

# 総説

## 術中の輸液管理

小竹良文\*

### はじめに

麻酔科領域でも麻酔管理によって予後が変わることがあり得ることが認識されつつある。輸液管理に関しても従来の輸液管理とは異なる概念、方法を用いることによって合併症が減少し、入院期間の短縮化が可能であるとされている。この変化には低侵襲血行動態モニタの進歩および新たな人工膠質液の開発も大きく関与している。本稿では最近注目を集めている輸液管理に関して解説する。

### 術中輸液管理の変遷

過去から現在にいたる術中輸液管理の変遷を表

にまとめた(表1)。

#### A. 晶質液主体の liberal fluid strategy

いわゆる従来の輸液管理方法であり、後述する制限的輸液戦略との対比からこのように呼ばれることが多い。この戦略の特徴は 3rd space 補充が組み込まれている点、尿量が 0.5~1.0ml/kg/hr に満たない場合にはさらに輸液を追加することが多い点が挙げられる。

晶質液はその投与量の 2/3 から 3/4 が間質に移行するため、晶質液主体の liberal fluid strategy では術中に水分バランスが大きくプラスに傾き、眼瞼、眼球結膜などにおける著明な間質浮腫がしばしば観察された。しかし、呼吸不全を来たさない限り、

表1 術中輸液管理の変遷

	特 徴	他の輸液管理に対する 優位性	優位性を認めた患者群
晶質液主体の liberal fluid strategy	血圧, 尿量を指標とし, 晶質液を 3rd space loss 補充を含む protocol に準拠して投与		
輸液最適化 <sup>3~6)</sup>	一回心拍出量あるいは静脈血酸素飽和度を goal とし, 人工膠質液の fluid challenge を施行	晶質液主体の liberal fluid strategy に対して PONV 減少 ICU 在室日数短縮 経口摂取早期開始	心臓外科術後患者, 出血量 500ml 以上が予測される外科手術患者, 高リスク外科手術患者, 大腿骨骨折患者
制限的輸液戦略 <sup>7,8)</sup>	晶質液の投与量を制限 尿量減少は 2 時間程度許容	晶質液主体の liberal fluid strategy に対してイレウス, 縫合不全, 肺合併症減少 腎不全の頻度変化なし	大腸癌手術患者を対象とした報告が主体
目標指向型輸液管理 <sup>11,12)</sup>	晶質液投与量の制限と一回心拍出量あるいは静脈血酸素飽和度を goal とした人工膠質液の fluid challenge の組み合わせ	晶質液主体の liberal fluid strategy に対して麻痺性イレウスの頻度低下 <sup>11)</sup> 単純な制限的輸液戦略に対して血中乳酸値上昇を抑制 <sup>12)</sup>	大腸癌手術患者 <sup>11)</sup> 消化器外科手術患者 <sup>12)</sup>

\*東邦大学医療センター大橋病院周術期管理センター

間質浮腫が問題とされることはなかった。

**B. 輸液最適化 (fluid optimization)**

広義には従来の輸液管理の指標であった血圧、尿量ではなく酸素の需給バランスあるいは酸素供給に関する goal を目標として行う輸液、循環管理を意味する<sup>1,2)</sup>。より狭義な解釈では上記の goal に加えて、人工膠質液による fluid challenge による輸液施行が含まれ<sup>3~6)</sup>、本稿では後者の定義を用いることとする。輸液最適化によって従来の晶質液 liberal fluid strategy と比較して予後の改善が認められており、この結果は血圧、尿量という指標では検出し得ない低灌流が存在することと、晶質液は liberal に投与しても組織灌流の向上をもたらさない場合があることを示唆している。

血圧、尿量による輸液管理の欠点は循環血液量不足に対する生体の代償機能を評価し得ない点である。循環血液量不足により心拍出量が低下した場合でも代償性の血管収縮によって血圧が維持されることが多く、この代償能力が限界に達し血圧が低下するまで循環血液量不足を検出できない。また血管収縮は皮膚、消化管で著明に生じるため、消化管の血流低下による合併症の頻度が増加すると想定されている。

fluid challenge の方法としては人工膠質液 200~250ml を 15 分程度で急速に投与することが多く、goal に到達するまで反復することが一般的である。

**C. 制限的輸液戦略 (restrictive fluid strategy)**

前述したように晶質液主体の liberal fluid strategy では間質浮腫は問題視されてこなかったが、今世紀に入ってから、間質浮腫と縫合不全、麻痺性イレウス、肺合併症などの関連が改めて指摘され、

術後回復を促進するうえで障害となることが認識され始めた。この観点から晶質液の投与量を減少させる戦略が試みられ、合併症の発生頻度が減少することが示された<sup>7~9)</sup>。これらの結果をふまえて、術後早期回復プログラムでは「輸液・ナトリウムの過剰投与を避ける」ことが推奨されている。制限的輸液戦略では尿量の低下が危惧される。しかし典型的なプロトコールでは 0.5ml/kg/hr 以下であっても 2 時間までは輸液の追加を行わないが、腎障害の発生頻度には差を認めなかったと報告されている<sup>8)</sup>。

**D. 目標指向型輸液管理 (goal-directed fluid management)**

**1. 定義**

前述したように術後早期回復プログラムでは制限的輸液戦略に基づいた「輸液・ナトリウムの過剰投与を避ける」ことが推奨されているが、最近では目標指向型輸液管理についても言及されている<sup>10)</sup>。目標指向型輸液管理の明確な定義はなされていないが、輸液管理の変遷を考慮すると、輸液最適化と制限的輸液戦略の組み合わせを目標指向型輸液管理と定義するのが最も妥当であろう<sup>11,12)</sup>。他の総説においてもこの方法が今後の rationale となるであろうと結論されている<sup>9,13)</sup>。

**2. 理想的なアルゴリズム**

上記の定義に基づいて目標指向型輸液管理をアルゴリズム化したものを図示した(図1)。

**3. 輸液反応性**

輸液最適化では「とりあえず」fluid challenge を施行し、その結果によって fluid challenge の妥当性を確認した。仮に適応がなかった、すなわち fluid



図1 目標指向型輸液管理の理想的プロトコール

表2 輸液反応性の評価方法

	方 法	輸液反応性ありの評価	特 徴
Fluid challenge	人工膠質液 200~250ml を 10~15 分で負荷	SV 増加>10~15% CVP 増加せず	介入が必要 非可逆的 輸液過剰のリスク
Passive leg raise <sup>14)</sup>	下肢を 30° 挙上	SV 増加>10~15%	介入が必要 可逆性あり 手術中の施行は非現実的
Respiratory variation <sup>15,16)</sup>	調節呼吸患者における一回心拍 出量, 収縮期圧, 脈圧あるいは 脈波の変動(それぞれ SVV, SPV, PPV, PVI)	PPV>14%など	自動的, 連続的 条件あり
Mini-challenge <sup>17)</sup>	人工膠質液 100ml を 1 分で負荷	SV 増加>10~15%	介入が必要 非可逆的だがリスクは小さい real-time な SV モニタが必須

SV: stroke volume

challenge によって一回心拍出量の有意な増加が見られなかった場合でも challenge 1 回分の過剰輸液となるに過ぎず, 予後の悪化を惹き起こすほどの輸液過剰は回避しうる, と考えたものと推察する。しかし, 過剰輸液を避けるという観点からは fluid challenge を施行する前にその有効性が評価できることが望ましい。この評価を輸液反応性と呼んでおり, 輸液反応性を評価するために用いられている指標を表に示した(表2)<sup>14~17)</sup>。

## 輸液剤

### A. 総論

目標指向型輸液管理においては人工膠質液の役割が重要となる。膠質液は晶質液と異なり, 投与直後には大部分が血管内に滞留し, 血管内容量増加に寄与しうる<sup>18)</sup>。人工膠質液のうち, 輸液管理に関してはヒドロキシエチルデンプン(HES)製剤に限って議論がなされていることから本稿でもこれに従うこととする。

### B. HES 製剤の特徴

HES はデンプンを修飾し, アミラーゼによる分解を遅らせることによって膠質浸透圧活性を持たせた製剤であり, 様々な分子量の分子から構成されているが, 膠質浸透圧活性を発揮しうる分子量の下限は, 概ね分子量 4 万 5 千から 6 万 kDa 程度と考えられている<sup>19)</sup>。各製剤の特性を論じる上では, 平均分子量, 置換度, C<sub>2</sub>/C<sub>6</sub> 比および溶媒の種類が重要であり(表3)<sup>19,20)</sup>, 置換度, C<sub>2</sub>/C<sub>6</sub> 比が高

い HES ほど分解が緩徐である。

現在, 我が国で使用されている HES 製剤は平均分子量 7 万 kDa, 置換度 0.5~0.55 の製剤であり, 生理食塩水に溶解したサリンヘスと細胞外液に類似した溶媒に溶解したヘスパンダーとがある。添付文書上では上限が 20ml/kg とされるが, 分子量が小さく, 蓄積性が低いことから, 3 L 程度までの使用には問題ないという意見が主流である。欧米では平均分子量 13 万 kDa, 置換度 0.4 の製剤(Volugen)が主流で, 輸液最適化, 目標指向型輸液管理に関する報告でもこの製剤が多く用いられている。この製剤は腎機能, 凝固機能に及ぼす影響が少なく, 欧米では最大 50ml/kg までの使用が認可されている。我が国でも臨床治験が終了しており, 数年後には臨床使用が可能になると予想する。

### C. HES 製剤の長所

血管内容量増加効果は膠質浸透圧を発揮しうる分子の数に依存する。平均分子量の小さい製剤では投与直後の分子数は多いが, 分解によって腎排泄閾値以下のサイズとなる分子が多く, 作用持続は比較的短い。一方, 大分子量の製剤は投与直後の分子数は少ないが分解過程で分子数が増加し, 膠質浸透圧が維持されると想定されている。また, 高置換度, 高 C<sub>2</sub>/C<sub>6</sub> 比の製剤は分解が遅いため, 長い効果持続が期待できるが, 蓄積に関する配慮が必要となる。さらに, 一部の HES 製剤には抗炎症作用があると考えられており, 血管透過性亢進状態における輸液剤として期待する意見もみられる<sup>21)</sup>。

表3 ヒドロキシエチルデンプン製剤の種類

製剤	重量平均分子量 (kDa)	置換度	C <sub>2</sub> /C <sub>6</sub> 比	膠質浸透圧 (mmHg)	初期容量効果 (%)	備考
Hetastarch						
HES 450/0.7 6%	450	0.7	5	26	100	
HES 600/0.7 6%	600	0.7	5	NA	100	
HES 670/0.75 6%	670	0.75	4.5	NA	100	Hextend
Hexastarch						
HES 200/0.62 6%	200	0.62	9	25	110	
Pentastarch						
HES 70/0.55 6%	70	0.55	4	18.6	90	サリンヘス, ヘスパンダー
HES 200/0.5 6%	200	0.5	5	35	100	
HES 200/0.5 10%	200	0.5	5	60	145	
Tetrastarch						
HES 130/0.4 6%	130	0.4	9	36	100	Volugen
HES 130/0.4 10%	130	0.4	9	70~80	200	
Tetrastarch						
HES 130/0.42 6%	130	0.42	6	36	100	
HES 130/0.42 10%	130	0.42	6	60	150	

文献 20) より引用, 改変. NA: not available.

#### D. HES 製剤の短所

一方, 短所として腎機能障害, 凝固障害, かゆみ, アナフィラキシーなどが挙げられている. このうち, 腎障害に関しては高浸透圧に由来する副作用であることが示唆されており<sup>22)</sup>, 膠質浸透圧の上昇を回避しうる限り臨床的な意義は大きくないと考えられる<sup>23)</sup>. 凝固系に関しては HES 製剤特有の作用として von Willebrand 因子, 第 VIII 因子に対する抑制効果があり, 結果として活性化部分トロンボプラスチン時間の延長, 血小板粘着, 凝集の低下が生じる<sup>24)</sup>. 凝固機能に対する抑制作用も製剤による差が大きく, 分子量が大きく, 溶媒に Ca が含まれていない製剤で強く生じる.

#### Goal として用いられる指標とモニタ

##### A. 総論

輸液最適化および目標指向型輸液管理では酸素需給バランスあるいは酸素供給量を示す, あるいはこれらの代用と見なすことのできる指標が goal として選択される(表4).

##### B. 静脈血酸素飽和度

全身レベルでの酸素需給バランスを反映する指標であり, 酸素需給バランスが悪化するに従い, 組織での酸素摂取率が増加し, 静脈血の酸素飽和度が低下する. 肺動脈カテーテルを用いて測定す

る混合静脈血酸素飽和度 (SvO<sub>2</sub>) と中心静脈カテーテルを用いて測定する中心静脈血酸素飽和度 (ScvO<sub>2</sub>) が臨床的に用いられている<sup>25)</sup>. 侵襲度を考慮すると心臓外科手術以外の症例では後者を用いることが一般的である<sup>11,26)</sup>. ScvO<sub>2</sub> によって SvO<sub>2</sub> を推定するためにはカテーテルの位置が重要であり, 先端が右気管支の透亮像より中枢側にある場合, 良好な相関がみられるとされている<sup>27)</sup>.

##### C. 一回心拍出量 (SV)

全身レベルでの酸素供給の決定因子の一つである点と循環血液量不足に対して血圧よりも早期に反応する点が長所である. 測定手段として肺動脈カテーテルは侵襲度が高く, 適応が限定されるため, 低侵襲心拍出量モニタが広く用いられている. 具体的な低侵襲心拍出量モニタの特徴は参考文献に譲るが<sup>28)</sup>, 経食道ドップラーモニタあるいは校正を必要としないタイプの動脈圧波形解析法 (Flo Trac/Vigileo, エドワーズライフサイエンス) を用いた報告が多い. 経食道ドップラーに関しては一回心拍出量の関連指標として corrected flow time (FTc) が用いた報告が多いが, 詳細は省略する.

SV を goal とする場合, 実際のアルゴリズムとして SV の最適化と数値目標の 2 つが考えられる. 前者は, fluid challenge によって一回心拍出量が有意 (10%) に増加する限り challenge を繰り返し, 有意

表4 輸液最適化あるいは目標指向型輸液管理で用いられている goal

	輸液戦略	goal	モニタ	結果
Donati et al. 2007 <sup>26)</sup>	Fluid optimization	O <sub>2</sub> ER < 27% (ScvO <sub>2</sub> > 73%)	中心静脈カテーテル	Liberal strategy に対して 術後合併症減少
Jammer et al. 2010 <sup>11)</sup>	Goal-directed	ScvO <sub>2</sub> > 75%	中心静脈カテーテル	Liberal strategy に対して 麻痺性イレウス減少
Challand et al. 2012 <sup>29)</sup>	Fluid optimization	ΔSV < 10%	経食道 Doppler	Liberal strategy に対して 有意差なし
Mayer et al. 2010 <sup>30)</sup>	Fluid optimization	SVI > 35ml/m <sup>2</sup>	FloTrac/Vigileo	Liberal strategy に対して 術後合併症減少
Buettner et al. 2008 <sup>31)</sup>	Fluid optimization	SPV < 10%	観血的動脈圧	Liberal strategy に対して 有意差なし
Lopez et al. 2009 <sup>32)</sup>	Fluid optimization	PPV < 10%	観血的動脈圧	Liberal strategy に対して 術後合併症減少
Forget et al. 2010 <sup>12)</sup>	Goal-directed	PVI < 13%	パルスオキシメーター	単純な restrictive strategy に対して乳酸値低下
Cohn et al. 2010 <sup>34)</sup>	Goal-directed	StO <sub>2</sub> > 75% or ΔStO <sub>2</sub> < 20%	近赤外線スペクトロメ ーター	Liberal strategy に対して 有意差なし

PVI: plethysmographic variability index. StO<sub>2</sub>: tissue oxygen saturation. Δ: 初期値からの変化量.

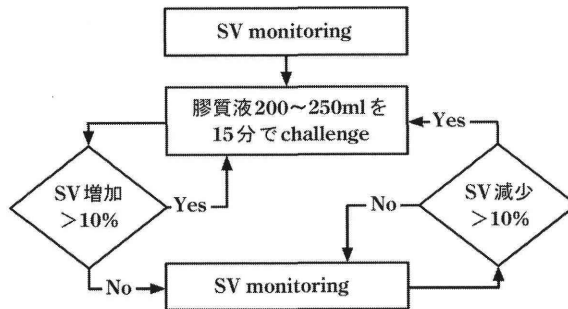


図2 一回心拍出量最適化の典型的アルゴリズム  
文献 29) を参考に作成.

な増加がみられなくなった時点で challenge を中断する方法であり(図2)<sup>29)</sup>, Frank-Starling 曲線が平坦化する部分を goal とすることになる. この方法は, 後述する古典的な fluid challenge による輸液反応性の評価と同じであり, 輸液反応性が消失するまで fluid challenge を反復すると換言することが可能である. SV 最適化の利点は輸液による効果を最大限に活用しうる点, 心機能の個人差をある程度解消しうる点である. 一方, 数値目標と比較してやや複雑な点と制限的輸液戦略と逆行しがちな点が欠点となる. 数値目標としては一回心拍出量係数 > 35ml/m<sup>2</sup> を用いた報告がみられる<sup>30)</sup>.

D. 呼吸性変動

既に述べたように SV の最大化は古典的な fluid

challenge において輸液反応性が消失するまで fluid challenge を反復することとほぼ同義である. したがって, 他の指標を用いて, 輸液反応性の消失を goal とする方法も成立しうる. 動脈圧あるいはパルスオキシメーター脈波の呼吸性変動 (PVI: plethysmographic variability index) を goal とすれば, 観血的動脈圧のみ, あるいは完全に非侵襲的に輸液最適化あるいは目標指向型輸液管理を実施することが可能となる. 実際に収縮期圧, 脈圧の呼吸性変動(それぞれ SPV, PPV)および PVI を用いた報告がみられる<sup>12,31,32)</sup>.

E. 組織酸素飽和度

従来, 脳組織の酸素化を評価するために用いられてきたモニタであるが, 筋肉の組織酸素飽和度

が静脈血酸素飽和度と近似した値を示すことが報告されている<sup>33)</sup>。本法では中心静脈カテーテルを必要とせず、非侵襲的、連続的な測定が可能であり、goalとして用いた結果が報告されている<sup>34)</sup>。

## 結 語

術中輸液に関する最近の傾向を概説した。晶質液投与を制限しつつ、組織酸素化の維持をgoalとしてHES製剤のfluid challengeを追加する目標指向型輸液管理が注目されている。

## 文 献

- 1) Hamilton MA, Cecconi M, Rhodes A: A systematic review and meta-analysis on the use of preemptive hemodynamic intervention to improve postoperative outcomes in moderate and high-risk surgical patients. *Anesth Analg* 2011; 112: 1392-402.
- 2) Gurgel ST, do Nascimento P, Jr: Maintaining tissue perfusion in high-risk surgical patients: a systematic review of randomized clinical trials. *Anesth Analg* 2011; 112: 1384-91.
- 3) Gan TJ, Soppitt A, Maroof M, et al: Goal-directed intraoperative fluid administration reduces length of hospital stay after major surgery. *Anesthesiology* 2002; 97: 820-6.
- 4) Venn R, Steele A, Richardson P, et al: Randomized controlled trial to investigate influence of the fluid challenge on duration of hospital stay and perioperative morbidity in patients with hip fractures. *Br J Anaesth* 2002; 88: 65-71.
- 5) Wakeling HG, McFall MR, Jenkins CS, et al: Intraoperative oesophageal Doppler guided fluid management shortens postoperative hospital stay after major bowel surgery. *Br J Anaesth* 2005; 95: 634-42.
- 6) Noblett SE, Snowden CP, Shenton BK, et al: Randomized clinical trial assessing the effect of Doppler-optimized fluid management on outcome after elective colorectal resection. *Br J Surg* 2006; 93: 1069-76.
- 7) Brandstrup B, Tønnesen H, Beier-Holgersen R, et al: Effects of intravenous fluid restriction on postoperative complications: comparison of two perioperative fluid regimens: a randomized assessor-blinded multicenter trial. *Ann Surg* 2003; 238: 641-8.
- 8) Nisanevich V, Felsenstein I, Almogly G, et al: Effect of intraoperative fluid management on outcome after intraabdominal surgery. *Anesthesiology* 2005; 103: 25-32.
- 9) Bundgaard-Nielsen M, Secher NH, Kehlet H: 'Liberal' vs. 'restrictive' perioperative fluid therapy—a critical assessment of the evidence. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53: 843-51.
- 10) Adamina M, Kehlet H, Tomlinson GA, et al: Enhanced recovery pathways optimize health outcomes and resource utilization: a meta-analysis of randomized controlled trials in colorectal surgery. *Surgery* 2011; 149: 830-40.
- 11) Jammer I, Ulvik A, Erichsen C, et al: Does central venous oxygen saturation-directed fluid therapy affect postoperative morbidity after colorectal surgery? A randomized assessor-blinded controlled trial. *Anesthesiology* 2010; 113: 1072-80.
- 12) Forget P, Lois F, de Kock M: Goal-directed fluid management based on the pulse oximeter-derived pleth variability index reduces lactate levels and improves fluid management. *Anesth Analg* 2010; 111: 910-4.
- 13) Chappell D, Jacob M, Hofmann-Kiefer K, et al: A rational approach to perioperative fluid management. *Anesthesiology* 2008; 109: 723-40.
- 14) Cavallaro F, Sandroni C, Marano C, et al: Diagnostic accuracy of passive leg raising for prediction of fluid responsiveness in adults: systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Intensive Care Med* 2010; 36: 1475-83.
- 15) Michard F: Changes in arterial pressure during mechanical ventilation. *Anesthesiology* 2005; 103: 419-28.
- 16) Cannesson M, Attof Y, Rosamel P, et al: Respiratory variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude to predict fluid responsiveness in the operating room. *Anesthesiology* 2007; 106: 1105-11.
- 17) Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, et al: An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology* 2011; 115: 541-7.
- 18) Grocott MP, Mythen MG, Gan TJ: Perioperative fluid management and clinical outcomes in adults. *Anesth Analg* 2005; 100: 1093-106.
- 19) Westphal M, James MF, Kozek-Langenecker S, et al: Hydroxyethyl starches: different products — different effects. *Anesthesiology* 2009; 111: 187-202.
- 20) Lange M, Ertmer C, Van Aken H, et al: Intravascular volume therapy with colloids in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2011; 25: 847-55.
- 21) Xie J, Lv R, Yu L, et al: Hydroxyethyl starch 130/0.4 inhibits production of plasma proinflammatory cytokines and attenuates nuclear factor- $\kappa$ B activation and Toll-like receptors expression in monocytes during sepsis. *J Surg Res* 2010; 160: 133-8.
- 22) Schortgen F, Girou E, Deye N, et al: The risk associated with hyperoncotic colloids in patients with shock. *Intensive Care Med* 2008; 34: 2157-68.
- 23) Sakr Y, Payen D, Reinhart K, et al: Effects of

- hydroxyethyl starch administration on renal function in critically ill patients. *Br J Anaesth* 2007; 98: 216-24.
- 24) Kozek-Langenecker SA: Effects of hydroxyethyl starch solutions on hemostasis. *Anesthesiology* 2005; 103: 654-60.
- 25) Shepherd SJ, Pearse RM: Role of central and mixed venous oxygen saturation measurement in perioperative care. *Anesthesiology* 2009; 111: 649-56.
- 26) Donati A, Loggi S, Preiser JC, et al: Goal-directed intraoperative therapy reduces morbidity and length of hospital stay in high-risk surgical patients. *Chest* 2007; 132: 1817-24.
- 27) Walley KR: Use of central venous oxygen saturation to guide therapy. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 184: 514-20.
- 28) 小竹良文: [モニター]その他の心拍出量測定. *Intensivist* 2011; 3 :229-43.
- 29) Challand C, Struthers R, Sneyd JR, et al: Randomized controlled trial of intraoperative goal-directed fluid therapy in aerobically fit and unfit patients having major colorectal surgery. *Br J Anaesth* 2012; 108: 53-62.
- 30) Mayer J, Boldt J, Mengistu AM, et al: Goal-directed intraoperative therapy based on autocalibrated arterial pressure waveform analysis reduces hospital stay in high-risk surgical patients: a randomized, controlled trial. *Crit Care* 2010; 14: R18.
- 31) Buettner M, Schummer W, Huettemann E, et al: Influence of systolic-pressure-variation-guided intraoperative fluid management on organ function and oxygen transport. *Br J Anaesth* 2008; 101: 194-9.
- 32) Lopes MR, Oliveira MA, Pereira VO, et al: Goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery: a pilot randomized controlled trial. *Crit Care* 2007; 11: R100.
- 33) Mesquida J, Masip J, Gili G, et al: Thenar oxygen saturation measured by near infrared spectroscopy as a noninvasive predictor of low central venous oxygen saturation in septic patients. *Intensive Care Med* 2009; 35: 1106-9.
- 34) Cohn SM, Pearl RG, Acosta SM, et al: A prospective randomized pilot study of near-infrared spectroscopy-directed restricted fluid therapy versus standard fluid therapy in patients undergoing elective colorectal surgery. *Am Surg* 2010; 76: 1384-92.