

Université de Montréal

**Évaluation hémodynamique par thermographie infrarouge chez l'enfant après une  
chirurgie cardiaque**

Par Armelle Bridier

Programme de Sciences biomédicales

Faculté de Médecine

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maîtrise

En Sciences biomédicales

Option Médecine expérimentale

Juillet 2021

© Armelle Bridier, 2021

Université de Montréal  
Faculté des Études Supérieures

Ce mémoire intitulé

**Évaluation hémodynamique par thermographie infrarouge chez l'enfant après une  
chirurgie cardiaque**

Présenté par  
Armelle Bridier

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

**Dre Thuy Mai Luu**  
Président-rapporteur

**Dr Philippe Juvet**  
Directeur de recherche

**Dr Pierre Luc Bernier**  
Membre du jury

## Résumé

**Introduction :** L'évaluation hémodynamique des patients critiques est difficile et l'estimation du débit cardiaque par le clinicien est peu fiable. La chaleur des extrémités est utilisée pour évaluer la perfusion périphérique mais reste très subjective. Un gradient thermique élevé entre la température centrale et la température périphérique a été corrélé à une augmentation des résistances vasculaires systémiques et une diminution du débit cardiaque.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la relation entre le gradient thermique, obtenu par thermographie infra-rouge (TIR), et le ratio d'extraction d'oxygène ( $O_2ER$ ) chez les enfants de 0 à 18 ans ayant eu une chirurgie cardiaque avec circulation extracorporelle.

**Méthode :** Étude observationnelle prospective portant sur les enfants en post opératoire de chirurgie cardiaque avec une circulation extracorporelle. Le gradient thermique entre la température centrale (cavité interne de l'œil) et périphérique (hallux) obtenue par TIR a été comparé à l' $O_2ER$  concomitant dans les 24 premières heures post opératoires.

**Résultats :** 41 patients ont été inclus. Une corrélation faible a été retrouvée entre le gradient thermique et l' $O_2ER$  ( $r = 0.25$   $p = 0.016$ ). Cette corrélation augmentait pour des niveaux d' $O_2ER$  plus élevés. La spectroscopie par proche infra-rouge (NIRS) cérébrale avait aussi une corrélation significative avec le gradient thermique ( $r = -0.28$   $p=0.001$ ). Seul l'âge influençait significativement le gradient thermique. Les agents vasopresseurs et vasodilatateurs n'exerçaient aucune influence.

**Conclusion :** Une corrélation significative mais faible a été retrouvée entre le gradient thermique par thermographie infrarouge et l' $O_2ER$  après une chirurgie cardiaque pédiatrique. Une caméra thermique plus sensible et l'acquisition de mesures plus précises du gradient thermique à partir d'un plus grand effectif pourraient améliorer nos résultats.

**Mots clés :** Thermographie Infra-rouge (TIR), gradient thermique, chirurgie cardiaque, ratio d'extraction en oxygène  $O_2ER$ , monitoring hémodynamique, bas débit cardiaque, pédiatrie.

## Abstract

**Introduction:** Hemodynamic assessment of critical patients is challenging, and clinician estimation of cardiac output is unreliable. Extremity heat is used to assess peripheral perfusion but remains highly subjective. A high thermal gradient between core and the peripheral temperature has been correlated with increased systemic vascular resistance and decreased cardiac output.

The objective of this study was to evaluate the relationship between the thermal gradient obtained by infrared thermography (IRT) and the oxygen extraction ratio (O<sub>2</sub>ER) in children aged 0 to 18 years, after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass.

**Method:** Prospective observational study of children undergoing postoperative cardiac surgery with cardio-pulmonary bypass. The thermal gradient between the central (inner eye cantus) and peripheral (hallux) temperatures obtained by IRT was compared with concomitant O<sub>2</sub>ER in the first 24 hours postoperatively.

**Results:** 41 patients were included. A weak correlation was found between the thermal gradient and O<sub>2</sub>ER ( $r = 0.25$   $p = 0.016$ ). This correlation increased for higher O<sub>2</sub>ER levels. Cerebral near infrared spectroscopy (NIRS) also correlated significantly with thermal gradient ( $r = -0.28$   $p=0.001$ ). Only age significantly influenced the thermal gradient. Vasopressor and vasodilator agents had no influence.

**Conclusion:** A significant but weak correlation was observed between thermal gradient by IRT and O<sub>2</sub>ER after pediatric cardiac surgery. A more sensitive thermal camera and acquiring of more accurate thermal gradient measurements from a larger population could improve our results.

**Keywords:** Infrared thermography (IRT), thermal gradient, cardiac surgery, oxygen extraction ratio (O<sub>2</sub>ER), hemodynamic monitoring, low cardiac output, pediatrics.

# Table des matières

<i>Résumé</i> .....	3
<i>Abstract</i> .....	4
<i>Liste des tableaux</i> .....	7
Mémoire	7
Article	7
<i>Liste des figures et Images</i> .....	8
Mémoire	8
Article	8
<i>Liste des sigles et abréviations</i> .....	9
Abréviations en Français - mémoire	9
Abréviations en Anglais - article	10
<i>Remerciements</i> .....	12
<b>1- Chapitre 1. Introduction</b> .....	<b>13</b>
1.1 La régulation thermique chez l'homme	13
1.2 L'hémodynamique en post opératoire de chirurgie cardiaque	14
1.2.1 Les scores cliniques de bas débit cardiaque .....	15
1.2.2 L'extraction en oxygène lors du bas débit cardiaque .....	16
1.2.3 Survol des autres outils de monitoring non invasif du débit cardiaque .....	19
1.3 Le gradient thermique entre la température centrale et périphérique en post opératoire de chirurgie cardiaque.	20
1.4 La thermographie infrarouge	23
1.4.1 Principes généraux.....	23
1.4.2 La thermographie infrarouge dans le domaine médical.....	24
1.4.3 Cas particuliers du domaine hémodynamique et l'estimation de la température centrale .....	25
<b>2- Chapitre 2. Objectifs et hypothèses</b> .....	<b>27</b>
2.1 Problématique	27
2.2 Objectifs	27
2.3 Hypothèse	27
<b>3- Chapitre 3. Article</b> .....	<b>28</b>
3.1 Abstract	29
3.2 Introduction	30
3.3 Material and methods	31
3.3.1 Study setting.....	31
3.3.2 Study population.....	31
3.3.3 Index Test .....	31
3.3.4 Primary Outcome : O <sub>2</sub> ER.....	33
3.3.5 Secondary outcomes .....	33
3.3.6 Other parameters of interest .....	33

3.3.7	Sample size calculation.....	34
3.3.8	Statistical Analysis .....	34
3.4	Results	34
3.4.1	Thermal pictures interpretation .....	35
3.4.2	Correlation between the thermal gradient and the O <sub>2</sub> ER .....	35
3.4.3	Correlation between the Thermal gradient and the other clinical and biological variables .....	36
	Assessment of factors associated with thermal gradient.....	36
3.4.4		36
3.5	Discussion	36
3.6	Conclusion	39
4-	<i>Chapitre 4. Discussion/ critiques.....</i>	<i>46</i>
4.1	Particularités méthodologiques	46
4.1.1	Le type d'étude.....	46
4.1.2	Le choix de la population .....	46
4.1.3	Calcul de l'échantillon.....	49
4.1.4	Le recueil des données thermographiques .....	49
4.1.5	Recueil des consentements.....	52
4.1.6	Particularités du protocole de l'étude.....	53
4.1.7	L'analyse statistique .....	53
4.2	Les forces de l'étude	58
4.3	Les limites de l'étude	59
4.4	Recherches futures	60
5-	<i>Chapitre 5. Conclusion .....</i>	<i>61</i>
	<i>Bibliographie .....</i>	<i>62</i>
	<i>Annexes .....</i>	<i>66</i>
	Annexe 1 : Exemple d'images thermiques prises avec la caméra FLIR One Pro avec une gamme de gris une gamme de couleurs.	66
	Annexe 2: Risk adjustment for surgery for congenital heart disease : RACHS-1 (53)	67
	Annexe 3 : Abstracts présentés en congrès, publiés dans une revue scientifique	70

## Liste des tableaux

### Mémoire

**Tableau 1** : Description du Score LCOS

**Tableau 2** : Diagnostique différentiel des variations thermiques cutanées

**Tableau 3** : Liste des cardiopathies de notre population.

### Article

**Table 1**: Patient demographics and baseline characteristics by O<sub>2</sub>ER value

## Liste des figures et Images

### Mémoire

**Figure 1 :** *Évolution de la délivrance en oxygène en fonction de la demande en oxygène*

**Figure 2 :** *Les valeurs du ratio d'extraction en oxygène*

**Image 1 :** *Exemple d'imagerie thermique*

**Image 2 :** *Caméra FLIR One Pro, caméra connectée à un téléphone portable*

**Figure 3 :** *Nuage de point représentant la corrélation de Spearman entre le ratio d'extraction en oxygène et le gradient thermique*

**Figure 4 :** *Histogramme représentant la répartition de la variable 'Gradient thermique'*

**Figure 5 :** *Nuage de points représentant la corrélation entre le gradient thermique et l'âge.*

### Article

**Figure 1:** *Flow Chart*

**Figure 2:** *Example of a Colored Infrared Image in a child undergoing postoperative cardiac surgery with the FLIR One Pro camera.*

**Figure 3:** *Scatter Plot of Thermal gradient versus Oxygen Extraction Ratio*

**Figure 4:** *Scatter Plot of Thermal gradient versus High values of Oxygen Extraction Ratio*

**Figure 5:** *Box Plot of Vasopressor (Figure A) and Vasodilator (Figure B) by Thermal gradient*

# Liste des sigles et abréviations

## Abréviations en Français - mémoire

ALCAPA	Abnormal left coronary artery of the pulmonary artery
EB	Excès de Base
CEC	Circulation Extra Corporelle
DO <sub>2</sub>	Délivrance en Oxygène
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CaO <sub>2</sub>	Contenu Artériel en Oxygène
CvO <sub>2</sub>	Contenu Veineux en Oxygène
CIA	Communication Intra Auriculaire
CIV	Communication Intra ventriculaire
ECMO	Extracorporeal Membrane Oxygenation
EtCO <sub>2</sub>	End tidal CO <sub>2</sub>
ETT	Échographie Trans-Thoracique
FC	Fréquence Cardiaque
GDS	Gaz Du Sang
NIRS	Near-Infrared Spectroscopy
O <sub>2</sub> ER	Oxygen Extraction Ratio
RACHS-1	Risk Adjustment for Congenital Heart Surgery 1
RVPA	Retour Veineux Pulmonaire Anormal
SIP	Soins Intensifs Pédiatriques
SaO <sub>2</sub>	Saturation artérielle en Oxygène
SVO <sub>2</sub>	Saturation veineuse en Oxygène
TIR	Thermographie Infra Rouge
VO <sub>2</sub>	Consommation en Oxygène
VNI	Ventilation Non Invasive

## Abréviations en Anglais - article

BE	Base Excess
CBP	Cardiopulmonary Bypass
IRT	InfraRed thermography
LCOS	Low Cardiac Output Syndrome
NIRS	Near Infrared Spectroscopy
O <sub>2</sub> ER	Oxygen Extraction Ratio
PCICU	Pediatric Cardiac Intensive Care Unit
PICU	Pediatric Intensive Care Units
RACHS-1	Risk Adjustment for Congenital Heart Surgery 1
TEE	Transesophageal Echocardiography

*A Mathias, merci pour ton soutien inconditionnel.*

*A Cassandre pour la joie et le courage que tu m'apportes.*

*A ma toute petite Marion qui nous a rejoints.*

## Remerciements

Merci à mon directeur de maîtrise Dr Philippe Juvet pour votre guidance et votre soutien au long de ce projet.

Merci à tous les fellows des Soins Intensifs Pédiatriques du Centre Hospitalier Sainte Justine pour leur aide dans l'acquisition des images thermiques.

Merci à Mme Rita Noumeir pour vos conseils.

# 1- Chapitre 1. Introduction

## 1.1 La régulation thermique chez l'homme

L'homme est un être homéotherme, il maintient sa température corporelle constante dans des conditions physiologiques entre 36,5 et 37,5°C. Le contenu en chaleur des organes profonds est relativement constant au cours du temps. C'est la température centrale. Le niveau d'activité de chaque organe détermine le débit sanguin régional et, de fait, la quantité de chaleur importée et exportée. Le contenu en chaleur du corps est en grande partie alimenté par le métabolisme oxydatif quotidien. Cette production de chaleur est de 50W pendant le sommeil et peut être multipliée par 10 à l'effort (1). C'est au niveau de la peau que vont s'effectuer chez l'homme la majorité des transferts de chaleur entrants ou sortants entre les organes profonds et l'environnement (90%). Ces mécanismes de transfert se font par conduction (3%), par convection (15%), par radiation (60%) et par évaporation (22%). La microcirculation permet de transporter l'oxygène aux tissus par le sang. Cette microvascularisation est régulée et la surface d'échange développée par les capillaires sous-cutanés varie jusqu'à plusieurs mètres carrés en fonction du gradient thermique existant entre le corps et l'environnement (2). Les informations thermiques provenant de la peau, des organes profonds et des tissus périphériques arrivent toutes au thalamus qui est le principal thermorégulateur chez l'humain. La thermorégulation est la conséquence d'une activation du système nerveux neuro-végétatif entraînant une vasoréactivité centrale et périphérique. Pour cette raison, la distribution de la température à la surface du corps peut donner des informations sur les modifications de la vascularisation, et en particulier sur l'existence d'une centralisation de cette vascularisation vers des organes vitaux (cerveau, cœur et poumon) au détriment des organes superficiels, et en particulier de la peau (3). Ce phénomène d'hypovascularisation périphérique se voit dans les situations de stress hémodynamique sévères en particulier dans les états de choc cardiogénique, distributif (septique ...) (4), hypovolémique, et se manifeste cliniquement par la présence de marbrures et d'extrémités froides, l'allongement du temps de recoloration cutanée, des pouls périphériques plus faibles (5). En effet, en présence d'une température ambiante constante, un changement de la température de la peau est le résultat d'un changement du flux sanguin cutané.

## 1.2 L'hémodynamique en post opératoire de chirurgie cardiaque

Les cardiopathies congénitales touchent environ 1 % des naissances vivantes et représentent les malformations congénitales les plus fréquentes chez les nouveau-nés. La prise en charge médicale post opératoire de ces cardiopathies congénitales est un moment crucial à haut risque de défaillance cardiaque et bas débit cardiaque. La durée de la circulation extracorporelle (CEC) et de clampage aortique per opératoire qui sont associés à une ischémie myocardique peuvent favoriser la survenue d'un syndrome de bas débit cardiaque par hypocontractilité. Par ailleurs, il existe une demande métabolique accrue liée à un syndrome inflammatoire secondaire à la CEC (6). La survenue d'un bas débit cardiaque est une complication post opératoire fréquente dans les 6-48 heures post opératoires qui est associée à une augmentation de la durée de ventilation mécanique et une durée de séjour plus longue ainsi qu'une augmentation de la mortalité dans la population pédiatrique (7, 8). Ainsi, 25% des patients vont faire un bas débit cardiaque dans les 6 à 18 heures post opératoires avec un débit cardiaque inférieur à  $2\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$  (9, 10). L'évaluation qualitative et quantitative du débit cardiaque au retour du bloc doit être rapide afin de mettre en route les traitements adaptés.

La reconnaissance de cet état hémodynamique passe par un examen clinique minutieux et répété, l'interprétation des données du monitoring de base et du monitoring invasif, des examens biologiques répétés. Ainsi, la quantification de la diurèse, l'analyse de la surveillance continue de la fréquence cardiaque, l'analyse du rythme cardiaque par électrocardiogramme, de la pression artérielle, de la pression veineuse centrale ou d'autres pressions comme la pression sanguine dans l'oreillette gauche, l'analyse de la radiographie thoracique, de l'échocardiographie, l'analyse des gaz du sang artériel, veineux et du dosage du lactate sanguin, de l'excès de base vont aider au diagnostic (10, 11).

Du point de vue clinique le bas débit cardiaque va entraîner une vasoconstriction par augmentation des résistances vasculaires systémiques et une hypoperfusion périphérique. Cette augmentation des résistances vasculaires périphériques est une manifestation précoce qui permet dans un premier temps de maintenir une bonne pression artérielle et donc une bonne pression de perfusion des organes vitaux par un transfert du sang périphérique vers la circulation centrale grâce à la stimulation alpha-adrénergique (12, 13). La vasoconstriction importante surtout au niveau de la peau et des muscles se manifestera cliniquement, entre autres, par une froideur des extrémités, des marbrures, un allongement du temps de recoloration cutanée et des pouls périphériques faibles. Cependant chacun de ces signes cliniques et biologiques peut être séparément anormal pour de multiples raisons cliniques, ce

qui rend difficile leur interprétation et le diagnostic de syndrome de bas débit cardiaque, et parfois même subjectif (14, 15).

### 1.2.1 Les scores cliniques de bas débit cardiaque

Des scores cliniques ont alors été établis pour aider au diagnostic de bas débit cardiaque. Ulate et al. ont décrit un score clinique et thérapeutique, le Low Cardiac Output Syndrome Score (LCOSS), permettant de reconnaître un syndrome de bas débit cardiaque dans les 24h post opératoire d'une chirurgie cardiaque sous circulation extra corporelle (16) (*Tableau 1*). Ce score prend en compte la fréquence cardiaque, le débit urinaire, le volume de remplissage vasculaire, la dose de Milrinone, les valeurs de la saturation régionale en oxygène de l'hémoglobine (rSO<sub>2</sub>) cérébrale et rénale, la valeur du lactate artériel et la température périphérique au niveau du gros orteil. Les patients ayant eu un score maximal supérieur ou égal à 4 et ceux avec un score cumulé supérieur ou égal à 7 avaient une incidence significativement élevée de survenue d'évènements morbides tels qu'un arrêt cardiorespiratoire, une entérocolite ulcéro-nécrosante, une altération neurologique. Le score cumulé était l'addition des scores obtenus à l'admission, à 8, 12 et 24 heures post opératoire.

Variable	Assign One Point If:
HR	> 20% above postinduction HR in operating room
Urine output	< 1 mL/kg/hr
Toe temperature	< 30°C
Vasoactive/inotrope requirement	In excess of milrinone 0.5 µg/kg/min
Volume administration (crystalloid and colloid)	> 30 mL/kg/d
Decreased NIRS measurement	Cerebral and renal NIRS < 50% and 75% of arterial saturations, respectively
Arterial lactate	> 2 mmol/L

HR = heart rate, NIRS = near infrared spectroscopy.

PEDIATRIC CRITICAL CARE MEDICINE

**Tableau 1** : Description du Score LCOS. Issu de l'article de Ulate et al (16)

Rogers et al. ont également montré l'efficacité de ce score dans la prédiction d'évènements indésirables associés à un bas débit cardiaque en post opératoire des cardiopathies congénitales, tels que le recours à une épuration extra rénale et à l'ECMO (17). Parmi les différents éléments du score, une température périphérique basse inférieure à 30°C ressortait comme étant un marqueur fort de la survenue d'un syndrome de bas débit cardiaque.

L'index IDO<sub>2</sub> (Inadéquat oxygen delivery) est un score calculé en continu à partir des signes vitaux des moniteurs et de données biologiques. Une augmentation de ce score est corrélée à une baisse de la saturation veineuse en O<sub>2</sub> (SvO<sub>2</sub>) inférieure à 40%. Cet index validé par la Food and Drug Administration est de façon routinière utilisé aux États-Unis pour objectiver une oxygénation inadéquate lors de la prise en charge des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque (18). Dans le travail de Roger et al, le score LCOS apparaissait supérieur à l'index IDO<sub>2</sub> pour prédire la survenue d'un évènement indésirable en lien avec un bas débit cardiaque.

### 1.2.2 L'extraction en oxygène lors du bas débit cardiaque

La conséquence du bas débit cardiaque est l'utilisation inadéquate de l'oxygène par les cellules. Ce paramètre est mesurable. La saturation veineuse en oxygène du territoire cave supérieure et surtout l'extraction en oxygène peuvent permettre d'évaluer l'oxygénation tissulaire. Dans la population des patients ayant une cardiopathie cyanogène, la SVO<sub>2</sub> est déjà souvent basse, l'extraction tissulaire en oxygène est alors un meilleur biomarqueur que la SvO<sub>2</sub>. L'extraction en oxygène est le reflet de la relation entre la demande ou consommation (VO<sub>2</sub>) et la délivrance (DO<sub>2</sub>) en oxygène. La consommation en oxygène est déterminée par l'équation suivante :

$$VO_2 = DO_2 \times [(SaO_2 - SvO_2) / SaO_2]$$

Le ratio d'extraction en oxygène (O<sub>2</sub>ER) est déterminé par l'équation suivante, lorsque l'on ignore l'infime quantité d'O<sub>2</sub> dissoute dans le sang :

$$\begin{aligned} O_2ER &= VO_2 / DO_2 \\ &= (CaO_2 - CvO_2) / CaO_2 \\ &= [(Hb \times 1,34 \times SaO_2) - (Hb \times 1,34 \times SvO_2)] / (Hb \times 1,34 \times SaO_2) \\ &= (SaO_2 - SvO_2) / SaO_2 \end{aligned}$$

La mesure du débit cardiaque (DC) découle de l'équation de Fick :

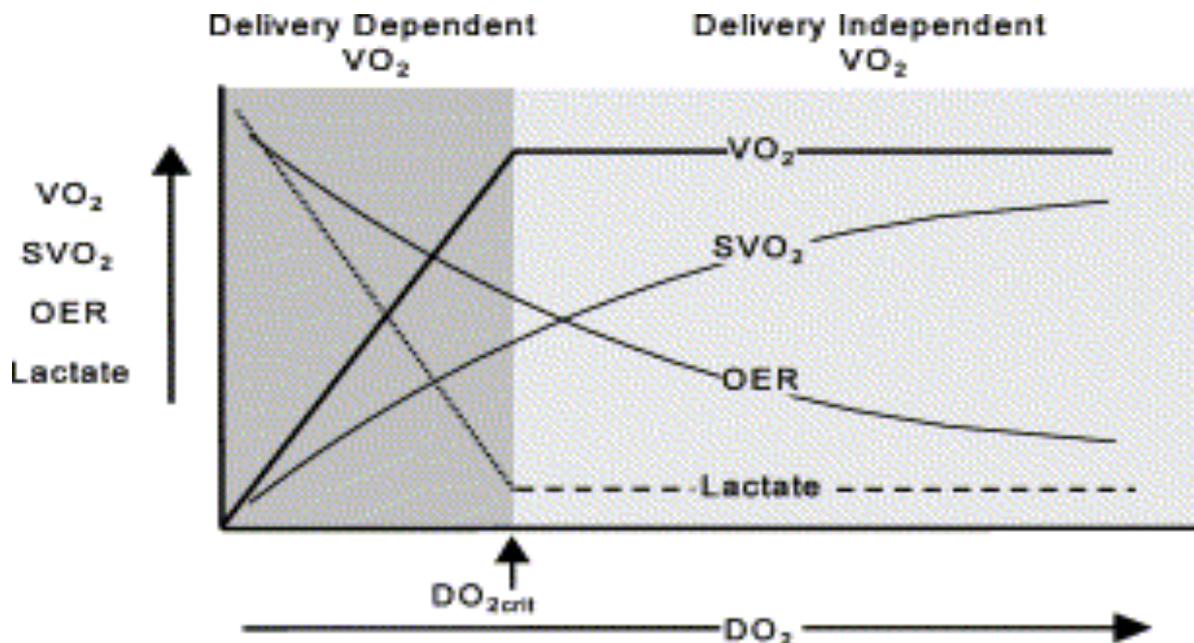
$$DC = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$$

Les facteurs qui vont jouer un rôle dans les changements de l'extraction en oxygène sont l'hémoglobine (Hb), et le débit cardiaque.

En cas de compromis hémodynamique comme dans un LCOS, l'augmentation de l'extraction en  $O_2$  est plus précoce que l'augmentation du lactate sanguin (*Figure 1*). En effet, l'hyperlactatémie est secondaire à la fois à la dysoxie tissulaire et au dépassement des capacités de clairance (19, 20). De plus, en post opératoire de chirurgie cardiaque plusieurs autres causes non hémodynamiques peuvent concourir à une hyperlactatémie (21).

L' $O_2ER$  normal est de 25% à 30% dans la veine cave supérieure (*Figure 2*). Ainsi, si la baisse de la teneur en  $O_2$  devient sévère ou si le débit cardiaque est limité, l'extraction en  $O_2$  va augmenter pour assurer la délivrance tissulaire en  $O_2$ . Lorsque la demande dépasse la délivrance en  $O_2$ , malgré l'augmentation de l'extraction en  $O_2$ , une hypoxie tissulaire se produit et le métabolisme anaérobie commence, conduisant à la production de lactate. Il a été suggéré qu'à un  $O_2ER$  entre 50 et 60%, la consommation d'oxygène devient pathologiquement dépendante de l'apport d'oxygène (22). (*Figure 1*)

Cette situation peut entraîner une défaillance multi organique et, ultimement, le décès (23).



**Figure 1 :** Évolution de la délivrance en oxygène en fonction de la demande en oxygène.

À partir d'un certain seuil, l'augmentation de l'extraction d' $O_2$  ne suffit plus et la  $VO_2$  commence à diminuer (sans changement de la demande d' $O_2$ ). Le seuil de  $O_2ER$  critique qui est d'environ 60%. La  $DO_2$  correspondante est le  $DO_2$  critique.

Oxygen Extraction Ratio <sup>a</sup>	
<b>A</b>	Oxygen Extraction Ratio (OER)
OER =	$\frac{Sao_2 - Smvo_2}{Sao_2}$
<b>B</b>	Oxygen Extraction Ratios
25 %	Normal
30% - 50%	Elevated
50% to 60%	Impending shock
> 60%	Shock, lactic acidosis
<small>PEDIATRIC CRITICAL CARE MEDICINE</small>	

**Figure 2** : Les valeurs du ratio d'extraction en oxygène. Issu de l'article de Bronicki et al (22). Oxygen (O<sub>2</sub>) extraction ratio (OER). Sao<sub>2</sub> = Saturation artérielle en O<sub>2</sub>. SmVo<sub>2</sub> saturation veineuse mixte en O<sub>2</sub>.

Dans une population de 17 nouveau-nés en post opératoire de Norwood, Dhillon et al décrivent une corrélation significative entre l'extraction en oxygène et une diminution de l'oxygénation tissulaire systémique (24). Rossi et al en 1999 ont montré qu'une extraction en oxygène supérieure à 50% était retrouvée, à H6 post opératoire chez 70 % des patients non survivants et seulement chez 25% des survivants dans une population de 49 enfants après une chirurgie cardiaque. De plus, dans cette population de post opératoire dont l'anémie est contrôlée par transfusion assez rapidement, une augmentation de l'extraction en O<sub>2</sub> pouvait être attribuée directement à une baisse du débit cardiaque (25, 26).

Tout comme la SvO<sub>2</sub>, l'O<sub>2</sub>ER est un marqueur de débit cardiaque fréquemment utilisé dans la surveillance hémodynamique des patients critiques surtout dans le domaine de la chirurgie cardiaque. Il est nécessaire que les patients soient équipés d'un cathéter veineux central dans le territoire de la veine cave supérieure pour obtenir les GDS veineux, ainsi qu'un cathéter artériel pour obtenir les GDS artériels et ainsi, calculer l'O<sub>2</sub>ER. La plupart des patients en post chirurgie cardiaque possèdent cet équipement (22).

### 1.2.3 Survol des autres outils de monitoring non invasif du débit cardiaque

Les autres estimateurs non invasifs de débit cardiaque utilisés en pédiatrie sont la Spectrométrie par proche infra-rouge (NIRS) dont le principe repose sur l'absorption des rayonnements proches infra-rouge par les tissus, et est un reflet de la saturation régionale en oxygène de l'hémoglobine ( $rSO_2$ ). Son utilisation pour la surveillance de l'oxygénation cérébrale, rénale, hépatique et musculaire a été largement décrite dans la prise en charge des patients critiques (22, 27). La  $rSO_2$  est une valeur de saturation veineuse pondérée, elle évolue de façon parallèle à la  $SvO_2$  régionale. La  $rSO_2$  cérébrale contribue pour la majeure partie à la  $SvO_2$  dans les situations de bas débit cardiaque et la cumulation  $rSO_2$  de plusieurs tissus a été décrite comme un bon reflet de la mixte  $SvO_2$  en post opératoire de chirurgie cardiaque. La NIRS est donc une bonne modalité de surveillance de la perfusion régionale et globale (27). L'autorégulation cérébrale permet le maintien d'une oxygénation cérébrale adéquate. La baisse de la  $rSO_2$  cérébrale arrive donc plus tardivement que la baisse de l'oxygénation d'autres organes n'ayant pas cette capacité d'autorégulation. Ceci peut retarder la reconnaissance de l'état de bas débit cardiaque si on n'utilise qu'une sonde cérébrale. La  $rSO_2$  rénale est régulée par le tonus sympathique. Le rein est un organe avec une faible extraction en oxygène. En cas d'instabilité hémodynamique il peut donc préserver initialement son oxygénation.

L'échographie cardiaque trans thoracique (ETT) joue un rôle essentiel pour guider la prise en charge des patients critiques (19). L'utilisation en post opératoire immédiat de chirurgie cardiaque est cependant parfois difficile du fait de la mauvaise fenêtre acoustique en raison des remaniements cutanés et de l'inflammation post chirurgicaux. Cet examen est encore plus limité en cas de non-fermeture sternale. L'ETT est encore préférentiellement pratiquée par les cardiologues en pédiatrie, mais de plus en plus d'intensivistes pédiatriques pratiquent une ETT ciblée en post opératoire de chirurgie cardiaque avec entre autres la mesure de l'intégrale temps- vitesse (ITV) du flux sanguin sous aortique au doppler comme mesure du débit cardiaque. Cet examen reste toutefois ponctuel, ne permettant pas un monitoring continu.

La pression de fin d'expiration du  $CO_2$  ( $EtCO_2$ ) est utilisée comme indicateur du débit pulmonaire et donc du débit cardiaque (28). Cette mesure est facilement obtenue chez les patients intubés sous réserve d'une ventilation constante. L'augmentation du débit cardiaque et du débit sanguin pulmonaire se traduit par une meilleure perfusion des alvéoles et une augmentation du  $EtCO_2$ , alors qu'en cas de bas débit cardiaque on note une diminution du

EtCO<sub>2</sub> et une augmentation du gradient entre le CO<sub>2</sub> expiré et la pression artérielle en CO<sub>2</sub>. Cependant, cette mesure présente certaines limitations liées à la grande solubilité dans le sang du CO<sub>2</sub> (27) et n'est pas fréquemment utilisée en post chirurgie cardiaque pédiatrique.

Le contour de l'onde de pouls est une méthode minimalement invasive qui fournit des informations sur le volume d'éjection systolique du ventricule gauche et donc du débit cardiaque en temps réel à partir de la forme de la courbe de pression artérielle obtenue par un cathéter artériel. La variation des résistances vasculaires systémiques au cours du temps change l'interprétation de ces mesures et nécessite une calibration par un système plus invasif comme la thermo dilution trans-pulmonaire qui n'est plus pratique courante en post opératoire de chirurgie cardiaque.

### 1.3 Le gradient thermique entre la température centrale et périphérique en post opératoire de chirurgie cardiaque.

L'évaluation clinique de la température des extrémités et du temps de recoloration capillaire fait partie de l'examen standard des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque et pour tout patient chez qui un compromis hémodynamique est suspecté ou avéré. Il y a déjà plusieurs années que l'évaluation de la température périphérique a été étudiée comme marqueur hémodynamique.

La température périphérique normale est comprise entre 33 et 34°C et un gradient thermique de 3 à 4 °C correspond à une circulation périphérique normale (29). Il a été établi qu'une augmentation de ce gradient supérieur à 5 °C était corrélée à une mauvaise perfusion périphérique et une altération des fonctions cardiaques (12).

Une revue de 2010 a repris l'ensemble des études ayant évalué le gradient thermique comme marqueur du statut hémodynamique de 1966 à 2009 (12). Parmi ces études, 7 étaient menées dans une population pédiatrique et 3 dans une population mixte adulte et pédiatrique. La corrélation entre le gradient thermique et le débit cardiaque était mitigée. La méthode de la mesure thermique n'était décrite que dans moins de la moitié des études.

Parmi les études pédiatriques, V Alexi-Meskhishvili et al., en 1984, indiquaient que l'augmentation du gradient thermique était corrélée à la survenue d'un syndrome de bas débit cardiaque dans une population de 56 enfants en post opératoire de chirurgie cardiaque chez qui ils avaient mesuré le débit cardiaque et les résistances vasculaires systémiques par

thermodilution. L'augmentation du gradient thermique était corrélée à une augmentation des résistances vasculaires systémiques, à une baisse du débit cardiaque, du volume d'éjection systolique indexé et du débit urinaire. Ce gradient thermique n'était pas retrouvé dans la population contrôle sans bas débit cardiaque (30). Dans cette étude, la température périphérique était prise au niveau du gros orteil avec une valeur normale de 34 °C soit 2 à 3°C inférieurs à la température centrale. Cette même corrélation entre débit cardiaque, résistances vasculaires périphériques et gradient thermique était retrouvée sur une population de 10 enfants en post opératoire en 1993 par l'équipe de Murdoch (31). Dans cette étude la température périphérique était prise à l'aide d'une caméra thermique au niveau de la cuisse, de la jambe puis des orteils et le gradient moyen de température était de 6°C (2,3°-12,8°) (32).

Cependant plusieurs études ne retrouvent aucune corrélation entre le gradient thermique, le débit cardiaque et les résistances vasculaires systémiques (24). C'est le cas de Butt et al, en 1991, qui ne retrouvait aucune corrélation entre le gradient thermique et le débit cardiaque évalué par échographie doppler transthoracique en post opératoire de 17 patients avec une cardiopathie congénitale (33).

Une étude de 1997 ne retrouvait aucune variation significative du gradient thermique entre l'orteil et la température centrale (par thermodilution) entre les patients ayant eu des évènements adverses majeurs à 4 et 8h post opératoire et ceux n'en n'ayant pas eu. Le gradient thermique était de de l'ordre de 1 à 3 C (34). Plus récemment Bourcier et al ont montré une corrélation entre un gradient thermique central – périphérique et des signes cliniques et biologiques d'hypoperfusion tissulaire dans une population de patients adultes ayant une infection sévère. Ils retrouvaient aussi une forte corrélation entre le gradient orteil-température ambiante (35).

La diminution de la chaleur cutanée périphérique n'est pas spécifique et peut résulter de plusieurs autres facteurs (12) ( *Tableau 2*). La microcirculation sous-cutanée peut être modulée par la température cutanée locale et ne pas être le reflet de la circulation systémique. Dans certaines circonstances la froideur des extrémités périphériques n'est pas un reflet du débit cardiaque comme dans le cadre d'une hypothermie globale, de maladies vasculaires périphériques (syndrome de Raynaud...), une vasoconstriction par action du système nerveux sympathique en réponse à un stress ou de la douleur, ou encore l'utilisation d'agents vasoconstricteurs. À l'inverse un tableau de vasodilatation périphérique pourrait être en rapport avec un état septique du patient ou l'utilisation de vasodilatateurs systémiques tels que la Milrinone souvent utilisés en post opératoire de chirurgie cardiaque et dans la prise en charge de certains chocs cardiogéniques. Certains de ces facteurs ne seront pas rencontrés

dans la population pédiatrique tels que les maladies vasculaires périphériques qui ne se manifestent que très rarement dans la période pédiatrique. D'autre part, la température centrale de ces patients est contrôlée de façon continue par un thermomètre œsophagien ou rectal, ou de façon discontinue de sorte qu'il est très rare de constater une hypothermie en post opératoire de chirurgie cardiaque. Les protocoles de sédation analgésie dans les unités de soins intensifs pédiatriques permettent également d'éviter la survenue de douleur ou de stress majeurs en post opératoire.

Extrémités périphériques Froides Avec Hypoperfusion	Extrémités périphériques Chaudes Avec Hypoperfusion	Extrémités périphériques Froides Sans Hypoperfusion
Perfusion tissulaire altérée associée à une <i>vasoconstriction</i> consécutive à : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonction cardiaque altérée</li> <li>• États de choc compensés ou décompensés (hypovolémie, sepsis hypo dynamique, choc cardiogénique)</li> </ul>	Perfusion tissulaire altérée associée à une <i>vasodilatation</i> consécutive à : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase hyperdynamique de sepsis, anaphylaxie, choc neurogène</li> <li>• Syndrome de post-perfusion</li> <li>• Médicament vasodilatateur</li> </ul>	<i>Vasoconstriction</i> sans altération de la perfusion tissulaire consécutive à : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Température ambiante froide</li> <li>• Maladie vasculaire périphérique</li> <li>• Médicament vasopresseur</li> <li>• Réponse du système nerveux sympathique à la douleur/l'anxiété</li> </ul>

**Tableau 2 :** Diagnostic différentiel des variations thermiques cutanées. Traduit, adapté de l'article de Schey et al (12).

Le syndrome de bas débit cardiaque post opératoire est multifactoriel. Il résulte de la baisse de contractilité myocardique, l'augmentation des résistances vasculaires, l'augmentation de la demande en oxygène après la CEC. Les données échographiques seules ne sont pas suffisantes au diagnostic de ce syndrome. La rSO<sub>2</sub> permet une bonne estimation de la perfusion régionale surtout, mais aussi globale cependant comme nous l'avons expliqué plus haut l'autorégulation cérébrale entraîne probablement un délai dans la reconnaissance du bas débit cardiaque par la NIRS. Le gradient thermique semble être un bon reflet de la composante de réactivité vasculaire systémique à la suite de l'activation du tonus

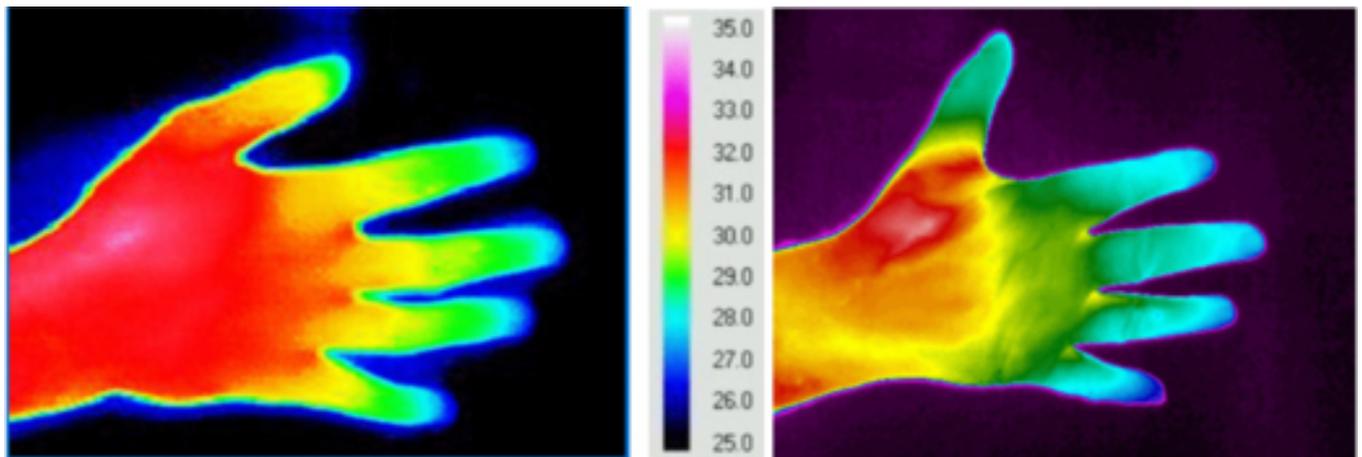
sympathique dans le contexte d'instabilité hémodynamique. En établissant un gradient entre la température centrale et celle d'une région périphérique (température cutanée de l'orteil) nous pensons pouvoir détecter plus précocement l'hypoperfusion tissulaire avant l'atteinte des organes cibles.

## 1.4 La thermographie infrarouge

### 1.4.1 Principes généraux

La thermographie infrarouge (TIR) est une technique de monitoring non invasive, sans contact et validée qui permet d'analyser la température corporelle et ses variations physiologiques. À température ambiante, tout objet dont la température est supérieure au zéro absolu émet spontanément des rayons infrarouges. C'est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde inférieure à celle de la lumière visible et en particulier du rouge. L'émission infrarouge est directement liée à la chaleur d'un corps, puisque la température du corps détermine la longueur d'onde des rayons infrarouges émis. En physique, l'émission est maximale pour des températures comprises entre  $-40$  et  $100^{\circ}\text{C}$  ce qui correspond à des longueurs d'ondes comprises entre 8 et  $12\mu\text{m}$ . La majorité de la déperdition thermique chez l'homme se fait par radiation (60%) (5). Les caméras thermiques permettent de mesurer cette radiation et la transformer en température puis l'affichent sous forme d'image dans une gamme de couleurs ou de gris, grâce à un traitement informatique (*Figure 3*).

La température est très dépendante des échanges thermiques entre la peau, les tissus internes, la microvascularisation et le débit sanguin ainsi que l'interface air/tissus et les activités métaboliques. La cartographie thermique d'un individu est donc le résultat d'interactions complexes entre les variations physiologiques de la production de chaleur par l'individu et les phénomènes de déperdition de cette chaleur.



**Image 1** : Exemple d'imagerie thermique.

L'échelle de couleur représentée au centre de la figure correspond à l'échelle des températures observées à la surface de la main photographiée. Les températures les plus chaudes sont représentées en blanc et les plus froides en noir. Lors de l'acquisition de l'image, l'échelle de température doit s'afficher sur le côté de la photo pour s'assurer que la gamme de température correspond bien aux températures pouvant être captées sur la scène (36).

#### 1.4.2 La thermographie infrarouge dans le domaine médical

La TIR est utilisée dans le domaine médical depuis les années 1960. L'épidémie de grippe H1N1 et la mesure de la température corporelle par thermographie dans les aéroports ont permis des progrès majeurs dans le domaine des applications médicales de cette technologie (37). Le développement des caméras thermiques permet d'obtenir une précision jusqu'à 0,01°C grâce à leur grande sensibilité thermique (38). Le degré de résolution thermique et spatiale atteint aujourd'hui permet de détecter une infection localisée dans un tissu, comme cela a été fait pour détecter les complications de pieds chez les patients diabétiques (39). L'utilisation de l'image thermique s'est beaucoup développée dans le domaine musculo-squelettique, orthopédique et chirurgie plastique. Dans une revue systématique chez l'adulte parue en 2015, John et al. montrent que l'utilisation de l'image thermique est maintenant un outil sécuritaire (40). La TIR a aussi été utilisée en pédiatrie pour le dépistage de la fièvre, la surveillance des fluctuations thermiques chez les prématurés, mais également, comme chez l'adulte, dans les domaines de la dermatologie, des maladies articulaires traumatiques ou inflammatoires, et ce avec une meilleure précision que dans la population adulte (41).

Certaines conditions précises d'acquisition et de traitement des images thermiques ont été établies pour l'utilisation de la TIR dans le domaine médical (38). Ainsi la distance entre la caméra et la cible, l'inclinaison de la caméra, la température et l'humidité et la luminosité régnant dans la pièce doivent être contrôlées et stables au cours des acquisitions. Le traitement de l'image doit aussi prendre en compte l'émissivité du corps qui est de 0,98 pour la peau humaine, et prendre également en compte la température réfléchie qui est négligeable pour la peau humaine. En effet, des variations de mesure de température ont été reportées en lien avec la position du patient et l'angle de prise de l'image. Selon la partie du corps qui va être analysée, la précision thermique n'est pas la même. Ainsi, il y a plus de variations de mesure de la température au niveau des mains que de la face ou du dos (36, 42). Des températures et des images thermiques de référence ont été établies par l'Académie Américaine de thermologie et sont accessibles dans un atlas en ligne. Le Glamorgan Protocol a également permis d'établir un atlas de référence d'images thermiques pour plusieurs régions spécifiques du corps dans diverses positions (43).

#### 1.4.3 Cas particuliers du domaine hémodynamique et l'estimation de la température centrale

La TIR est donc maintenant couramment utilisée dans de nombreux domaines, mais peu d'études rapportent son utilisation à visée de monitoring hémodynamique. Ferraris et al. ont utilisé l'image thermique infrarouge dans l'évaluation de la perfusion tissulaire périphérique des adultes en choc septique (4). Ils retrouvaient une diminution significative de la température lorsque le patient avait un score de marbrure élevé par rapport à ceux avec un score bas, signant une altération de la microcirculation régionale. Sur un modèle animal, l'imagerie thermique permet d'analyser très précisément la perfusion tissulaire périphérique et l'hémodynamique dans le cadre d'un sepsis expérimental (44).

Par ailleurs, l'utilisation de la thermographie dans l'estimation de la température centrale est encore controversée. Les études visant à évaluer la température centrale ont principalement exploré ses variations en cas de fièvre spontanée ou d'état fébrile provoqués (45). La mesure de la température infrarouge au niveau du cantus interne a été rapportée comme assez sensible et spécifique pour détecter la fièvre dans la population adulte dans le contexte d'épidémie de SARS (46) et dans une population pédiatrique (47). Toutefois, cette mesure a une fiabilité limitée pour la mesure de la température centrale hors contexte

d'hyperthermie (48). Ainsi, Teunissen et al retrouvent une différentielle de 1,3 à 2,8 degrés de différence entre la température par thermographie au niveau du cantus interne et la température œsophagienne au repos et à l'effort (49).

## 2- Chapitre 2. Objectifs et hypothèses

### 2.1 Problématique

L'absence de marqueur diagnostique de certitude de bas débit cardiaque en post opératoire de chirurgie cardiaque et la nécessité d'une reconnaissance précoce de cet état d'hypoperfusion tissulaire posent la question de l'utilisation d'autres outils de monitoring en plus de l'examen clinique, des examens biologiques et échographiques de routine. Dans ce contexte, la thermographie infrarouge dont l'utilisation médicale est en plein essor permettrait une évaluation non invasive, sans contact afin de permettre un monitoring multimodal pour la reconnaissance et le traitement plus rapide du bas débit cardiaque qui n'est pas rare en post chirurgie cardiaque pédiatrique.

### 2.2 Objectifs

Le but principal de ce travail était d'établir une corrélation entre le gradient thermique par TIR et les marqueurs d'inadéquation entre la demande et la délivrance en oxygène, l' $O_2ER$ , chez des enfants de 0 à 18 ans à risque d'instabilité hémodynamique en post opératoire de chirurgie cardiaque. Il s'agit d'une étude de faisabilité de l'utilisation de cet outil dans le service des soins intensifs pédiatriques. Les objectifs secondaires étaient de tester la corrélation du gradient thermique et aux autres signes cliniques et biologiques pouvant être modifiés en cas de bas débit cardiaque : le lactate, la  $rSO_2$  cérébrale, le débit urinaire, le base excès, et de rechercher les facteurs pouvant modifier le gradient thermique.

### 2.3 Hypothèse

Une augmentation du gradient thermique par thermographie infrarouge entre la température centrale (cavité interne) et les extrémités inférieures (gros orteil) est positivement corrélée à une augmentation du ratio d'extraction en oxygène en post opératoire de chirurgie cardiaque.

### 3- Chapitre 3. Article

L'article suivant sera bientôt soumis dans la revue médicale *Pediatric Critical Care Medicine*. Il pourra cependant être soumis à des corrections selon les commentaires des réviseurs. Il expose la méthodologie et les principaux résultats de cette étude.

## Hemodynamic Assessment by Infrared Thermography in Children after Cardiac Surgery: A pilot study

Armelle Bridier MD <sup>1</sup>, Monisha Shcherbakova MSc <sup>2</sup>, Atsushi Kawaguchi MD PhD <sup>3</sup>, Nancy Poirier MD <sup>1</sup>, Carla Said MSc <sup>4</sup>, Rita Noumeir PhD <sup>2</sup>, Philippe Jovet MD PhD <sup>1</sup>

#### **Affiliations:**

<sup>1</sup> Pediatric Intensive Care Unit. CHU Sainte-Justine. University of Montreal. Montreal, Quebec, Canada.

<sup>2</sup> École de technologie supérieure of Montreal. Montreal, Quebec, Canada.

<sup>3</sup> Department of Intensive Care Medicine. Tokyo Women's Medical University. Tokyo, Japan

<sup>4</sup> CHU Sainte-Justine Research Center. Montréal, Québec, Canada

#### **Corresponding author:**

Dr. Philippe Jovet

Pediatric Intensive Care Unit, CHU Sainte-Justine

3175 Chemin de la côte Sainte-Catherine, Montreal, Qc, Canada. H3T 1C5

Email: philippe.jovet.med@ssss.gouv.qc.ca

**Name of the institution(s) where the work was performed:** CHU Sainte-Justine, Université de Montréal.

**Reprint requests:** reprints will not be available from the author.

**Funding support:** Supported by the CHU Sainte-Justine Research Center.

**key words:** infrared thermography, cardiac surgery, hemodynamic monitoring, pediatric, low cardiac output syndrome

### 3.1 Abstract

**OBJECTIVES:** To evaluate the correlation between the thermal gradient obtained by infrared thermography (IRT) and the oxygen extraction ratio (O<sub>2</sub>ER) in children at risk of low cardiac output after cardiac surgery.

**DESIGN:** Prospective observational cohort study

**SETTING:** Pediatric Intensive Care Unit of CHU Sainte-Justine

**SUBJECTS:** Children aged 0 to 18 years, having undergone cardiac surgery with cardiopulmonary bypass.

**INTERVENTIONS:** None

**MEASUREMENTS:** 1 to 4 thermal photos were taken per patient using the FLIR One Pro thermal imaging camera in the first 24 hours after surgery. The thermal gradient between the central temperature of the inner canthus of the eye and the peripheral temperature (of the toe) was compared to the oxygen extraction ratio calculated from concomitant blood gases.

**MAIN RESULTS:** 41 patients were included with a median age of 6 months (IQR=3-48). Median RACHS-1 score was 2 (IQR=2-3) and median bypass-time was 101min (IQR=75-125). 89 thermal photos were analyzed. The median thermal gradient was 2,48°C (IQR=1,01-4,04). The median O<sub>2</sub>ER was 35% (IQR=26-42). A significant but weak correlation was found between the thermal gradient and the O<sub>2</sub>ER ( $r = 0.25$   $p = 0.016$ ). This correlation increased for O<sub>2</sub>ER above 30% ( $r = 0,32$   $p = 0,016$ ). Cerebral Near InfraRed Spectrometry (NIRS) also correlated significantly with thermal gradient ( $r = -0,28$   $p = 0.001$ ). Thermal gradient was not correlated with any other clinical or biologic markers of low cardiac output. Only young age was an independent factor associated with an increase in the thermal gradient. Vasopressor and vasodilator agents, core temperature, and cardiopulmonary bypass time had no influence on the thermal gradient.

**CONCLUSION:** A significant but weak correlation between thermal gradient by IRT and O<sub>2</sub>ER after pediatric cardiac surgery was observed in this pilot study. IRT is a non-invasive tool that could optimize multimodal monitoring in postoperative cardiac surgery patients, but a more sensitive thermal camera and acquisition of more accurate thermal gradient measurements from a larger sample size could better demonstrate its utility.

### 3.2 Introduction

Low cardiac output syndrome (LCOS) occurs in the post-operative period after cardiac surgery and can affect 25% of patients (7, 9). LCOS results in an insufficient supply of oxygenated blood to the tissues, which leads to an increase in tissue oxygen extraction assessed by the oxygen extraction ratio ( $O_2ER$ ). This hemodynamic impairment is associated with an increase in mortality, in duration of mechanical ventilation and PICU length of stay (9, 50). LCOS diagnosis is defined as fall of the cardiac index below 2 L/min per  $m^2$  but invasive measurement of cardiac index is not usually performed in pediatric cardiac intensive care units (PCICU). Thus, the clinical diagnosis of LCOS mostly relies upon caregivers' qualitative assessment including skin warmth of the extremities and capillary refill time (9, 14). To improve LCOS diagnosis in PCICU, a clinical-biological LCOS score has recently been developed and was correlated with composite measures of postoperative morbidity (16). This score includes the qualitative assessment of recoloration time and the quantitative assessment of toe temperature. It was designed to predict adverse events potentially related to low cardiac output but has not been compared with an objective measure of cardiac output. Instead of toe temperature, several authors have proposed to use a thermal gradient between core and peripheral temperature with a threshold value of  $5^\circ C$  being correlated with decreased cardiac output and increased peripheral vascular resistance (12, 30, 51). Skin warmth can be assessed qualitatively by caregiver touch or quantitatively via a skin thermometer or infrared thermography (IRT). IRT is a non-invasive, non-contact thermal measurement tool. The quantification of a thermal gradient by IRT should be more objective and reproducible than clinical assessment. The thermal resolution rises up to  $0.02^\circ C$ . This technology creates an image from the temperature obtained after the conversion of the infrared radiation emanating from a body or an object. IRT is used in many medical conditions (36, 38, 39, 41) including assessment of local microcirculation in the extremities in the context of hemodynamic instability (4). The use of the thermal gradient assessed by IRT to detect a decrease in cardiac output has not been extensively studied in PCICU. The aim of our pilot study was to assess the correlation between thermal gradient obtained by IRT and  $O_2ER$  in children aged 0 to 18 years, following cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. We hypothesized that an increase in the thermal gradient obtained by IRT would be positively correlated with the increase in  $O_2ER$  after cardiac surgery, and therefore could be used for early detection of low cardiac output syndrome.

### 3.3 Material and methods

#### 3.3.1 Study setting

We conducted a prospective observational study in the pediatric intensive care unit (PICU) of Sainte-Justine Hospital, Montreal, Quebec, a quaternary referral center for congenital cardiac disease. In our center, 150 to 200 cardiac surgeries are performed annually. The Sainte-Justine Research Ethics Board (REB) approved the protocol (reference 2021-2854). The eligible patients were identified through screening of the surgical schedule. Written informed consent for video and photo recordings were obtained from the parents or legal tutor before surgery or during the first hour after surgery (MEDEVAC project approved by the REB, reference 2016-1242). The study aimed to evaluate the feasibility of infrared thermography after cardiac surgery. The timing of the thermal picture recording was determined according to the biological analysis timing, allowing the  $O_2ER$  determination. These blood samples were taken according to the patient's clinical needs and hemodynamic stability.

#### 3.3.2 Study population

From January 2020 to March 2021, all children aged 0 to 18 years scheduled for cardiac surgery with cardiopulmonary bypass (CPB) were deemed eligible. Exclusion criteria were the conditions that could modify patients' core temperature: patients on extracorporeal membrane oxygenation support, continuous hemofiltration, and peritoneal dialysis. Other exclusion criteria were conditions that could distort the thermal gradient calculation obtained by IRT: any extensive skin disease, external active heating (frequent in neonates) or cooling system. It should be noted that although neonates had cardiopathies at risk for low cardiac output after surgery, we had to exclude them because the heated incubators would have distorted the interpretation of thermal images.

#### 3.3.3 Index Test

The thermal gradient was defined as the difference between the temperature of the internal eye canthus and the peripheral temperature taken at the hallux by image-thermography.

Once the patient was admitted to PICU after cardiac surgery, the thermal images were taken within 30 minutes before or after blood gas sampling. The thermal photos were taken by the clinical fellow on duty after a short training session on how to use the camera. During the 18 hours following cardiac surgery, 1 to 4 photos were taken depending on the availability of the clinical fellow. The thermal images were taken with the FLIR-One Pro camera (Teledyne FLIR). The characteristics of this camera were a thermal sensitivity of  $0.07^{\circ}\text{C}$ , a thermal resolution of 19,200 pixels, a temperature range for elements from  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+400^{\circ}\text{C}$ , and a focal length (focus) of 15cm or more. We used a standardized protocol as recommended by the American Academy of Thermology.

The peripheral temperature image was obtained of the hallux, and the temperature image equivalent to the central temperature was obtained at the internal canthus of the eye (49) on a naked patient with the extremities and face visible. Pictures that did not fulfill the environmental conditions and the reliability criteria of a thermal image for a medical study were excluded (38). The documented environmental conditions included the room temperature, room humidity and the distance between the camera and the patient. The room temperature was maintained between  $21$  and  $23^{\circ}\text{C}$ . Humidity was centrally regulated for the whole unit between 30 and 60%. The camera was fixed at 80 to 100 cm from the patient and at a  $45^{\circ}$  angle to the bed plane. For a given patient, the camera was left at the same place throughout the study to ensure image reproducibility. The maximum temperature captured on the scene had to be higher than  $35^{\circ}\text{C}$  so that the image would faithfully reflect human temperatures. The pictures acquired were stored on the phone connected to the camera, then transferred to a PC and processed by MATLAB software. A temperature scale on each thermal image allowed linkage of a colored pixel to a given temperature. We could use a gray or colored scale. On a gray scale, the black pixel corresponded to  $0^{\circ}\text{C}$ , and the white color corresponded to  $255^{\circ}\text{C}$ . We superimposed the thermal image on the simple digital image when necessary to better determine the regions of interest, i.e. the internal canthus of the eye and the hallux.

### 3.3.4 Primary Outcome : O<sub>2</sub>ER

Our primary outcome was O<sub>2</sub>ER. O<sub>2</sub>ER is a good marker of cardiac output. An increase in O<sub>2</sub>ER corresponds to a mismatch between oxygen demand and delivery (22). Changes in O<sub>2</sub>ER occur earlier than lactate changes during hemodynamic instability. This marker of tissue oxygen extraction is not influenced by heart disease category (cyanogenic or non-cyanogenic). This marker is also more accurate than cardiac output assessed by transthoracic ultrasound because it is not affected by technical issues in the post-operative period and interpersonal variability of ultrasound measurements.

O<sub>2</sub>ER is calculated as  $(\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2) / \text{SaO}_2$ , where SaO<sub>2</sub> is the arterial blood gas oxygen saturation and SvO<sub>2</sub> is the venous blood gas oxygen saturation collected via a central venous catheter in the superior vena cava. Normal O<sub>2</sub>ER is 25% to 30% in the superior vena cava. Blood gas samples to calculate O<sub>2</sub>ER were scheduled for each patient according to department protocol and patient stability. There was no additional analysis performed for the study. We divided patients into three groups according to O<sub>2</sub>ER level: “low O<sub>2</sub>ER” group (O<sub>2</sub>ER <25%) “normal O<sub>2</sub>ER” group (O<sub>2</sub>ER= 25-30%) and “high O<sub>2</sub>ER” group (O<sub>2</sub>ER >30%).

### 3.3.5 Secondary outcomes

The secondary outcomes were blood lactate level, base excess level (from a blood gas sampled within 30 minutes before or after the thermal picture was taken, and physiologic parameters including heart rate, cerebral rSO<sub>2</sub>, hourly urine output. Those parameters were documented during routine clinical care and obtained subsequently from the electronic health care record (52).

### 3.3.6 Other parameters of interest

To describe the population, baseline demographic information (age, weight at the time of surgery, gender), cardiac diagnosis, Risk Adjustment for Congenital Heart Surgery 1 (RACHS-1 score) (53) were obtained from the electronic medical record . Intraoperative data (surgical procedure, cardio-pulmonary bypass (CPB) duration, aortic cross-clamp duration) and transesophageal or transthoracic echocardiography results were obtained from the anesthesia and operating room records. Use of vasoactive drugs was documented.

Vasoconstrictor drugs were defined as epinephrine at a dose greater than 1mcg/kg/min or norepinephrine and phenylephrine at any dose. Vasodilator drug was defined as milrinone at a rate greater than 0.7 mcg/kg/min or nicardipine at any dose.

### 3.3.7 Sample size calculation

We calculated a sample size of 40 patients with 120 measurements of O<sub>2</sub>ER and thermal gradient would be required in order to attain a moderate correlation between O<sub>2</sub>ER and thermal gradient with a power of 80% at the 5% alpha threshold.

### 3.3.8 Statistical Analysis

Descriptive statistics were reported as proportion and median (with interquartile range). To examine the correlation between the thermal gradient and O<sub>2</sub>ER, as well as with secondary outcomes (urinary output, lactate level, base excess value, and cerebral rSO<sub>2</sub>), Spearman's test was used. To assess factors associated with thermal gradient, linear regression analyses were performed. The Wilcoxon-Mann-Whitney test was used to compare the medians of the categorical variables. Variables included in the linear regression were those deemed clinically relevant, including age, the use of vasodilator or vasoconstrictor drugs, the core temperature, and the CPB duration. Any factor in the univariate analysis with a  $p < 0.1$  was included in the multivariate analysis. Level of significance was set as  $p < 0.05$ .

## 3.4 Results

One hundred twenty-five patients were screened, 50 patients were included and had thermographic data acquisition. A total of 41 patients were included in the analysis (Figure 1). The demographic and baseline clinical characteristics are summarized in Table 1. The median age was 6 months (IQR= 3-47). There was no significant difference for sex. Cardiac malformations were mainly right ventricular outflow tract anomalies (n=12), ventricular septal defect (n=11), aortic and aortic valve anomalies (n=7). Only one patient with transposition of the great arteries was included in the study and one patient had a stage 2 repair of hypoplastic left heart syndrome. The median PICU length of stay in our cohort was 5

days (IQR=4-7), with a median duration of mechanical ventilation (MV) of 7 hours (IQR=4-23). Two patients developed a complication potentially related to LCOS such as necrotizing enterocolitis. One patient required prolonged MV (2,832 hours).

Four patients had vasopressors and 11 patients a vasodilator drug. The capillary refill time evaluated by the nurses was in 100% of the cases lower than 2 sec.

The average lactate level was 2.1 mmol/L ( $\pm 1.9$ ) and the average cerebral rSO<sub>2</sub> was 68% ( $\pm 12$ ).

#### 3.4.1 Thermal pictures interpretation

Eighty-nine thermal images were retained for analysis that corresponded to one to four images per patient (image example in Figure 2). The median thermal gradient was 2,49 °C (IQR=1.02- 4.04). Forty six percent of the expected thermal images were not taken or did not fulfill the reliability criteria of a thermal image and were excluded from the statistical analysis. Issues included: presence of a heat source around the patient (heated incubator, non-invasive ventilation (NIV) mask), the obstruction or absence of the zones of interest in the picture (obstruction of the face by a NIV mask), maximum temperature below 35°C.

#### 3.4.2 Correlation between the thermal gradient and the O<sub>2</sub>ER

The median O<sub>2</sub>ER was 35% (IQR 26-42). Only 8 patients had an O<sub>2</sub>ER above 50%. Patients with an O<sub>2</sub>ER > 30% were significantly younger than those with an O<sub>2</sub>ER < 30%.

We found a weak positive correlation between the thermal gradient obtained by IRT and the O<sub>2</sub>ER. The Spearman's correlation coefficient was  $r=0.25$   $p=0.016$  (Figure 3).

In the subgroup analysis separating the O<sub>2</sub>ER values into 3 groups, "low O<sub>2</sub>ER," "normal O<sub>2</sub>ER," and "high O<sub>2</sub>ER," we observed a greater correlation between the thermal gradient and the O<sub>2</sub>ER in the "high O<sub>2</sub>ER" group  $r = 0.32$   $p = 0,016$  (Figure 4). There was no correlation in the other groups "low O<sub>2</sub>ER" and "normal O<sub>2</sub>ER" (respectively:  $r = - 0.11$   $p=0.60$  and  $r=0.04$   $p=0.88$ ).

### 3.4.3 Correlation between the Thermal gradient and the other clinical and biological variables

Among the clinical and biological variables tested, we did not find a significant correlation between the thermal gradient and the following variables: lactate level ( $r=0.04$   $p=0.70$ ), base excess ( $r=0.01$   $p=0.89$ ), urinary output ( $r=0.03$   $p=0.76$ ). There was, however, a significant negative correlation between the cerebral  $rSO_2$  and the thermal gradient with a Spearman coefficient  $r=-0.28$   $p=0.001$ .

### 3.4.4 Assessment of factors associated with thermal gradient

We did not detect any differences in thermal gradient values between patients receiving vasoconstrictor drugs ( $n=6$ , median=2.1) versus those on vasodilating drugs ( $n=15$ , median=1.8) ( $p=0.45$ ). However, as shown by the graphical representation by boxplot there was a trend towards a higher thermal gradient if vasoconstrictors were used (Figure 5). There was no correlation between rectal core temperature and thermal gradient ( $r=0.01$ ,  $p=0.24$ ). The only factor that was statistically significant was patient age ( $r=-0.5$   $p=0.0001$ ). The younger the patient, the greater the thermal gradient. No other factor reached a significance level of  $p<0.1$ , so no multivariate analysis was performed.

## 3.5 Discussion

In the post-operative period following cardiac surgery, we collected thermal gradient measurements in 41 of 50 included patients. We found a weak correlation between the thermal gradient between central and peripheral temperatures, obtained by IRT, and the  $O_2ER$ . This correlation was higher for patients with  $O_2ER$  values above 30%. The thermal gradient was not correlated with any clinical and biological variables that can be altered in the context of LCOS.

The use of thermal gradient as a tool for monitoring cardiac output is controversial. Older studies found an increase in thermal gradient correlated with an increase in systemic vascular resistance, a decrease in cardiac output, stroke index, and urine output (30, 31, 54). An increase in gradient preceded or was concomitant with changes in hemodynamic parameters (31). Such a correlation has also been found in the adult population (12).

Conversely, several other authors did not find any clinically significant correlation. (32-34, 55). In most of these studies, thermodilution was used to measure cardiac output, more rarely doppler ultrasound was used (33). However, thermodilution is an invasive technique and is no longer routinely used to assess cardiac output in PICU. O<sub>2</sub>ER is a well described marker of cardiac output (22). We found a weak correlation between O<sub>2</sub>ER and the thermal gradient. Thus, as found in several studies, the thermal gradient correlated poorly with markers of cardiac output. In our study, the median O<sub>2</sub>ER was 35%, only 11 O<sub>2</sub>ER values were above 50% and 1 above 60%. Thus only a few patients had significant evidence of low cardiac output. For the group of highest O<sub>2</sub>ER values, the correlation with thermal gradient increased from weak to medium, suggesting that the thermal gradient becomes more significant as the mechanisms for compensating decreased cardiac output begin to be overwhelmed and when more pronounced peripheral vasoconstriction occurs.

The thermal gradient measurement technique has not always been well described in the literature (12). Only in one study was the thermal measurement performed by infrared thermography. Our pilot study highlights the technical difficulties of using the infrared camera in an intensive care unit, especially the use of incubators and the numerous medical devices used on the face and hallux. Due to the discontinuous nature of blood gas sampling, we chose to perform discontinuous measurements of the thermal gradient. Those technical difficulties resulted in the exclusion of many photos (46%). Quality and consistency of the thermography imaging could be improved by the exclusion of patients with non-invasive ventilation, positioning the camera on the ceiling above the bed (to standardize patient distance and avoid interactions with nursing care), improvement of the spatial resolution of the camera and the automation of thermal picture capture.

There was no correlation between the thermal gradient and serum lactate, base excess, and urine output. Unlike the thermal gradient, these are all late markers of tissue hypoperfusion in the context of LCOS (22). Some authors suggest that global hemodynamic parameters may not be sensitive enough to reflect changes in peripheral blood flow in critically ill patients. (56)

However, NIRS allows a real time evaluation of oxygenation and regional vascular perfusion, and a real time estimation of central venous saturation and cardiac output (57-59). This may explain why we found a moderate correlation between cerebral rSO<sub>2</sub> and the thermal gradient.

Younger patients had a higher thermal gradient. This may be due to greater severity of the cardiac lesions in those operated in the neonatal period. Indeed, neonatal cardiac surgeries often have a higher RACH-1 score and are therefore more at risk of postoperative hemodynamic instability. However, as most of the neonates were placed in a heated incubator, the number of neonates included in this study is too small to allow further analysis of the interaction between thermal gradient and younger age.

Ryan et al found a statistically significant correlation between the thermal gradient (core temperature assessed by a pulmonary artery thermistor and the foot temperature assessed by thermography) and cardiac output assessed by thermodilution (32). They hypothesized that modifications in systemic vascular resistance with use of vasoactive drugs, for example, may impact this correlation. In our study, we did not find a significant relationship between vasoactive drugs used and the thermal gradient. Neither milrinone, known for its vasodilatory effects, or, on the contrary, vasoconstrictor agents, had a significant impact on the thermal gradient. However, a few patients had high doses of vasoactive agents and showed a trend towards a higher thermal gradient. Cardiopulmonary bypass can also modify systemic vascular resistance, especially in case of deep hypothermic circulatory arrest, but in our study, CPB duration had no influence on thermal gradient (60-62).

This study has several strengths. As a single center study there was consistency in protocols for patient management that might not be observed across multiple units. Moreover, all the patients were operated by the same surgeon. We also used a standardized protocol to capture thermal pictures in agreement with medical thermology recommendations and the American Academy of Thermology guidelines. This was crucial to studying the correlation between thermal gradient and  $O_2ER$ .

However, there were several limitations. The performance limitations of our thermal camera is the first limitation. The third generation thermal cameras used in the medical field must meet specific criteria (38). The cameras currently used have a thermal resolution of  $0.05^{\circ}C$ . Our camera FLIR One Pro may not have been powerful enough, with a thermal sensitivity of  $0,07^{\circ}C$  and a rather weak infrared and spatial resolution. We positioned the camera between 80 and 100 cm from the patient to compensate for this, but depending on the patient's age, the area of interest (internal epicanthus) was very small, with a risk of decreased precision of the temperature's measurement. This site has been described as having a good

correlation with core temperature, but Teunissen et al found that it was unreliable in cases of fever or in conditions of physical effort when compared with esophageal temperature (49). However, this was not the case in our study. The second limitation is due to sample size. We had estimated that we needed 120 thermal pictures (3 photos per patient), but several thermal pictures did not meet sufficient quality criteria to be analyzed. A third limitation was the small number of patients with low cardiac output i.e., high  $O_2ER$ . This was probably related to the exclusion of newborns weighing less than 3.5 kg. We excluded them because they were placed in heated incubators that were interfering with thermal recording. Indeed, only a few patients with cardiac malformations typically addressed surgically in the neonatal period, such as conotruncal lesions, or anomalies of the aortic arch were included in our study. However, neonates undergoing surgery for these lesions often have more hemodynamic instability postoperatively and thus higher  $O_2ER$  (63). Another issue related to small sample size was the inability to classify the thermal pictures according to the elapsed time after surgery. Since low cardiac output syndrome generally occurs between 6h-18h post surgery, it would have been interesting to assess the evolution of the correlation between  $O_2ER$  and thermal gradient over time, but there were not enough thermal photos taken in order to do so. Finally, few patients had significant doses of vasoactive drugs, so we could not evaluate their impact on the thermal gradient.

### 3.6 Conclusion

In this pilot study, we determined thermal gradient in 41 pediatric patients following cardiac surgery. The weak correlation between the thermal gradient obtained by infrared thermography and markers of low cardiac output in this cohort suggests that this technology can not be used as is for non-invasive multimodal monitoring after cardiac surgery. There is a need to improve the image acquisition method. As technology evolves, we plan to repeat the study using a more powerful camera that will be permanently installed at the patient's bedside. We will then be able to monitor the evolution of the thermal gradient over time and according to changes in the patient's management, reflecting more accurately what is done in clinical practice.

**Table 1: Patient Demographics and Baseline Characteristics by O<sub>2</sub>ER Value**

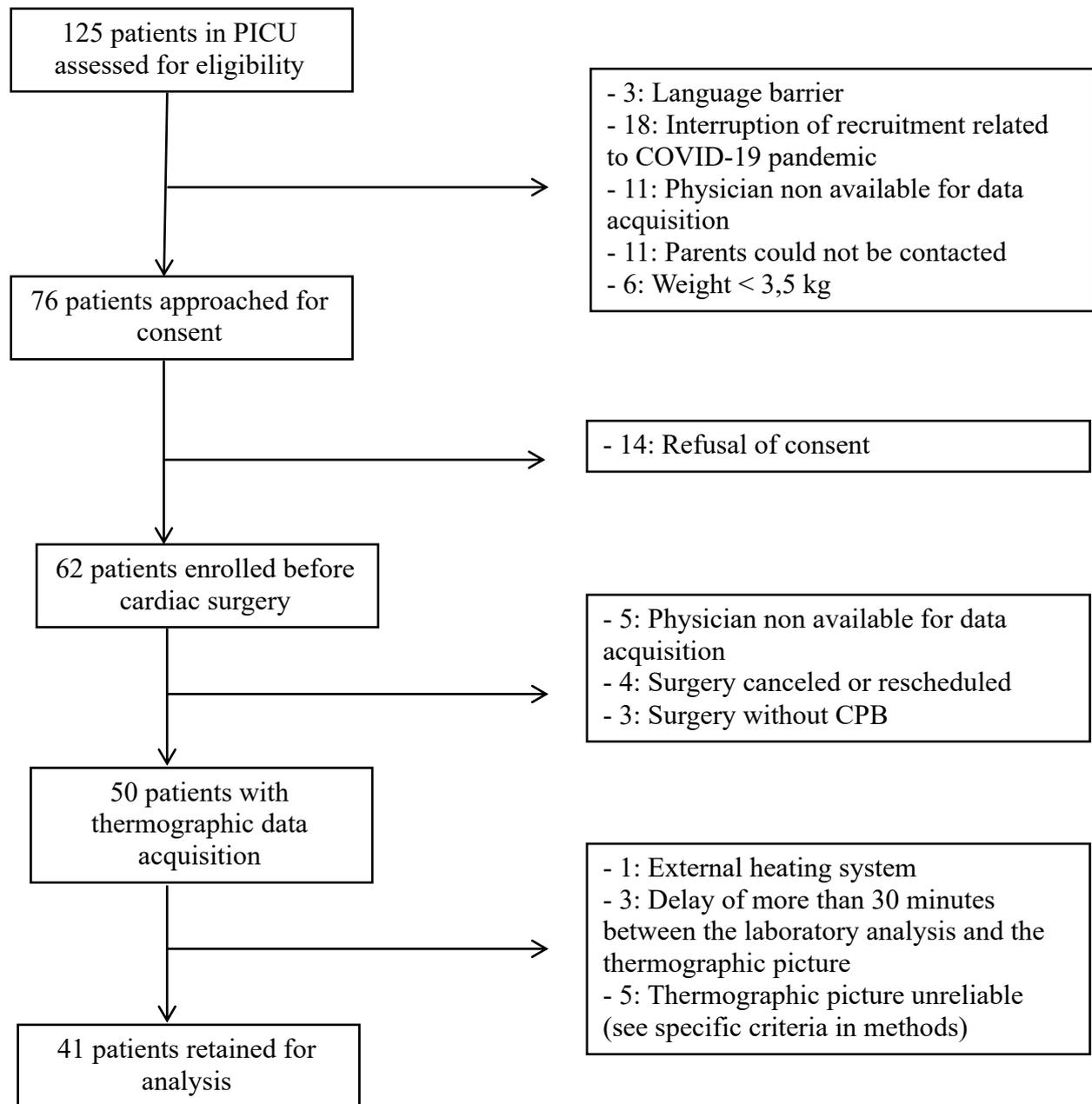
Characteristics	All patients (n=41)	O <sub>2</sub> ER < 30% (n= 16)	O <sub>2</sub> ER ≥ 30% (n=25)	P value <sup>a</sup>
Median age (IQR), mo <sup>b</sup>	6 (3-47)	15 (5-96)	5 (2-26)	0,038
Female sex n (%)	23 (56)	9 (56)	14 (58)	NS
Risk Adjustment for Congenital Heart Surgery-1 <sup>b</sup> , Category, n (%)	2 (2-3)	2 (2-3)	2 (2-3)	NS
1	1 (2)	1 (7)	0 (0)	
2	21 (54)	8 (53)	13 (52)	
3	14 (26)	5 (33)	9 (36)	
4	3 (8)	1 (7)	2 (8)	
5	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
6	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Type of repair, n (%)				NS
Univentricular	2 (5)	1 (6)	1 (4)	
Biventricular	39 (95)	15 (94)	24 (96)	
Total CPB time, min <sup>b</sup>	101 (77-125)	104 (81-120)	99 (76-125)	NS
Aortic cross clamp time <sup>b</sup>	69 (48-82)	73 (53-90)	69 (47-83)	NS
Hypothermia during CPB n (%)	7 (17)	2 (12)	5 (20)	NS
Decreased Cardiac Function on TEE, n (%)	6 (16)	3 (19)	3 (12)	NS
Vasopressor agent, n (%)	4 (10)	3 (19)	1 (4)	NS
Vasodilator agent, n (%)	11 (26)	5 (30)	6 (24)	NS

O<sub>2</sub>ER = Oxygen Extraction Ratio, NS = not significant, CBP = cardiopulmonary bypass, TEE = Transesophageal Echocardiography.

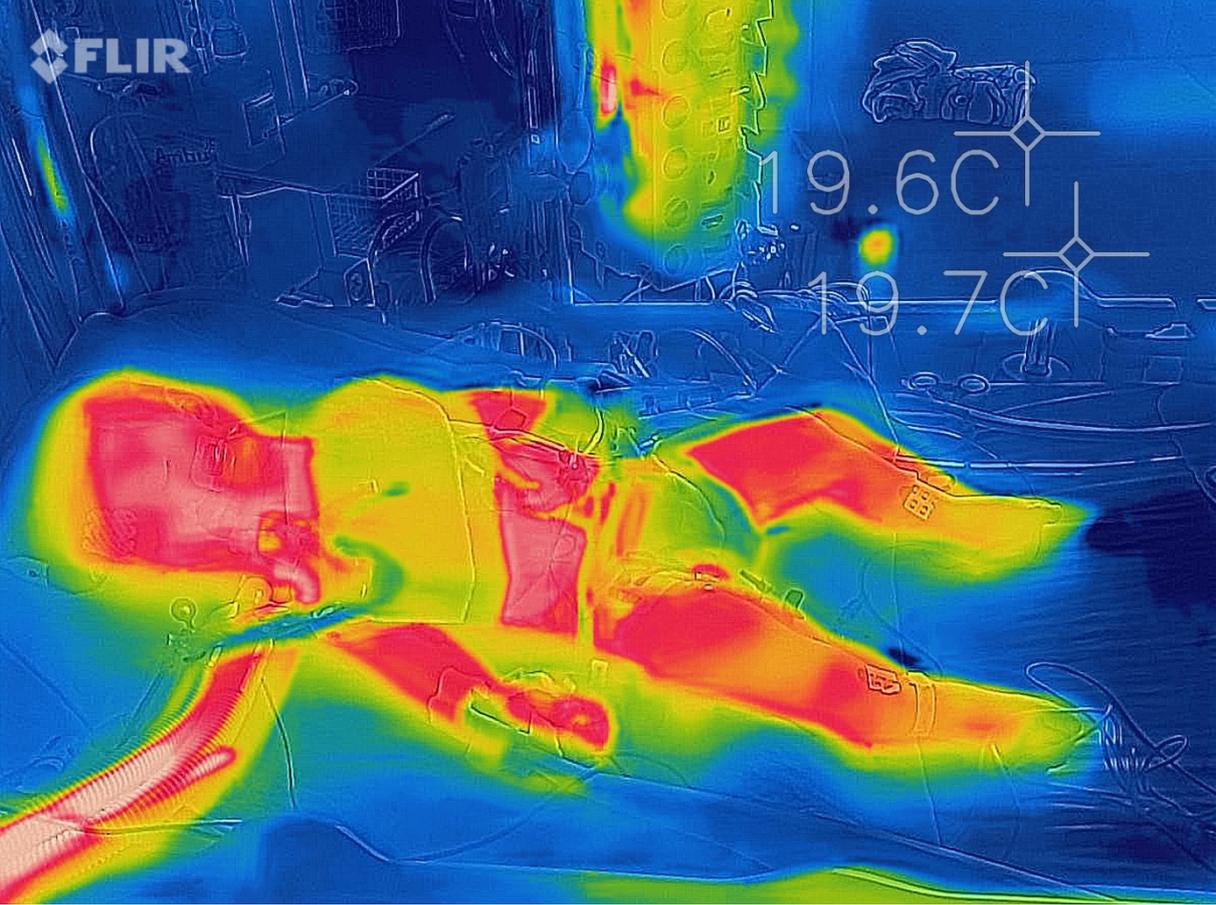
<sup>a</sup> Comparison between patients with O<sub>2</sub>ER >30% and O<sub>2</sub>ER < 30%

<sup>b</sup> Median and interquartile range.

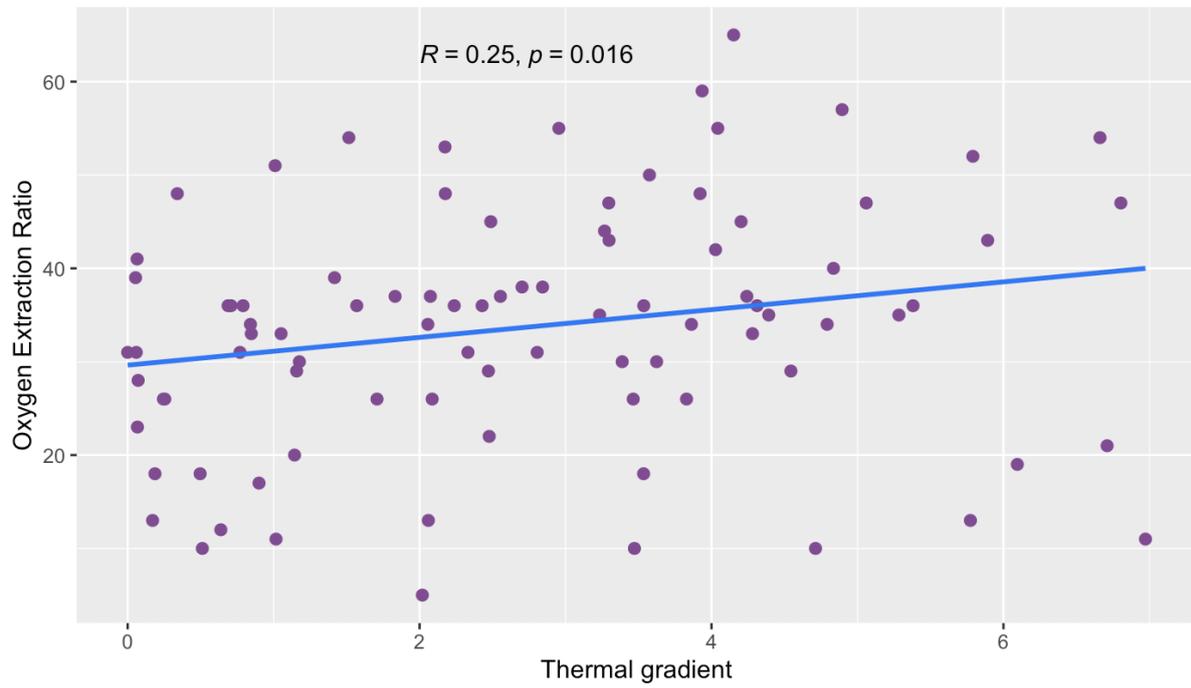
**Figure 1: Flow Chart**



**Figure 2:** Example of a Colored Infrared Image in a child undergoing postoperative cardiac surgery with the FLIR One Pro camera.

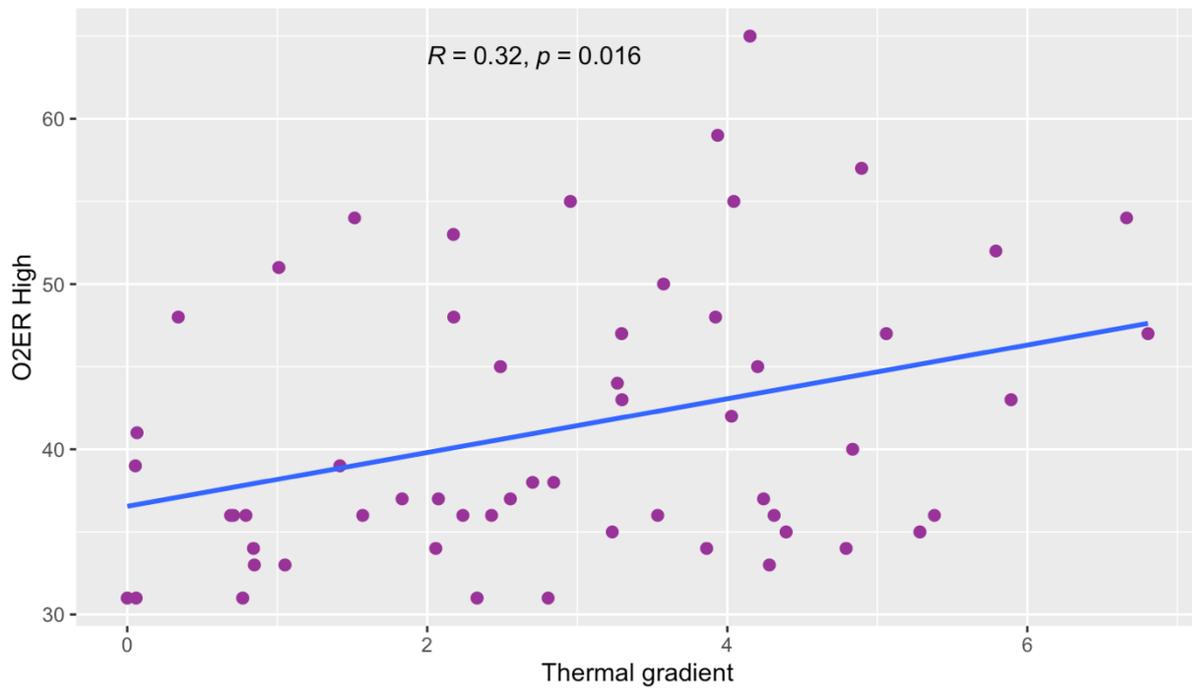


**Figure 3:** Scatter Plot of Thermal gradient versus Oxygen Extraction Ratio



Thermal gradient is expressed in °C  
Oxygen Extraction Ratio is expressed in %.  
R= Spearman correlation coefficient

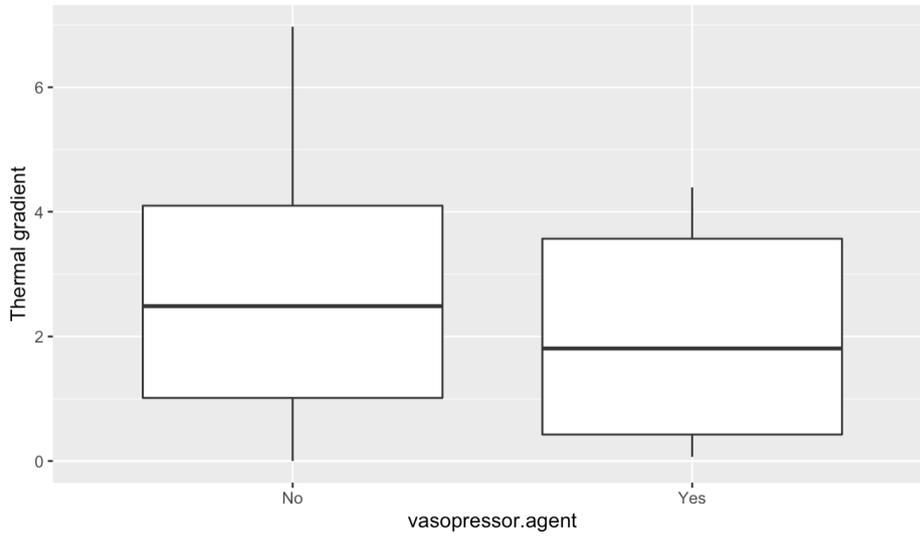
**Figure 4:** Scatter Plot of Thermal gradient versus High values of Oxygen Extraction Ratio



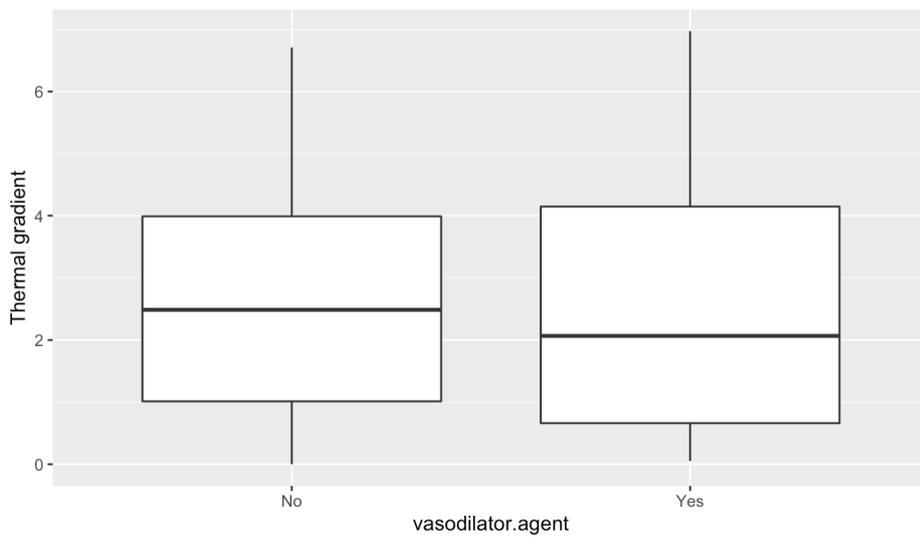
Thermal gradient is expressed in °C  
Oxygen Extraction Ratio is expressed in %.  
R= Spearman correlation coefficient

**Figure 5:** Box Plot of Panel A: Vasopressor (Yes: n=6, No: n=83) and Panel B: Vasodilator (Yes: n=15, No: n=74) (Figure B) in function of thermal gradient.

**A**



**B**



## 4- Chapitre 4. Discussion/ critiques

Cette étude a permis de montrer que le gradient thermique obtenu par la technologie infrarouge en post opératoire de chirurgie cardiaque pédiatrique est faisable et a une corrélation faible avec le marqueur de bas débit cardiaque qu'est le ratio d'extraction en oxygène. Plusieurs aspects de cette étude méritent d'être analysés plus en profondeur. Dans ce chapitre nous allons aborder, en complément de l'article, certaines particularités méthodologiques puis nous discuterons des forces et limites de cette étude et finalement des perspectives de recherche dans ce domaine.

### 4.1 Particularités méthodologiques

#### 4.1.1 Le type d'étude

Ce travail exploratoire cherchait à explorer un nouvel outil de monitoring non invasif pour l'évaluation des patients critiqueusement malades. L'objectif était d'évaluer la faisabilité de la thermographie dans notre service, et l'utilité de cet outil dans une population ciblée. Pour cela nous avons réalisé une étude observationnelle prospective à partir d'une base de données photographiques.

Du fait du caractère non interventionnel de l'étude, le timing de prise des photographies thermiques était aléatoire. En effet les images thermiques devaient être faites dans le délai de 30 min avant ou après les analyses biologiques permettant de calculer l' $O_2ER$ . La fréquence des analyses dépendait de l'état clinique du patient de jour comme de nuit. Ainsi l'inconvénient a été que dans plusieurs situations la photo n'a pu être réalisée par manque de disponibilité du praticien de garde, le plus souvent la nuit. Par conséquent, le nombre de données utilisables pour l'analyse statistique était plus petit, diminuant la puissance de nos résultats.

#### 4.1.2 Le choix de la population

Pour répondre à la question d'étude, nous avons choisi de recruter tous les patients de 0 à 18 ans admis dans l'unité des soins intensifs pédiatriques après une chirurgie cardiaque, avec

une circulation extracorporelle prévue. D'un point de vue général, les cardiopathies retrouvées dans notre population étaient celles fréquemment décrites en pédiatrie. (*Tableau 3*)

Les critères d'exclusion étaient ceux pouvant entraver l'interprétation des photos thermiques en modifiant la température des patients et/ou changer les résistances vasculaires systémiques. Il est important de préciser qu'il y avait des critères d'exclusion des patients, c'était le cas pour les maladies extensives de la peau qui sont des conditions chroniques, non vouées à changer pendant la durée de l'étude, et il y avait des critères d'exclusion concernant les photos thermiques. Ainsi le fait d'avoir un système de refroidissement ou de réchauffement externe, le fait d'être sous ECMO ou avoir une épuration extrarénale et le fait d'avoir un masque de VNI obstruant la visibilité du visage, étaient des critères d'exclusion des photos. La condition des patients en post opératoire de chirurgie cardiaque évoluant rapidement dans le temps, les patients présentant ces critères à un moment donné pouvaient ne plus les avoir dans les heures suivantes. Donc la présence de ces critères n'entraînait pas une exclusion définitive du patient.

Après l'acquisition des premières photos pour la base de données MEDEVAC nous nous sommes rendu compte que les patients de moins de 3,5 kg bénéficiaient la plupart du temps d'un système de réchauffement externe. Dans ces conditions, les photos thermiques obtenues n'étaient pas exploitables, et ce même après le retrait de la rampe chauffante de la couveuse plusieurs minutes avant la photo. Nous avons donc par la suite exclu les patients en dessous de 3,5 kg. L'exclusion de ces patients a pu entraîner un biais de sélection. En effet, les cardiopathies opérées en période néonatale précoce ont pour la plupart un score RACHS-1 plus élevé. Ceci peut s'accompagner d'un temps de CEC et de clampage aortique plus grand, d'un plus grand risque de défaillance myocardique et donc un risque de survenue d'une instabilité hémodynamique voir d'un bas débit cardiaque en post opératoire augmenté. Nous n'avons inclus, par exemple, qu'un seul switch artériel et il n'y avait pas de réparation de tronc artériel commun, qui rentrent tous deux dans la catégorie 4 du score RACHS-1, ni de chirurgie de Norwood qui est une catégorie 6 (53). Le score RACHS-1 est présenté en Annexe.

Chez les patients de grande taille, selon leur position, certaines parties pertinentes du corps comme les pieds n'entraient plus dans le champ de la caméra. La photo à ce moment ne rencontrait pas les critères de qualité nécessaires au calcul du gradient thermique.

Numéro de patient	Cardiopathie
1	Atrésie pulmonaire avec CIV
2	Hypoplasie arche aortique et coarctation aortique
3	CIV
4	Transposition des gros vaisseaux avec CIV
5	Tétralogie de Fallot, 1er temps chirurgical
6	Hypoplasie arche aortique et coarctation aortique
7	Atrésie pulmonaire avec CIV
8	Atrésie pulmonaire avec CIV
9	Tétralogie de Fallot, 1er temps chirurgical
10	Atrésie pulmonaire avec CIV
11	Atrésie pulmonaire avec CIV
12	CIV
13	Hypoplasie arche aortique
14	CIV
15	RVPA partiel
16	CIV
17	Hypoplasie du ventricule gauche, Fontan
18	Atrésie pulmonaire avec CIV
19	Coarctation de l'aorte
20	CIV et insuffisance tricuspидienne
21	RVPA total bloqué
22	ALCAPA
23	CIV
24	CIV
25	Insuffisance aortique
26	CIV
27	CIV
28	Sténose valve aortique
29	CIV, CIA
30	Insuffisance aortique
31	Sténose des artères pulmonaires
32	CIV
33	Transplantation cardiaque
34	Hypoplasie du ventricule gauche, Fontan
35	CIV
36	CAV complet
37	Fallot/Changement de tube VD-AP
38	VDDI type Fallot
39	CAV complet
40	Transplantation cardiaque
41	Fallot/Changement de tube VD-AP

**Tableau 3** : Liste des cardiopathies de notre population.

#### 4.1.3 Calcul de l'échantillon

Le but était de tester l'existence d'une corrélation positive entre le gradient thermique et le O<sub>2</sub>ER. Il n'y a pas d'étude ayant un devis similaire dans la littérature sur laquelle nous avons pu nous appuyer pour le calcul de l'échantillon. La taille d'échantillon nécessaire pour détecter une corrélation moyenne avec un coefficient de corrélation de Spearman  $r = 0,5$  et une puissance de 80% en utilisant un test bilatéral à 5% était de 30 mesures. Cependant les échantillons pilotes que nous avons analysés sur 22 mesures suggéraient qu'une corrélation de 0,4 était encore trop ambitieuse. Nous estimions donc avoir besoin d'environ 100-120 mesures ce qui nous donnait une puissance raisonnable même si la corrélation serait environ de 0,3. Nous avons estimé que pour chaque patient environ 3 mesures seraient prises, soit un total de 40 patients était nécessaire. Nous n'avons pas pris en compte dans le calcul de l'échantillon la variabilité interindividuelle du gradient thermique. Cependant dans une analyse secondaire nous avons regardé la corrélation entre le gradient thermique médian et l'O<sub>2</sub>ER médian pour chaque patient. La corrélation était alors similaire à celle retrouvée lorsque les 89 données thermiques étaient prises individuellement.

#### 4.1.4 Le recueil des données thermographiques

##### *4.1.4.1 Choix de la caméra thermique*

L'équipe médicale ainsi que l'équipe d'ingénieurs travaillant sur le projet avaient choisi la caméra FLIR- One Pro (image 2) pour ses caractéristiques compatibles avec la recherche médicale et pour son faible coût. Les caractéristiques de cette caméra étaient une sensibilité thermique de 0,07°C, une résolution thermique de 19 200 pixels, une plage de température pour des éléments allant de -20°C à + 400°C et une distance focale (mise au point) de 15cm à plus. Cette caméra possédant la technologie MSX permettait de superposer le spectre thermique au spectre visible pour faciliter le traitement de l'image après son acquisition. Ceci a été utile pour le traitement de l'image lorsque les différentes structures, de petite taille comme l'orteil du petit patient ou le cantus interne de l'œil, n'étaient pas très bien déterminés sur l'image thermique seule.



**Image 2** : Caméra FLir OnePro, caméra connectée à un téléphone portable

#### *4.1.4.2 Installation du montage et conditions d'acquisition des photos*

Comme nous l'avons expliqué dans l'introduction, certaines conditions d'acquisition sont nécessaires pour la fiabilité de l'interprétation des images thermiques en médecine humaine. Ainsi la distance de la caméra par rapport au patient et l'inclinaison de la caméra devaient être les mêmes pour tous les patients. Afin d'assurer la reproductibilité de ces conditions, la caméra était fixée à un trépied avec une hauteur ajustable et permettant une rotation et une angulation de la caméra. Le dispositif était positionné lors de la première prise de photo à une distance d'environ 80 cm du patient dans la couveuse et environ 100 cm du patient dans la bassinette ou le lit. Une angulation d'environ 45-60° permettait d'obtenir des images exploitables. Pour cela nous avons fait un marquage au sol de l'emplacement et de l'orientation exacte de la caméra. Le trépied pouvait ainsi être déplacé puis replacé selon les besoins de mobilisation de l'équipe traitante. L'inconvénient lié à ce souci de reproductibilité était que lorsqu'un patient se mobilisait spontanément et changeait de position certaines photos ne pouvaient plus être exploitables, car les deux zones d'intérêt (orteil et cantus internes de l'œil) pouvaient ne plus être visibles.

Les autres conditions qui devaient être contrôlées étaient la température, l'humidité et la luminosité de la pièce. La température des chambres des soins intensifs pédiatriques est

notée sur le régulateur de température dans chaque chambre. Elle est contrôlée entre 21 et 23 °C selon le protocole clinique du service, ce qui correspond aux exigences en thermologie humaine retrouvées dans la littérature (38). La régulation de l'humidité est centrale pour le service des soins intensifs pédiatriques donc la même pour toutes les pièces du service. Selon le service technique de l'hôpital, cette humidité est entre 30 et 60 %. Il n'avait pas été possible de la mesurer plus précisément. Le protocole de l'étude prévoyant l'acquisition d'images thermiques sur les 24h post opératoires, certaines images ont été prises durant le jour et d'autres durant la nuit. Le petit échantillon d'étude ne permettait pas d'analyser séparément les photos prises durant la nuit et celles durant le jour. L'influence de la luminosité lors de l'acquisition des images thermique n'a donc pas pu être prise en compte. D'un point de vue clinique l'analyse séparée des photos prises de jour ou de nuit n'aurait pas été pertinente.

#### *4.1.4.3 Analyse des images thermiques*

##### *Raison de l'exclusion des images :*

Après avoir acquis les premières photos thermiques, nous avons établi une liste de critères de qualité des images afin de permettre une mesure fiable du gradient thermique. Ainsi ont été exclues secondairement les photos des patients bénéficiant d'un système de réchauffement externe comme une couveuse chauffante ou des couvertures chaudes. Pour cette raison nous avons par la suite arrêté d'inclure les patients en dessous de 3,5kg, ce qui correspondait environ aux patients en dessous de 1 mois de vie, car ceux-ci étaient toujours mis en couveuse chauffante. Ont aussi été exclues les photos des patients ayant un masque VNI du fait de l'obstruction de visage, mais aussi la libération d'air chaud pouvant gêner la mesure thermique.

La grande majorité des images qui ont été exclues de l'analyse l'étaient en raison d'une échelle des températures recueillies sur la scène qui ne montait pas au-delà de 35°C. En effet cela ne permettait pas d'obtenir des températures centrales fiables. Lorsque les températures captées ne montaient pas au-delà de 35°C, la comparaison avec la température prise par thermomètre rectal ou axillaire montrait un écart entre les deux valeurs supérieures à ce qui est décrit dans la littérature. Nous avons tenté d'augmenter le temps de mise au point de la caméra ou de changer la luminosité de la pièce, mais sans effet. Nous n'avons pas trouvé d'explication à ce phénomène. La seule manœuvre qui permettait d'augmenter de quelques degrés l'échelle des températures captées était de rapprocher la caméra du patient.

Nous avons alors pensé que notre caméra n'avait pas une sensibilité spéciale et thermique suffisante. Cependant en rapprochant la caméra nous pouvions exclure du champ une partie du corps du patient et donc la photo n'était plus interprétable non plus.

#### *Extraction de la température à partir de la photo thermique :*

Les photos stockées sur le téléphone relié à la caméra étaient ensuite transférées sur PC et traitées par le logiciel MATLAB qui permettait d'extraire une température d'un pixel sélectionné. L'échelle de température sur le côté de chaque image thermique permettait de relier un pixel de couleur à une température donnée. L'image pouvait être analysée suivant une gamme de couleurs ou une gamme de gris. Le pixel noir correspond à une valeur de 0 °C et la couleur blanche correspond à 255°C.

L'image thermique étant plus floue avec des contours moins bien définis entre les différentes structures anatomiques. Nous avons superposé l'image thermique à l'image numérique simple lorsque nécessaire afin de mieux déterminer les régions d'intérêt telles que le cantus interne de l'œil et l'hallux. Lorsque cela était possible, nous choissions un pixel sur le membre inférieur sur lequel il n'y avait pas de cathéter artériel ni veineux central qui pourrait modifier la perfusion périphérique du membre.

#### 4.1.5 Recueil des consentements

Le screening des patients était fait de façon hebdomadaire lors de la réunion de programmation des chirurgies cardiaques. Les parents des patients rencontrant les critères d'inclusion et d'exclusion étaient abordés par l'équipe de recherche avant la chirurgie le plus souvent lors de la visite de préadmission ou le matin de la chirurgie. Ceux qui n'avaient pas pu être abordés en amont l'étaient au retour de bloc ce qui entraînait généralement un délai d'inclusion. Les parents rejoignaient le patient généralement environ 3 heures après son admission. Au retour du bloc opératoire, les patients ayant des critères d'exclusion pour les photos thermiques comme la présence d'un masque de VNI devaient quand même être abordés par l'équipe de recherche pour le recueil du consentement, afin de pouvoir les inclure lorsque la condition d'exclusion des photos était résolue.

#### 4.1.6 Particularités du protocole de l'étude

Les patients qui revenaient du bloc opératoire étaient pris en charge par l'équipe soignante selon le protocole habituel du service. Après une phase de stabilisation, si l'accès au patient était possible, la caméra était installée et allumée pour faire les mises au point dans la chambre du patient. Les premiers examens de laboratoire étant faits généralement dès l'admission du patient, il n'y avait pas de photo thermique prise à ce moment. En fonction de la stabilité du patient, les GDS artériel et veineux étaient plus ou moins rapprochés. Les photos thermiques pour chaque patient n'étaient donc pas prises à la même fréquence sur les 24h. Cela demandait de se conformer à la fréquence des laboratoires décidée par le clinicien prenant en charge le patient.

Les photos thermiques devaient être acquises dans un délai maximal de 30 min avant ou après les GDS artériel et veineux permettant le calcul de l' $O_2ER$ . La température corporelle pouvant se modifier rapidement toutes les photos qui étaient prises passé ce délai n'étaient pas retenues pour l'analyse. Nous avons choisi arbitrairement le délai de 30 min qui semblait cohérent pour associer le gradient thermique à l' $O_2ER$ . Dans un contexte de soins intensifs avec potentiellement un manque de disponibilité du praticien, nous avons pensé que ce délai de 30 min augmenterait la faisabilité de l'acquisition des photos par le praticien de garde. Sur 24h nous estimions réalisable la prise de 1 à 4 photos thermiques par patient. La température centrale du patient était recueillie de façon concomitante par un thermomètre rectal, œsophagien ou axillaire et la température de la pièce était elle aussi vérifiée et notée à chaque acquisition.

#### 4.1.7 L'analyse statistique

Les analyses statistiques ont été faites par deux statisticiens à l'aide du logiciel R Studio. Dans cette section nous décrirons les analyses méritant une attention particulière et les données non incluses dans l'article.

##### 4.1.7.1 Statistiques descriptives

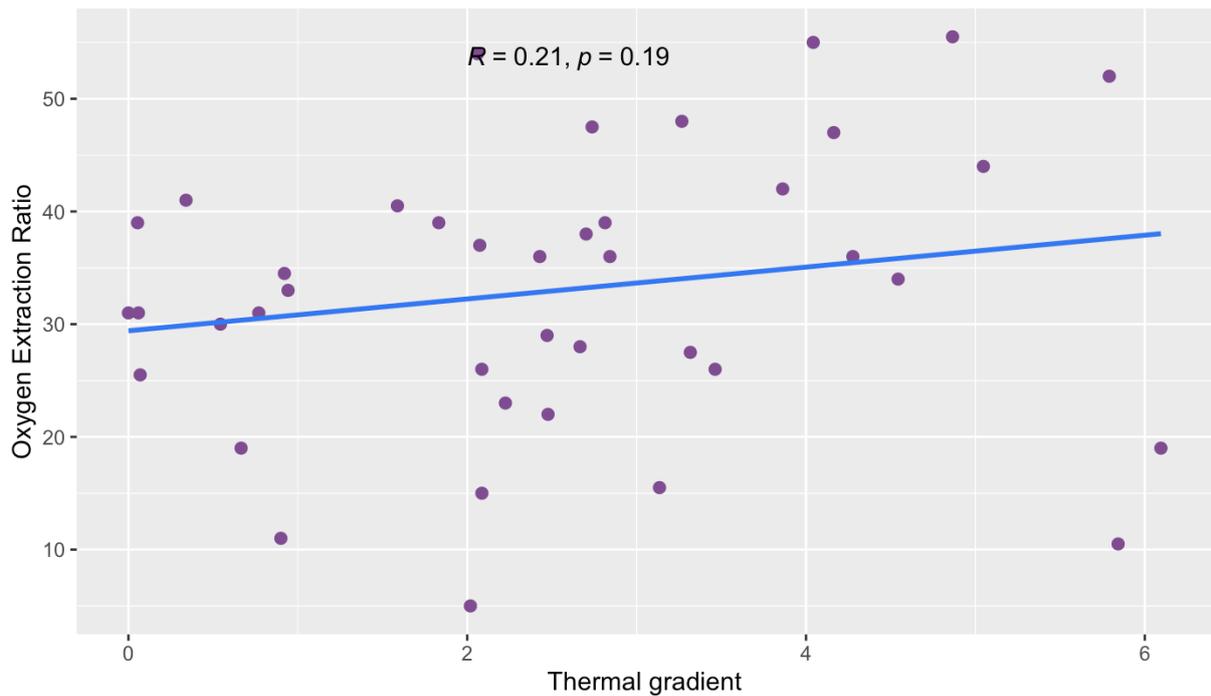
Après une analyse visuelle de la distribution des variables d' $O_2ER$  et de gradient thermique et un test de normalité de Shapiro-Wilk nous avons constaté la répartition non normale de ces variables. Nous avons alors utilisé la médiane comme tendance centrale pour

décrire la population. Cette dernière étant moins influencée que la moyenne par les valeurs extrêmes. Nous avons par la suite utilisé des tests non paramétriques pour le reste des analyses.

#### *4.1.7.2 Test de corrélation*

La corrélation de Spearman nous permet d'évaluer la force d'un lien monotone, entre deux variables. Plus la valeur absolue du coefficient est proche de 1, plus la relation monotone entre les deux variables est forte. La corrélation de Spearman est une méthode non paramétrique basée sur les rangs des observations. La droite de régression linéaire simple a été ajoutée à la représentation graphique. Le principe de la régression linéaire simple est de trouver la droite qui passe au plus près de l'ensemble des points formés par les couples des 2 variables comparées. C'est par ce test que nous avons comparé la relation entre le gradient thermique et l'O<sub>2</sub>ER avec les 89 paires de données recueillies. Le coefficient de corrélation obtenue était faible, mais il était cependant statistiquement significatif puisque le  $p$  était  $< 0,05$ .

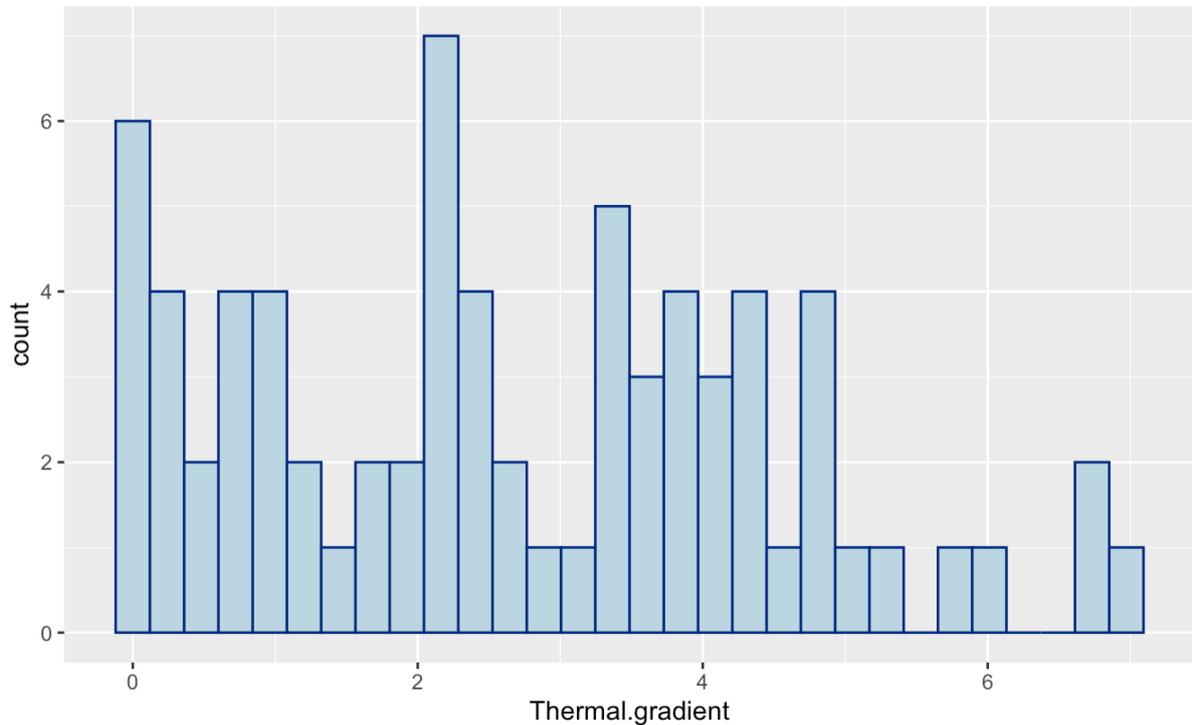
Puisque nous avons entre 1 et 4 données par patient nous avons reconstruit cette corrélation à partir des médianes des données pour chaque patient pour prendre en compte une éventuelle variabilité interindividuelle. Nous n'obtenions alors 41 données au total. Nous avons constaté alors que le coefficient de corrélation n'était pas très différent de celui obtenu avec 89 données (0,21 vs 0,25). Cependant le résultat n'était plus statistiquement significatif. Nous avons expliqué cette différence par le nombre d'observations ce qui laisse à croire qu'avec un effectif encore plus grand que 89 données nous aurions pu obtenir une corrélation statistiquement significative. L'autre hypothèse est que des facteurs individuels liés au patient interviennent sans que nous ayons pu le démontrer. (Figure 2 de l'article et Figure 3 du mémoire)



**Figure 3** : Nuage de point représentant la corrélation de Spearman entre le ratio d'extraction en oxygène médian et le gradient thermique médian. Le ratio d'extraction en oxygène est représenté en pourcentage et le gradient thermique est représenté en °C. R correspond au coefficient de corrélation.

#### 4.1.7.3 Analyse de régression linéaire

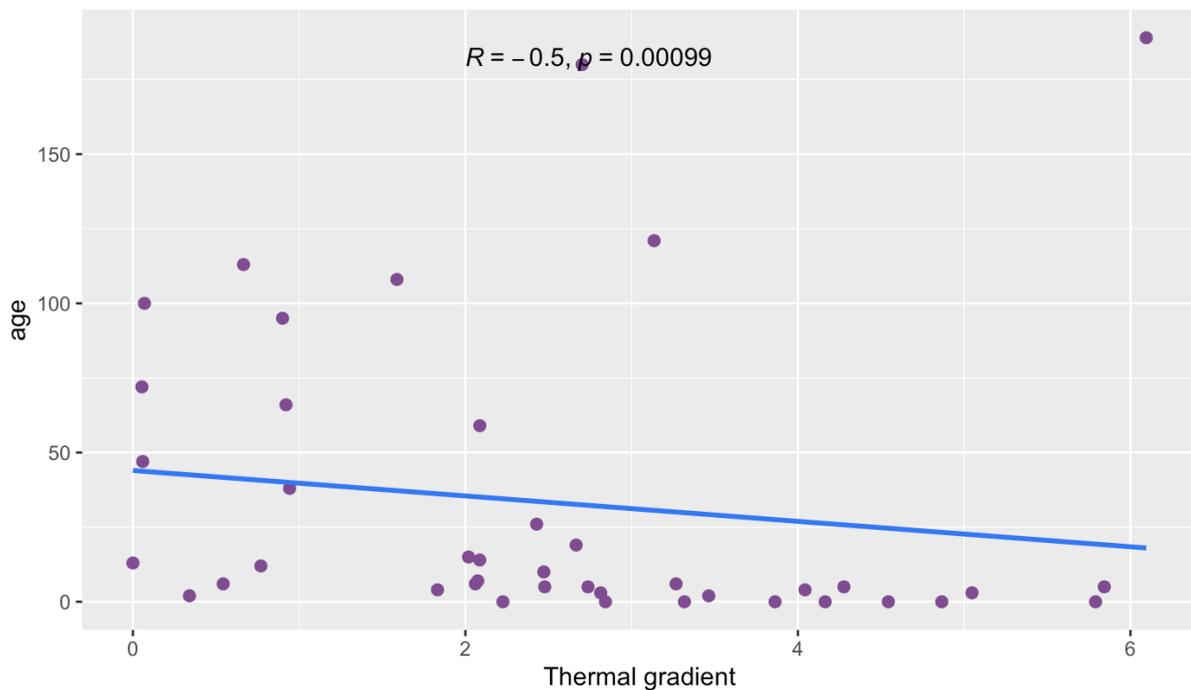
L'un des objectifs secondaires était de rechercher les facteurs modifiant le gradient thermique. Pour cela nous avons déterminé un seuil de gradient thermique de 5°C. Ce seuil était celui retrouvé dans la littérature à partir duquel il y a avait une augmentation du risque de dysfonction myocardique et d'augmentation des résistances vasculaires systémique (12). Cependant il n'y avait que 7 patients ayant un gradient thermique supérieur à 5. (Figure 4) Nous avons donc choisi de garder la variable gradient thermique continue.



**Figure 4 :** Histogramme représentant la répartition de la variable Gradient thermique.

La régression logistique multivariée est une technique de modélisation visant à expliquer les valeurs d'une variable binaire dite dépendante en fonction d'autres variables continues ou binaires dites indépendantes. Notre population étant de 41 patients nous avons sélectionné 5 variables indépendantes. L'équipe de cliniciens participant à l'étude a choisi les variables qui étaient cliniquement les plus pertinentes. Ainsi nous avons retenu les variables suivantes : l'âge, la durée de CEC, l'utilisation d'agent vasopresseur et d'agent vasodilatateur, et la température centrale. Aucune de ces variables n'était statistiquement significativement associée au gradient thermique lors de la régression univariée, en dehors de l'âge (figure 5). En effet, le jeune âge était associé à un plus grand gradient thermique. Nous n'avons pas présenté l'analyse multivariée dans l'article selon notre critère de sélection des facteurs ( $p < 0.1$ ). La significativité pour l'âge peut être due au type de cardiopathies opérées en période néonatale. En effet ces cardiopathies telles que les cardiopathies conotruncales ont un RACH-1 score plus élevé et sont plus à risque d'instabilité hémodynamique post opératoire. Cependant nous n'avons pas trouvé d'association entre le RACH-1 score et le gradient thermique. Les particularités physiologiques vasculaires différentes entre les petits et plus grands enfants peuvent également expliquer cette significativité pour l'âge. Enfin les

difficultés techniques de l'analyse des photos thermiques liées à l'âge du patient (cantus interne et orteil plus difficilement visualisables car plus petits) auraient pu entraîner une surestimation du gradient thermique. Pouvoir inclure plus de petits patients aurait été nécessaire pour pouvoir expliquer cette relation entre l'âge et le gradient thermique.



**Figure 5 :** Nuage de points représentant la corrélation entre le gradient thermique et l'âge.

L'âge est exprimé en mois et le gradient thermique est exprimé en °C.

Lorsque l'on observe la répartition des points sur ce graphique il semblerait y avoir une valeur seuil du gradient thermique à 2°C à laquelle la répartition des points passe de très éparse à regroupée vers un âge inférieur à 12 mois environ.

## 4.2 Les forces de l'étude

Cette étude a permis de montrer qu'une corrélation significative, bien que faible existait, en post opératoire de chirurgie cardiaque pédiatrique entre le gradient thermique et le ratio d'extraction en oxygène. Elle a aussi permis d'identifier le jeune âge comme un facteur associé à un plus grand gradient thermique.

Du fait de la subjectivité des signes cliniques et la difficulté d'établir un véritable diagnostic de bas débit cardiaque, il y a un réel intérêt à optimiser le monitoring multimodal afin de détecter plus précocement les états d'instabilité hémodynamique des patients critiques. La palpation de la chaleur cutanée est peu fiable. Dans cette étude le temps de recoloration cutanée noté par les infirmières était toujours inférieur à 2 secondes, peu importe le gradient thermique obtenu et l'état hémodynamique global du patient. La quantification d'un gradient par TIR est plus objective, reproductible, surtout non invasive, sans besoin de contact avec le patient. C'est une considération importante dans une ère où le souhait est d'être le moins agressif, invasif possible dans les soins aux patients, surtout dans le souci de la meilleure récupération neurologique (64, 65). En effet avec une mortalité de plus en plus faible rapportée dans les soins intensifs pédiatriques cardiologiques, la préoccupation est plus à diminuer la morbidité et principalement les conséquences neurologiques et neuro-développementales après une chirurgie cardiaque (66, 67). Cela passe par la diminution des gestes invasifs, agressifs tant sur le plan thérapeutique que diagnostique et la réorientation progressive vers des technologies innovantes.

C'était la première fois que la TIR était utilisée dans le service des SIP du CHU Sainte Justine. Cette étude nous a permis de nous confronter aux problématiques de l'utilisation de la technologie infrarouge en termes de logistique (installation de la caméra, temps de mise au point...), d'acquisition et de traitement des images. Cette expérience a montré que l'utilisation de la TIR dans notre unité est faisable.

Le devis prospectif de cette étude est une force nous ayant permis d'éviter la perte d'information lors du recueil des données démographiques, diagnostiques, et peu de biais de sélection. Notre population était assez représentative d'une population de post opératoire de cardiopathie congénitale (et greffe cardiaque) hormis pour les plus petits patients dont nous reparlerons dans les limites de l'étude.

### 4.3 Les limites de l'étude

Cette étude a inclus un nombre limité de patients et provenant d'un centre unique ce qui rend sa validité externe limitée.

Le petit effectif a probablement entraîné un manque de puissance dans notre analyse de corrélation entre le gradient thermique et l'O<sub>2</sub>ER. Comme nous l'avons expliqué dans l'article, notre caméra thermique avait une résolution thermique et spatiale probablement sous optimale. Ce manque de précision nous a obligé à exclure plusieurs images thermiques diminuant l'échantillon de données à analyser.

Par ailleurs notre population d'étude était peu malade. En effet, d'une part les scores RACHS-1 étaient surtout de catégories 2 et 3, d'autre part les O<sub>2</sub>ER étaient peu élevées. De plus nous avons eu très peu de complications imputables au bas débit cardiaque. L'exclusion des patients avec un petit poids a entraîné un biais de sélection, excluant probablement des patients à plus haut risque d'instabilité hémodynamique. Nous voulions faire ressortir de cette étude la pertinence et la faisabilité de l'utilisation de la TIR dans la détection plus précoce des états d'instabilité hémodynamique or nous n'avons eu que très peu de patients avec une réelle instabilité post opératoire. Un O<sub>2</sub>ER entre 50 et 60% est décrit comme étant associé à un risque imminent de choc et un O<sub>2</sub>ER > 60% est associé à un état de choc avéré (22). Or dans notre population, seules 11 valeurs sur 89 (9 patients) étaient supérieures ou égales à 50% et 1 seule valeur était supérieure à 60%. Le gradient thermique médian était aussi peu élevé soit < 5 °C. Schey et al décrivaient que les signes de bas débit cardiaque étaient observés à ce seuil (12). Avec seulement 7 valeurs > 5°C nous n'avons pas pu faire l'analyse de régression linéaire multivariée en dichotomisant la variable gradient thermique en > ou < à 5°C ce qui aurait eu pourtant un impact clinique plus important.

La température du cantus interne comme valeur de référence de la température centrale est débattue dans la littérature (46, 49). Dans une étude annexe de la nôtre, nous avons comparé 67 valeurs de température obtenues par thermographie au niveau du cantus interne et à la température la plus chaude de la face. Nous avons retrouvé une très bonne corrélation entre les deux températures ( $r= 0,9, p<0,001$ ). Cependant la corrélation entre la température du cantus interne par TIR et celle obtenue par thermomètre rectal ou axillaire était faible et non significative. Cela pose la question de la fiabilité de la mesure de la

température du cantus interne dans notre étude ou du choix de cette région comme reflet de la température centrale. La température du cantus interne a été difficile à obtenir du fait de contraintes techniques telles que la distance du patient par rapport à la caméra, la position du visage. L'arête du nez peut cacher le cantus interne si le visage ne fait pas face à la caméra. Dans notre population ayant une médiane d'âge de 5 mois, la taille de cette région est très petite. De plus, par souci de reproductibilité des conditions de prise de photo, nous n'avons pas changé de place la caméra en fonction des changements de position du patient. Du fait qu'il s'agissait d'une étude non interventionnelle, les patients n'étaient pas mobilisés pour la recherche.

#### 4.4 Recherches futures

La TIR a une place à développer dans les soins intensifs pédiatriques. Actuellement dans le cadre de la base de données vidéo et photo MEDEVAC, une nouvelle caméra thermique plus performante est en cours d'utilisation. Nous envisageons de poursuivre notre étude en élargissant le recrutement à d'autres patients des SIP. Ainsi les patients pouvant présenter un état d'instabilité hémodynamique avec modification des résistances vasculaires systémiques comme les chocs septiques vasoplégiques, les chocs anaphylactiques ou encore les autres patients à risque de bas débit cardiaque pourraient bénéficier de la thermographie. Au lieu d'utiliser le gradient thermique comme nous l'avons fait dans cette étude nous allons chercher à identifier un profil thermique qui quantifiera la répartition de la chaleur sur la surface totale du corps. Nous suivrons l'évolution du profil dans le temps selon les changements hémodynamiques du patient. La caméra thermique serait alors installée pour une utilisation continue plutôt que ponctuelle. Un projet de recherche en cours d'élaboration va viser à associer la thermographie aux signes de rétraction respiratoire obtenues par caméra 3D. Une autre piste de recherche qui permettrait d'associer le profil ou le gradient thermique au débit cardiaque serait de les corrélérer aux données du cathétérisme cardiaque fait au laboratoire de cathétérisme cardiaque de façon programmée.

Pour les études à venir dans le domaine, le choix d'une étude multicentrique et un plus grand effectif permettraient d'augmenter la puissance d'analyse et d'avoir une meilleure validité externe.

## 5- Chapitre 5. Conclusion

En conclusion, notre étude a montré qu'un gradient thermique obtenu par TIR avait une corrélation faible, mais significative avec le ratio d'extraction en O<sub>2</sub>. La TIR a un réel potentiel à exploiter dans le monitoring non invasif des patients à risque de bas débit cardiaque en post opératoire de chirurgie cardiaque. Ce gradient thermique était aussi corrélé à la rSO<sub>2</sub> qui est un reflet de la microcirculation régionale et du débit cardiaque maintenant bien reconnu. Hormis l'âge, aucun facteur associé au gradient thermique n'a été identifié dans cette étude. Les limites que nous avons pu rencontrer, en lien avec la technologie infrarouge, le biais de recrutement et le petit effectif de patient sont probablement en cause dans le manque de puissance de nos analyses. La connaissance de ces limites grâce à cette première étude de faisabilité nous permet de poser les bases des prochaines recherches à initier dans ce domaine.

## Bibliographie

1. Webb P. Daily activity and body temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993;66(2):174-7.
2. Sessler DI. Thermoregulatory defense mechanisms. *Crit Care Med.* 2009;37(7 Suppl):S203-10.
3. Lima A, Bakker J. Noninvasive monitoring of peripheral perfusion. *Applied Physiology in Intensive Care Medicine.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006. p. 131-41.
4. Ferraris A, Bouisse C, Mottard N, Thiollière F, Anselin S, Piriou V, et al. Mottling score and skin temperature in septic shock: Relation and impact on prognosis in ICU. *PLoS One.* 2018;13(8):e0202329.
5. Huber W, Zanner R, Schneider G, Schmid R, Lahmer T. Assessment of Regional Perfusion and Organ Function: Less and Non-invasive Techniques. *Front Med (Lausanne).* 2019;6:50.
6. Tweddell JS, Hoffman GM. Postoperative management in patients with complex congenital heart disease. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu.* 2002;5:187-205.
7. Wernovsky G, Wypij D, Jonas RA, Mayer JE, Jr., Hanley FL, Hickey PR, et al. Postoperative course and hemodynamic profile after the arterial switch operation in neonates and infants. A comparison of low-flow cardiopulmonary bypass and circulatory arrest. *Circulation.* 1995;92(8):2226-35.
8. Vogt W, Læer S. Treatment for paediatric low cardiac output syndrome: results from the European EuLoCOS-Paed survey. *Arch Dis Child.* 2011;96(12):1180-6.
9. Hoffman TM, Wernovsky G, Atz AM, Kulik TJ, Nelson DP, Chang AC, et al. Efficacy and safety of milrinone in preventing low cardiac output syndrome in infants and children after corrective surgery for congenital heart disease. *Circulation.* 2003;107(7):996-1002.
10. Chang AC, Wessell D L, Hanley F. *Pediatric Cardiac Intensive Care:* Lippincott Williams & Wilkins; 1998.
11. Rizza A, Bignami E, Belletti A, Polito A, Ricci Z, Isgrò G, et al. Vasoactive Drugs and Hemodynamic Monitoring in Pediatric Cardiac Intensive Care: An Italian Survey. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2016;7(1):25-31.
12. Schey BM, Williams DY, Bucknall T. Skin temperature and core-peripheral temperature gradient as markers of hemodynamic status in critically ill patients: a review. *Heart Lung.* 2010;39(1):27-40.
13. G.O. D. *Hemodynamic monitoring: invasive and noninvasive clinical application.* 2nd ed. Philadelphia 1995.
14. Tibby SM, Hatherill M, Marsh MJ, Murdoch IA. Clinicians' abilities to estimate cardiac index in ventilated children and infants. *Arch Dis Child.* 1997;77(6):516-8.
15. Dawson NV, Connors AF, Jr., Speroff T, Kemka A, Shaw P, Arkes HR. Hemodynamic assessment in managing the critically ill: is physician confidence warranted? *Med Decis Making.* 1993;13(3):258-66.
16. Ulate KP, Yanay O, Jeffries H, Baden H, Di Gennaro JL, Zimmerman J. An Elevated Low Cardiac Output Syndrome Score Is Associated With Morbidity in Infants After Congenital Heart Surgery\*. *Pediatric Critical Care Medicine.* 2017;18(1):26-33.
17. Rogers L, Ray S, Johnson M, Feinstein Y, Dominguez TE, Peters MJ, et al. The Inadequate Oxygen Delivery Index and Low Cardiac Output Syndrome Score As Predictors

- of Adverse Events Associated With Low Cardiac Output Syndrome Early After Cardiac Bypass\*. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2019;20(8):737-43.
18. Baronov D, McManus M, Butler E, Chung D, Almodovar MC. Next generation patient monitor powered by in-silico physiology. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015;2015:4447-53.
  19. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med*. 2014;40(12):1795-815.
  20. Ronco JJ, Fenwick JC, Tweeddale MG, Wiggs BR, Phang PT, Cooper DJ, et al. Identification of the critical oxygen delivery for anaerobic metabolism in critically ill septic and nonseptic humans. *Jama*. 1993;270(14):1724-30.
  21. Domico M, Allen M. Biomarkers in Pediatric Cardiac Critical Care. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(8 Suppl 1):S215-21.
  22. Bronicki RA. Hemodynamic Monitoring. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17(8 Suppl 1):S207-14.
  23. Dantzker DR, Foresman B, Gutierrez G. Oxygen supply and utilization relationships. A reevaluation. *Am Rev Respir Dis*. 1991;143(3):675-9.
  24. Dhillon S, Yu X, Zhang G, Cai S, Li J. Clinical Hemodynamic Parameters Do Not Accurately Reflect Systemic Oxygen Transport in Neonates after the Norwood Procedure. *Congenit Heart Dis*. 2015;10(3):234-9.
  25. Rossi AF, Seiden HS, Gross RP, Griep RB. Oxygen transport in critically ill infants after congenital heart operations. *Ann Thorac Surg*. 1999;67(3):739-44.
  26. Ceneviva G, Paschall JA, Maffei F, Carcillo JA. Hemodynamic support in fluid-refractory pediatric septic shock. *Pediatrics*. 1998;102(2):e19.
  27. Hoffman GM, Ghanayem NS, Tweddell JS. Noninvasive assessment of cardiac output. *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery: Pediatric Cardiac Surgery Annual*. 2005;8(1):12-21.
  28. Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S. Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2018;132:73-7.
  29. Ibsen B. Treatment of shock with vasodilators measuring skin temperature on the big toe. Ten years' experience in 150 cases. *Dis Chest*. 1967;52(4):425-9.
  30. Alexi-Meskhisvili V, Popov SA, Nikoljuk AP. Evaluation of hemodynamics in infants and small babies after open heart surgery. *Thorac Cardiovasc Surg*. 1984;32(1):4-9.
  31. Murdoch IA, Qureshi SA, Mitchell A, Huggon IC. Core-peripheral temperature gradient in children: does it reflect clinically important changes in circulatory haemodynamics? *Acta Paediatr*. 1993;82(9):773-6.
  32. Ryan CA, Soder CM. Relationship between core/peripheral temperature gradient and central hemodynamics in children after open heart surgery. *Crit Care Med*. 1989;17(7):638-40.
  33. Butt W, Shann F. Core-peripheral temperature gradient does not predict cardiac output or systemic vascular resistance in children. *Anaesth Intensive Care*. 1991;19(1):84-7.
  34. Duke T, Butt W, South M, Karl TR. Early markers of major adverse events in children after cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1997;114(6):1042-52.
  35. Bourcier S, Pichereau C, Boelle PY, Nemlaghi S, Dubée V, Lejour G, et al. Toe-to-room temperature gradient correlates with tissue perfusion and predicts outcome in selected critically ill patients with severe infections. *Ann Intensive Care*. 2016;6(1):63.
  36. Ring EF, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012;33(3):R33-46.
  37. Nishiura H, Kamiya K. Fever screening during the influenza (H1N1-2009) pandemic at Narita International Airport, Japan. *BMC Infect Dis*. 2011;11:111.

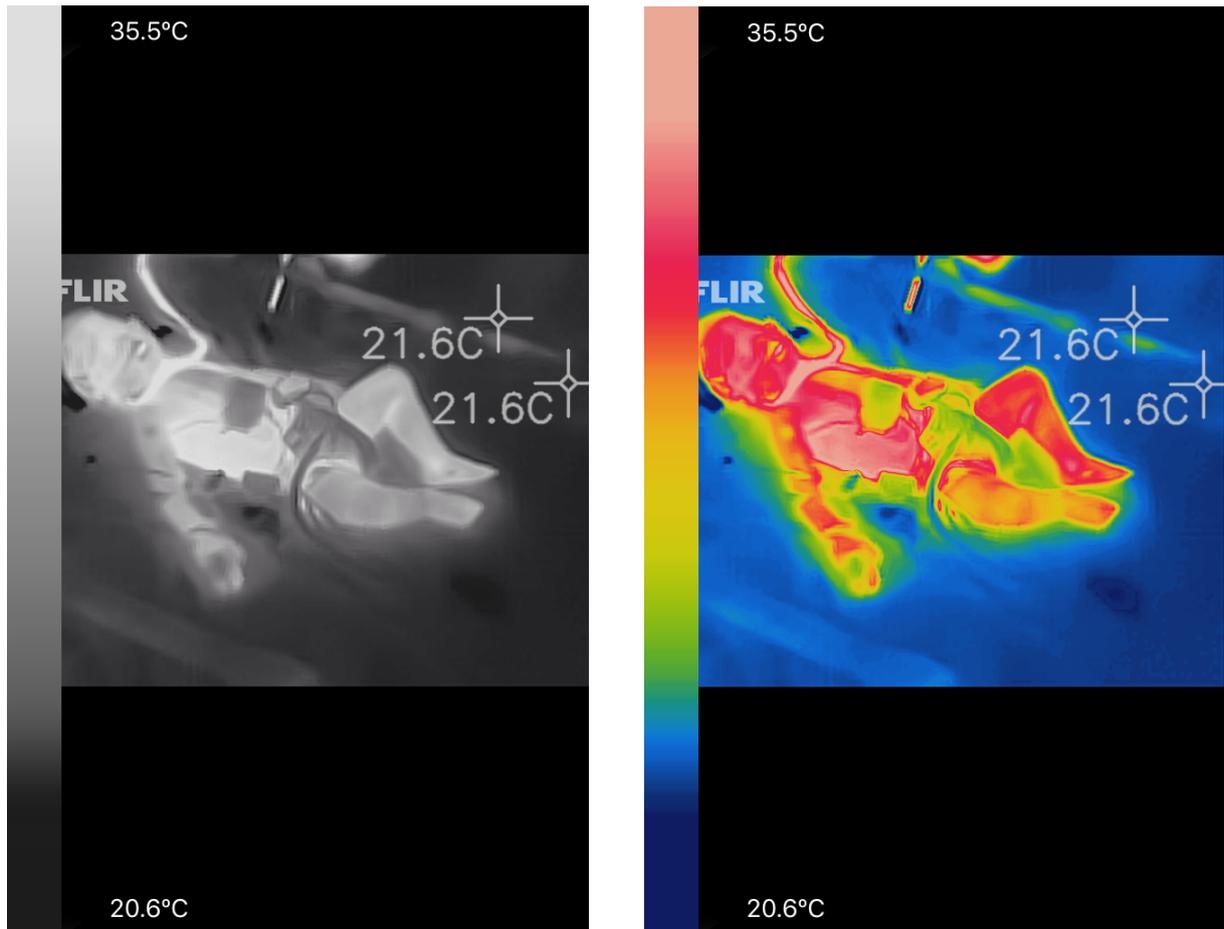
38. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Technol.* 2012;55(4):221-35.
39. van Netten JJ, van Baal JG, Liu C, van der Heijden F, Bus SA. Infrared thermal imaging for automated detection of diabetic foot complications. *J Diabetes Sci Technol.* 2013;7(5):1122-9.
40. John HE, Niumsawatt V, Rozen WM, Whitaker IS. Clinical applications of dynamic infrared thermography in plastic surgery: a systematic review. *Gland Surg.* 2016;5(2):122-32.
41. Owen R, Ramlakhan S. Infrared thermography in paediatrics: a narrative review of clinical use. *BMJ Paediatr Open.* 2017;1(1):e000080.
42. Harrap MJM, Hempel de Ibarra N, Whitney HM, Rands SA. Reporting of thermography parameters in biology: a systematic review of thermal imaging literature. *R Soc Open Sci.* 2018;5(12):181281.
43. Kurt A. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology International* 2008;18(4):125-9.
44. Pereira CB, Czaplík M, Blaník N, Rossaint R, Blazek V, Leonhardt S. Contact-free monitoring of circulation and perfusion dynamics based on the analysis of thermal imagery. *Biomed Opt Express.* 2014;5(4):1075-89.
45. Bourlai T, Pryor RR, Suyama J, Reis SE, Hostler D. Use of thermal imagery for estimation of core body temperature during precooling, exertion, and recovery in wildland firefighter protective clothing. *Prehosp Emerg Care.* 2012;16(3):390-9.
46. Ng EY, Kaw GJ, Chang WM. Analysis of IR thermal imager for mass blind fever screening. *Microvasc Res.* 2004;68(2):104-9.
47. Ring EFJ JA, Zuber J, Rutowski P, Kalicki B, Bajwa U. Detecting fever in polish children by infrared thermography. 9th International Conference on Quantitative Infrared Thermography; July Krakow, Poland2008.
48. Mercier JBR, E.F.J. Fever screening and infrared thermal imaging: Concerns and guidelines.2009. 67-9 p.
49. Teunissen LP, Daanen HA. Infrared thermal imaging of the inner canthus of the eye as an estimator of body core temperature. *J Med Eng Technol.* 2011;35(3-4):134-8.
50. Shi S, Zhao Z, Liu X, Shu Q, Tan L, Lin R, et al. Perioperative risk factors for prolonged mechanical ventilation following cardiac surgery in neonates and young infants. *Chest.* 2008;134(4):768-74.
51. Connors AF, Jr., Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE, Jr., Wagner D, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *Jama.* 1996;276(11):889-97.
52. Brossier D, El Taani R, Sauthier M, Roumeliotis N, Emeriaud G, Jouvet P. Creating a High-Frequency Electronic Database in the PICU: The Perpetual Patient. *Pediatr Crit Care Med.* 2018;19(4):e189-e98.
53. Jenkins KJ, Gauvreau K, Newburger JW, Spray TL, Moller JH, Iezzoni LI. Consensus-based method for risk adjustment for surgery for congenital heart disease. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;123(1):110-8.
54. Schey BM, Williams DY, Bucknall T. Skin temperature as a noninvasive marker of haemodynamic and perfusion status in adult cardiac surgical patients: an observational study. *Intensive Crit Care Nurs.* 2009;25(1):31-7.
55. Tibby SM, Hatherill M, Murdoch IA. Capillary refill and core-peripheral temperature gap as indicators of haemodynamic status in paediatric intensive care patients. *Arch Dis Child.* 1999;80(2):163-6.
56. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, et al. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med.* 2001;345(19):1368-77.

57. Daubeney PE, Pilkington SN, Janke E, Charlton GA, Smith DC, Webber SA. Cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: comparison with jugular bulb oximetry. *Ann Thorac Surg.* 1996;61(3):930-4.
58. Kussman BD, Laussen PC, Benni PB, McGowan FX, Jr., McElhinney DB. Cerebral Oxygen Saturation in Children With Congenital Heart Disease and Chronic Hypoxemia. *Anesth Analg.* 2017;125(1):234-40.
59. Weiss M, Dullenkopf A, Kolarova A, Schulz G, Frey B, Baenziger O. Near-infrared spectroscopic cerebral oxygenation reading in neonates and infants is associated with central venous oxygen saturation. *Paediatr Anaesth.* 2005;15(2):102-9.
60. Levin MA, Lin HM, Castillo JG, Adams DH, Reich DL, Fischer GW. Early on-cardiopulmonary bypass hypotension and other factors associated with vasoplegic syndrome. *Circulation.* 2009;120(17):1664-71.
61. Schlünzen L, Pedersen J, Hjortholm K, Hansen OK, Ditlevsen E. Modified ultrafiltration in paediatric cardiac surgery. *Perfusion.* 1998;13(2):105-9.
62. Bronicki RA, Hall M. Cardiopulmonary Bypass-Induced Inflammatory Response: Pathophysiology and Treatment. *Pediatric Critical Care Medicine.* 2016;17(8):S272-S8.
63. Dagan M, Butt W, Millar J, d'Udekem Y, Thompson J, Namachivayam SP. Changing Risk of In-Hospital Cardiac Arrest in Children Following Cardiac Surgery in Victoria, Australia, 2007-2016. *Heart Lung Circ.* 2019;28(12):1904-12.
64. Caprarola SD, Kudchadkar SR, Bembea MM. Neurologic Outcomes Following Care in the Pediatric Intensive Care Unit. *Curr Treat Options Pediatr.* 2017;3(3):193-207.
65. Bone MF, Feinglass JM, Goodman DM. Risk factors for acquiring functional and cognitive disabilities during admission to a PICU\*. *Pediatr Crit Care Med.* 2014;15(7):640-8.
66. Wernovsky G, Licht DJ. Neurodevelopmental Outcomes in Children With Congenital Heart Disease-What Can We Impact? *Pediatr Crit Care Med.* 2016;17(8 Suppl 1):S232-42.
67. Ryan KR, Jones MB, Allen KY, Marino BS, Casey F, Wernovsky G, et al. Neurodevelopmental Outcomes Among Children With Congenital Heart Disease: At-Risk Populations and Modifiable Risk Factors. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2019;10(6):750-8.

## Annexes

Annexe 1 : Exemple d'images thermiques prises avec la caméra FLIR One Pro avec une gamme de gris une gamme de couleurs.

On note sur le côté gauche de l'image l'échelle des températures captée dans le champ de la caméra.



Annexe 2: Risk adjustment for surgery for congenital heart disease : RACHS-1 (53)

<b>Risk category 1 (Mortality 0.4%)</b>
Atrial septal defect surgery (including atrial septal defect secundum, sinus venosus atrial septal defect, patent foramen ovale closure)
Aortopexy
Patent ductus arteriosus surgery at age >30 d
Coarctation repair at age >30 d
Partially anomalous pulmonary venous connection surgery
<b>Risk category 2 (Mortality 3.8%)</b>
Aortic valvotomy or valvuloplasty at age >30 d
Subaortic stenosis resection
Pulmonary valvotomy or valvuloplasty
Pulmonary valve replacement
Right ventricular infundibulectomy
Pulmonary outflow tract augmentation
Repair of coronary artery fistula
Atrial septal defect and ventricular septal defect repair
Atrial septal defect primum repair
Ventricular septal defect repair
Ventricular septal defect closure and pulmonary valvotomy or infundibular resection
Ventricular septal defect closure and pulmonary artery band removal
Repair of unspecified septal defect
Total repair of tetralogy of Fallot
Repair of total anomalous pulmonary veins at age >30 d
Glenn shunt
Vascular ring surgery
Repair of aorta-pulmonary window
Coarctation repair at age ≤30 d
Repair of pulmonary artery stenosis
Transection of pulmonary artery
Common atrium closure
Left ventricular to right atrial shunt repair
<b>Risk category 3 (Mortality 8.5%)</b>
Aortic valve replacement
Ross procedure
Left ventricular outflow tract patch
Ventriculomyotomy
Aortoplasty
Mitral valvotomy or valvuloplasty
Mitral valve replacement

Valvectomy of tricuspid valve
Tricuspid valvotomy or valvuloplasty
Tricuspid valve replacement
Tricuspid valve repositioning for Ebstein anomaly at age >30 d
Repair of anomalous coronary artery without intrapulmonary tunnel
Repair of anomalous coronary artery with intrapulmonary tunnel (Takeuchi)
Closure of semilunar valve, aortic or pulmonary
Right ventricular to pulmonary artery conduit
Left ventricular to pulmonary artery conduit
Repair of double-outlet right ventricle with or without repair of right ventricular obstruction
Fontan procedure
Repair of transitional or complete atrioventricular canal with or without valve replacement
Pulmonary artery banding
Repair of tetralogy of Fallot with pulmonary atresia
Repair of cor triatriatum
Systemic to pulmonary artery shunt
Atrial switch operation
Arterial switch operation
Reimplantation of anomalous pulmonary artery
Annuloplasty
Repair of coarctation and ventricular septal defect closure
Excision of intracardiac tumor
<b>Risk category 4 (Mortality 19.4%)</b>
Aortic valvotomy or valvuloplasty at age ≤30 d
Konno procedure
Repair of complex anomaly (single ventricle) by ventricular septal defect enlargement
Repair of total anomalous pulmonary veins at age ≤30 d
Atrial septectomy
Repair of transposition, ventricular septal defect, and subpulmonary stenosis (Rastelli)
Atrial switch operation with ventricular septal defect closure
Atrial switch operation with repair of subpulmonary stenosis
Arterial switch operation with pulmonary artery band removal
Arterial switch operation with ventricular septal defect closure
Arterial switch operation with repair of subpulmonary stenosis
Repair of truncus arteriosus
Repair of hypoplastic or interrupted arch without ventricular septal defect closure

Repair of hypoplastic or interrupted aortic arch with ventricular septal defect closure
Transverse arch graft
Unifocalization for tetralogy of Fallot and pulmonary atresia
Double switch
<b>Risk category 5</b>
Tricuspid valve repositioning for neonatal Ebstein anomaly at age ≤30 d
Repair of truncus arteriosus and interrupted arch
<b>Risk category 6 (Mortality 47.7%)</b>
Stage 1 repair of hypoplastic left heart syndrome (Norwood operation)
Stage 1 repair of nonhypoplastic left heart syndrome conditions
Damus-Kaye-Stansel procedure

**Abstract N°1** : abstract présenté au Critical Care Canada Forum.

## Hemodynamic Assessment by Optical Thermography in Infants with Cardiac Surgery

Armelle Bridier<sup>1</sup>, Monisha Shcherbakova<sup>2</sup>, Atsushi Kawaguchi<sup>3</sup>, Nancy Poirier<sup>1</sup>, Rita Noumeir<sup>2</sup>, Philippe Jouvét<sup>1</sup>

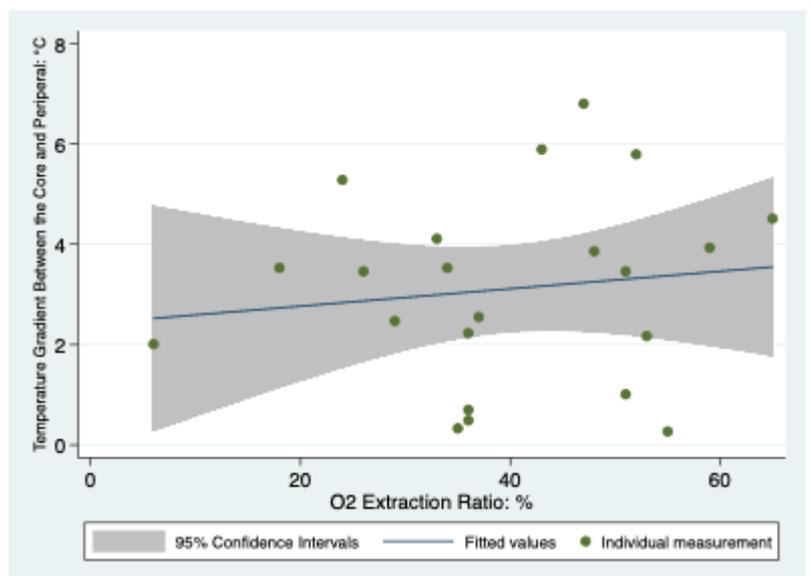
<sup>1</sup> Pediatric Intensive Care Unit, Sainte Justine Hospital, Montreal, Quebec,

<sup>2</sup> Ecole de technologie supérieure, Montreal, QC,

<sup>3</sup> Research center of Sainte Justine Hospital , Montreal, QC,

Assessment of hemodynamic status of critically ill children is a challenging situation that usually requires the combination of several biomarkers including clinical signs and blood tests. The aim of the study is to assess the efficacy of thermographic profiles to detect a cardiogenic shock in post cardiac surgery infants .

**Methods:** Children admitted in a single pediatric intensive care unit after a cardiac surgery were included, after obtaining parental consent. Exclusion criteria included extracorporeal membrane oxygenation support, continuous hemofiltration or peritoneal dialysis supports, any extensive skin disease, and children with an external active heating or cooling system. Infrared images of the patients were taken using the FLIR OnePro camera and the core temperatures (extracted from between the eyes) and extremities temperatures (toes and fingers) were extracted. The temperature gradient between core and extremities ( $\Delta$ CET) was calculated and compared to the oxygen extraction coefficient ( $O_2ER$ , difference between arterial and mixed venous oxygen saturations) measured at the same time. Data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation.



The samples were divided into 4 groups based on the values of  $\Delta\text{CET}$  ( $<$  or  $>5^{\circ}\text{C}$ ) and  $\text{O}_2\text{ER}$  ( $<$  or  $>50\%$ ), and the McNemar test was used to compare classifications.

**Results:** 22 patients of 0,3 to 10years old were included in the study. The  $\Delta\text{CET}$  was  $3.11^{\circ}\text{C} \pm 1.84$  and the  $\text{O}_2\text{ER}$  was  $39.7\% \pm 19.9$ . As illustrated in the Figure, no clear correlation was observed between  $\Delta\text{CET}$  and  $\text{O}_2\text{ER}$ . The McNemar significance probability between the two variables was 0.508.

**Discussion and conclusion:** The absence of correlation between the two variables could be due to many factors, one of which is a small dataset. More patients will be included in the study to improve the reliability of the results, and to explore the impact of contributing factors, like age, central temperature, and vasoactive treatments.

**Abstract N°2** : Abstract présenté au congrès de la Society of Critical Care Medecine

### **Hemodynamic Assessment by Optical Thermography in Infants with Cardiac Surgery**

Bridier, Armelle<sup>1</sup> ; Shcherbakova, Monisha<sup>2</sup>; Kawaguchi, Atsushi<sup>3</sup>; Jovet, Philippe<sup>4</sup>; Noumeir, Rita<sup>5</sup>; Poirier, Nancy<sup>6</sup>

Critical Care Medicine: [January 2021 - Volume 49 - Issue 1 - p 197](#)

doi: 10.1097/01.ccm.0000727548.27303.72

<sup>1</sup>Sainte Justine Hospital, Montreal, Quebec,

<sup>2</sup> Ecole de technologie superieure, Montreal, QC,

<sup>3</sup>University of Montreal, Canada, Montreal, QC,

<sup>4</sup> Sainte-Justine Hospital, Montreal, QC,

<sup>5</sup> Ecole de technologie superieure, Montreal, Canada,

<sup>6</sup> Sainte-Justine Hospital, Montreal, Canada

**INTRODUCTION:** Assessment of hemodynamic status of critically ill children is a challenging situation that usually requires the combination of several biomarkers including clinical signs and blood tests. Those signs include the assessment of peripheral temperature. In postoperative cardiac surgery in children, a high thermal gradient between core and peripheral temperature was correlated with increased systemic vascular resistance and decreased cardiac output. The aim of the study is to assess the efficacy of thermographic profiles to detect a cardiogenic shock in post cardiac surgery infants.

**METHODS:** Children admitted in a single pediatric intensive care unit after a cardiac surgery were included, after obtaining parental consent. Exclusion criteria included extracorporeal membrane oxygenation support, continuous hemofiltration or peritoneal dialysis supports, any extensive skin disease, and children with an external active heating or cooling system. Infrared images of the patients were taken using the FLIR OnePro camera and the core temperatures (extracted from the internal epicanthus) and toes temperatures were extracted. The temperature gradient between core and extremities ( $\Delta$ CET) was calculated and compared to the oxygen extraction coefficient (O<sub>2</sub>ER, difference between arterial and

mixed venous oxygen saturation) measured at the same time. Data are expressed as mean  $\pm$  standard deviation. The samples were divided into 4 groups based on values of  $\Delta$ CET (< or > 5°C) and O2ER (< or > 50%), and the McNemar test was used to compare classifications.

**RESULTS:** 22 patients (from age 10 years to 0.3 months old) were included in the study. The  $\Delta$ CET was 3.11° C  $\pm$  1.84 and the O2ER was 39.7%  $\pm$  19.9. No clear correlation was observed between  $\Delta$ CET and O2ER. The McNemar significance probability between the two variables was 0.51.

**CONCLUSIONS:** The absence of correlation between the two variables could be due to the small dataset size. The influence of factors modifying the peripheral circulation should be analysed, such as vasoactive amines which are frequently used after cardiac surgery. In conclusion, thermography could be an additional tool in multimodal monitoring after cardiac surgery, and more patients will be included in the study to improve the reliability of the results.

**Abstract N° 3** : Abstract présenté au congrès de Réanimation de la Société de Réanimation de Langue Française.

## **HEMODYNAMIC ASSESSMENT BY INFRARED THERMOGRAPHY IN CHILDREN WITH CARDIAC SURGERY**

Bridier, Armelle<sup>1</sup> ; Shcherbakova, Monisha<sup>2</sup>; Kawaguchi, Atsushi<sup>3</sup>; Jouvett, Philippe<sup>4</sup>; Noumeir, Rita<sup>5</sup>; Poirier, Nancy<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Sainte Justine Hospital, Montreal, Quebec,

<sup>2</sup> Ecole de technologie supérieure, Montreal, QC,

<sup>3</sup>University of Montreal, Canada, Montreal, QC,

<sup>4</sup> Sainte-Justine Hospital, Montreal, QC,

<sup>5</sup> Ecole de technologie supérieure, Montreal, Canada,

<sup>6</sup> Sainte-Justine Hospital, Montreal, Canada

### **Rational**

The postoperative period of cardiac surgery is a crucial moment during which low cardiac output can occur.

The assessment of hemodynamic status of critically ill children is challenging and the clinician's estimate of cardiac output is often unreliable.

Extremity heat is often used to evaluate peripheral perfusion but remains a very subjective sign.

A high thermal gradient between core and peripheral temperature has been correlated with increased systemic vascular resistance and decreased cardiac output, but the results are controversial.

The aim of this study is to assess the relationship between thermal gradient, obtained by thermography pictures, and oxygen extraction levels in children in postoperative cardiac surgery.

### **Patients and Methods / Materials and Methods**

Children admitted in a single pediatric intensive care unit after a cardiac surgery were included, after obtaining parental consent. Photos of patients with external cooling system, extensive skin disease and extracorporeal support were excluded as this could change the thermal gradient.

Infrared images of the patients were taken using the FLIR OnePro camera within 24 hours after surgery. The core temperatures (extracted from the internal epicanthus) and toes temperatures were extracted.

Temperature gradient between core and extremities (thermal gradient) was calculated and compared to the simultaneous oxygen extraction ratio ( $O_2ER$ : the ratio between arterial and mixed venous oxygen saturations).

The correlation was established by the Spearman correlation coefficient.

## Results

29 patients of 5 (0-15) months-old were included in the study.

One to three thermal images per patient were analyzed for a total of 66 photos.

Our patients had cardiopathies that are frequently described in pediatrics.

The thermal gradient median was  $3,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1,6-4,3). The  $O_2ER$  median was 35,5% (39-43).

A low correlation was observed between thermal gradient and  $O_2ER$ .

The Spearman's rho was 0,24  $p=0,049$ .

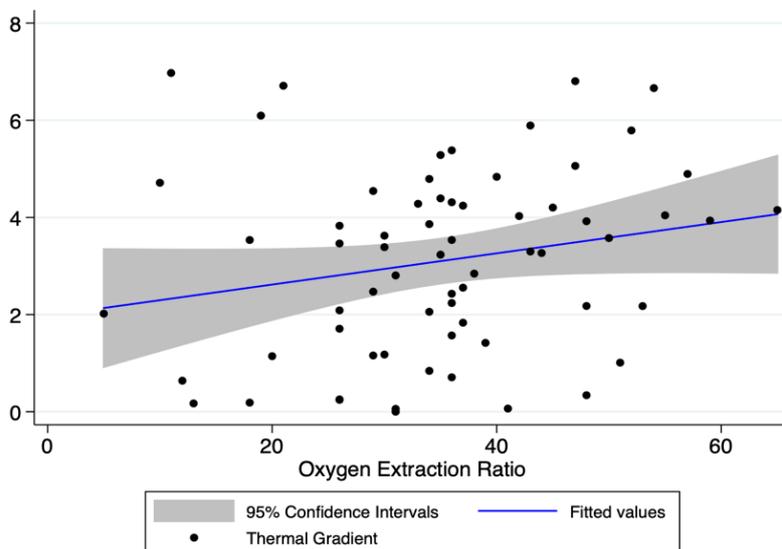


Figure: Correlation between  $O_2ER$  and thermal gradient

## Discussion

The weak correlation between the two variables could be due to many factors, one of which is a small dataset.

The frequent use of vasoactive amines (Epinephrin, Milrinone) in post-operative cardiac surgery can modify the peripheral circulation and influence on the thermal gradient.

The central temperature should also influence the thermal gradient.

This weak correlation can also be due to the infra-red technology itself like the Flir one camera lack of performance or other technical aspects.

### **Conclusion**

Thermography is potentially an additional tool in multimodal monitoring after cardiac surgery. A more significant correlation would probably observe with a larger dataset, after taking confounding factors into account and with a more reliable technique of thermal image acquisition.

**Abstract N° 4** : Abstract présenté au congrès de la Society of Critical Care Medecine

## Comparison of Inner Epicanthus and Forehead Temperature Measurements via IR Thermography

Shcherbakova, Monisha<sup>1</sup>; Bridier, Armelle<sup>2</sup>; Kawaguchi, Atsushi<sup>3</sup>; Poirier, Nancy<sup>4</sup>; Noumeir, Rita<sup>5</sup>; Jouvét, Philippe<sup>6</sup>

Critical Care Medicine: January 2021 - Volume 49 - Issue 1 - p 198

doi: 10.1097/01.ccm.0000727552.92687.d4

<sup>1</sup>Ecole de technologie supérieure, Montreal, QC

<sup>2</sup>Sainte Justine Hospital, Montreal, Quebec

<sup>3</sup>University of Ottawa, Department of Pediatrics, Children's Hospital Eastern Ontario, Ottawa, ON

<sup>4</sup>Sainte-Justine Hospital, Montreal, Canada

<sup>5</sup>Ecole de technologie supérieure, Montreal, Canada

<sup>6</sup>Sainte-Justine Hospital, Montreal, QC

**Introduction:** Human body temperature is a very crucial biomarker that can denote various physiological changes including inflammation and cardiac failure. Infra-Red thermography (IRT) has been used for fever screening and has great potential for temperature measurement, but currently its role in clinical practice is not clear. Studies have shown that the inner canthus of the eye is the most reliable temperature marker in the adult face. There is currently not enough clinical data to demonstrate the effectiveness of IRT when used to screen infants. The aim of this study was to examine if the canthus temperature (CaT) and forehead temperature (FHT) correlate with the body core temperature (BCT) in critically ill children.

**Methods:** Children from 0 to 18 years old admitted in a single pediatric intensive care unit (PICU) that had undergone cardiac surgery were included in the study, after obtaining parental consent. Exclusion criteria included extracorporeal membrane oxygenation support, continuous hemofiltration or peritoneal dialysis supports, any extensive skin disease, and children with an external active heating or cooling system. Infrared images of the patients

were taken using the FLIR OnePro camera and the temperatures from the internal epicanthus and forehead were extracted every few hours. Simultaneously, the rectal, and in some cases axillary temperatures (augmented by + 0.5 C) were extracted to serve as a reference. We examined if the BCT correlated with the temperatures simultaneously measured at forehead and canthus by applying Spearman's rank correlation coefficients.

**Results:** 67 independent measurements in 22 children were included. Their age ranged from 0.3 months to 10 years old. The data extracted demonstrated a strong correlation between the canthus and forehead temperatures (Correlation coefficient= 0.85,  $p < 0.001$ ); while we could only find a correlation between CaT and BCT and FHT and BCT (Correlation coefficient: -0.02 and -0.11 respectively).

**Conclusions:** From the sample, there are no conclusive findings about the relation between the core and facial skin surface temperatures recorded. The relationship will need to be further investigated by incorporating more samples, examining any potential confounding variables, and working to improve the efficiency of thermographic acquisition