



Cardiométrie électrique

Toulouse 5 novembre 2015

G Jourdain
UF SMUR 92 pédiatrique
Pôle FAME
Hôpital A Béclère
HUPS

Hôpitaux
universitaires
Paris-Sud
Antoine-Béclère Bicêtre Paul-Brousse

ASSISTANCE
PUBLIQUE  HÔPITAUX
DE PARIS



Les bases hémodynamiques (1)

- La pression artérielle (PA) dépend de :
 - Débit cardiaque (DC)
 - Fréquence cardiaque (FC) x Volume d'éjection systolique (VES)
 - $DC = FC \times VES$
 - Résistances vasculaires systémiques (RVS)



$$PA = FC \times VES \times RVS$$

Les bases hémodynamiques (2)

- $PA = FC \times VES \times RVS$
 - Le VES « dépend » de la précharge et de la contractilité
 - Les RVS « représentent » la postcharge
- La mesure de la PA est donc une méthode « grossière » d'évaluer l'hémodynamique
- L'accès au DC ou au VES permet d'affiner la surveillance hémodynamique

Les méthodes de mesure du DC

- Invasives (basées sur la dilution)
 - PAC
 - PiCCO
 - Méthode de Fick
 - Méthodes de référence : Inutilisables en SMUR pédiatrique
- Non invasives
 - Echocardiographie (transthoracique)
 - Techniques de bioimpédance

La bioimpédance x 4

- SM-ICG™ PhysioFlow®

- BioZ® Cardio Profile Sonosite®

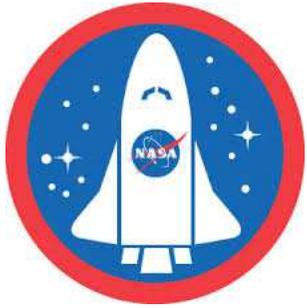
Impedance Cardiography (ICG)

- CHEETAH NICOM™

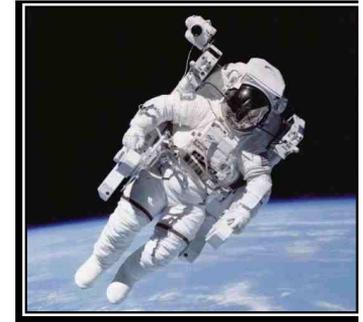
Bioréactance®

- ICON®/AESCULON® de Osypka Medical

Electrical cardiometry™ (EC)



Evolution technique



- NASA
- 1950 Nyboer
 - Changement volume sanguin
- 1966 Kubicek
 - Thorax = cylindre
 - Sang: résistivité // hématocrite.
- 1981 Sramek
 - Cône (1/3 cylindre)
 - Taille
 - Sous-estimations du volume systolique si > 20% poids idéal
- 1986 Bernstein-Osypka
 - Poids ou facteur d'échelle: rapport modifié du poids des patients // poids idéal

$$\Delta V = \rho \cdot L_0^2 \cdot Z_0^{-2} \cdot \Delta Z$$

$$SV = \rho \cdot L_0^2 \cdot Z_0^{-2} \cdot (dz/dt)_{\max} \cdot ET$$

$$SV = \frac{(0.17H)^3}{4.25 \cdot Z_0} \cdot (dz/dt)_{\max} \cdot ET$$

$$SV = \frac{V_{ITBV}}{\xi^2} \cdot \sqrt{\frac{(dz/dt)_{\max}}{Z_0}} \cdot ET,$$

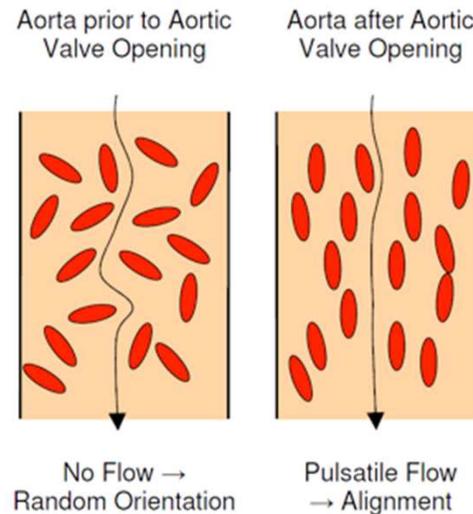
Le principe (1)

- Utilisation d'un courant
 - Haute fréquence (10 à 100 kHz)
 - Faible intensité (1 à 3 mA)
- 4 électrodes : 2 émettrices, 2 réceptrices
- Mesure du changement de conductivité électrique dans le système circulatoire
 - Système de filtres technologiquement puissants



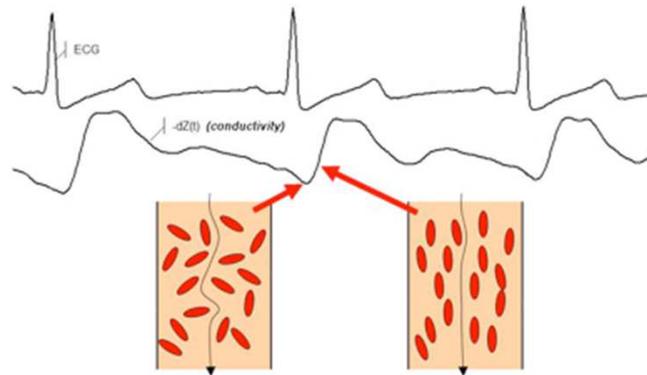
Le principe (2)

- La conductivité du sang dans l'aorte se modifie entre la diastole et la systole
- Cela est dû à la modification d'orientation des érythrocytes (\neq bioréactance)



Le principe (3)

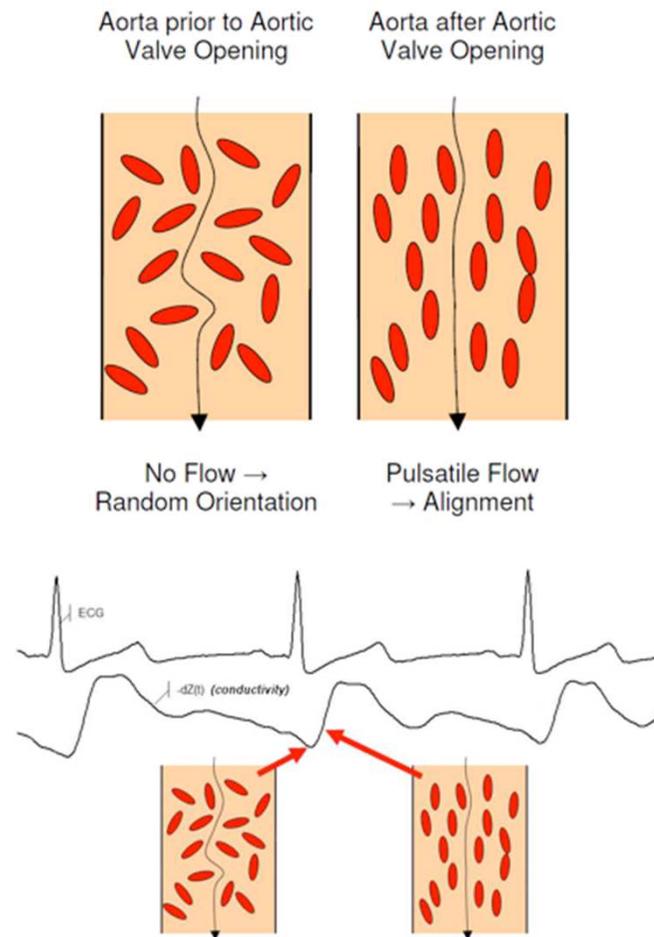
- En diastole : + de résistance, - de conductivité
- En systole : - de résistance, + de conductivité



- Analyse du taux de changement de conductivité avant et après l'ouverture de la valve aortique
- Dérivée du pic d'accélération aortique du sang et du temps d'éjection du VG

Cardiométrie électrique en résumé

- Courant focalise sur l'aorte
- **Systole**
 - Formation des rouleaux érythrocytaires
 - Augmente la vélocité (baisse viscosité)
 - Augmentation conductivité et baisse impédance
- **Diastole**
 - Rouleaux érythrocytaires se désagrègent
 - Phase stationnaire
 - Haute résistance et faible conductivité.



Les mesures



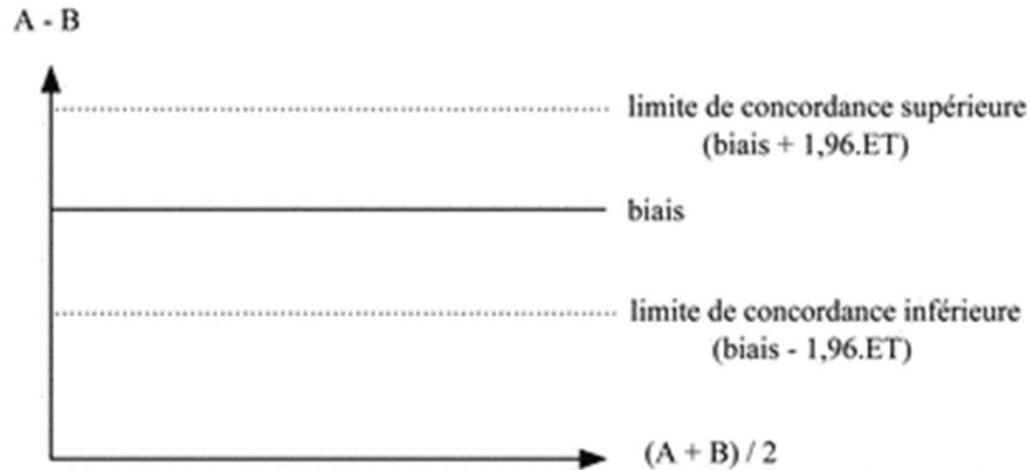
- SV : stroke volume = VES
- CO : cardiac output = DC
- CI : cardiac index = Index cardiaque
 - CO rapporté à la surface corporelle
- SI : stroke volume index
 - SV rapporté à la surface corporelle
- SVV : stroke volume variation = variation du VES avec la respiration

Les avantages

- Non invasif
- Facile/peu contraignant
- Rapide
- Prix
- Continue
- Stabilité
- Evolution des techniques

Test de Bland Altman

- Méthode d'étude de la concordance entre 2 mesures de la même grandeur A et B
 - L'une d'elle est la référence (idéalement le gold standard)
- Représentation sur un graphe :
 - En ordonnée $A - B$
 - En abscisse $A + B / 2$
- Le biais = Moyenne des différences (\bar{D})
 - Ecart type
- La limite de concordance
 - $\bar{D} \pm 1,96 ET$



- **Le pourcentage d'erreur**

- Même la méthode de référence ne donne pas toujours la même valeur
- On considère qu'une erreur de 30% est acceptable
- PE : $100\% \times (1,96 \text{ ET}) / \text{Moyenne des mesures}$
- Précision : $\sqrt{((PE)^2 - (\text{précision référence})^2)}$,

- Au total 2 éléments sont primordiaux
 - Accuracy : Précision par rapport à la mesure de référence
 - Precision : Précision entre les mesures de la « nouvelle » méthode



accurate and precise



accurate and imprecise



inaccurate and precise

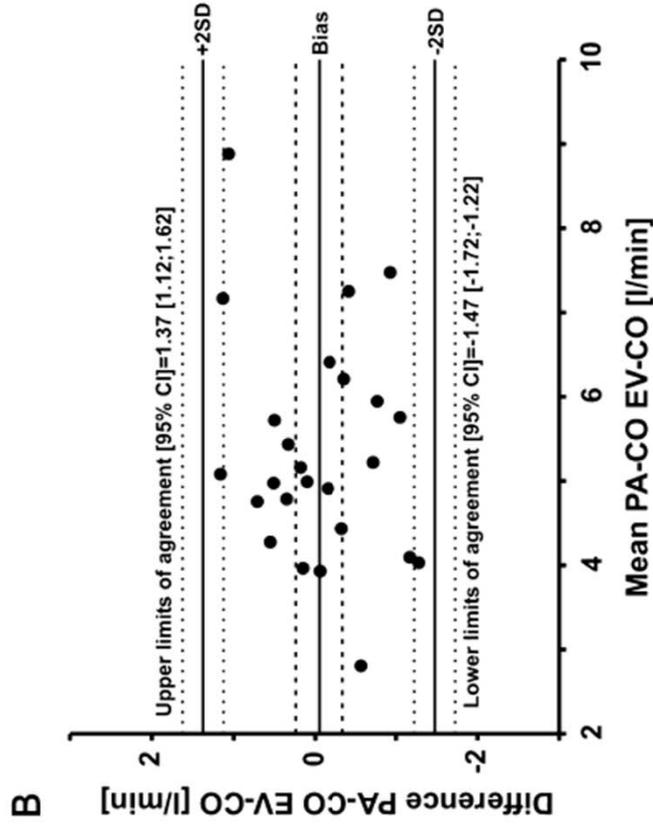
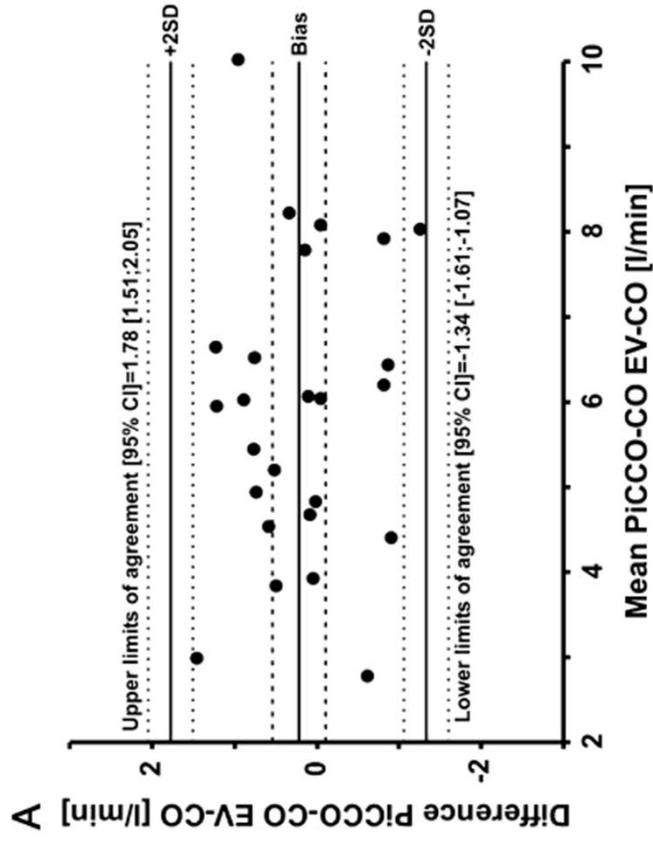


inaccurate and imprecise

Les origines

Etude chez l'adulte

- Zoremba N, Bickenbach J, Krauss B, et al
 - Comparison of electrical velocimetry and thermodilution techniques for the measurement of cardiac output
 - Acta Anaesthesiol Scand 2007; 51: 1314–1319
- 50 patients, 2 groupes de 25 (34 à 83 ans)
- Mesure du débit cardiaque simultanée (mesures répétés)
 - PAC/EV
 - PiCCO/EV
- Homogénéité des résultats intra patients pour toutes les méthodes
- Comparaison inter méthodes...



Conclusion

In this study, we found good agreement between the haemodynamic values measured by electrical velocimetry and those obtained from PA or PiCCO measurements. Therefore, electrical velocimetry, a new impedance cardiography algorithm, is a suitable method for evaluating haemodynamic parameters with clinically acceptable accuracy.

2 études chez l'enfant cardiopathe

- Norozi K, Beck C, Osthaus WA, et al
 - Electrical velocimetry for measuring cardiac output in children with congenital heart disease.
 - Br J Anaesth. 2008;100(1):88–94.
- 32 enfants (12 jours à 18 ans)
- Porteurs de cardiopathies congénitales
- Mesure du débit cardiaque par la méthode de Fick et par cardiométrie électrique (en salle de cathétérisme)
- Moyenne des débits cardiaques mesurés durant la totalité de la phase de cathétérisme

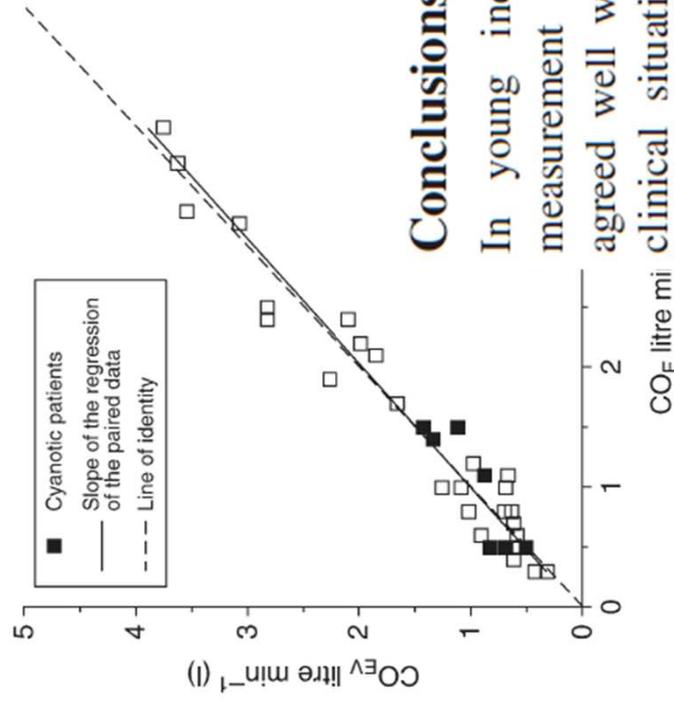


Fig 2 Scatter-plot of the data from 32 in corresponding CO_{EV} measurements.

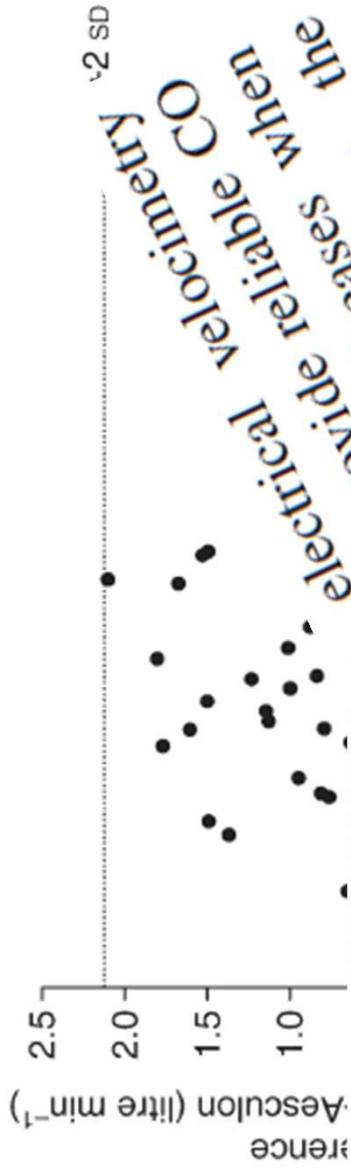
Conclusions

In young individuals with congenital heart disease, measurement of CO_{EV} by the AESCULON[®] monitor agreed well with measurement by CO_{F} in a steady-state clinical situation. This is true for the range of cardiac output from 0.4 to 4.0 litre min^{-1} . The results were not significantly influenced by the type of heart defect and were stable over the body weight and [Hb] range from 2.7 to 54 kg and 8.5 to 17.3 g dl^{-1} , respectively. Thus, the system seems appropriate for continuous cardiac output measurement, even under the abnormal haemodynamics of infants with a variety of congenital heart lesions.

\ominus -0.5
 \ominus -1.0
 \ominus -1.5
 +2 SD
 Bias
 -2 SD

0 1 2 3 4 5
 Mean $((\text{CO}_{\text{F}} + \text{CO}_{\text{EV}})/2)$ litre min^{-1} (l)

- Tomaske M, Knirsch W, Kretschmar O, et al
 - Cardiac output measurement in children: comparison of Aesculon cardiac output monitor and thermodilution
 - British Journal of Anaesthesia 100 (4): 517–20 (2008)
- 50 enfants (6 mois à 16 ans)
- Porteurs de cardiopathies congénitales
- Mesure du débit cardiaque par la méthode de thermodilution (PAC) et par cardiométrie électrique (en salle de cathétérisme)
- 150 mesures appariées



Bias for CO values, litre min⁻¹ with data pairs of our measurements. On the basis of our findings, the Aesculon® monitor did not provide reliable CO values in children with congenital heart diseases when compared with PAC thermodilution. Whether the Aesculon® monitor can be used as a CO trend monitor has to be assessed by further investigations in patients with changing haemodynamics.

CO values obtained by the Aesculon® monitor ($n=50$) differences (± 2 SD; precision) and the

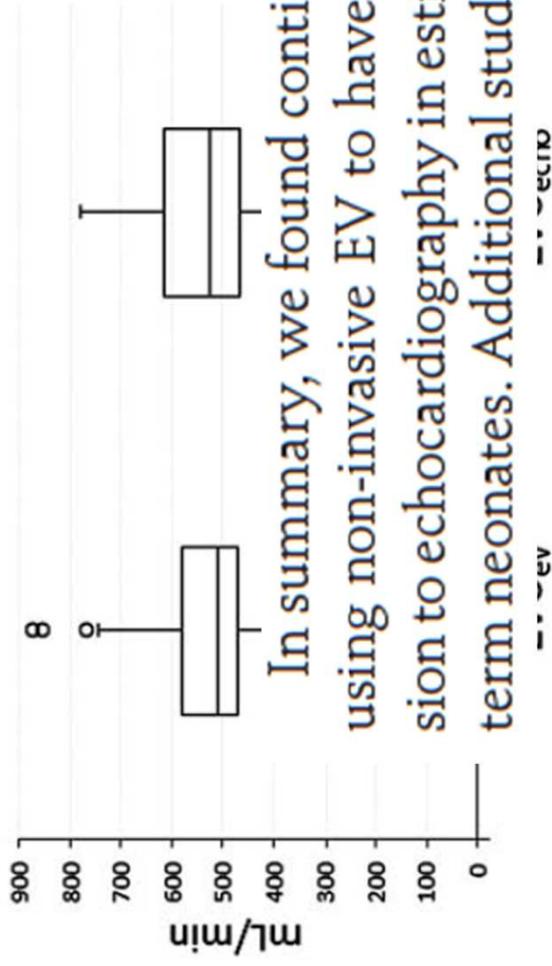
1^{ère} conclusion

- Validation de la cardiométrie électrique chez l'adulte en réanimation
- Résultats mitigés chez l'enfant cardiopathe.
 - Rôle de la cardiopathie?
 - Surestimation du DC mais cohérence intra patient
- Mais c'était il y a 10 ans
 - Amélioration des algorithmes
 - Nouvelles études
 - Ethiquement le gold standard n'est plus utilisable

L'âge de raison

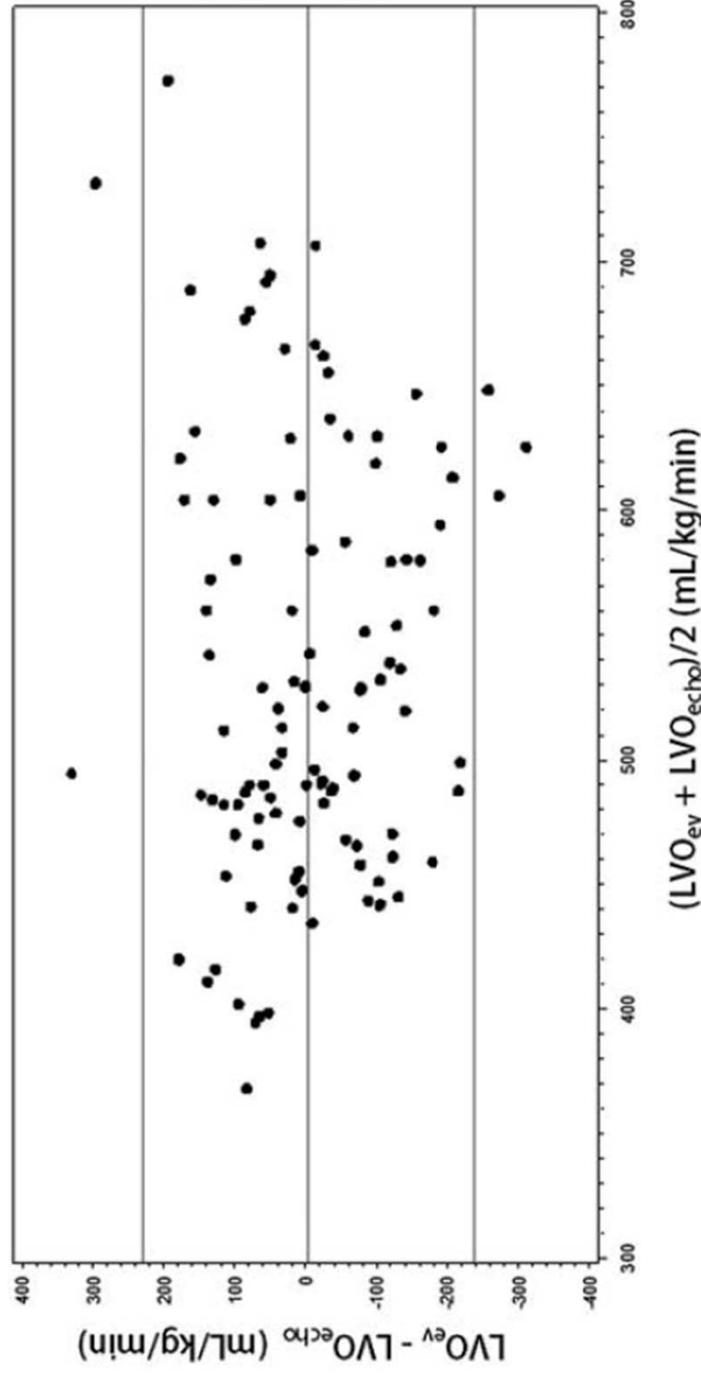
Les études récentes

- Noori S, Drabu B, Soleymani S et al
 - Continuous non-invasive cardiac output measurements in the neonate by electrical velocimetry: a comparison with echocardiography.
 - Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2012; 97: F340–F343.
- Cardiométrie électrique VS échographie transthoracique
- But : Prouver la précision de la technique pour monitorer en continu l'hémodynamique
- 20 nouveau-nés sains à terme, dans les 24 premières heures et le lendemain
- 3 mesures en 30mn à chaque fois
- 115 mesures appariées



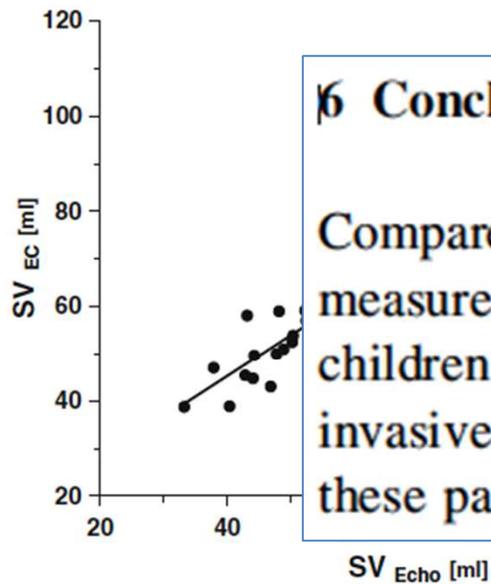
In summary, we found continuous cardiac output monitoring using non-invasive EV to have comparable accuracy and precision to echocardiography in estimating cardiac output in healthy term neonates. Additional studies in preterm and term neonates

Figure 1 Box and whisker plot for left ventricular output as measured by electrical velocimetry. The horizontal line represents the IQR, the horizontal bars are the $IQR \times 1.5$ or \max/min , circles are the outliers.



Bias = -4 mL/min, Limit of agreement -238, 229 mL/min

- Rauch R, Welisch E, Lansdell N et al
 - Non-invasive measurement of cardiac output in obese children and adolescents: comparison of electrical cardiometry and transthoracic Doppler echocardiography.
 - J Clin Monit Comput. 2013;27:187–93.
- Cardiométrie électrique VS échographie transthoracique
- But : Montrer que le BMI n'influence pas la cardiométrie électrique
- Participation volontaire hors de tout contexte de maladie
- 64 patients obèses de 8 à 18 ans



6 Conclusions

Compared to TTD, EC provides accurate and reliable measurements of SV and CO in clinically stable obese children and adolescents. It is a simple, completely non-invasive method for continuous beat-to-beat estimation of these parameters.

Fig. 1 Scatter-plot of the stroke volume from sixty-four participants measured by transthoracic Doppler echocardiography (SV_{Echo}) corresponding measurements by electrical cardiometry (SV_{EC}). *solid line* represents the slope of regression of the paired data

SV moyen : 64,5ml

Biais : 2ml

DS : 5,5ml

Limite de concordance : +13, -9

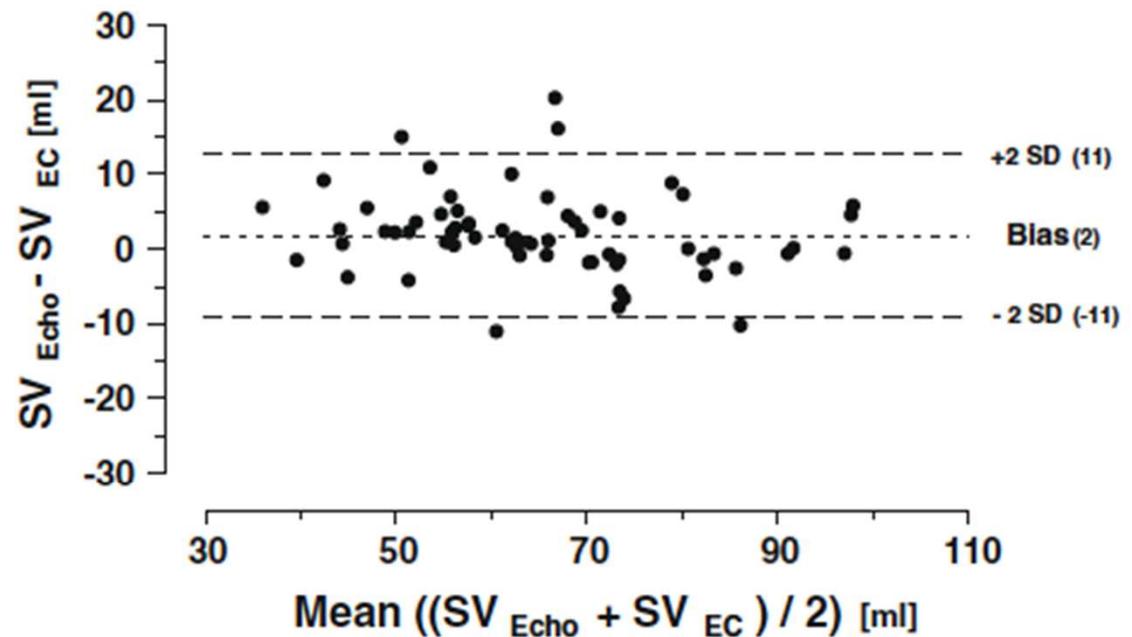
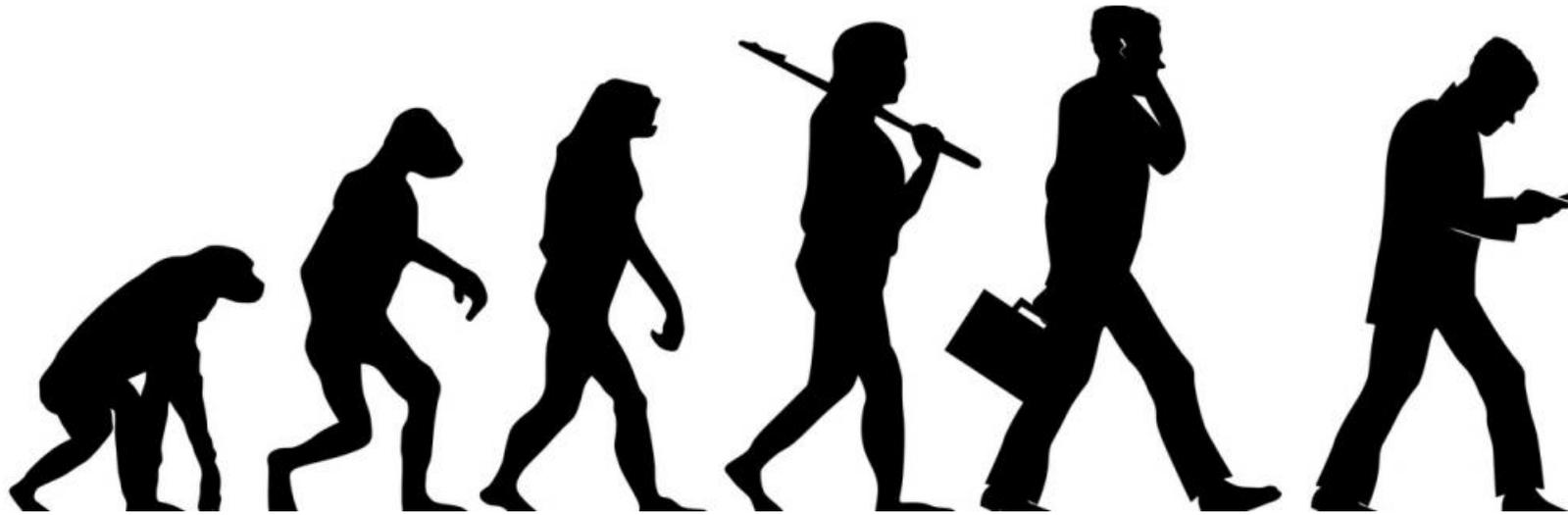


Fig. 2 Bland and Altman analysis of stroke volume measured by electrical cardiometry (SV_{EC}) and by transthoracic Doppler echocardiography (SV_{Echo}) in 64 children and adolescents

Et encore

- **Grollmuss O, Demontoux S, Capderou A, et al**
 - Electrical velocimetry as a tool for measuring cardiac output in small infants after heart surgery
 - Intensive Care Med 2012;38:1032–9.
- **Grollmuss O, Gonzalez P.**
 - Non-invasive cardiac output measurement in low and very low birthweight infants: a method comparison.
 - Front Pediatr 2014;Mar 25;2:16.
- **Boet A, Jourdain G, Demontoux S, De Luca D**
 - Stroke volume and cardiac output evaluation by electrical cardiometry in preterm neonates: accuracy and reference nomograms
 - Under review



- Au terme de 15 ans d'évolution
 - La technique non invasive de monitoring de l'hémodynamique par **cardiométrie électrique** a été :
 - Validée chez l'adulte vs le gold standard.
 - Comparée avec succès chez l'enfant et le nouveau-né à l'échographie transthoracique.

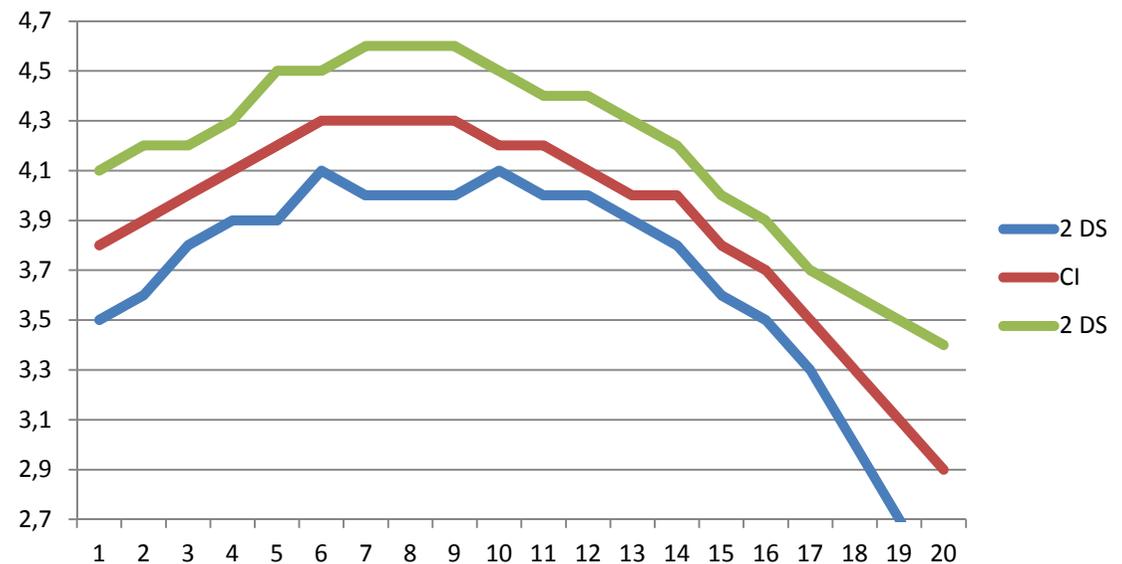
La maturité

- **Wong J, Agus M, Steil GM**
 - Cardiac parameters in children recovered from acute illness as measured by electrical cardiometry and comparisons to the literature
 - J Clin Monit Comput (2013) 27:81–91
- But : Développer des valeurs de référence utilisables en clinique
- Paramètres étudiés CI (Cardiac index) et SI (Stroke index) en fonction de l'âge
- 83 patients guéris d'une pathologie aiguë et ayant une FC et Une PA Nle
- Analyse en fonction du sexe, du BMI, de la surface corporelle

Age (years)	CI (l/m ² /min)	SI (ml/m ² /beat)
1	3.8 [3.5-4.1]	29.4 [26.5-32.3]
2	3.9 [3.6-4.2]	32.5 [30.0-35.0]
3	4.0 [3.8-4.2]	35.3 [33.0-37.6]
4	4.1 [3.9-4.3]	37.8 [35.6-40.0]
5	4.2	40.0

There is a curvilinear relationship of CI or SI and age by electrical cardiometry in normal children. This curvilinear relationship suggests that age-adjusted hemodynamic targets are required for pediatric goal-directed therapies with this CO monitor.

	[4.0-4.4]	[45.1-49.3]
13	4.1 [3.9-4.3]	47.0 [45.1-48.9]
14	4.0 [3.8-4.2]	46.6 [44.8-48.4]
15	3.8 [3.6-4.0]	45.8 [43.9-47.7]
16	3.7 [3.5-3.9]	44.8 [42.7-46.9]
17	3.5 [3.3-3.7]	43.4 [40.8-46.0]
18	3.3 [3.0-3.6]	41.8 [38.6-44.8]
19	3.1 [2.7-3.5]	39.8 [35.9-43.7]
20	2.9 [2.4-3.4]	37.6 [32.7-42.5]



- Cote CJ , Sui J , Anderson TA, et al
 - Continuous noninvasive cardiac output in children: is this the next generation of operating room monitors? Initial experience in 402 pediatric patients
 - Pediatric Anesthesia 25 (2015) 150–159
- But : Obtenir un monitoring mini invasif du débit cardiaque
- 402 patients du prématuré à l'adolescent (1 jour- 19 ans)
- Lieu : Bloc opératoire
- 374 dossiers exploitables, 292012 mesures durant 58049 mn d'anesthésie

- **Résultats**

- Détection précoce d'évènements hémodynamiques adverses
- 4 évènements, l'ICON les a détectés 1mn avant les moyens classiques de surveillance (réduction de CI de 25%)

Conclusions: Electrical cardiometry provides real-time cardiovascular information regarding developing hemodynamic events and successfully tracked the rapid response to interventions in children of all sizes. Intervention decisions must be based on the combined data from all monitors and the clinical situation. Our experience suggests that this type of monitor may be an important addition to real-time hemodynamic monitoring.

- Koichi Suehiro K, Joosten A, Murphy LS, et al
 - Accuracy and precision of minimally-invasive cardiac output monitoring in children: a systematic review and meta-analysis
 - J Clin Monit Comput (published on line 29 August 2015)
- But : Comparer les méthodes de monitoring du débit cardiaque de manière mini invasive en les comparant aux méthodes de référence.
- Ont été retenues 20 études (624 patients)
- 4 utilisaient l'ICON® ou l'Aesculon® (162 patients)

	Number of groups	Number of patients	Bias \pm SD (l min ⁻¹)	95 % LOA (l min ⁻¹)	Percentage error (%)	I ² (%)	
						Bias	SD
By device							
Electrical cardiometry	8	266	-0.03 \pm 0.33	-0.67 to 0.61	23.6	98.1	99.5
Pulse contour analysis	4	103	0.32 \pm 0.64	-0.94 to 1.58	33	89.9	97.3
Ultrasound dilution	4	110	0.04 \pm 0.32	-0.59 to 0.66	30.3	63.6	96.7
Ultrasound blood flow	4	124	0.10 \pm 0.90	-1.66 to 1.87	53.4	89.7	85.7

In the sub-group analysis, electrical cardiometry (8 studies) is the only approach to demonstrate a small bias (-0.03 l min^{-1}) and relatively low percentage error (23.6 %). Electrical cardiometry is simple, safe, and completely non-invasive technology which has been validated with acceptable reliability in critically ill adults [70, 71].

- Mélange
 - Cardiométrie électrique
 - Bioréactance
- Peu de données pédiatriques sur la bioréactance (< 20kg?)
 - Derniers articles non probants chez le nouveau-né (Weisz)
- Il est donc probable que les données de la « vraie » cardiométrie électrique sont encore plus probantes

Conclusion

- La cardiométrie électrique est une technique fiable notamment en pédiatrie.
- C'est un moyen supplémentaire d'affiner l'évaluation hémodynamique.
- La méthode est non invasive
- L'utilisation de l'appareil est intuitive
- On peut disposer de mesures ponctuelles mais aussi de tendances sur tout le temps de mesure

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Et bien sûr nous pouvons faire une démonstration





- Volonté de créer une section de « transport de l'enfant malade »
- Si vous êtes intéressés, contacter :
 - Ella Nkanagu : enkanagu@kenes.com
 - Joe Brierley : joe.brierley@me.com
 - CC Gilles Jourdain : gilles.jourdain@numericable.fr

Nomogrammes

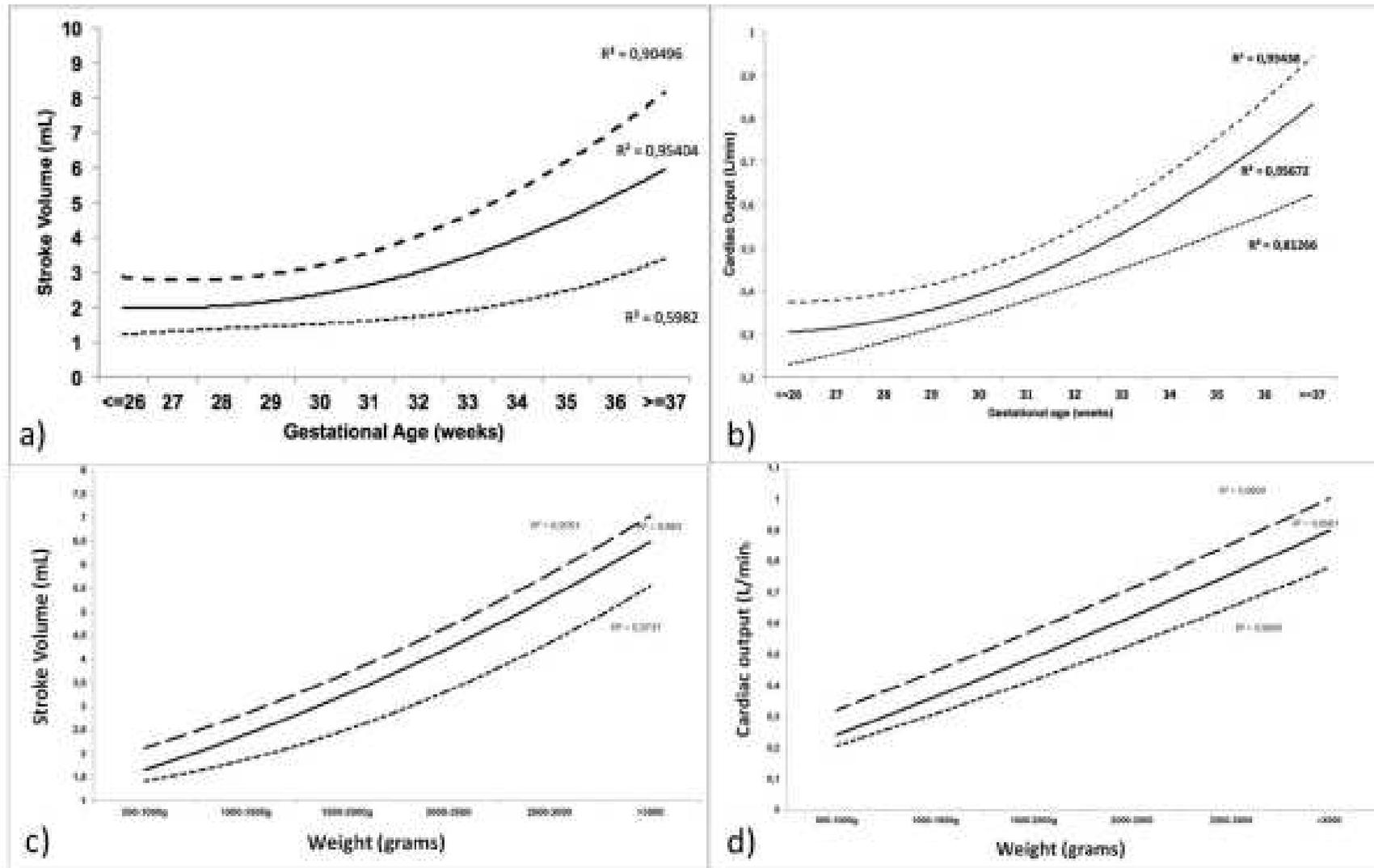


Fig1: SV a) and CO b) by GA and c), d) by weight.

$$R^2 > 0.955$$