


**ČO PRINÁŠA KONTINUÁLNE  
MONITOROVANIE CO<sub>2</sub>?**

Magyarová G., Záčeková V., Vachová M.  
FNsP Nové Zámky

**UMELÁ PLŮCNA VENTILÁCIA**



**Ciele:**  
získať a udržiavať optimálne hodnoty  
parciálneho tlaku O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>  
bez vedľajších nežiaducich účinkov

**Monitorovanie**

- kyslíka - kontinuálne
- CO<sub>2</sub> – kontinuálne?

## Dôvody **kontinuálneho** merania CO<sub>2</sub> u novorodencov

- prevencia fluktuácie hodnôt parciálneho tlaku CO<sub>2</sub> v krvi počas UPV /CPAP
- menej odberov krvi: *(Mukhopadhyay S, Mazrer R, Puopolo KM, RespirCare, 2015)*
  - menšie krvné straty
  - ↓ bolesť

## Krvné straty

### Príčiny anémie prematúrnych:

- neadekvátna produkcia erytrocytov (do 32. g. t. prevažuje erythropoéza v pečeni)
- krátka životnosť (35 – 50 dní)
- **krvné straty**: v pomere k cirkulujúcemu objemu krvi nezrelých môžu dosahovať až **5 – 10% celkového cirkulujúceho krvného objemu**
- **spontánna úprava** anémie prematúrnych vyžaduje **3 – 6 mes.**



*(Cassady, 2011; Bell, 2008)*

### Transfúzia:

- zhoršenie IVH I. a II. stupňa na III. a IV. stupeň
- vzostup incidencie nekrotizujúcej enterokolitídy a retinopatie

*(Baer, Lambert, Henry et al., 2011; Bell, 2008; Widness, Madan, Grindeanu et al., 2005)*

## Bolest'

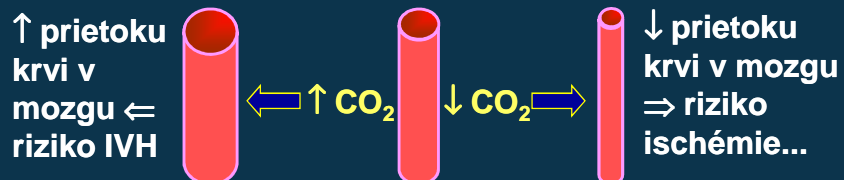
- **dlhodobá pamäť na bolesť**: novorodenec vystavený bolesti reaguje v budúcnosti bolestivejšie na algické procedúry (Taddio, Shah, Atenafu, Katz, 2009)
- **zníženie schopnosti prejavovať bolesť** pri opakovaných bolestivých stimuloch neznamená vymiznutie bolesti, zhoršuje však možnosti jej posúdenia (Verklan, Walden, 2010; Hummel, van Dijk, 2006)
- **zmena sociálneho správania** dieťaťa vystaveného opakovanej bolesti (Walden, Frank, 2003)
- **oneskorenie reakcie na bolesť** u nezrelých detí (Slater, Fitzgerald, Meek, 2007)

## Príčiny fluktuácie CO<sub>2</sub>

- zmeny **stavu ochorenia**: zlepšenie, zhoršenie stavu
- kondenzácia **vodných** pár vo ventilačnom okruhu
- podanie **liekov** ovplyvňujúcich spontánne dýchanie, zmeny dychového objemu, odporu
- nahromadenie **sekrétov** v dolných dýchacích cestách
- narušenie vytvorenej **funkčnej reziduálnej kapacity** (endotracheálne odsávanie, zlyhanie fixácie NCPAP...)



## Vplyv CO<sub>2</sub> na perfúziu mozgu



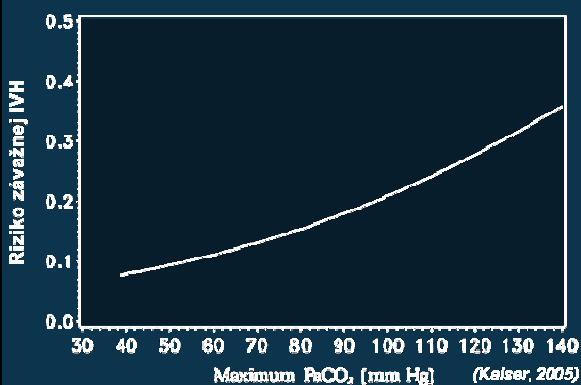
- reaktivita **cerebrálneho prietoku** na zmeny CO<sub>2</sub>:
  - zrelí zdraví novorodenci: 6 - 25,4 %/kPa
  - **prematúrni novorodenci s UPV: 11 - 67 %/kPa**

(Kaiser 2008)

## Vplyv výkyvov PaCO<sub>2</sub> na cerebrálnu perfúziu

**Hyperkapnia:** vazodilatácia cerebrálnych ciev → riziko intraventrikulárneho krvácania

**Hypokapnia:** vazokonstrikcia cerebrálnych ciev → riziko periventriculárnych leukomalácií



Riziko dlhodobých následkov: PMR, DMO...

**Schmid a kol. 2013: Prospektívne monitorovanie rizikových faktorov znižuje intrakraniálne krvácanie u nezrelých** (Prospective risk factor monitoring reduces intracranial hemorrhage rates in preterm infants):

- incidencia IVH 22%, z toho ťažké formy **9,1%**
- komplex opatrení v prevencii IVH, jedným z nich bola **prevencia epizód hypokapnie**
- pokles incidencie IVH na 10,5%, ťažké formy **3,7%**.

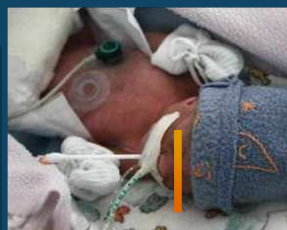
### NÁKLADY NA LIEČBU ELBWI S DLHODOBÝM POSTIHNUTÍM

- Tommiska (Hospital for Children and Adolescents, University of Helsinki, Fínsko) **Náklady na starostlivosť o novorodencov s extrémne nízkou pôrodnou hmotnosťou počas prvých 2 rokov života** (Economic costs of care in extremely low birthweight infants during the first 2 years of life):
  - celková zdravotná starostlivosť o ELBWI do 2 rokov: 104 635 € (64% do ukončenia prvej hospitalizácie, prvý rok 20%, druhý rok 13%)
  - **dieťaťko bez dlhodobých následkov 25 násobok ceny starostlivosti o zdravé dieťa**, stredný stupeň postihnutia 33 násobok, **závažný hendikep 68 násobok ceny starostlivosti o zdravé dieťa**
- Kruse (University of Southern Denmark, Dánsko) **Ekonomické náklady na celoživotnú starostlivosť u chorých s DMO** (Lifetime costs of cerebral palsy) **860 000 €**
- CDC eviduje 3600 nových prípadov mentálnej retardácie súvisiacej s IVH ročne, zdravotné náklady na celoživotnú starostlivosť 3,6 miliardy USD ~ 1 000 000/os. (Ment L.R. et al. 2008)

## Kontinuálne meranie CO<sub>2</sub>

### AARC odporúča realizovať u novorodencov

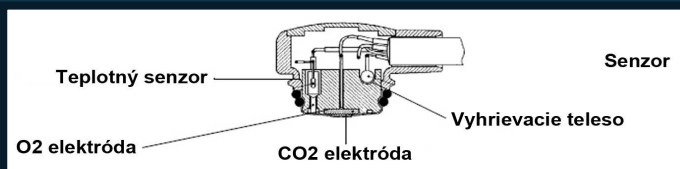
- s rizikom IVH
- s respiračnou tiesňou,
- perzistujúcou pľúcnou hypertenziou
- pri liečbe surfaktantom
- pri podpornej a umelej pľúcnej ventilácii, pri odpájaní
- pri chronických pľúcnych ochoreniach
- pri endotracheálnom odsávaní (potreba a efektivita)



*(Thomsen, 2012; American Association for Respiratory Care, 2004; Sitting, 2004)*

$T_c\text{CO}_2$  ?

## Princípy a postup transkutáneho merania plynov



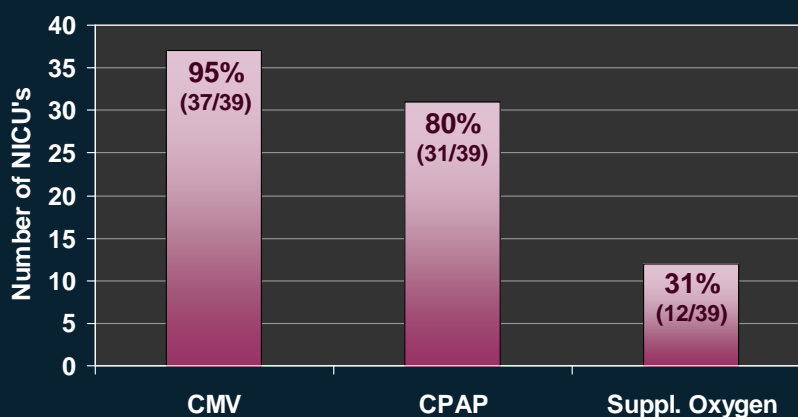
meranie plynov prestupujúcich kožným povrchom počas navodenej lokálnej hyperémie prostredníctvom Severinghausovho a Clarkovho senzora fixovaného ku kožnému povrchu.

Zmeny  $O_2$  prestupujúce do elektrolytu pod membránou menia prúd (senzor typ Clark) a prestupujúce  $CO_2$  mení zasa pH elektrolytu (senzora Severinghaus), na základe čoho je prepočítaná hodnota plynu

- **elektromagnetická interferencia** - ovplyvňuje pohyb iónov (elektrochirurgické procedúry, magnetické pole)
- podávanie **bikarbonátov** mení pH

(Bromley, 2008; Radiometer Medical ApS, 2011; Thomsen, 2012)

## Využívanie TcCO<sub>2</sub> ??



Rüdiger, 2005: Využívanie TcCO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> na 56 NICU:

- 77% využíva transkutánne meranie plynov
- 74% využíva oba tcCO<sub>2</sub> / tcO<sub>2</sub>
- 64% kontroly krvnej vzorky námatkovo

<http://www.biomedcentral.com/1471-2431/5/30>

Ratna, 2015:

9 z 10 NICU v Holandsku

doi: 10.3389/fped.2015.00094

## Transkutánne meranie CO<sub>2</sub>

### Výhody:

- neinvazívne kontinuálne monitorovanie
- nevyžaduje intubáciu dieťaťa
- dostupné aj pri HFOV (Vento G, et al., 2011)
- má vyššiu presnosť ako kapnometria

(Hejlesen, Cichosz, Vangsgaard, Andersen, 2009; Bernet-Buettiker, Ugarte, Frey, Hug, Baenziger, Weiss, 2005)

- Oneskorenie transkutánne meranej hodnoty oproti skutočnej zmene v organizme dieťaťa je pri hyperkapnii len o  $16,8 \pm 1,3$  sekundy

(Thomsen, 2012)



## Limity transkutánneho merania

- ↓ perfúzia, šok (Thomsen, 2012; Cabal et al., 1981; Bhat et al., 1981)
- vplyv vazóaktívnych liekov - artef. ↓ PtcCO<sub>2</sub> (Restrepo a kol., 2012, Cheifetz a kol., 2007)
- edém
- ťažká hypotermia
- závažné ochorenie kože

↓ periférna cirkulácia:

- ↓ presnosť merania TcO<sub>2</sub> > TcCO<sub>2</sub>
- predĺženie reakčného času, > TcCO<sub>2</sub>.

(hypotermia, šok)

(Bromley, 2008)

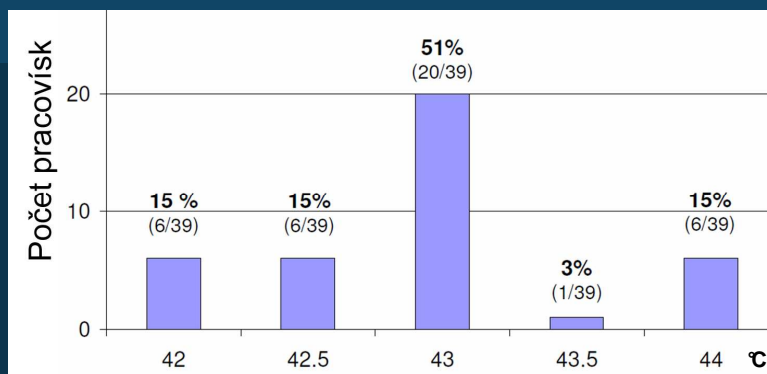


## Postup a úskalia transkutánneho merania plynov

- Kalibrácia senzora, voľba teploty počas merania
- Fixácia senzora, voľba miesta fixácie
- Postup merania TcCO<sub>2</sub>
- Výmena membrán



## Teplota senzora počas merania



(Rüdiger, Töpfer, Hammer, Schmalisch, Wauer, 2005)

- kombinovaný senzor pre TcCO<sub>2</sub> / SaO<sub>2</sub>, pri teplote **42°C**, výmena miesta v 12 hod intervaloch ⇒ **žiadne zmeny na pokožke**

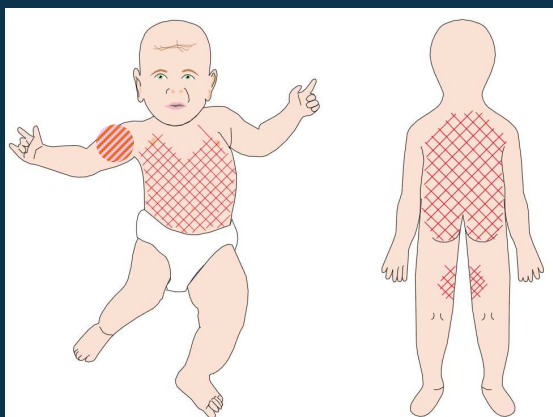
(Bernet-Buettiker, Ugarte, Frey, Hug, Baenziger, Weiss, 2005; Thomsen, 2012)

## Teplota senzora počas merania

- vyššia teplota je vhodnejšia pre presnosť merania  $TcO_2$   
(Bromley, 2008; Thomsen, 2012)
- vplyv teploty na presnosť merania:  $\uparrow$  teploty senzora môže  $\uparrow$  produkciu  $CO_2$  a  $\uparrow$  rozdiel medzi  $PaCO_2$  a  $PtCO_2$ . ( $PtCO_2 > PaCO_2$ , pri stabilnej teplote nenaruší koreláciu (Tingay, 2013; Thomsen, 2012).
- teplota  $>43^\circ C$  – riziko popálenia kože novorodenca
- **! neodporúča sa u novorodencov nastavenie teploty senzora nad  $43^\circ C$**
- **! pravidelné striedanie miest, kde je senzor nalepený:**
  - (striedanie minimálne 3 miest) (Restrepo, et al., 2012)
  - max. 4 hod (Radiometer Medical ApS, 2011)

## Miesta fixácie senzora

☺ hrudník, medzirebrové priestory, laterálne strany brucha, chrbátik v pronačnej polohe, ušnica



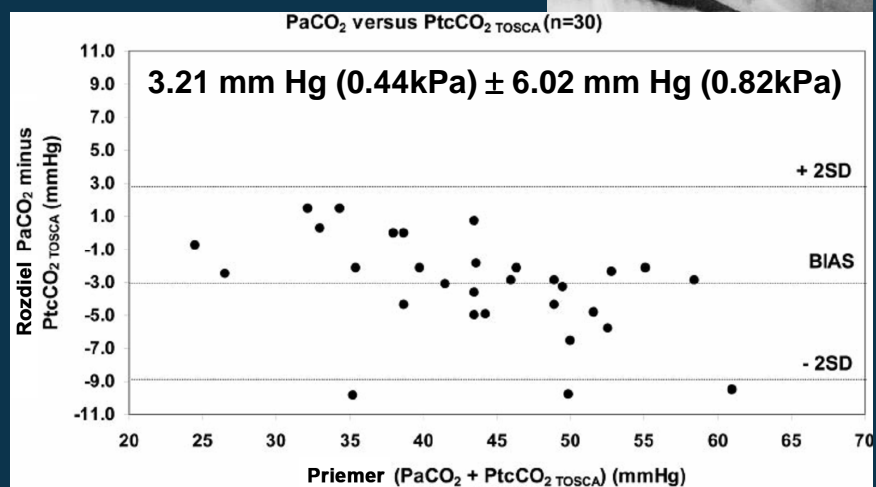
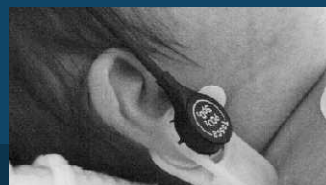
- bez edému,
- bez poruchy lokálnej perfúzie
- nie v oblasti veľkých ciev
- nie nad kosťou
- pri meteorizme nie v oblasti hypochondria
- nie na miesto s priamym tlakom na senzor
- pri PDA preduktálne (krvnú vzorku odoberať preduktálne tiež)

Thomsen, 2012; Rubortone, De Carolis, Lacerenza et al. 2012  
Lacerenza, De Carolis, Fusco et al. 2008  
Bromley, 2008; Sitting, 2004; Thomsen, 2012

## Presnosť merania PtcCO<sub>2</sub>

odchýlka v meraní $0,106 \pm 1,7$ kPa	EtCO <sub>2</sub> is as reliable as TcCO <sub>2</sub> monitoring in ventilated <b>postsurgical neonates</b>	Tingay, et al., 2013
odchýlka v meraní $0,989 \pm 5,3$ kPa	Use of a Combined SpO <sub>2</sub> /PtcCO <sub>2</sub> Sensor in the <b>Delivery Room (ušný senzor)</b>	Ruborton e et. all., 2012
TcPCO <sub>2</sub> – PCO <sub>2</sub> : $0.4$ kPa (0.03–0.8) ( $p < 0.05$ )	Transcutaneous blood gas monitoring during <b>neonatal intensive care</b>	Kenneth et al., 2011
odchýlka v meraní $0,14 - 1,45$ kPa	Longtime performance and reliability of two different PtcCO <sub>2</sub> and SpO <sub>2</sub> sensors in neonates, <b>ušný senzor</b>	Bernet et all., 2008
<b>81% TcPCO<sub>2</sub> rozdiel do 1 kPa</b> oproti PaCO <sub>2</sub>	Monitoring of EtCO <sub>2</sub> and TcCO <sub>2</sub> during neonatal <b>transport</b>	Tingay, 2005
<b>PtcCO<sub>2</sub> a PaCO<sub>2</sub> korel. koeficient</b> $0,45$ (v 4. hod života)	Agreement of CO <sub>2</sub> Levels Measured by Arterial, Transcutaneous and End Tidal Methods in Preterm Infants $\leq 28$ W.G. (in the first 24 h.)	• Aliwalas et al., 2005

## ROZDIEL PtcCO<sub>2</sub> A PaCO<sub>2</sub> – senzor na ušnici



(Bernet-Buettiker, Ugarte, Frey, Hug, Baenziger, Weiss, 2005)

## Prospektívna štúdia porovnanie hodnôt CO<sub>2</sub> meranými transkutánne a hodnôt zistených v krvnej vzorke

### Ciele:

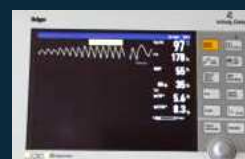
- Zistiť presnosť transkutánneho merania u novorodencov s rôznym postkoncepčným vekom a rôznou aktuálnou hmotnosťou
  - stanoviť **koreláciu**
  - overiť **vplyv vybraných faktorov** na koreláciu meraných hodnôt

## Súbor

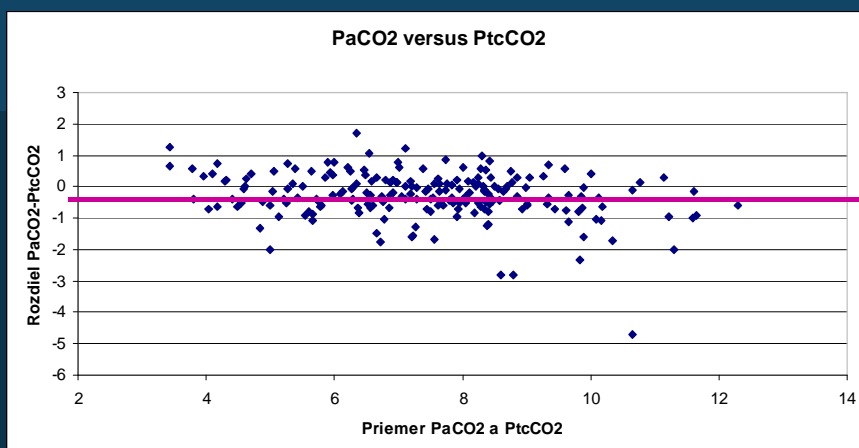
Počet meraní	celkom: 414 - <b>207</b> párových hodnôt; z toho: 97 u novorodencov s aktuálnou hmotnosťou pod 1000 g; 110 novorodencov ≥ 1000 g
Počet novorodencov	<b>29</b> ; 7 (24,14 %) dievčat a 22 (75,86 %) chlapcov
Pôrodná hmotnosť	MED 870 g (450 – 4230)
Aktuálna hmotnosť	<b>MED 1004 g (610 - 4230)</b>
Skupina novorodencov s aktuálnou hm. <1000 g	priemerná aktuálna hmotnosť 786±106 g počet párových meraní 97
Skupina novorodencov s aktuálnou hm. ≥1000 g	priemerná aktuálna hmotnosť 2123±727 g počet párových meraní 110
Gestačný vek	MED 27 týždňov (24 - 40)
Postkoncepčný vek	<b>MED 30 týždňov (25 - 41)</b>
Skupina novorodencov s postkoncepčným vekom <32t.	priemerný postkoncepčný vek 28±1,13 týždňa počet párových meraní 109
Skupina novorodencov s postkoncepčným vekom ≥32t.	priemerný postkoncepčný vek 36±1,88 týždňa počet párových meraní 98
Respiračná podpora	spontánne 13 (6,28%); CPAP 46 (22,22 %); UPV 148 (71,50 %)

## Protokol

- zjednotený postup práce všetkých sestier
- monitor: Infinity Delta Dräger
- technológia merania: Radiometer
- sonda neonatálna 8 mm TcO<sub>2</sub>/TcCO<sub>2</sub>
- teplota 42°C
- preliepanie á 3 hod (maximálne á 4 hod)
- kalibrácia á 8 hod

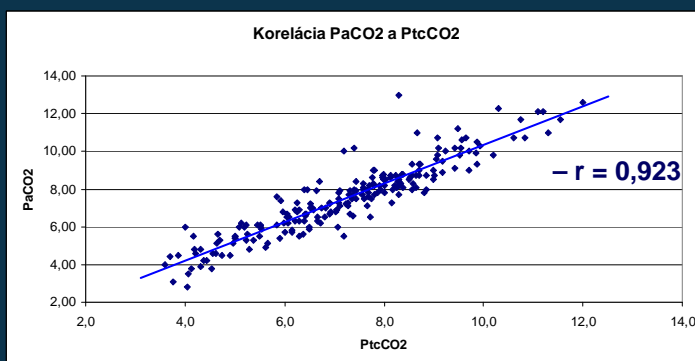


## Priemerná odchýlka v meraní



	Priemerná odchýlka	± 2SD
Rozdiel	-0,3	1,492

## Korelácia medzi transkutánnym meraním a hodnotami v krvnej vzorke



Dobrá korelácia:  
Tingay, 2013;  
Rubortone 2012;  
Bernet, 2008;

Ide o takmer dokonalú závislosť medzi sledovanými premennými PaCO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> (korelačný koeficient –  $r = 0,923$ ).

## Rozdiel v korelácii hodnôt PaCO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> v závislosti od aktuálnej hmotnosti novorodenca

Aktuálna hmotnosť	Odchýlka v meraní PaCO <sub>2</sub> – PtcCO <sub>2</sub>	2SD
< 1000 g	-0,38	1,782
≥ 1000 g	-0,19	1,160

p-hodnota	Hladina významnosti $\alpha$	Porovnanie
0,0897	0,05	$p > \alpha$

Thomsen, 2012:  
hmotnosť nemala  
vplyv na presnosť  
merania

Nezistili sme štatisticky významný rozdiel v korelácii hodnôt PaCO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> medzi pacientmi s aktuálnou hmotnosťou pod 1000 g a aktuálnou hmotnosťou 1000 a viac gramov.

**Aktuálna hmotnosť novorodenca nemá vplyv na presnosť merania PtcCO<sub>2</sub>.**

### Rozdiel v odchýlke merania PaCO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> v závislosti od postkoncepčného veku novorodenca

Postkoncepčný týždeň	Odchýlka v meraní PaCO <sub>2</sub> – PtcCO <sub>2</sub>	2SD	Interval	
28 a menej	-0,375	1,994	-2,369	1,619
29-32	-0,378	1,012	-1,390	0,634
33-36	-0,192	1,174	-1,366	0,982
37 a viac	-0,116	1,188	-1,304	1,072
interval < 32	-0,380	1,690	-2,070	1,310
interval ≥ 32	-0,160	1,180	-1,340	1,020

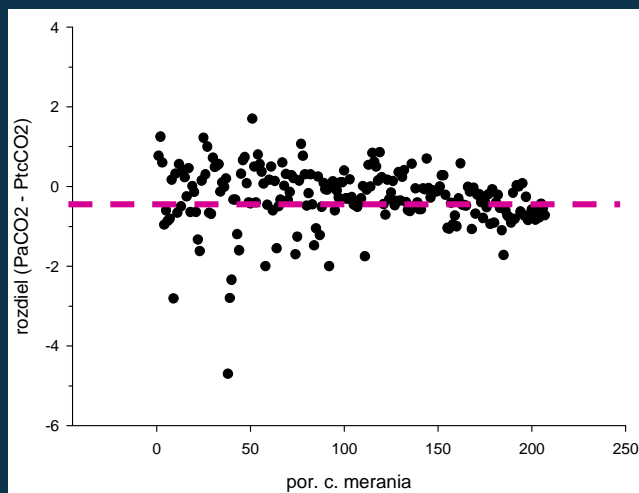
Rozdiel v odchýlke merania PaCO<sub>2</sub> – PtcCO<sub>2</sub> u novorodencov s postkoncepčným vekom < 32.t. bol vyšší ako ≥ 32t.

### Rozdiel v korelácii hodnôt PaCO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> v závislosti od postkoncepčného veku novorodenca

Postkoncepčný týždeň	Korelácia PaCO <sub>2</sub> /PtcCO <sub>2</sub>	p- hodnota
28 a menej	0,819	0,157
29-32	0,943	0,236
33-36	0,967	0,654
37 a viac	0,942	0,760

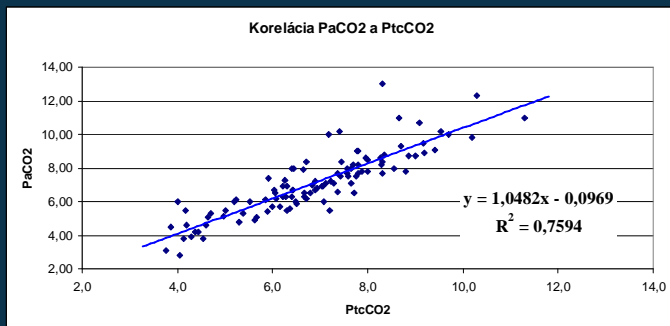
Rozdiel v korelácii hodnôt PaCO<sub>2</sub> – PtcCO<sub>2</sub> u novorodencov s postkoncepčným vekom bol vyšší u novorodencov ≤ 28. týždeň, **nebo však štatisticky významný.**

## Rozdiel v odchýlke merania v závislosti od početnosti meraní

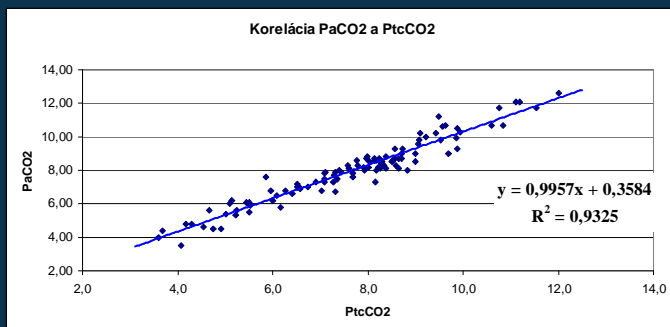


Presnosť merania sa počtom meraní vylepšuje

Úvodné  
merania  
1-100



Merania  
101-207





## Záver

- žiadne dieťa **nemalo poškodenie kože** meraním
- deti **neboli rušené** pre realizované transkutánne meranie
- transkutánne meranie viedlo **k znižovaniu počtu odberov krvi**
- väčšia odchýlka oproti krvnej vzorke bola u novorodencov s aktuálnou hmotnosťou nižšou ako 1000 g alebo postkoncepčným vekom nižším ako 32 týždňov, **rozdiel však nebol štatisticky významný**
- **vplyv na presnosť merania mali zručnosti sestier** ⇒ s postupujúcim časom sa znižovala odchýlka merania

## VÝSLEDKY METAANALÝZY REALIZOVANEJ GRADING OF RECOMMENDATIONS ASSESSMENT, DEVELOPMENT, AND EVALUATION

- **korelácia** PtcCO<sub>2</sub> s PaCO<sub>2</sub> je **dobrá**, je **odporúčané porovnanie** s krvnou vzorkou na začiatku ako i periodicky v priebehu meraní a ak sledované trendy nezodpovedajú vývoju klinického stavu (1A – silné odporúčanie, vysoký stupeň dôkazu) ⇒ PtcCO<sub>2</sub> je vhodné **využívať pri všetkých stavoch**, ktoré vyžadujú monitorovanie parametrov **ventilácie** (2B – stredný stupeň dôkazu),
- monitorovanie nie je presné a **nie je ho vhodné využívať** ak je **v mieste merania prítomný edém**, alebo je prítomný celkový edém u pacienta (2B – stredný stupeň dôkazu),
- **miesta naloženia sondy sa musia striedať** a sledovať, či nedochádza k termickému poškodeniu tkaniva v mieste merania (1C - silné odporúčanie, nízky stupeň dôkazu)
- PtcO<sub>2</sub> a PtcCO<sub>2</sub> môže byť využité na posúdenie adekvátnej tkanivovej perfúzie a monitorovanie reperfúzie tkanív (2B – stredný stupeň dôkazu)

(Restrepo, et al., 2012)

## Záver



- Pri dodržaní jednotných postupov je možné zabezpečiť presnosť v meraní ⇒ **edukovať o spôsobe transkutánného merania sestry pre ovplyvnenie presnosti získaných výsledkov**,
- Štúdiá potvrdila, totožne so zahraničnými publikáciami, že **transkutánne meranie CO<sub>2</sub>** je metóda, ktorá je u novorodencov **využiteľná a prínosná**.
- Tento postup nenahrádza monitorovanie PaCO<sub>2</sub> v krvnej vzorke, môže však priniesť **benefity** zo zníženého počtu **odberov krvi, vpichov a bolesti** a najmä **výhodu kontinuálneho sledovania oxidu uhličitého** a predchádzať tak komplikáciám s tým súvisiacim.

- novorodeneci s rizikom IVH
- s respiračnou tiesňou
- pri liečbe surfaktantom
- po ťažkej asfyxii
- PPHN
- pri podpornej alebo umelej pľúcnej ventilácii, po extubácii,
- pri chronických pľúcnych ochoreniach,
- pri ochoreniach spojených s výkyvmi alebo patologickými hodnotami PaCO<sub>2</sub>



**Transkutánne monitorovanie plynov by malo byť súčasťou starostlivosti na novorodeneckých jednotkách resuscitačnej a vysokošpecializovanej starostlivosti a mohlo by tak viesť k zvýšeniu kvality a bezpečnosti poskytovanej starostlivosti.**