



ORIGINAL

## Evaluación de la perfusión tisular periférica mediante láser Doppler en niños en estado crítico

A. García-Figueruelo<sup>a,b</sup>, J. Urbano<sup>a,b</sup>, M. Botrán<sup>a,b</sup>, R. González-Cortés<sup>a,b</sup>,  
M.J. Solana<sup>a,b</sup>, J. López-González<sup>a,b</sup> y J. López-Herce<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Cuidados Intensivos Pediátricos, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Madrid, España

<sup>b</sup> Instituto de Investigación, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Red de Salud Materno Infantil y del Desarrollo (RedSAMID), Madrid, España

Recibido el 17 de mayo de 2012; aceptado el 22 de septiembre de 2012

Disponible en Internet el 12 de noviembre de 2012

### PALABRAS CLAVE

Perfusión tisular;  
Láser Doppler;  
Shock;  
Cuidados intensivos  
pediátricos;  
Niños en estado  
crítico

### Resumen

**Objetivo:** Analizar el flujo tisular cutáneo en diferentes localizaciones en niños en estado crítico.

**Pacientes y métodos:** Se realizó un estudio prospectivo observacional en 41 niños críticamente enfermos, con una edad mediana de 12 meses y un peso de 8,2 kg. Se midió el flujo tisular cutáneo mediante láser Doppler de forma consecutiva en la planta del pie, el antebrazo, el muslo y el hipocondrio, y se estudió su correlación con variables demográficas, hemodinámicas y lactato.

**Resultados:** Se estudiaron 144 mediciones. El flujo tisular fue de  $3,2 \pm 2,2$  ml/min/100 g de tejido. Existió una correlación moderada del flujo tisular entre las localizaciones centrales; abdomen-brazo ( $r^2: 0,574$ ;  $p=0,001$ ); abdomen-muslo ( $r^2: 0,423$ ;  $p=0,002$ ) y muslo-brazo ( $r^2: 0,703$ ;  $p<0,000$ ), pero no con la periférica (planta del pie). Los límites de concordancia entre los lugares de medición fueron amplios (rango de 6,1 a  $-2,5$  ml/min/100 g). Existió una correlación leve-moderada del flujo tisular de la planta del pie con el peso ( $-0,355$ ;  $p=0,039$ ), la edad ( $-0,343$ ;  $p=0,044$ ), la temperatura periférica ( $0,503$ ;  $p=0,017$ ) y el índice de inotrópico ( $-0,443$ ;  $p=0,008$ ).

**Conclusiones:** El flujo tisular en la planta del pie se correlaciona con el peso, la edad, la temperatura periférica y el índice inotrópico. Son necesarios estudios que analicen la utilidad del flujo tisular para valorar la perfusión periférica en situaciones de shock.

© 2012 Asociación Española de Pediatría. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: pielvi@hotmail.com (J. López-Herce).

**KEYWORDS**

Tissue perfusion;  
Laser Doppler;  
Shock;  
Pediatric intensive  
care;  
Critically ill children

**Use of laser Doppler to assess peripheral tissue perfusion in critically ill children****Abstract**

*Objective:* To analyze skin tissue perfusion at different sites in critically ill children.

*Patients and methods:* A prospective observational study was performed on 41 critically ill children with a median age of 12 months and weight of 8.2 kg. Skin tissue flow was measured in each patient using laser Doppler consecutively in the foot, forearm, thigh and hypochondrium, and its association with demographic and hemodynamic variables, as well as lactate and inotropic index, was analyzed.

*Results:* A total of 144 tissue flow measurements were made, with a median flow of  $3.2 \pm 2.2$  ml/min/100 g tissue. There was a moderate correlation between the tissue flow measured in central locations, abdomen-arm ( $r^2: 0.574, P=.001$ ), abdomen-thigh ( $r^2: 0.423, P=.002$ ) and thigh-arm ( $r^2: 0.703, P<.000$ ), but not with the peripheral measurements (sole of the foot). The limits of agreement, measured between the different locations, were wide (range 6.1 to  $-2.5$  ml/min/100 g). There was a slight-moderate correlation between the flow in the sole of the foot with weight ( $-0.355, P=.039$ ), age ( $-0.343, P=.044$ ), peripheral temperature ( $0.503, P=.017$ ) and inotropic index ( $-0.443, P=.008$ ).

*Conclusions:* Tissue flow in the foot correlates with weight, age, peripheral temperature and inotropic index. Further studies are needed to analyze its usefulness in assessing peripheral perfusion in situations of shock.

© 2012 Asociación Española de Pediatría. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

**Introducción**

La perfusión tisular es uno de los parámetros más importantes para estimar el estado de la microcirculación y el aporte de sangre y oxígeno a los tejidos. La valoración de la perfusión periférica es esencial para la detección precoz y el control del tratamiento en el shock<sup>1,2</sup>.

No existen métodos no invasivos que permitan medir de forma objetiva y cuantificar la perfusión tisular periférica, y por ello, en la práctica clínica, la valoración de la perfusión tisular periférica en los niños se realiza por métodos indirectos y/o poco objetivos, como la medición del tiempo del relleno capilar o el gradiente de temperatura central-periférica<sup>2-4</sup>. Recientemente, se han propuesto otros métodos, como la espectrometría cercana al infrarrojo<sup>5</sup>, el índice de perfusión tisular derivado del pulsioxímetro y la valoración de la microcirculación sublingual con microscopía<sup>6</sup>.

El láser Doppler es un método no invasivo que ha demostrado su capacidad para medir el flujo tisular y detectar cambios en la perfusión tisular en diferentes ámbitos. En neurocirugía se ha utilizado intraoperatoriamente para valorar la reperfusión tras la reparación de aneurismas<sup>7,8</sup>, y para la detección de hiperperfusión tras la cirugía en la enfermedad de Moyamoya<sup>9,10</sup>. También se ha utilizado en dermatología para cuantificar el flujo sanguíneo de la piel en heridas, colgajos e injertos<sup>11,12</sup> y para estimar la profundidad de las quemaduras<sup>13,14</sup>, y en cirugía plástica para valorar la perfusión tisular de los colgajos de tejido autólogo<sup>15-18</sup>.

No existen trabajos que hayan estudiado los valores normales de flujo tisular en niños sanos. Tampoco se conoce si el láser Doppler es capaz de valorar la perfusión tisular cutánea en niños críticamente enfermos, ni si puede detectar de forma precoz estados de hipoperfusión en el shock y servir para valorar su evolución.

El objetivo de este estudio ha sido estudiar los valores de flujo tisular cutáneo medido mediante láser Doppler en diferentes localizaciones anatómicas en niños críticamente enfermos como estudio preliminar antes de valorar su utilidad en estados de hipoperfusión.

**Pacientes y métodos**

Se realizó un estudio prospectivo observacional en el que se incluyó a 41 niños críticamente enfermos, previo consentimiento informado de sus padres. El 66% eran varones, con una mediana de edad de 12 meses (rango 0-204 meses) y una mediana de peso de 8,2 kg (rango 2,7-74 kg). El 85,4% de los pacientes eran cardiopatas, un 7,3% ingresaron por cuadros de insuficiencia respiratoria y 2 pacientes ingresaron para vigilancia neurológica (síndrome del niño zarandeado, tetraplejía). Ninguno de ellos estaba en situación de shock en el momento del estudio (definido como una presión arterial media < 2 desviaciones típicas de la normal para su edad, después de una expansión de al menos 20 ml/kg y/o infusión de dopamina > 15 µg/kg/min y/o adrenalina o noradrenalina > 0,3 µg/kg/min). Para la medición del flujo tisular se utilizó el monitor láser Doppler BLF21A® (Transonic, EE. UU.), que mide el flujo en ml/min/por 100 g de tejido, lo que equivale a 1 mm<sup>3</sup> de tejido. Este monitor tiene diferentes sensores según el tejido en el que se mida el flujo tisular. En este estudio se utilizó el sensor R-ABLPHR, de ángulo recto, que se fijó sobre la piel desnuda y se sujetó con un apósito de gasa. Tras 4-5 min de estabilización, se leyeron los resultados. Se realizaron mediciones en 4 localizaciones consecutivas: planta del pie, muslo, brazo y abdomen (en el hipocóndrio derecho). Además, se recogieron datos demográficos (edad, sexo, diagnóstico), variables hemodinámicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, presión venosa central,

**Tabla 1** Valores demográficos, hemodinámicos y flujo sanguíneo cutáneo

	Mediana	Rango
Edad (meses)	12	0,5-204
Peso (kg)	8,3	2,7-74
Flujo tisular pie (ml/min/100 g)	2,4	0,5-23,5
Flujo tisular muslo (ml/min/100 g)	1,7	0,5-7
Flujo tisular brazo (ml/min/100 g)	1,9	0,8-11,2
Flujo tisular abdomen (ml/min/100 g)	3,8	1,6-12
FC (lpm)	132	93-182
PAM (mmHg)	61	44-95
PVC (mmHg)	11	5-24
Presión de perfusión (PAM-PVC)	46	31-83
Temperatura periférica (°C)	30,7	21,2-37,1
Gradiente de temperatura (°C)	6,9	-2,2-13,8
Láctico (mmol/l)	1,1	0,6-8,4
Índice inotrópico	14,5	0-30

temperatura central, lactato) y datos de tratamiento (índice inotrópico).

Los datos se analizaron estadísticamente mediante el programa SPSS 18.0. La correlación entre las variables se estudió mediante la correlación de Spearman y correlación intraclase, y la concordancia mediante gráficos de Bland-Altman. Se consideró significativa una  $p < 0,05$ .

## Resultados

Se realizaron 144 mediciones en los 41 pacientes. El flujo tisular medio fue de  $3,2 \pm 2,2$  ml/min/100g de tejido. La [tabla 1](#) muestra los valores demográficos, de flujo y hemodinámicos de los pacientes.

En la [tabla 2](#) se muestran la correlación y la concordancia del flujo tisular entre las diferentes localizaciones. Existió una correlación moderada estadísticamente significativa entre las localizaciones centrales (abdomen, muslo y brazo). No existió correlación entre el flujo tisular de la planta del pie con el del resto de las localizaciones.

Tampoco se encontró una buena concordancia entre las medidas en las 4 localizaciones, existiendo unos límites amplios de concordancia ([tabla 2](#)).

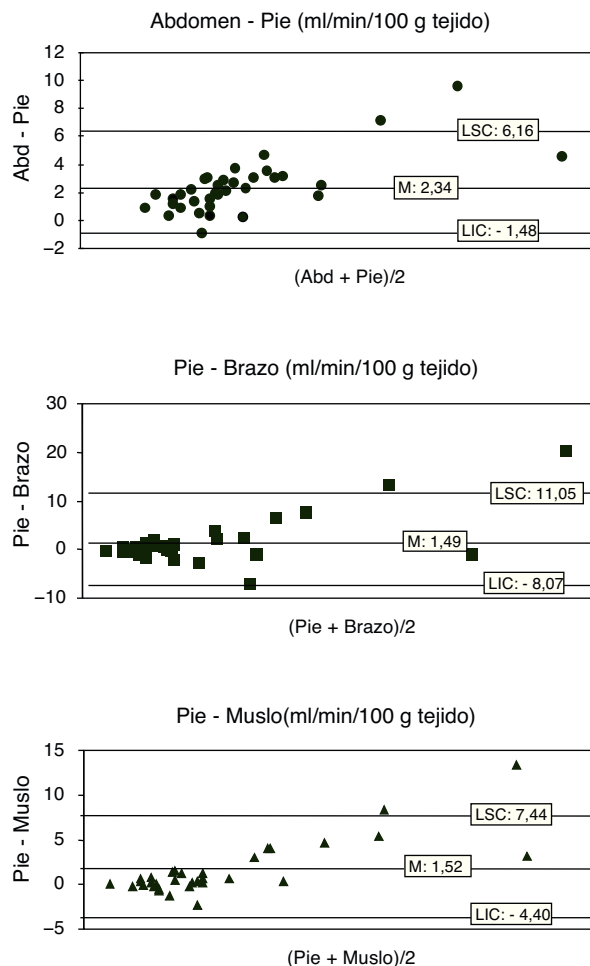
Las [figuras 1 y 2](#) muestran las gráficas de concordancia de Bland-Altman. Existieron unos márgenes de concordancia muy elevados entre las diferentes medidas de flujo.

La [tabla 3](#) muestra la correlación entre el flujo tisular en las diferentes localizaciones y los parámetros hemodinámicos y de tratamiento. Se encontró una correlación moderada estadísticamente significativa entre el flujo tisular en la planta del pie y la temperatura, e inversamente proporcional con la edad, el peso y el índice inotrópico.

El flujo tisular en las localizaciones centrales no se correlacionó con ninguna de las medidas hemodinámicas, excepto el flujo tisular en el abdomen con el lactato.

## Discusión

Los parámetros hemodinámicos habituales (frecuencia cardiaca, presión arterial, presión venosa central, gasto cardiaco) solo ofrecen una valoración global del estado



**Figura 1** Concordancia (gráfico de Bland-Altman) del flujo tisular en la planta del pie con el resto de las localizaciones. LIC: límite inferior de concordancia; LSC: límite superior de concordancia; M: media.

hemodinámico del paciente y no permiten estimar el estado de la perfusión de los órganos y tejidos<sup>19</sup>. En la práctica clínica, la perfusión tisular se estima por parámetros indirectos, como el estado de consciencia, la diuresis y el relleno capilar, y por la medición del lactato y de la relación lactato/piruvato, que permiten detectar estados ya establecidos de hipoperfusión tisular sistémica<sup>20</sup>.

La disminución de la perfusión tisular periférica y esplácnica es uno de los primeros signos que aparecen en el shock y uno de los últimos en recuperarse<sup>1,2</sup>, por ello su detección precoz puede ser de gran importancia. La disponibilidad de un método no invasivo, cuantitativo, fácil de utilizar y sensible a los cambios de perfusión podría facilitar la detección precoz del shock y servir para controlar el efecto del tratamiento.

La medición del flujo tisular cutáneo mediante láser Doppler podría cumplir estos requisitos.

Este es el primer estudio que ha analizado el flujo tisular cutáneo en diferentes localizaciones en niños críticamente enfermos. Nuestros resultados muestran que existe una moderada correlación sin buena concordancia, entre las diferentes localizaciones centrales (abdomen, muslo y brazo), pero que no existe correlación entre ellas con la

**Tabla 2** Correlación y concordancia del flujo tisular entre las diferentes localizaciones

	Correlación intraclase		Concordancia		
	r	P	Media	Límite superior	Límite inferior
Abdomen-pie	0,225	0,232	-1,09	6,43	-8,61
Pie-brazo	0,259	0,192	1,49	11,05	-8,07
Pie-muslo	0,364	0,069	1,52	7,44	-4,40
Abdomen-brazo	0,574	0,001	1,73	6,18	-2,72
Abdomen-muslo	0,423	0,002	2,34	6,16	-1,48
Brazo-muslo	0,703	0,000	0,62	3,75	-2,50

r: correlación.

**Tabla 3** Correlación del flujo tisular con los parámetros hemodinámicos y de tratamiento

Correlación de Spearman	Planta pie	Abdomen	Brazo	Pierna
<i>Peso (kg)</i>				
r	-0,355	-0,268	-0,061	-0,176
p	0,039	0,113	0,726	0,299
<i>Edad (meses)</i>				
r	-0,343	-0,198	-0,113	-0,126
p	0,044	0,246	0,519	0,450
<i>Temperatura periférica (°C)</i>				
r	0,503	0,132	0,210	0,265
p	0,017	0,567	0,361	0,210
<i>Temperatura diferencial (central-periférica)</i>				
r	-0,405	-0,102	-0,425	-0,366
p	0,076	0,677	0,070	0,094
<i>Presión de perfusión (PAM-PVC)</i>				
r	-0,006	-0,103	0,033	-0,123
p	0,973	0,575	0,861	0,490
<i>Índice inotrópico</i>				
r	-0,443	0,140	0,037	-0,042
p	0,008	0,415	0,835	0,803
<i>Lactato</i>				
r	-0,127	0,429	0,184	-0,100
p	0,503	0,014	0,331	0,584

PAM: presión arterial media, PVC: presión venosa central; r: coeficiente de correlación.

medición periférica en la planta del pie. Este hecho puede deberse a la existencia de una diferente perfusión en las distintas localizaciones anatómicas.

La existencia de una correlación entre el flujo tisular de la planta del pie y la temperatura, es decir, a mayor temperatura aumenta el flujo tisular cutáneo periférico y la correlación inversa con la temperatura diferencial, casi significativa, es lógica ya que el aumento de temperatura produce vasodilatación y, por tanto, mayor perfusión tisular, y un mayor gradiente de temperatura se correlaciona con un menor flujo tisular.

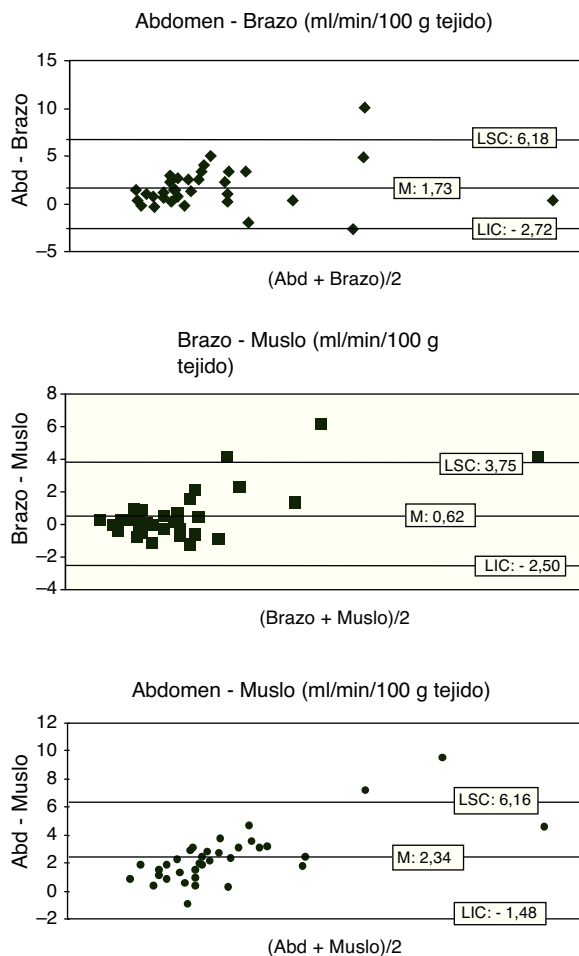
La correlación inversa con el índice inotrópico puede explicarse porque el aumento del soporte inotrópico provoca vasoconstricción y, por tanto, disminución del flujo tisular periférico. El que no se encuentre esta correlación con las localizaciones centrales puede explicarse por el hecho de que la mayor vasoconstricción se da en

zonas acras, preservando la perfusión de órganos vitales, localizados en zonas centrales.

Estos hallazgos sugieren que la medición del flujo tisular en la planta del pie podría servir para valorar de forma objetiva la perfusión periférica, y puede ser sensible a cambios de temperatura y de fármacos vasoactivos.

Sin embargo, este solo es un estudio preliminar y son necesarios trabajos que valoren la utilidad de la medición del flujo tisular periférico en situaciones de hipoperfusión y shock y sus cambios con el tratamiento, así como la correlación con el tiempo de relleno capilar.

El láser-Doppler se ha usado en adultos para medir el flujo tisular de la microcirculación en circunstancias con hipermia reactiva, como sepsis, diabetes mellitus, hipertensión o arteroesclerosis<sup>21</sup>. Sin embargo, la mayor limitación de la medición del flujo tisular con láser-Doppler es que no tiene en cuenta la heterogeneidad del flujo sanguíneo, con



**Figura 2** Concordancia (gráfico de Bland-Altman) del flujo tisular entre las 3 localizaciones centrales (brazo, muslo y abdomen). LIC: límite inferior de concordancia; LSC: límite superior de concordancia; M: media.

lo que la medida de la velocidad de la sangre es una media de la velocidad de los diferentes vasos sanguíneos y capilares. Actualmente, no existe ningún método de láser-Doppler que mida valores absolutos, sino que todos ellos están en relación con una cantidad de tejido (p. ej., ml/min/100 g tejido), expresándose la medición en unidades de perfusión, lo que es una medida arbitraria<sup>3</sup>.

Por otra parte, la correlación inversa existente entre la medición en la planta del pie con la edad y el peso podría ser debida a que en los niños más mayores el espesor de los tejidos es mayor, y aunque este método estima que 100 g de tejido equivale a 1 mm<sup>3</sup> del mismo, esto puede cambiar con el espesor del tejido y con la localización de la medición. Por ello, sería necesario establecer valores de normalidad de acuerdo con la edad.

Nuestro estudio tiene como limitación que ha sido realizado en pacientes ingresados en cuidados intensivos pediátricos, que pueden tener afectación de la perfusión por ser niños en estado crítico, aunque no presenten alteraciones macrohemodinámicas. Además, la mayoría eran cardiopatas y recibían un tratamiento inotrópico. Por otra parte, no existe un grupo control que haya evaluado cuál es la perfusión tisular normal en niños.

Concluimos que en niños críticamente enfermos que no están en situación de shock existe una correlación moderada pero con mala concordancia del flujo tisular cutáneo entre las localizaciones centrales, pero no con la de la planta del pie. El flujo tisular en la planta del pie se correlaciona con el peso, la edad, la temperatura periférica y el índice inotrópico. Son necesarios estudios que analicen su utilidad para valorar la perfusión periférica en situaciones de shock.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Al personal de enfermería del Servicio de Cuidados Intensivos Pediátricos del Hospital General Universitario Gregorio Marañón por su colaboración en la realización de este estudio.

## Bibliografía

- Brierley J, Carcillo JA, Choong K, Cornell T, Decaen A, Deymann A, et al. Clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock: 2007 update from the American College of Critical Care Medicine. *Crit Care Med.* 2009;37:666-88.
- Lima A, Jansen TC, van Bommel J, Ince C, Bakker J. The prognostic value of the subjective assessment of peripheral perfusion in critically ill patients. *Crit Care Med.* 2009;37:934-8.
- Lima A, Bakker J. Noninvasive monitoring of peripheral perfusion. *Intensive Care Med.* 2005;31:1316-26.
- Ridling DA, Kroon L. Comparing three methods of assessing peripheral perfusion in critically ill children. *Pediatr Nurs.* 2009;35:11-5.
- Lima A, van Bommel J, Sikorska K, van Genderen M, Klijn E, Lesaffre E, et al. The relation of near-infrared spectroscopy with changes in peripheral circulation in critically ill patients. *Crit Care Med.* 2011;39:1649-54.
- Mohammed I, Nonas SA. Mechanisms, detection and potential management of microcirculatory disturbances in sepsis. *Crit Care Clin.* 2010;26:393-408.
- Amin-Hanjani S, Meglio G, Gatto R, Bauer A, Charbel FT. The utility of intraoperative blood flow measurement during aneurysm surgery using ultrasonic perivascular flow probe. *Neurosurgery.* 2008;62 Suppl 3:1346-53.
- Charbel FT, Hoffman WE, Misra M, Hanningan K, Ausman JI. Role of perivascular ultrasonic micro-flow probe in aneurysm surgery. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 1998;38 Suppl:35-8.
- Kawamata T, Kawashima A, Yamaguchi K, Hori T, Okada Y. Usefulness of intraoperative laser Doppler flowmetry and thermography to predict a risk of postoperative hyperperfusion alter superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass for moyamoya disease. *Neurosurg Rev.* 2011;34:355-62.
- Gesang DZ, Zhang D, Zhao JZ, Wang S, Zhao YL, Wang R, et al. Laser Doppler flowmeter study on regional cerebral blood flow in early stage after standard superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass surgery for moyamoya disease. *Clin Med J.* 2009;122:2412-8.
- Eun HC. Evaluation of skin blood flow by laser Doppler flowmetry. *Clin Dermatol.* 1995;13:337-47.

12. Choi CM, Bennet RG. Laser doppler to determine cutaneous blood flow. *Dermatol Surg.* 2003;29:272–80.
13. Park DH, Hwang JW, Jang KS, Han DG, Ahn KY, Baik BS. Use of laser doppler flowmetry for estimation of the depth of burns. *Plast Reconstr Surg.* 1998;101:1516–23.
14. Atilas L, Mileski W, Spann K, Purdue G, Hunt J, Baxter C. Early assessment of pediatric burn wounds by laser Doppler flowmetry. *J Burn Care Rehabil.* 1995;16:596–601.
15. Jenkins S, Sepka R, Barwick WJ. Routine use of laser Doppler flowmetry for monitoring autologous tissue transplant. *Ann Plast Surg.* 1988;21:423–6.
16. Goldberg J, Sepka RS, Perona BP, Pederson WC, Klitzman B. Laser Doppler blood flow measurements of common cutaneous donor sites for reconstructive surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1990;85:581–6.
17. Clinton MS, Sepka RS, Bristol D, Pederson WC, Barwick WJ, Serafin D, et al. Establishment of normal ranges of laser Doppler blood flow in autologous tissue transplant. *Plast Reconstr Surg.* 1991;86:299–309.
18. Brenman SA, Barber WB, Pederson WC, Barwick WJ. Predicted free flaps: indications in complex reconstruction. *Ann Plast Surg.* 1990;24:420–6.
19. Sivarrajan VB, Bohn D. Monitoring of standard hemodynamic parameters: heart rate, systemic blood pressure, atrial pressure, pulse oximetry, and end-tidal CO<sub>2</sub>. *Pediatr Crit Care Med.* 2011;12 Suppl:S2–11.
20. Laurie A, Loiacono LA, Shapiro DS. Detection of hypoxia at the cellular level. *Crit Care Clin.* 2010;26:409–21.
21. Farkas K, Fabian E, Kolossvary E, Jarai Z, Farsang C. Noninvasive assessment of endothelial dysfunction in essential hypertension: comparison of the forearm microvascular reactivity with flow-mediated dilatation of the brachial artery. *Int J Angiol.* 2003;12:224–8.