本研究发现，在不同循环状态下，患儿 $PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 均呈正相关(r=0.569~0.718)，在微循环正常时，$PctCO_2$ 为 5.45 kPa 时诊断二氧化碳潴留的敏感度是 81.5%，特异度是 66.7%。在微循环障碍时，$PctCO_2$ 的最佳阈值敏感度高，特异度低，考虑本研究中微循环障碍组样本量少有

表 3 不同组间 ROC 曲线下的面积

Tab.3 The area under ROC curve of different groups

分组	变量	AUC	P 值	95% CI		最佳阈值(kPa,Sen,Spe)
				下限	上限	
微循环正常组	$PctCO_2$	0.77	0.000	0.65	0.88	5.45(81.5%,66.7%)
	$PctO_2$	0.89	0.036	0.82	0.96	10.25(81.5%,83.3%)
微循环轻度障碍组	$PctCO_2$	0.91	0.026	0.00	1.00	5.05(100%,71.6%)
微循环重度障碍组	$PctCO_2$	0.86	0.037	0.00	1.00	3.95(100%,36.4%)

关。$PctCO_2$ 与 $PaCO_2$ 在不同循环状态下均呈线性相关，即在一定程度上可予以 $PctCO_2$ 预测 $PaCO_2$。故对危重症病人，可行 $PctCO_2$ 监测了解患儿的通气情况。

当动脉穿刺时，患儿因疼痛刺激不配合而导致电极滑脱，可引起 $PctO_2$ 较 PaO_2 偏高；而皮肤的厌氧性变化即随着温度的升高，可使局部血流和组织中的 PCO_2 以大约 4.5%/℃的水平增加[19]；局部组织细胞代谢产生 CO_2 即新陈代谢常数。由于新陈代谢受年龄、皮肤厚度及其他因素的影响而不同，一般认为皮肤新陈代谢可提高 $PctCO_2$ 值为 6~7 mmHg，当微循环障碍程度加重时，由于局部组织血流量相对减少及局部活组织细胞的代谢，可引起 $PctCO_2$ 偏高。所以在临床工作中，医务人员应适度安抚病人，尽量避免患儿过度哭吵及躁动；同时应确保电极固定稳固；及时更换监测部位，避免长时间同一位置监测以灼伤皮肤。

综上所述，$PctO_2$/$PctCO_2$ 监测仪因其无创、操作简便的优势在危重症患者中有一定的使用价值，但研究发现在微循环障碍时，$PctO_2$ 与 PaO_2 的相关性差，考虑微循环障碍时收集样本的时间短、样本量少，对于长时间、大样本的数据结果是否一致仍需进一步验证；今后对于年龄、皮肤厚度、体温、血红蛋白及创伤应激等潜在的因素对试验结果有无影响也需进一步验证。

参 考 文 献

[1] De Backer D, Ospina-Tascon G, Salgado D, et al. Monitoring the microcirculation in the critically ill patient: current methods and future approaches[J]. Intensive Care Med, 2010, 36(11): 1813-1825.

[2] Ait-Oufella H, Lemoinne S, Boelle PY, et al. Mottling score predicts survival in septic shock[J]. Intensive Care Med, 2011, 37(5): 801-807.

[3] Mistrík E, dusilová SS, Bláha V, et al. Evaluation of skin microcirculation during hemodialysis[J]. Ren Fail, 2010, 32(1): 21-26.

[4] Yildizdas D, Yapicioglu H, Yilmaz H, et al. Correlation of simultaneously obtained capillary, venous, and arterial blood gases of patients in a pediatric intensive care unit[J]. Arch Dis Child, 2004, 89(2): 176-180.

[5] Tobias JD. Transcutaneous carbon dioxide monitoring in infants and children[J]. Pediatr Anaesth, 2009, 19(5): 434-444.

[6] Faglia E, Clerici G, Caminiti M, et al. Predictive values of transcutaneous oxygen tension for above-the-ankle amputation in diabetic patients with critical limb ischemia[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2007, 33(6): 731-736.

[7] Yang C, Weng H, Chen L, et al. Transcutaneous oxygen pressure measurement in diabetic foot ulcers: mean values and cut-point for wound healing[J]. J Wound Ostomy Continence Nurs, 2013, 40(6): 585-589.

[8] Tatevossian RG, Shoemaker WC, Wo CC, et al. Noninvasive hemodynamic monitoring for early warning of adult respiratory distress syndrome in trauma patients[J]. Journal of Critical Care, 2000, 15(4): 151-159.

[9] De Fernández MS, Gaboli M, González-Celador R, et al. Validation of the transcutaneous carbon dioxide tension measurements in critical paediatric patients[J]. An Pediatr(Barc), 2010, 72(3): 165-171.

[10] 刘玉梅，何少茹. 经皮二氧化碳分压及氧分压监测在新生儿重症监护室中的应用[J]. 中国新生儿科杂志，2009，24(1)：15-17.

[11] Buntain WL, Connor E, Emirico J, et al. Transcutaneous oxygen ($tcPO_2$) measurements as an aid to fluid therapy in necrotising enterocolitis[J]. J Pediatr Surg, 1979, 14(6): 728-732.

[12] Crook J, Taylor RM. The agreement of fingertip and sternum capillary refill time in children[J]. Arch Dis Child, 2013, 98(4): 265-268.

[13] Lima A, van Genderen ME, van Bommel J, et al. Nitroglycerin reverts clinical manifestations of poor peripheral perfusion in patients with circulatory shock[J]. Crit Care, 2014, 18(3): R126.

[14] Gal S, Riskin A, Chistyakov I, et al. Transcutaneous PCO_2 monitoring in infants hospitalized with viral bronchiolitis[J]. Eur J Pediatr, 2015, 174(3): 319-324.

[15] Rishu AH, Khan R, Al-Dirzi HM, et al. Even mild hyperlactatemia is associated with increased mortality in critically ill patients[J]. Crit Care, 2013, 17(5): R197.

[16] 裴锋博，刘大为. 经皮氧分压监测在休克复苏中的意义[J]. 中国实用期刊，2010，37(1)：49-51.

[17] Fanconi S, Sigrist H. Transcutaneous carbon dioxide and oxygen tension in newborn infants: reliability of a combined monitor of oxygen tension and carbon dioxide tension[J]. J Clin Monit, 1988, 4(2): 103-106.

[18] Schlager O, Gschwandtner ME, Willfort-Ehringer A, et al. Transcutaneous oxygen tension monitoring in critically ill patients receiving packed red blood cells[J]. J Crit Care, 2014, 29(6): 1057-1062.

[19] Eberhard P. The design, use, and results of transcutaneous carbon dioxide analysis: current and future directions[J]. Anesth Analg, 2007, 105(s6): 48-52.

（责任编辑：冉明会）