

Monitoring of intrathoracic volemia and cardiac output in critically ill children

C. CECCHETTI¹, F. STOPPA¹, N. VANACORE², M. A. BARBIERI¹,
U. RAUCCI¹, E. PASOTTI¹, C. TOMASELLO¹, M. MARANO¹, N. PIROZZI¹

Aim. Hemodynamic monitoring is an important step in the management of critically ill children despite the difficulty in measuring preload indices continuously. The aim of the study was to analyze cardiac output parameters and preload indices after acute changes in mean airway pressure and volemia.

Methods. Twenty-three children treated at our unit were enrolled in a prospective non randomized cohort study. Respiration was supported by controlled mechanical ventilation with positive expiratory-end pressure (PEEP), peak inspiratory pressure <20 cm H₂O and mean airway pressure <10 cm H₂O, and hemodynamic monitoring using the PiCCO[®] system. Hemodynamic parameters were measured at T₀ (base line), T₁ (after an increase in PEEP of 5 cm H₂O for 10 min), and T₂ (after fluid challenge). The statistical analysis (BMPD New System software package) comprised comparison of changes at T₀ vs T₁, T₁ vs T₂ and T₀ vs T₂, construction of 3 correlation matrices and multiple linear regression analysis.

Results. Sixty-nine hemodynamic parameters were measured in the 23 patients. A comparison between T₀ and T₁ showed no significant changes; differences between T₀ and T₂ were found for cardiac index (CI), (p=0.003); between

¹Emergency Department
"Bambino Gesù" Pediatric Hospital, Rome, Italy

²Department of Statistics and Bioepidemiology
Istituto Superiore di Sanità, Rome, Italy

T₀ and T₂ significant differences were found for CI (p=0.0015), intrathoracic blood volume index (ITBVI) (p=0.04) and stroke volume index (SVI) (p=0.06). The analysis of the correlation matrices yielded ITBVI with CI (p=0.0006), ITBVI with SVI (p=1×10⁻⁵), CI with SVI (p=0.002); a significant correlation between CI and extravascular lung water index (EVLWI) was found only at T₁. Multiple linear regression analysis showed that ITBVI and SVI were predictive for variance of CI at each time point.

Conclusion. ITBVI measured by a volumetric monitoring system such as the PiCCO[®] may be considered a sensitive preload indicator also in critically ill children.

Key words: Hemodynamics - Child - Heart, physiology.

Study project carried out with the financial support for this research for years 1999/2000 (code 99/02/P/494). Research Director: Dr. C. Cecchetti.

Received October 8, 2002.

Accepted for publication November 5, 2003.

Address reprint requests to: C. Cecchetti, Dipartimento di Emergenza Accettazione-Terapia Intensiva, Ospedale Pediatrico "Bambino Gesù", Piazza S. Onofrio 4, 00163 Roma, Italy. E-mail: corradocecchetti@yahoo.it

Hemodynamic monitoring and evaluation of volemia status constitute a fundamental step in the approach to and management of the critically ill patient. In children, however, measurement of cardiac output is burdened by technical difficulties and complications associated with complex continuous monitoring systems to assess cardiac preload parameters.

Central venous pressure (CVP) and wedge pressure (WP) reflect central blood volume but are strongly influenced by variations in pulmonary compliance and intrathoracic pressure in ventilated patients.¹⁻⁴ While the use of these indicators is common clinical practice in adult patients, this is impractical in children.⁵ There exist, in fact, various methods to measure cardiac output or to determine preload indices in children but their wider use is limited by diverse factors: difficulty in attaining vessel access, costs, higher incidence of complications, and the commonly held belief that cardiac output can be clinically assessed in children.⁶ Another important aspect is related to possible complications deriving from the use of lung artery catheters. The clinical assessment of hypovolemia and accurate diagnosis of CVP and WP are, therefore, severely limited in critically ill children.^{6, 7} For these reasons, the search for new preload indicators has continued.

New volumetric monitoring systems (PiCCO[®] and COLD[®]) provide useful assessment tools with a wide range of application. The PiCCO[®] system permits the measurement of the main indicators of cardiac function (preload, postload, contractility) without the need for a pulmonary artery catheter, thus significantly reducing procedure invasiveness. The critically ill child often requires both invasive monitoring of arterial pressure through an arterial port and a central venous port for the infusion of inotropic agents and to ensure adequate parenteral nutrition. Hence, this monitoring system allows cardiac output to be measured in the critically ill child without pulmonary artery catheterization and without raising the level of invasiveness.

Measurement using thermodilution of the global end-diastolic volume (GEDV) (*i.e.* the sum of the end-diastolic volumes) and of the intrathoracic blood volume index (ITBVI) (*i.e.* the sum of GEDV and pulmonary artery blood volume) provide a direct indication of volemia.⁸⁻¹⁰ In addition, while the stroke volume index (SVI) is a preload indicator, it is strongly influenced by systemic vascular contractility and resistance.^{11, 12}

Our study analyzed the variations and response of the preload indicators ITBVI, SVI, cardiac index (CI) and extravascular lung water index (EVLWI) in relation to acute variations in volemia. We also studied the chief changes in these indicators of left ventricular function together with significant variations in mean airway pressure in mechanically ventilated patients under controlled volume regime.

The assessment of these variables in adult patients in intensive care is a useful aid to optimize the clinical management of the critically ill patient. In adult patients, the ITBVI has been observed to be more sensitive than WP for measuring cardiac filling;¹³ the assessment of changes in SVI provided by stroke volume variation (SVV) in the ventilated patient has proven to be a more accurate means for early measurement of associated hemodynamic effects before they can cause real variation in cardiac output.^{14, 15}

To our knowledge, the literature reports no data on continuous monitoring of preload indicators in relation to cardiac output using volumetric systems in pediatric patients.

Materials and methods

A total of 23 children (age range, 6 months to 14 years) with pathologies characterized by acute impairment of vital functions requiring mechanical ventilation were enrolled in the study. Patient demographics are listed in Table I. Exclusion criteria comprised chronic respiratory disease with alterations in thoracopulmonary compliance (progressive muscular dystrophy, cystic fibrosis or bronchodysplasia); pathologies associated with intracardiac shunts (congenital heart disease) and/or valvulopathies; pathologies with severely altered alveolocapillary membrane permeability (hyperdynamic phase septic shock, acute respiratory disease syndrome [ARDS], systemic inflammatory response syndrome [SIRS]); pathologies with severely impaired renal clearance (acute or chronic renal failure).

All study subjects received sedation with midazolam (0.03 mg/kg/h), remifentanyl

(0.25 γ /kg/min) and curarization with vecuronium bromide (0.1 mg/kg/dose). The patients were supported by controlled volume ventilation (tidal volume 8 ml/kg, respiratory rate matched for age) in order to obtain an inspiration-expiration ratio of 1:1, while maintaining peak inspiratory pressure (PIP) ≤ 20 cm H₂O and a mean airway pressure (AWP) ≤ 10 cm H₂O. Positive end-expiratory pressure (PEEP) was set to maintain a good balance of blood gas values.

A biluminal central venous catheter (CVC) (Arrow 5 F) was introduced into the internal jugular vein or the subclavian vein according to the Seldinger technique and an artery catheter (Pulsio cath 4 F PV 2024L16, Pulsion Medical System, Munich, Germany) through femoral artery access. The tip of the central venous catheter was positioned in the right atrium and that of the artery catheter in the descending aorta.

A thermodilution bolus containing physiological solution (injected volume 0.15 ml/kg + 1.5 ml) was placed upstream from the thermistor at the distal end of the CVC and set to 0.6°C, with a thermal γ of injected blood at $>0.20^\circ\text{C}$. The bolus was administered in random fashion with respect to the respiratory cycle, after the system had been reset and the temperatures had stabilized. The thermistor of the 2 catheters was connected to the PiCCO® system and the hemodynamic profile was measured twice for each parameter. Measurements were performed only if the patient's temperature was found to be between 36°C and 40°C.

All values are expressed as the mean $\pm$ standard deviation of the measurements taken at base line (T₀), after PEEP values had increased by 5 cm H₂O and PIP values reached >20 cm H₂O and mean AWP >10 cm H₂O while system pressure was maintained for a 5 min (T₁), and after administering a fluid challenge of 20 ml/kg (5% purified plasma proteins) lasting from 30 min to 60 min at base-line intrathoracic pressure (T₂).

Statistical analysis was performed by comparing the mean and the standard deviations of the study parameters (T₀ vs T₁, T₀ vs T₂) using Student's "t"-test for paired data. The

TABLE I.—*Clinical characteristics and diagnosis of patients (n=23).*

Age (year)	5.6 $\pm$ 4.7 (range 0.5-13)
Body weight (kg)	27.9 $\pm$ 19.7 (range 3-63)
Diagnosis	Encephalitis (n=4) Cranial trauma (n=3) Acute respiratory failure (n=3) Trauma (n=2) Pneumonia (n=2) Caustics-induced esophagitis (n=2) Glioblastoma (n=1) Lymphoma (n=1) Sepsis (n=1) Closed abdominal trauma (n=1) Hepatic insufficiency (n=1) Dehydration (n=1) Seckel syndrome (n=1)

level of statistical significance was set at $p < 0.05$. The Pearson coefficient was used to test the correlations between the 4 main (ITB-VI, CI, EVLWI, SVI) and the other parameters at T₀, T₁ and T₂. Significant correlations or those at the limit of significance were then included in a multiple linear regression model highly predictive for variance in CI. The statistical analysis was carried out using the BMDP New System software program.

Authorization from the hospital ethics committee was not requested since the maneuvers constituted common diagnostic and therapeutic procedures. Informed consent to perform diagnostic procedures on entry to the study was obtained from the children's parents.

Results

Sixty-nine hemodynamic measurements were made at the 3 time points on the 29 patients included in the study. Table II compares the values of the parameters measured at T₀ and T₁, Table III compares those measured at T₀ and T₂, and Table IV those measured at T₁ and T₂; all values are expressed as the mean $\pm$ standard deviation.

A comparison of the hemodynamic values measured at T₀ and T₁ showed no statistically significant difference for any of the study parameters; however, SVV showed a statisti-

TABLE II.—Comparison between T_0 and T_1 ($n=23$).

Parameters	T_0	T_1	p
HR (b/min)	115.2±24.7	111.1±22.1	n.s.
SBP (mmHg)	117.6±21.3	113.8±19.8	n.s.
DBP (mmHg)	62.7±14.9	61.4±12.9	n.s.
MAP (mmHg)	83.5±18.1	81±17.8	n.s.
Dpmax (mmHg/s)	946±285.2	907.4±321.6	n.s.
SVV (%)	7.8±4.2	9.8±4.3	n.s.
CI (l/min/m ²)	4.1±1	3.7±0.9	n.s.
ITBVI (ml/m ²)	524.4±179.2	482.6±161.2	n.s.
SVI (ml/m ²)	36.9±10.6	36.2±9.9	n.s.
EVLWI (ml/kg)	8.4±3.2	8.2±3.2	n.s.

HR: heart rate. SBP: systolic blood pressure. DBP: diastolic blood pressure. MAP: mean arterial pressure. Dpmax: Dp/Dt max. SVV: stroke volume variation. CI: cardiac index. ITBVI: intrathoracic blood volume index. SVI: stroke volume index. EVLWI: extravascular lung water index. n.s.: not significant. $p<0.05$: probability value.

TABLE IV.—Comparison between T_1 and T_2 ($n=23$).

Parameters	T_1	T_2	p
HR (b/min)	111.1±22.1	113.3±26.1	n.s.
SBP (mmHg)	113.8±19.8	123.4±20.7	n.s.
DBP (mmHg)	61.4±12.9	68.8±11.9	0.05
MAP (mmHg)	81±17.8	86.7±17.1	n.s.
Dpmax (mmHg/s)	907.4±321.6	921.3±300.3	n.s.
SVV (%)	9.8±4.3	7.9±4.6	n.s.
CI (l/min/m ²)	3.7±0.9	4.8±1.2	0.001
ITBVI (ml/m ²)	482.6±161.2	613.7±243.9	0.04
SVI (ml/m ²)	36.2±9.9	43.01±13.8	0.06
EVLWI (ml/kg)	8.2±3.2	8.6±2.6	n.s.

HR: heart rate. SBP: systolic blood pressure. DBP: diastolic blood pressure. MAP: mean arterial pressure. Dpmax: Dp/Dt max. SVV: stroke volume variation. CI: cardiac index. ITBVI: intrathoracic blood volume index. SVI: stroke volume index. EVLWI: extravascular lung water index. n.s.: not significant. $p<0.05$: probability value.

TABLE III.—Comparison between T_0 and T_2 ($n=23$).

Parameters	T_0	T_2	p
HR (b/min)	115.2±24.7	113.3±26.1	n.s.
SBP (mmHg)	117.6±21.3	123.4±20.7	n.s.
DBP (mmHg)	62.7±14.9	68.8±11.9	n.s.
MAP (mmHg)	83.5±18.1	86.7±17.1	n.s.
Dpmax (mmHg/s)	946±285.2	921.3±300.3	n.s.
SVV (%)	7.8±4.2	7.9±4.6	n.s.
CI (l/min/m ²)	4.1±1	4.8±1.2	0.03
ITBVI (ml/m ²)	524.4±179.2	613.7±243.9	n.s.
SVI (ml/m ²)	36.9±10.6	43.01±13.8	n.s.
EVLWI (ml/kg)	8.4±3.2	8.6±2.6	n.s.

HR: heart rate. SBP: systolic blood pressure. DBP: diastolic blood pressure. MAP: mean arterial pressure. Dpmax: Dp/Dt max. SVV: stroke volume variation. CI: cardiac index. ITBVI: intrathoracic blood volume index. SVI: stroke volume index. EVLWI: extravascular lung water index. n.s.: not significant. $p<0.05$: probability value.

cally non significant increase of 25.6%. A comparison between T_0 and T_2 showed a statistically significant difference only for CI ($p=0.03$), while the SVV remained unchanged. A comparison between T_1 and T_2 showed a statistically significant increase in CI ($p=0.0015$), ITBVI ($p=0.04$) and SVI ($p=0.06$).

The correlation index values and the Pearson coefficients are reported in Table V. The multiple linear regression model, which took CI as a dependent variable, showed that ITBVI and SVI were highly predictive for variance in CI at all 3 times (Table VI). Variations in ITBVI, SVI, EVLWI at the 3 times are reported in Figure 1.

Discussion

A statistical analysis of hemodynamic indicators of preload, ventricular function and changes in EVLWI following alterations in intrathoracic pressure (T_1) and volemia (T_2) was carried out at 3 different levels. The variations at each time point and the correlations between the various study parameters were compared and a multiple linear regression analysis performed.

The study population was rather heterogeneous yet representative for the major and most frequent pathologies affecting critically ill children. This aspect was confirmed by the elevated values of standard deviation already at T_0 . However, such heterogeneity is indicative of the type of patients admitted to our department and the differences they present in terms of pathology and anthropomorphic parameters. This 2nd factor is given by the wide age range (6 months to 14 years). Although body weight and pathological conditions varied greatly, basal cardiovascular function was similar in the absence of shunts, which characterize the transition phases towards circulation in adult patients. The presence of shunts, in fact, reduces the reliability of hemodynamic data obtained with the PiCCO® system.

In our study, central venous pressure (CVP) was not measured because the analysis focused exclusively on preload volumetric

TABLE V.—*Pearson correlation index and coefficients of hemodynamic parameters measured at three time points (T_0 , T_1 , T_2).*

	HR	SBP	DBP	MAP	DpMAX	SVV	CI	ITBVI	SVI	EVLWI
T_0										
CI (l/min/m ²)	0.19	0.27	0.46	0.23	0.13	-0.24	—	0.66	0.60	0.47
	n.s.	n.s.	0.03	n.s.	n.s.	n.s.		0.0006*	0.002*	0.02*
ITBVI (ml/m ²)	-0.35	-0.44	0.22	0.09	-0.17	-0.31	0.66	—	0.77	-0.06
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.0006*		0.00001*	n.s.
SVI (ml/m ²)	-0.62	-0.02	0.06	-0.05	0.15	-0.16	0.60	0.77	—	0.03
	0.001*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.002	0.00001*		n.s.
EVLWI (ml/kg)	0.41	0.09	0.11	0.13	0.09	0.18	0.47	-0.06	0.03	—
	0.05*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.02*	n.s.	n.s.	
T_1										
CI (l/min/m ²)	0.36	0.21	0.03	0.16	0.18	0.09	—	0.67	0.65	0.15
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		0.0004*	0.0008*	n.s.
ITBVI (ml/m ²)	0.03	0.13	0.24	0.17	0.23	0.24	0.67	—	0.70	0.16
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.0004*		0.0002*	n.s.
SVI (ml/m ²)	0.22	0.17	0.13	0.09	0.29	0.15	0.65	0.70	—	0.07
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.0008	0.0002*		n.s.
EVLWI (ml/kg)	0.49	0.25	0.21	0.35	0.19	0.57	0.16	0.16	0.16	—
	0.02*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.005*	n.s.	n.s.	n.s.	
T_2										
CI (l/min/m ²)	0.24	0.41	0.18	0.42	0.16	0.24	—	0.65	0.76	0.15
	n.s.	n.s.	n.s.	0.04	n.s.	n.s.		0.0007*	0.00001*	n.s.
ITBVI (ml/m ²)	0.14	0.17	0.43	0.16	0.17	0.21	0.65	—	0.67	0.21
	n.s.	n.s.	0.04	n.s.	n.s.	n.s.	0.0007*		0.0004*	n.s.
SVI (ml/m ²)	-0.39	0.24	0.18	0.24	0.21	-0.37	0.76	0.67	—	0.21
	0.06	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.00001*	0.0004*		n.s.
EVLWI (ml/kg)	0.37	0.21	0.16	0.21	0.14	0.65	0.21	0.21	0.21	—
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.0007*	n.s.	n.s.	n.s.	

HR: heart rate. SBP: systolic blood pressure. DBP: diastolic blood pressure. MAP: mean arterial pressure. Dpmax: Dp/Dt max. SVV: stroke volume variation. CI: cardiac index. ITBVI: intrathoracic blood volume index. SVI: stroke volume index. EVLWI: extravascular lung water index. n.s.: not significant. *) Correlation matrix.

indicators. In our study population this indicator would have been excessively influenced by variations in intrathoracic pressure.

The analysis of values measured at T_1 showed that increased thoracic pressure (43.3% in PIP and 45% in AWP) over base-line conditions did not produce a significant variation in any parameters. This finding contrasts with reports in the literature on cardiopulmonary interaction in mechanical ventilation.¹⁶ The absence of hemodynamic variation after a significant increase in intrathoracic pressure was also demonstrated by the absence of a reduction in the EVLWI.

In a prospective animal study conducted on dogs, Pizov¹⁷ showed that an increase in PEEP may significantly reduce cardiac output in subjects in whom cardiac failure is not induced. All our patients presented with nor-

TABLE VI.—*Multiple linear regression of CI, ITBVI, SVI and EVLWI.*

		Independent variables	Adj R ²
T_0	CI (l/min/m ²)	ITBVI+SVI+EVLWI+DBP	0.73
	ITBVI (ml/m ²)	CI+SVI-PIP+weight	0.87
	SVI (ml/m ²)	HR+CI	0.92
	EVLWI (ml/kg)	HR+CI+RIP+weight+age	0.47
T_1	CI (l/min/m ²)	ITBVI+SVI+HR	0.76
	ITBVI (ml/m ²)	CI+SVI+age	0.76
	SVI (ml/m ²)	ITBVI+CI+PIP	0.59
	EVLWI (ml/kg)	HR+MAP+SVV+age	0.59
T_2	CI (l/min/m ²)	SVI+ITBVI+MAP	0.60
	ITBVI (ml/m ²)	CI+SVI+DBP+age	0.59
	SVI (ml/m ²)	CI+ITBVI-SVV-HR	0.90
	EVLWI (ml/kg)	SVV+PIP	0.47

HR: heart rate. SBP: systolic blood pressure. DBP: diastolic blood pressure. MAP: mean arterial pressure. Dpmax: Dp/Dt max. SVV: stroke volume variation. CI: cardiac index. ITBVI: intrathoracic blood volume index. SVI: stroke volume index. EVLWI: extravascular lung water index. PIP: peak inspiratory pressure.

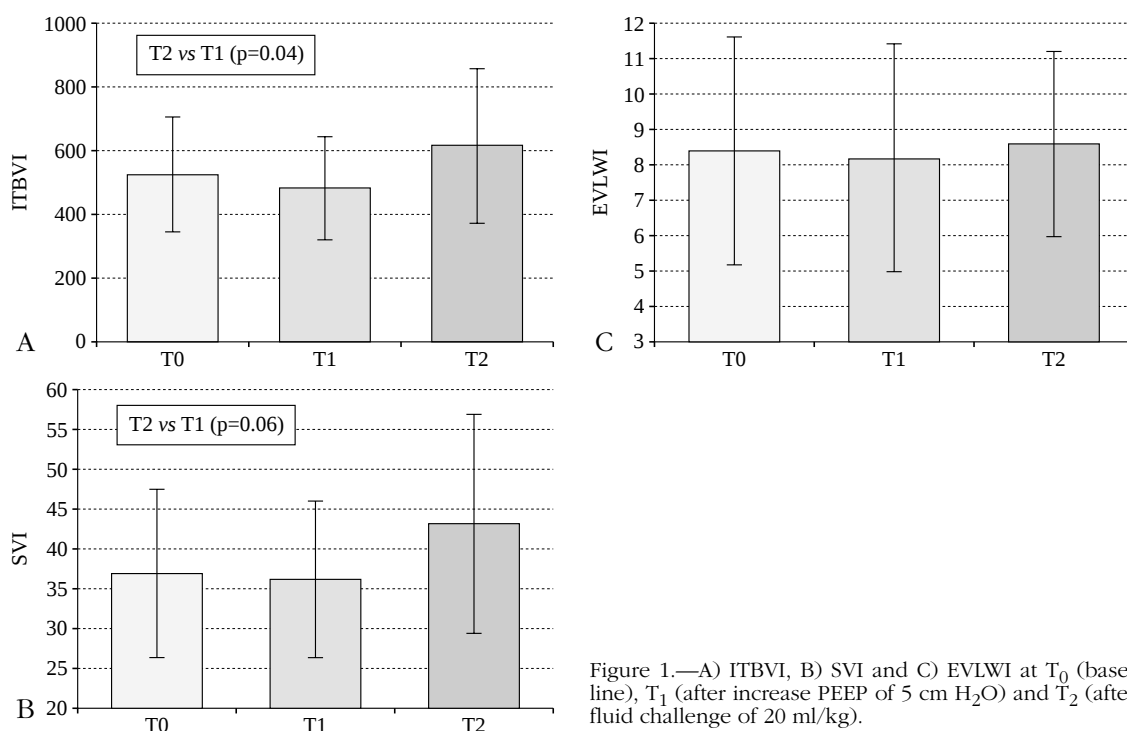


Figure 1.—A) ITBVI, B) SVI and C) EVLWI at T₀ (base-line), T₁ (after increase PEEP of 5 cm H₂O) and T₂ (after fluid challenge of 20 ml/kg).

mal cardiac function and therefore, in agreement with the literature, should have shown reduced cardiac output. But the only variation was a related increase in SVV (25.6%) over base-line values that still fell within the normal range (<10%), without a reduction in cardiac output. Even so, the variation in SVV is an important indicator for the volemic status of ventilated patients.

In an echocardiography study on neonates and infants, Gullberg¹⁸ showed that a drop or rise in SVI after changes in mean AWP was caused by an increase in PEEP during controlled ventilation. In our study, the different hemodynamic response was probably due to the shorter duration of augmented intrathoracic pressure. The time period was too short to cause transmural transmission leading to significant hemodynamic effects such as reduced CI, systemic blood pressure, SVI, and EVLWI. The hemodynamic effects we observed included increased SVV, which did not reach statistical significance.

The aim of the 2nd part of the study was to assess whether volemic filling could improve left ventricular function. To do this, we ana-

lyzed the hemodynamic effects of a fluid challenge on the left ventricle, expressed as variations in CI, EVLWI, SVI, ITBVI. Volemic loading produced an efficient response, with an increase of up to 16% in basal SVI and up to 17% in ITBVI. These findings are suggestive of an appropriate response to loading, since the increase in SVI was more than 10%¹⁹ over the base-line value, although it was not statistically significant. This increase led to a significant improvement in CI ($p=0.03$).

The strong correlation between ITBVI and CI, ITBVI and SVI, CI and SVI at T₂ showed that, as in the adult, ITBVI in the child is a reliable indicator for the assessment of volemic status. This was also confirmed by the percentage in variability after volemic loading and agrees with the results of studies conducted on adults.

The absence of changes in EVLWI is evident in the comparison between T₀ and T₁ and between T₀ and T₂. This could have been due to the presence of a hypovolemic state, with a below normal ITBVI in the absence of changes in the alveolocapillary membrane.

Data from the literature show that EVLWI

values are not correlated with such main preload indicators as WP but they do demonstrate a strong correlation with the parameters of left ventricular function. This was brought to light in a study by Bindels^{20, 21} on ventilated adult patients with acute cardiogenic pulmonary edema. The analysis was performed in patients with changes in EVLWI that were more critical than those in our series. In our study, the EVLWI was not correlated with preload parameters (ITBVI and SVI).

The analysis of variables at T_1 and T_2 showed more significant changes, with an increase in CI, ITBVI, SVI in the absence of significant reductions in SVV and EVLWI.

A comparison between T_1 and T_2 showed more significant results because highly different conditions were being compared. While at T_1 the intrathoracic pressure was greater with below normal filling indices, at T_2 the intrathoracic pressure was lower and the filling indices were higher.

Conclusions

In conclusion, the fact that our study was conducted on a heterogeneous population might have negatively influenced the achievement of statistically significant results in so far as all parameters except CI were compared at T_0 , T_1 and T_2 . This limitation is not evident on comparing the hemodynamic indicators at T_1 and T_2 . That more significant phenomena were observed may be linked to the major variability in the base-line pathophysiologic conditions. From our study it is also evident that the briefly increased intrathoracic pressure did not cause a significant reduction in cardiac function.

Since the hemodynamic repercussions of mechanical ventilation have a negative impact on the critically ill child, it is important to develop strategies to minimize ventilation-induced hemodynamic changes. The main strategy is to maintain an adequate volemic status, even if this objective is difficult to reach quickly during the acute phase.

Reports from the literature¹⁴ show that changes in stroke volume precede the effects

on general circulation. In our study, we did not observe significant reductions in CI but rather an increase of 25.6% in SVI. This change could signal significant hemodynamic changes and its observation could provide evidence showing that continuous beat-to-beat monitoring of SVV may be useful for the early detection of negative hemodynamic effects predictive for changes in CI. The estimation of this parameter would, therefore, allow early optimization of the patient's volemic status.

The main aspect of the 2nd phase of our study was that after fluid challenge the ITV-BI was found to be a good indicator of preload and predictive for variability in CI in both children and adults.

The limited use of hemodynamic monitoring in children has led to the use of clinical parameters in pediatric intensive care and to the adoption of indirect variables such as cardiac output (heart rate, blood pressure, CVP) and organ perfusion. Although the most commonly used index in children is CVP, many studies have shown that, like determination of WP, it is relatively inadequate for the assessment of volemic status.^{7, 19, 22, 23} As regards other indicators such as end-diastole volume, contrasting findings have been reported on the relation between right ventricular end-diastole volume and ITBVI.⁶⁻²⁴ Although the problem has not yet been adequately studied in children, volumetric monitoring could be potentially useful for studying the principal factors of cardiac function: inotropism, preload, systemic vascular resistance (partial postload indicators).

Our results suggest that also in children the ITBVI may be considered a preload index that can be obtained with a PiCCO[®] monitoring system. The index may be used in place of conventional parameters requiring procedures with greater invasiveness that are not always appropriate for critically ill younger patients.

References

1. Murdoch I. Measurement of cardiac output in children: a United Kingdom perspective. *Clin Intensive Care* 1994;4 Suppl 5:29-35.

2. Fanconi S, Burger R. Measurement of cardiac output in children. *Intensive Care World* 1992;9:8-12.
3. Murdoch I, Marsh MJ, Morrison G. Measurement of cardiac output in children. In: Vincent JL, editor. *Yearbook of intensive care and emergency medicine*. Berlin: Springer; 1995. p.606-14.
4. Smith-Wright DL, Green TP, Lock JE, Egar MI, Fuhrman BP. Complications of vascular catheterization in critically ill children. *Crit Care Med* 1984;12:1015-7.
5. Hamilton-Davies C, Mythen MG, Salmon JB, Jacobsen D, Shukla A, Webb AR. Comparison of commonly used clinical indicators of hypovolaemia with gastrointestinal tonometry. *Intensive Care Med* 1997;23:276-81.
6. Lichtwarck-Aschoff M, Beale R, Pfeiffer UJ. Central venous pressure, pulmonary artery occlusion pressure, intrathoracic blood volume, and right ventricular end diastolic volume as indicators of cardiac preload. *J Crit Care* 1996;11:180-8.
7. Shippy CR, Appel PL, Shoemaker WC. Reliability of clinical monitoring to assess blood volume in critically ill patients. *Crit Care Med* 1984;12:107-12.
8. Preisman S, Pfeiffer U, Lieberman N, Perel A. New monitors of intravascular volume: a comparison of arterial pressure waveform analysis and the intrathoracic blood volume. *Intensive Care Med* 1997;23:651-7.
9. Irlbeck M, Forst H, Briegel J, Haller M, Peter K. Continuous measurement of cardiac output with pulse contour analysis. *Anesthesist* 1995;44:493-500.
10. Boldt J, Menges T, Wollbruck M, Hammermann H, Hempelmann G. Is continuous cardiac output measurement using thermodilution reliable in the critically ill patients? *Crit Care Med* 1994;22:1913-8.
11. Tibby SM, Hatherill M, Murdoch IA. Use of transthoracic Doppler ultrasonography in ventilated pediatric patients: derivation of cardiac output. *Crit Care Med* 2000;28:2045-50.
12. Singer M, Allen MJ, Webb AR, Bennett ED. Effects of alterations in left ventricular filling, contractility, and systemic vascular resistance on the ascending aortic blood velocity waveform of normal subjects. *Crit Care Med* 1991;19:1138-45.
13. Tibby SM, Hatherill M, Marsh MJ, Murdoch IA. Clinicians' abilities to estimate cardiac index in ventilated children and infants. *Arch Dis Child* 1997;77:516-8.
14. Nelson N, Janerot-Sjoberg B. Beat-to-beat changes in stroke volume precede the general circulatory effects of mechanical ventilation: a case report. *Crit Care* 2001;5:41-5.
15. Reuter DA, Felbinger TW, Schnidt C, Kilger E, Godje O, Lamm P *et al*. Stroke volume variations for assessment of cardiac responsiveness to volume loading in mechanically ventilated patients after cardiac surgery. *Intensive Care Med* 2002;28:392-8.
16. Marini JJ, Culver BH, Butler J. Mechanical effect of lung distension with positive pressure on cardiac function. *Am Rev Respir Dis* 1981;124:382-6.
17. Pizov R, Cohen M, Weiss Y, Segal E, Cotev S, Perel A. Positive end-expiratory pressure-induced hemodynamic changes are reflected in the arterial pressure waveform. *Crit Care Med* 1996;24:1381-7.
18. Gullberg N, Winberg P, Selldén H. Changes in stroke volume cause change in cardiac output in neonates and in children when mean airway pressure is altered. *Acta Anaesthesiol Scand* 1999;43:999-1004.
19. Tibby SM, Hatherill M, Durward A, Murdoch IA. Are transoesophageal Doppler parameters a reliable guide to paediatric haemodynamic status and fluid management? *Intensive Care Med* 2001;27:201-5.
20. Bindels AJH, van der Hoeven JG, Meinders AE. Pulmonary artery wedge pressure and extravascular lung water in patients with acute cardiogenic pulmonary edema. *Am J Cardiol* 1999;84:1158-63.
21. Bindels AJGH, van der Hoeven JG, Meinders AE. Extravascular lung water in patients with septic shock during a fluid regimen guided by cardiac index. *Neth J Med* 2000;57:82-93.
22. Kay HR, Afshari M, Barash P, Webler W, Iskandrian A, Hakky AH. Measurement of ejection fraction by thermal dilution techniques. *J Surg Res* 1983;34:337-46.
23. Diebel LN, Wilson RF, Tagett MG, Kline RA. End diastolic volume a better indicator of preload in the critically ill. *Arch Surg* 1992;127:817-22.
24. Bindels AJH, van der Hoeven JG, Graafland AD, de Koning J, Meinders AE. Relationships between volume and pressure measurements and stroke volume in critically ill patients. *Crit Care* 2000;4:193-9.

Monitoraggio della volemia intratoracica e della performance cardiaca in pazienti pediatrici in terapia intensiva

Il monitoraggio emodinamico e la valutazione dello stato volemico rappresentano un momento fondamentale nell'approccio e nella gestione del paziente in area critica. Tale aspetto è di più difficile realizzazione nel paziente pediatrico, in relazione alle difficoltà tecniche e all'incidenza di complicanze, relative all'applicazione su vasta scala di presidi che consentono di rilevare in continuo i parametri di precarico.

La pressione venosa centrale (PVC) e la wedge pressure (WP) riflettono il volume centrale ematico, ma sono fortemente influenzati dalle variazioni del-

la compliance polmonare e della pressione intratoracica in pazienti in ventilazione meccanica¹⁻⁴. L'utilizzo di questi indicatori è ormai consolidato nella pratica clinica del paziente adulto, diversamente da ciò che avviene nella popolazione pediatrica⁵. In realtà esistono vari metodi per misurare la portata cardiaca o rilevare gli indici di precarico, anche nel paziente pediatrico, tuttavia, la diffusione di questi risulta fortemente limitata da vari fattori: difficoltà di reperire accessi vascolari, i costi, una maggiore incidenza di complicanze, consolidata è la diffusa convinzione che la portata cardiaca nel bambino può

essere rilevata clinicamente⁶. Un altro importante aspetto è correlato alle possibili complicanze connesse all'impiego del catetere in arteria polmonare. La valutazione clinica dell'ipovolemia e l'accuratezza diagnostica della PVC e WP risultano quindi fortemente limitati in ambito pediatrico^{6,7}. Per tali ragioni si è quindi sviluppata la ricerca di nuovi indici di precarico.

I nuovi sistemi di monitoraggio volumetrico (PiCCO® e COLD®) forniscono utili strumenti in questo senso, con ampia possibilità di impiego; soprattutto il sistema PiCCO® consente di rilevare le principali determinanti della funzione cardiaca (precarico, postcarico, contrattilità) senza la necessità di attuare il cateterismo dell'arteria polmonare quindi con una significativa riduzione del livello d'invasività. Il paziente pediatrico in area critica spesso necessita, comunque, sia di un monitoraggio della pressione arteriosa invasiva, con un accesso arterioso, che di un accesso venoso centrale, utilizzato per l'infusione di inotropi e per garantire l'apporto nutrizionale parenterale. Quindi l'impiego di questo sistema di monitoraggio non aumenta il livello d'invasività sul paziente pediatrico critico consentendo di ottenere dati relativi alla performance cardiaca senza utilizzare il cateterismo dell'arteria polmonare.

Il rilievo mediante la termodiluizione del global end diastolic volume (GEDV), pari alla somma dei volumi di fine diastole del cuore, e del volume di sangue intratoracico (ITBVI), costituito dalla somma del GEDV e dei volumi di sangue contenuto nei vasi polmonari, forniscono una indicazione diretta della volemia⁸⁻¹⁰; anche lo stroke volume indicizzato (SVI) è un indicatore di precarico, tuttavia quest'ultimo risulta maggiormente influenzato dalla contrattilità e dalle resistenze vascolari sistemiche^{11,12}.

Lo scopo del nostro studio è stata quella di analizzare le variazioni e la risposta degli indici volumetrici di precarico quali ITBVI, SVI, indice cardiaco (IC) e la quota di acqua extravascolare polmonare (EVLWI) in relazione a variazioni acute della volemia. Abbiamo, inoltre, studiato le principali modificazioni di questi indici dei parametri di funzione ventricolare sinistra in concomitanza alle variazioni significative della pressione media delle vie aeree in pazienti sottoposti a ventilazione meccanica in volume controllato.

La valutazione di queste variabili sul paziente adulto in terapia intensiva è stata utile al fine di ottimizzarne la gestione clinica del paziente critico. Infatti, ITBVI nell'adulto si è dimostrato più sensibile della WP per valutare il riempimento cardiaco¹³; la valutazione della variazione dello SVI fornita dallo stroke volume variation (SVV), nel paziente in ventilazione meccanica, ha mostrato di essere più accurata per rilevare precocemente gli effetti emodinamici a essa correlati prima che si determinino reali variazioni della portata cardiaca^{14,15}.

Al momento, per quanto attiene alla nostra conoscenza, non ci sono in letteratura dati relativi alla

valutazione in continuo degli indici di precarico in relazione alla performance cardiaca mediante sistemi volumetrici nel paziente pediatrico.

Materiali e metodi

Sono stati inclusi in questo studio 23 soggetti di età compresa tra i 6 mesi e 14 anni con patologie caratterizzate da una compromissione acuta delle funzioni vitali che necessitavano di un supporto di tipo rianimatorio. Gli ulteriori dati demografici sono riportati nella Tabella I.

Sono stati esclusi da questo studio i soggetti che presentavano patologie respiratorie croniche con alterazione delle compliance toracopolmonare (distrofia muscolare progressiva, fibrosi cistica e broncodisplasia); patologie con presenza di shunt intracardiaci (cardiopatie congenite) e/o valvulopatie; patologie con grave alterazione della permeabilità di membrana alveolo-capillare (shock settico in fase iperdinamica, ARDS, SIRS); patologie con severa compromissione della clearance renale (insufficienza renale acuta o cronica).

Tutti i soggetti inclusi nello studio sono stati sottoposti ad analgesedazione con midazolam 0,03 mg/kg/h, remifentanyl 0,25 μ g/kg/min, curarizzazione con vecuronio bromuro 0,1 mg/kg/dose. Tutti i pazienti erano in ventilazione meccanica con modalità in volume controllato (CMV), con tidal volume di 8 ml/kg, frequenza respiratoria in relazione all'età, al fine ottenere un rapporto inspirazione-espirazione pari a 1:1, mantenendo i valori di pressione di picco inspiratorio (PIP) ≤ 20 cm H₂O e pressione media delle vie aeree (PAW) ≤ 10 cm H₂O. I valori di PEEP sono stati comunque impostati al fine di mantenere un buon equilibrio dei valori emogasanalitici.

A ciascun paziente è stato posizionato un catetere venoso centrale bilume Arrow 5 Fr, con tecnica di Seldinger, in vena giugulare interna o vena succlavia e un catetere, Pulsio cath 4 Fr PV 2024L16 (Pulsion Medical System Munich, Germany), con accesso in arteria femorale. La punta del catetere venoso centrale è stata posizionata in atrio destro, e quella del catetere arterioso in aorta discendente.

Il bolo per la termodiluizione con soluzione fisiologica (volume dell'iniettato=0,15 ml/kg+1,5 ml) è stato praticato a monte del termistore sulla via distale del catetere venoso centrale, alla temperatura 0-6°C, con un λ termico iniettato-sangue $>0,20^\circ\text{C}$.

L'esecuzione del bolo è stata attuata in forma «random» rispetto al ciclo respiratorio, dopo aver eseguito le procedure di azzeramento e il raggiungimento dei livelli di stabilità termica. Il termistore dei 2 cateteri è stato connesso al sistema PiCCO® (Pulsion medical System, Munich, Germany) e sono state effettuate 2 misurazioni per ciascun rilievo del profilo emodinamico. Le rilevazioni sono state praticate solo se la temperatura del paziente era in un range tra 36°C-40°C.

Tutti i risultati sono stati espressi in media $\pm$ deviazione standard dei punti indicati nello studio corrispondenti ai seguenti tempi di rilevazione: tempo basale (T_0), tempo (T_1) dopo un incremento dei valori di PEEP di 5 cm H_2O fino al raggiungimento di valori pressione di picco inspiratorio (PIP) superiori a 20 cm H_2O e pressione media delle vie aeree (PAW) >10 cm H_2O , mantenendo il regime pressorio per un tempo di 5 minuti, tempo (T_2) dopo un carico volumico con colloidi (Plasma Proteine Purificate al 5%) 20 ml/kg, ottenuto in un range di tempo tra 30-60 minuti e valori di pressione intratoracica corrispondenti al tempo basale.

È stata effettuata un'analisi statistica confrontando le medie e le deviazioni standard dei parametri inclusi nello studio: T_0 vs T_1 , T_0 vs T_2 , T_1 vs T_2 , utilizzando il t -test per dati appaiati. La significatività statistica è stata fissata per $p < 0,05$.

Successivamente, utilizzando il coefficiente di Pearson, è stata valutata la correlazione tra i 4 parametri principali inclusi nello studio (ITBVI, IC, EVLWI, SVI) con i rimanenti ai tempi T_0 , T_1 , T_2 .

Le correlazioni significative o ai limiti della significatività sono state poi incluse in un modello di regressione multipla maggiormente predittivo della varianza dell'IC. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate con il software BMDP New System.

Non è stata richiesta un'autorizzazione al comitato etico in quanto le manovre effettuate rientravano tra le consuete procedure diagnostiche e terapeutiche sul paziente. Ai genitori veniva richiesto un consenso informato all'ingresso per l'attuazione della procedura diagnostica a cui il bambino veniva sottoposto.

Risultati

Nei 23 pazienti analizzati sono state eseguite 69 rilevazioni emodinamiche, distribuite ai tempi sopraindicati. I dati riportati nella Tabella II esprimono il confronto tra i valori a T_0 vs T_1 , Tabella III tra i valori al tempo T_0 vs T_2 , Tabella IV tra T_1 vs T_2 ; i valori sono espressi come media $\pm$ deviazione standard.

Dal confronto dei valori emodinamici al tempo T_0 vs il T_1 non sono state messe in evidenza delle differenze statisticamente significative per nessun parametro analizzato; tuttavia lo SVV ha presentato un incremento statisticamente non significativo del 25,6%.

Dal confronto tra T_0 vs T_2 è stata messa in evidenza una differenza statisticamente significativa soltanto per IC ($p=0,03$); mentre il valore di SVV rimane stabile.

Dal confronto tra i tempi T_1 vs T_2 è stato messo in evidenza un incremento che raggiunge valori di significatività per IC ($p=0,0015$), ITBVI ($p=0,04$) e SVI ($p=0,06$).

I valori degli indici di correlazione e i coefficienti di Pearson sono riportati in Tabella V. Il modello di

regressione lineare multipla, che considera l'IC come variabile dipendente, evidenzia che i parametri ITBVI e SVI sono altamente predittivi della varianza dell'IC ai 3 tempi esaminati (Tabella VI). Le variazioni di ITBVI, SVI, EVLWI ai 3 tempi di studio sono riportati in Figura 1.

Discussione

L'analisi statistica in questo studio ci ha permesso di esaminare gli indici emodinamici di precario, la funzione ventricolare e le variazioni di acqua extravascolare in seguito a modificazioni della pressione intratoracica (T_1) e della volemia (T_2) in 3 livelli differenti di studio. Sono state confrontate le variazioni a ciascun tempo, le correlazioni tra i vari parametri studiati; è stata inoltre effettuata un'analisi di regressione multipla.

La popolazione arruolata nel nostro studio risulta piuttosto eterogenea, pur essendo rappresentativa delle maggiori e più frequenti patologie in età pediatrica afferenti in area critica. Questo aspetto è confermato dai valori elevati di deviazione standard già al tempo T_0 .

Tale eterogeneità è, tuttavia, indicativa del tipo di pazienti che afferiscono al nostro Dipartimento e che differiscono tra loro per patologie e parametri antropometrici. Questo 2° aspetto è dato dall'ampio range di età, compreso tra i 6 mesi e i 14 anni. Sebbene il peso e le condizioni patologiche siano varie, le funzioni cardiovascolari di base sono omogenee in assenza di shunt, che caratterizzano le fasi di transizione verso la circolazione del soggetto adulto. Infatti, la presenza di shunt inficia l'attendibilità dei dati emodinamici ottenuti attraverso il sistema PiCCO®.

Il nostro studio ha escluso la valutazione della PVC, in relazione al fatto che l'analisi è stata finalizzata allo studio esclusivo di indicatori volumetrici di precario. Tale indicatore, nella popolazione da noi studiata, sarebbe stato eccessivamente influenzato dalle variazioni della pressione intratoracica.

Dall'analisi di quanto si rileva al tempo T_1 l'incremento delle pressioni toraciche, corrispondenti al 43,3% delle pressioni di picco inspiratorio e al 45% di pressione media delle vie aeree, rispetto alle condizioni basali, non ha prodotto una significativa variazione di alcun parametro analizzato. Questo dato è in contrasto con quanto descritto in altri lavori sull'interazione cardiopolmonare in ventilazione meccanica¹⁶. L'assenza di variazioni emodinamiche, in seguito a significativo aumento delle pressioni intratoraciche, è dimostrato anche dall'assenza di riduzione dell'EVLWI. Uno studio prospettico di Pizov¹⁷, effettuato sui cani, ha dimostrato come l'incremento dei valori di PEEP possa determinare una significativa riduzione dell'output cardiaco in soggetti dove non veniva indotta un'insufficienza cardiaca. Tutti i nostri pazienti presentavano una normale funzionalità car-

diaca e pertanto, in accordo con la letteratura, avremmo dovuto osservare una riduzione dell'output cardiaco. In realtà, l'unica variazione ottenuta è stato il relativo aumento dell'SVV (25,6%) paragonato ai valori basali e comunque compreso in un range di normalità (<10%), senza riduzione della portata cardiaca. Tuttavia, la variazione dell'SVV è un importante indice dello stato volemico del paziente in ventilazione meccanica.

Uno studio di Gullberg, effettuato invece mediante ecocardiografia su neonati e lattanti, ha dimostrato una riduzione o un aumento dell'SVI, in seguito alla variazione della pressione media delle vie aeree, attraverso l'incremento di PEEP con modalità di pressione controllata¹⁸. Nel nostro studio la differente risposta emodinamica è data probabilmente dalla ridotta durata dell'incremento pressorio intratoracico. Il periodo è stato insufficiente a provocare una trasmissione trasmurale tale da causare significativi effetti emodinamici, rappresentati da una riduzione dell'indice cardiaco, della pressione arteriosa sistemica, dell'SVI e dell'EVLWI. Gli effetti emodinamici osservati sono rappresentati essenzialmente da un aumento della SVV pur senza raggiungere una significatività statistica.

Lo scopo della 2° parte dello studio è stato quello di valutare se il riempimento volemico nel paziente pediatrico potesse migliorare la funzionalità del ventricolo sinistro. Al fine di valutare questo aspetto abbiamo analizzato gli effetti emodinamici di un carico di colloidi sul ventricolo sinistro, espresso come variazioni di: IC, EVLWI, SVI, ITBVI.

Il carico volemico ha determinato una risposta efficiente con un incremento fino al 16% dell'SVI basale e fino al 17% dell'ITBVI. Questi risultati sono indicativi di un'appropriata risposta al riempimento, poiché l'incremento di SVI è stato superiore al 10%¹⁹ rispetto al valore basale, anche se non statisticamente significativo; tale incremento ha determinato un significativo miglioramento dell'IC ($p=0,03$).

La forte correlazione al tempo T_2 tra ITBVI e IC, ITBVI e SVI, IC e SVI mostra che il volume sanguigno intratoracico è nel bambino, come nell'adulto, un indice affidabile per valutare lo stato volemico. Tutto questo è confermato, inoltre, dalla percentuale di variabilità, dopo il carico volemico, e concorda con altri studi effettuati su pazienti adulti.

L'assenza di variazioni dell'acqua extravascolare è evidente dal confronto tra i tempi T_0 e T_1 , e T_0 e T_2 . Questo dato potrebbe essere dovuto alla presenza di uno stato ipovolemico con un ITBVI inferiore alla norma in assenza di alterazione della membrana alveolo-capillare.

Dati raccolti dalla letteratura mostrano che i valori di EVLWI non sono correlati con i principali indicatori di precarico, come la WP, ma che è presente una forte correlazione con i parametri di funzionalità del ventricolo sinistro. Tali risultati sono evidenti in uno studio di Bindels^{20,21} effettuato su una popolazione adulta, sottoposta a ventilazione meccanica, in

pazienti con edema polmonare su base cardiogena. Tale analisi è stata effettuata in condizioni più critiche di variazioni dell'acqua extravascolare rispetto alla nostra esperienza. Nel nostro studio l'EVLWI non è correlata con i parametri di precarico (ITBVI e SVI).

L'analisi delle variabili studiate a T_1 e T_2 ha mostrato variazioni più significative con un aumento di: IC, ITBVI, SVI in assenza di riduzioni significative del SVV e di EVLWI.

Il confronto tra T_1 e T_2 ha evidenziato risultati più significativi poiché vengono poste a confronto condizioni molto diverse. Infatti a T_1 le pressioni intratoraciche erano maggiori e con indici di riempimento inferiori alla norma, mentre a T_2 erano presenti sia una riduzione della pressione intratoracica che un aumento degli indici di riempimento.

Conclusioni

In conclusione il nostro studio è stato effettuato su una popolazione eterogenea che potrebbe aver influenzato in maniera negativa il raggiungimento di risultati statisticamente significativi, paragonando tutti i parametri a T_0 , T_1 e T_2 , tranne che per l'indice cardiaco. Questo limite non è evidente quando confrontiamo gli indici emodinamici a T_1 e T_2 , infatti sono stati osservati fenomeni più significativi probabilmente in relazione alla maggiore variabilità delle condizioni fisiopatologiche di base esaminate.

Nel nostro studio è evidente come l'incremento della pressione intratoracica per un breve periodo, non determina una riduzione significativa dei parametri di funzionalità cardiaca.

Le ripercussioni emodinamiche della ventilazione meccanica hanno un impatto negativo sul bambino critico. È importante sviluppare strategie per minimizzare i cambiamenti emodinamici indotti dalla ventilazione meccanica; la principale strategia è quella di mantenere uno stato volemico adeguato, anche se in fase acuta tale obiettivo è difficile da ottenere rapidamente.

I dati dalla letteratura¹⁴ mostrano che le variazioni dello stroke volume precedono gli effetti della circolazione generale. Nella nostra esperienza non abbiamo rilevato significative riduzioni dell'IC ma un aumento del 25,6% del SVV. Questo dato potrebbe precedere significative variazioni emodinamici e dimostrare come un monitoraggio continuo «beat to beat» della SVV possa essere utilizzato per rilevare precocemente gli effetti emodinamici negativi che precedono le variazioni dell'indice cardiaco. La stima di tale parametro, quindi, permette di ottimizzare precocemente lo stato volemico del paziente.

L'aspetto principale nella 2° fase del nostro studio è che dopo il «fluid challenge» l'ITBVI è un buon indicatore del precarico ed è predittivo della variabilità del IC sia nei bambini che negli adulti.

L'uso limitato del monitoraggio emodinamico nei bambini ha indotto a sviluppare l'impiego di parametri clinici in Terapia Intensiva Pediatrica e adottare variabili indirette di performance cardiaca (frequenza cardiaca, pressione sanguigna, PVC) e di perfusione d'organo. L'indice più frequentemente usato nella popolazione pediatrica è la PVC, ma molti studi mostrano come tale parametro sia relativamente inadeguato per la valutazione dello stato volemico così come la determinazione del WP 7, 19, 22, 23. In merito ad altri indicatori, quali il volume di fine diastole, vi sono dati contrastanti circa il rapporto tra il volume di fine diastole del ventricolo destro e l'ITVBI⁶⁻²⁴.

Tale problema non è stato ancora adeguatamente studiato nei bambini ma il monitoraggio volumetrico potrebbe essere potenzialmente utile per studiare le principali determinanti della funzione cardiaca: inotropismo, precarico, resistenze vascolari sistemiche (parziali indicatori di postcarico).

I nostri dati suggeriscono che anche nella popolazione pediatrica l'ITVBI può essere considerato un indice di precarico, ottenibile attraverso un sistema di monitoraggio volumetrico PiCCO®, e che tale indice potrebbe essere usato in sostituzione dei tradizionali parametri, che necessitano un elevato livello d'invasività, peraltro non sempre applicabile nelle fasce d'età più basse in terapia intensiva pediatrica.

Riassunto

Obiettivo. Il monitoraggio emodinamico riveste un ruolo fondamentale nella gestione del paziente pediatrico in Terapia Intensiva nonostante la difficoltà di rilevare gli indici di precarico in forma continua. Scopo dello studio è stato quello di analizzare i parametri di funzione cardiaca e gli indici di precarico

dopo variazioni acute della pressione media delle vie aeree e della volemia nel bambino.

Metodi. Sono stati arruolati in uno studio prospettico non randomizzato 23 bambini, ricoverati presso la Terapia Intensiva del Dipartimento di Emergenza dell'Ospedale «Bambino Gesù». Ciascun paziente era ventilato in modalità Volume controllato con PEEP, pressione inspiratoria di picco <20 cm H₂O e pressione media delle vie aeree <10 cm H₂O. Monitoraggio emodinamico mediante PiCCO®. I dati emodinamici sono stati rilevati ai tempi: T₀ (basale), T₁ (dopo incremento di PEEP di 5 cm H₂O per 10 minuti) e T₂ (fluid challenge). L'analisi statistica (BMPD New System Software) è costituita da: confronto T₀ vs T₁, T₁ vs T₂, T₀ vs T₂; elaborazione di 3 matrici di correlazione; analisi di un modello di regressione multipla.

Risultati. Sessantanove parametri emodinamici su 23 pazienti. Dal confronto: T₀ vs T₁ non sono state rilevate differenze significative; T₀ vs T₂ è stato evidenziato un incremento significativo per l'indice cardiaco (p=0,003); T₁ vs T₂ sono state evidenziate differenze significative per l'indice cardiaco (p=0,0015), per ITBVI (p=0,04) e SVI (p=0,06). L'analisi delle matrici di correlazione: ITBVI con l'indice cardiaco (p=0,0006), ITBVI con SVI (p=1×10⁻⁵), l'indice cardiaco con SVI (p=0,002); significativi valori di correlazione tra l'indice cardiaco e acqua extravascolare polmonare sono evidenti soltanto a T₁. L'analisi di regressione multipla ha mostrato che ITBVI e SVI sono predittivi della varianza dell'indice cardiaco.

Conclusioni. L'ITBVI può essere considerato un sensibile indice di precarico anche in età pediatrica rilevabile mediante un sistema di monitoraggio volumetrico PiCCO®.

Parole chiave: Emodinamica - Età pediatrica - Cuore, fisiologia.