

Çocuk acil servisine başvuran kritik hasta çocukların izleminde beyin ve somatik bölgesel doku oksijen saturasyonunun kullanımı: İleriye dönük tanımlayıcı bir çalışma

Use of cerebral and somatic regional tissue oxygen saturation in monitoring critically ill children who were admitted to the pediatric emergency department: A prospective descriptive study

Aykut ÇAĞLAR, Anıl ER, Emel ULUSOY, Fatma AKGÜL, Hale ÇİTLENBİK, Durgül YILMAZ, Murat DUMAN

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Çocuk Acil Bilim Dalı, İzmir, Türkiye

Öz

Amaç: Çocuk acil servise başvuran kritik hastaların takibinde kalp tepe atımı, solunum sayısı, arteriyel tansiyon basıncı, nabız oksimetri, idrar çıkışı ve laktat günümüzde kullanılan en önemli takip parametreleridir. Bu çalışmanın amacı, akut solunum yetmezliği ya da şok tablosu ile acil servise başvuran hastalarda beyin ve splanjnik bölgesel doku oksijenizasyonunun (rSO_2) takibinin rutin takip sistemlerine bir üstünlüğü olup olmadığını araştırmaktır.

Yöntem: Çocuk acil kliniğine Mayıs 2014-Mart 2016 tarihleri arasında başvuran, akut solunum yetmezliği ya da şok tablosunda olan hastalar prospektif olarak çalışmaya dahil edildi. Tüm hastaların, rutin takip parametrelerine (solunum sayısı, kalp tepe atımı, nabız oksimetri, arteriyel tansiyon basıncı) ek olarak, NIRS monitörü (INVOS 510°C serebral/somatik oksimetre Covidien, Mansfield, MA, USA) ile beyin ve splanjnik rSO_2 değerleri kaydedildi. Hastaların tedavi öncesi ve sonrası değerleri Wilcoxon Signed Rank testi kullanılarak karşılaştırıldı. İstatistiksel anlamlılık $p<0,05$ olarak kabul edildi.

Bulgular: Çalışmaya 15 hasta dahil edildi. Hastaların ortanca (ÇAA) yaşı 16,0 (10,0-66,0) ay idi. Solunum sayısı, kalp tepe atımı değerleri tedavi ile anlamlı olarak azalırken (sırasıyla $p=0,02$ ve $p=0,03$), SpO_2 ve $SrSO_2$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı yükselme gösterdi (sırasıyla $p=0,01$ ve $p=0,04$). Beyin rSO_2 değeri ve beyin/splanjnik rSO_2 oranı (BSOO)'nda anlamlı değişiklik görülmedi ($p>0,05$).

Sonuç: Bu çalışmada kritik hastalarda $SrSO_2$ değerinin tedavi sonrası anlamlı olarak artış gösterdiği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bölgesel doku oksijen saturasyonu, beyin/somatik rSO_2 oranı, çocuk, kritik hastalık, near infrared spektroskopisi

ABSTRACT

Objective: Heart rate, respiratory rate, arterial blood pressure, pulse oximetry, urine output, and lactate level are the most important parameters in the follow-up of the critically ill child who is admitted to the pediatric emergency department. The aim of this study is to determine if there is an advantage of follow-up with cerebral and splanchnic regional tissue saturation (rSO_2) over routine monitoring systems in children who applied to the pediatric emergency department with manifestations of acute respiratory failure or shock.

Method: Children admitted to pediatric emergency department between May 2014 and March 2016 with acute respiratory failure or shock were prospectively included into this study. The cerebral and splanchnic rSO_2 levels were recorded via NIRS monitor (INVOS 510°C cerebral/somatic oximetre Covidien, Mansfield, MA, USA) in addition to conventional monitoring parameters (heart rate, respiratory rate, pulse oximeter, and arterial blood pressure). Pre-, and post-treatment values of the patients were compared with Wilcoxon Signed Rank test. Statistical significance was accepted as $p<0.05$ for all tests.

Results: Fifteen children were included into this study. The median age of the patients was 16.0 (10.0-66.0) months. The respiratory rate and hearth rate decreased significantly ($p=0.02$ and $p=0.03$, respectively) whereas SpO_2 and splanchnic rSO_2 increased ($p=0.01$ and $p=0.04$, respectively). A significant difference was not seen in cerebral rSO_2 and cerebral/splanchnic rSO_2 ratio ($p<0.05$).

Conclusion: In this study, we showed that the splanchnic rSO_2 values in critically ill children increased after the treatment.

Keywords: Regional tissue oxygen saturation, cerebral/splanchnic rSO_2 ratio, child, critical illness, near infrared spectroscopy

Alındığı tarih: 03.05.2018

Kabul tarihi: 29.06.2018

Yazışma adresi: Uzm. Dr. Aykut Çağlar, İsmet Kaptan Mah, Sezer Doğan Sok. No:11, Konak - 35210 - İzmir - Türkiye
e-mail: aykutcağlar@gmail.com

GİRİŞ

Acil servise başvuran çocuklar stabil durumdan yaşamı tehdit edici duruma kadar birçok şekilde karşımıza çıkabilmektedir. Kardiyopulmoner yetmezlik ya da arest gelişen hastaların ortak noktası, akut solunum yetmezliği (ASY) ya da şok tablosunun erken dönemde tanınmaması ve ilk tedavide gecikme olmasıdır ⁽¹⁾. Gerek ASY gerekse de şok tablosunda temel patoloji, dokunun gereksinimi olan oksijen ve diğer metabolitlerin sağlanamamasıdır. Bu nedenle günümüzde kritik hastadaki tedavi stratejileri dokuya oksijen sunumunu arttırmak üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu hastaların acile ilk geldiği andan itibaren yakın takibi, hem tanı hem de tedavi yanıtını değerlendirmede oldukça önemlidir. Kalp tepe atımı, solunum sayısı, tansiyon basıncı, nabız oksimetri (SpO₂) idrar çıkışı, santral venöz basınç, miks venöz oksijen saturasyonu ve laktat günümüzde kullanılan en önemli takip parametreleridir ⁽²⁾.

Yakın kızılötesi spektroskopisi (Near infrared spektroskopi: NIRS) cihazı, günümüzde beyin doku oksijenizasyonu ve somatik doku oksijenizasyonunu gösterebilen ve yatak başında non-invaziv olarak kullanılabilen bir cihazdır. Çalışma prensibi her ne kadar nabız oksimetre cihazlarına benzese de aralarındaki temel fark NIRS cihazının nabız oksimetrenin aksine pulsasyon gösteren bir dokuya gereksinim duymamasıdır. Cilde yapıştırılan bir sensör aracılığı ile kızıl ötesi ışınların, 2-3 cm derinlikteki dokuda, oksihemoglobin, deoksihemoglobin ve sitokrom aa₃ gibi kromoforlar tarafından absorpsiyon miktarları ölçülür ve bölgesel doku oksijenizasyon (rSO₂) değeri Beer Lambert yasasına göre hesaplanır. Bu değer, ölçüm yapılan dokudaki arteriyel, venöz ve kapiller oksijenizasyonu yansıtmaktadır ⁽³⁾. Beyin rSO₂ (BrSO₂) günümüzde özellikle kardiyovasküler cerrahi ameliyatları sırasında sık olarak kullanılmasına rağmen, kardiyopulmoner canlandırma, post kardiyak arrest bakım, şok, kompartman sendromu, nekrotizan enterokolit gibi birçok alanda çalışmalar devam etmektedir ⁽⁴⁾. Kritik hastalarda kompensasyon mekanizmaları nedeni ile beyin perfüzyonu korunmakta ve mezenter perfüzyonu daha önce bozulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ASY ya da şok tablosu ile acil servise başvuran

hastalarda beyin ve mezenter NIRS monitörizasyonunun, klinik tabloyu tanımlama ve tedavi etkinliğini değerlendirmedeki yerini ortaya koymak ve SrSO₂ ve BrSO₂ takibinin rutin takip sistemlerine bir üstünlüğü olup olmadığını araştırmaktır.

GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmaya Mayıs 2014-Mart 2016 tarihleri arasında Çocuk Acil Kliniğine akut solunum yetmezliği ya da şok tablosunda başvuran, 1 ay-18 yaş arası hastalar dâhil edildi. Akut solunum yetmezliği olarak solunum eforunda artma, solunum seslerinde azalma, oda havasında siyanoz, hırıltılı solunum, apne, kaslarda hipotoni ya da bilinç değişikliği gibi klinik bulgulara ilave olarak kan gazında CO₂ retansiyonu ya da hipoksi varlığı kabul edildi ⁽⁵⁾. Dokuya oksijen sunumunun azaldığını gösteren klinik ve laboratuvar ölçütler ile şok tanısı kondu ⁽⁵⁾. Siyanotik konjenital kalp hastalığı, kronik solunum yetmezliği gibi kronik hipoksiye neden olabilen hastalıklar çalışmaya alınmadı. Hastalar Acil Servise alındığı andan itibaren acil hemşiresi tarafından rutin olarak uygulanan elektrokardiyogram (EKG), SpO₂ ve nabız basıncı ölçümlerine ilaveten NIRS ile monitörize edildi. Tüm hastaların acile başvuru anında solunum sayısı (/dk.), kalp tepe atımı (/dk.), SpO₂ (%), sistolik, diyastolik ve ortalama nabız basınçları (mmHg) kaydedildi. Hastaların klinik durumu ile bilgiler, uygulanan sıvı, inotrop tedavileri, solunum desteği alıp almadığı (entübasyon, non-invaziv mekanik ventilasyon), hastane yatış süresi (HYS), yoğun bakım yatış süresi (YBYS) ve mortalite durumu kaydedildi. Tüm hastaların kan gazı ve laktat (mmol/L) değerleri not edildi.

Yakın kızılötesi spektroskopi ölçümü için INVOS 510°C serebral/somatik oximetre (Covidien, Mansfield, MA, USA) cihazı kullanıldı. Üretici firma tarafından sağlanan kendinden yapışkan probalar serebral ölçüm için sağ ve sol frontal bölgeye cilt temizliği sonrası yerleştirildi. Mezenter perfüzyonu için göbek çukurunun hemen altına orta hatta olacak şekilde yerleştirildi ⁽³⁾. Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Klinik Araştırma Etik Kurul Komitesi tarafından onaylanmış ve tüm hastalardan çalışma öncesi aydınlatılmış onam formu alınmıştır.

İstatistiksel metot

İstatistiksel analiz SPSS 23.0 (IBM Corp. Armonk, NY, USA) programı kullanılarak yapıldı. Sayısal değerler medyan ve çeyrekler arası aralık (ÇAA) 25-75 olarak verildi. Tedavi öncesi ve sonrası değerlerin karşılaştırmasında Wilcoxon Signed Ranks testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

BULGULAR

Çalışmaya 15 hasta dâhil edildi. Tüm hastaların demografik ve klinik özelliklerini gösteren bulgular Tablo 1’de özetlenmiştir. Hastaların ortanca (ÇAA) yaşı 16,0 (10,0-66,0) ay idi. Erkek/kız oranı 2:1’di. Başvuru anındaki ortanca GKS değerleri 11,0 (5,0-15,0) idi. Tüm hastaların başvuru anında kaydedilen kan gazı değerleri ise Tablo 2’de özetlenmiştir. Hastaların 4’ünde (%26,7) inotrop tedavi (adrenalin ve dopamin), 2’sinde (%13,3) diüretik tedavi (furosemid) kullanıldı. Ayrıca 3 (%20) hastada non-invaziv ventilasyon gerekirken, 10 (%66,7) hastada invaziv mekanik ventilasyon uygulaması gerekli oldu. Hastaların ilk tedaviler ile stabilizasyonundan öncesi ve sonrası vital bulguları ve de rSO_2 değerlerinin kar-

Tablo 1. Tüm hastaların demografik verileri ve klinik durumları.

Parametreler	
Yaş (ortanca/ÇAA), (ay)	16,0 (10,0-66,0)
Cinsiyet (n)	
Erkek	10 (66,7)
Kız	5 (33,3)
Klinik durum (n)	
Dolaşım yetmezliği	11 (73,3)
Akut solunum yetmezliği	10 (66,6)
Kardiyopulmoner yetmezlik	6 (40,0)
Travma (n)	4 (26,7)
GKS, ortanca (ÇAA)	11,0 (5,0-15,0)
Başlangıç kardiyak ritmi(/dk.)	
Normal sinüs ritmi	2 (13,3)
Sinüs taşikardisi	13 (86,7)
Hastane yatış süresi, gün (ortanca/ÇAA)	9,0 (6,0-26,0)
PYBÜ yatış süresi, gün (ortanca/ÇAA)	3,0 (2,0-9,0)
Prognoz (n)	
Sağ kalmı	13 (86,7)
Ölüm	2 (13,3)

ÇAA: Çeyrekler arası aralık, GKS: Glasgow Koma Skalası, PYBÜ: Pediatrik Yoğun Bakım Ünitesi

şılaştırması Tablo 3’te özetlenmiştir. Özellikle solunum sayısı, kalp tepe atımı değerleri tedavi ile anlamlı olarak azalırken (sırasıyla $p=0,02$ ve $p=0,03$), SpO_2 ve $SrSO_2$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı yükselme gösterdi (sırasıyla $p=0,01$ ve $p=0,04$). Beyin rSO_2 değeri ve Beyin/Splanknik rSO_2 oranı (BSOO)’nda anlamlı bir değişme görülmedi ($p>0,05$).

Tablo 2. Tüm hastaların başvuru anındaki kan gazı değerleri.

Parametreler	Tüm hastalar n=15
pH*	7,19 ($\pm 0,13$)
pCO_2	46,1 (33,6-66,5)
HCO_3^-	17,7 (14,0-19,0)
Laktat	2,5 (0,9-6,9)
Baz açığı	-6,7 (-12,2--4,9)

Veriler ortanca/Çeyrekler arası aralık olarak verilmiştir.

*Veriler ortalama \pm SS olarak verilmiştir.

Tablo 3. İlk tedaviden önce ve sonra vital bulgu ve rSO_2 değerlerinin karşılaştırması.

Parametreler	Tedavi öncesi	Tedavi sonrası	p^a
Solunum sayısı (/dk.)	44,0 (31,0-57,0)	33,5 (27,036,2)	0,02
Kalp tepe atımı (/dk.)	155,0 (116,0-176,0)	146,0 (131,0-150,0)	0,03
OAB (mmHg)	92,0 (53,0-103,0)	86,0 (63,0-93,0)	0,59
SpO_2 (%)	93,0 (78,7-98,2)	99,0 (96,5-100,0)	0,01
$BrSO_2$ (%)	62,5 (46,0-87,2)	61,5 (51,5-83,9)	0,46
$SrSO_2$ (%)	68,0 (43,4-81,5)	72,7 (53,8-81,5)	0,04
BSOO (%)	1,14 (0,7-1,3)	0,9 (0,8-1,0)	0,34

OAB: Ortalama arteriyel basınç, $BrSO_2$: Bölgesel beyin bölgesel oksijen saturasyonu, $SrSO_2$: Bölgesel splanknik oksijen saturasyonu, BSOO: Beyin/Splanknik Oksijen Oranı

Veriler ortanca /Çeyrekler arası aralık olarak verilmiştir.

^aGrupların karşılaştırılmasında Wilcoxon Signed Ranks testi kullanılmıştır.

TARTIŞMA

Kritik hastaların erken tanınması doğru ve etkin bir müdahalenin en önemli basamağıdır. Dokuya oksijen sunumunun azaldığı durumlarda ilk fizyolojik yanıt, splanknik bölgede vazokonstriksiyon ile kalp ve beyin gibi yaşamsal organların perfüzyonunu

stabil tutulmaktadır (6). Price ve ark. (7) tarafından yapılan çalışmada, kan hacminin %15 azaldığı durumlarda splanknik bölgenin perfüzyonunun yaklaşık olarak %40 düştüğü ortaya koyulmuştur. Çalışmamızda, bu mekanizmadan hareketle, kritik hastalarda SrSO₂ ve BrSO₂ takibinin rutin takip sistemlerine bir üstünlüğü olup olmadığını araştırmayı hedefledik.

Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların çoğunluğunu yenidoğan ve kardiyak cerrahi sonrası hastaların oluşturduğu görülmektedir (6). Tweddell ve ark. (8) NIRS monitörizasyonunun postoperatif bakımda standart bir uygulama olması gerektiğinin savunurken literatürde hem destekleyici hem de karşıt yönde çalışmalar bulunmaktadır (9). Li ve ark. (10) Norwood operasyonunun hemen sonrasında ölçülen BrSO₂ ve SrSO₂ değerlerinin hemodinamik değişiklikler ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Buna karşın, Bhalala ve ark. (11) yaptıkları çalışmada, renal ya da splanknik rSO₂ takibinin düşük kardiyak outputu göstermede etkili bir yöntem olmadığını ortaya koymuşlardır. DeWitt ve ark. (12) tarafından yapılan çalışmada ise, özellikle tek ventrikül fizyolojisinde olan yenidoğanların postoperatif takiplerinde düşük SrSO₂ değerlerinin nekrotizan enterokolit gelişimi ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

Özellikle yeni doğanlarda enteral beslenme sonrası mezenterik perfüzyonun değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (13-17). Bunlar arasında en dikkat çeken ve Fortune ve ark. (17) tarafından yapılan çalışmada, SrSO₂ değeri ve BSOO'nun 0,75'in altında olması nekrotizan enterokolit gelişimini öngörmeye anlamlı olduğunu gösterilmiştir.

Kritik hastalarda BrSO₂ takibi ile ilgili çalışmalar olmasına karşın, BSOO'nun bakıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır (18,19). Çalışmamızda, BrSO₂'nin korunduğu ve tedavi ile anlamlı değişiklik göstermediği, KTA, SS, SpO₂ değerleri ve ek olarak SrSO₂ değerinin anlamlı olarak tedavi ile düzeldiği görülmüştür. Beyin/splanknik rSO₂ oranında ise anlamlı değişiklik saptanmamıştır. Hanson ve ark.'nın (18) akut dehidrate çocuklar üzerinde yaptığı araştırmada da orta dehidrate hastalarda, çalışmamızı destekler nitelikte BrSO₂'nin korunduğu ve rehidrasyon ile somatik rSO₂ değerinin arttığı ortaya koyulmuştur.

Çocuklarda normal rSO₂ değerlerinin bilinmemesi

çalışma için kısıtlılık oluştursa da takipte anlık değerler yerine trend takibinin önemli olduğu literatürde vurgulanmıştır (10). Çalışmamızın en önemli kısıtlayıcı yönü ise hasta sayısının az ve varyansın çok olmasıydı. İleride yapılacak olan daha geniş serili çalışmaların kritik hastalarda NIRS kullanımı konusunda daha aydınlatıcı bilgiler vereceğini düşünüyoruz.

Sonuç olarak, çalışmamızda, kritik hastalarda SrSO₂ değerinin tedavi sonrası anlamlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Kritik hastalarda NIRS monitorizasyonunun, uygulanan tedavinin etkinliği ve yönlendirmedeki yerinin, hasta prognozunu öngörmeye öneminin ortaya konulması için daha geniş olgu serilerinde yapılacak çalışmalara gereksinim vardır.

KAYNAKLAR

1. Topjian AA, Berg RA, Nadkarni VM. Advances in recognition, resuscitation, and stabilization of the critically ill child. *Pediatric clinics of North America*. 2013;60:605-20. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2013.02.014>
2. Mtaweh H, Trakas EV, Su E, Carcillo JA, Aneja RK. Advances in monitoring and management of shock. *Pediatric clinics of North America*. 2013;60:641-54. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2013.02.013>
3. Marin T, Moore J. Understanding near-infrared spectroscopy. *Adv Neonatal Care*. 2011;11:382-8. <https://doi.org/10.1097/ANC.0b013e3182337ebb>
4. Drayna PC, Abramo TJ, Estrada C. Near-infrared spectroscopy in the critical setting. *Pediatric emergency care* 2011;27:432-9; quiz 40-2. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e3182188442>
5. Kleinman ME, Chameides L, Schexnayder SM, Samson RA, Hazinski MF, et al. Part 14: Pediatric Advanced Life Support. 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. 2010;122:S876-S908.
6. Bailey SM, Mally PV. Review of splanchnic oximetry in clinical medicine. *Journal of Biomedical Optics*. 2016;21:091306. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.21.9.091306>
7. Price HL, Deutsch S, Marshall BE, Stephen GW, Behar MG, et al. Hemodynamic and metabolic effects of hemorrhage in man, with particular reference to the splanchnic circulation. *Circulation Research*. 1966;18:469-74. <https://doi.org/10.1161/01.RES.18.5.469>
8. Tweddell JS, Ghanayem NS, Hoffman GM. Pro: NIRS is "standard of care" for postoperative management. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery. Pediatric Cardiac Surgery Annual*. 2010;13:44-50. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2010.02.008>
9. Hirsch JC, Charpie JR, Ohye RG, Gurney JG. Near infrared spectroscopy (NIRS) should not be standard of care for postoperative management. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery. Pediatric Cardiac Surgery Annual*.

- 2010;13:51-4.
<https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2010.01.005>
10. Li J, Van Arsdell GS, Zhang G, Cai S, Humpl T, et al. Assessment of the relationship between cerebral and splanchnic oxygen saturations measured by near-infrared spectroscopy and direct measurements of systemic haemodynamic variables and oxygen transport after the Norwood procedure. *Heart*. 2006;92:1678-85.
<https://doi.org/10.1136/hrt.2005.087270>
 11. Bhalala US, Nishisaki A, McQueen D, Bird GL, Morrison WE, et al. Change in regional (somatic) near-infrared spectroscopy is not a useful indicator of clinically detectable low cardiac output in children after surgery for congenital heart defects. *Pediatric critical care medicine: a journal of the Society of Critical Care Medicine and the World Federation of Pediatric Intensive and Critical Care Societies*. 2012;13:529-34.
<https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3182389531>
 12. DeWitt AG, Charpie JR, Donohue JE, Yu S, Owens GE. Splanchnic near-infrared spectroscopy and risk of necrotizing enterocolitis after neonatal heart surgery. *Pediatr Cardiol*. 2014;35:1286-94.
<https://doi.org/10.1007/s00246-014-0931-5>
 13. Marin T, Josephson CD, Kosmetatos N, Higgins M, Moore JE. Feeding preterm infants during red blood cell transfusion is associated with a decline in postprandial mesenteric oxygenation. *The Journal of Pediatrics*. 2014;165:464-71 e1.
 14. Dave V, Brion LP, Campbell DE, Scheiner M, Raab C, et al. Splanchnic tissue oxygenation, but not brain tissue oxygenation, increases after feeds in stable preterm neonates tolerating full bolus orogastric feeding. *Journal of perinatology: official Journal of the California Perinatal Association*. 2009;29:213-8.
<https://doi.org/10.1038/jp.2008.189>
 15. Dani C, Corsini I, Generoso M, Gozzini E, Bianconi T, et al. Splanchnic Tissue Oxygenation for Predicting Feeding Tolerance in Preterm Infants. *JPEN Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2015;39:935-40.
<https://doi.org/10.1177/0148607114538671>
 16. Gillam-Krakauer M, Cochran CM, Slaughter JC, Polavarapu S, McElroy SJ, et al. Correlation of abdominal rSO₂ with superior mesenteric artery velocities in preterm infants. *Journal of perinatology: official journal of the California Perinatal Association*. 2013;33:609-12.
<https://doi.org/10.1038/jp.2013.3>
 17. Fortune PM, Wagstaff M, Petros AJ. Cerebro-splanchnic oxygenation ratio (CSOR) using near infrared spectroscopy may be able to predict splanchnic ischaemia in neonates. *Intensive Care Medicine*. 2001;27:1401-7.
<https://doi.org/10.1007/s001340100994>
 18. Hanson SJ, Berens RJ, Havens PL, Kim MK, Hoffman GM. Effect of volume resuscitation on regional perfusion in dehydrated pediatric patients as measured by two-site near-infrared spectroscopy. *Pediatric Emergency Care*. 2009;25:150-3.
<https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e31819a7f60>
 19. Kalkan A, Bilir O, Ersunan G, Ozel D, Tas M, et al. Abdominal oxygen saturation for monitoring return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest using near infrared spectrophotometry. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2015;33:344-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ajem.2014.11.029>