

ロボット支援下手術における コンパートメント症候群予防にrSO₂は有用か

～ 医師はココをみる！ 下肢観察におけるモニタ活用 ～



武部 真理子 先生

富山大学附属病院 麻酔科 助教

ご略歴

富山県出身

2004年 富山医科薬科大学(富山大学医学部の前身)卒業
前期臨床研修医

2006年 富山大学 麻酔科学講座 入局
富山大学附属病院・市中病院勤務

2013年 富山大学 大学院 卒業・医学博士
同年より富山大学 麻酔科学講座 助教

2015年 富山大学附属病院 手術部 助教

2022年 富山大学附属病院 麻酔科 助教

現在に至る

所属学会

日本麻酔科学会、日本手術医学会、日本心臓血管麻酔学会、
日本小児麻酔学会、日本臨床麻酔学会

資格

日本麻酔科学会指導医、日本心臓血管麻酔学会専門医

碎石位手術とコンパートメント症候群

術中の不適切な体位によって生じるコンパートメント症候群は well leg compartment syndrome : WLCS と呼ばれ、Halliwillらは1998年にその発症率を3500例に1例と報告した。この発症率は現在も頻繁に引用されているが、長時間の気腹・頭低位を伴うロボット支援下手術の普及に伴い増加していると考えられる。Pridgeonらによる2013年の報告によれば、イギリスにおけるロボット支援下前立腺手術のおよそ0.29%でWLCSが発症している¹⁾。WLCSの発症率はこれまで考えられてきたよりも高いという認識のもと予防・早期発見・早期治療に努めることが求められる。

コンパートメント症候群とは、骨と筋膜に囲まれた区域であるコンパートメントの内圧が上昇した結果として循環障害や神経障害を来す疾患をいう。Pain (疼痛)、Pulselessness (脈の消失)、Pallor (蒼白)、Paralysis (運動麻痺)、Paresthesia (知覚異常)の5Pを特徴とし、診断・治療の遅れにより疼痛や運動障害などの後遺症が生じうる。また症状が進行した場合には腎不全、四肢切断、死亡といった結果を招き、圧挫滅症候群 (crush syndrome) と同様の病態となる。コンパートメント症候群の本態は虚血再灌流障害であり、下肢筋の循環障害と血流再開が発症の引き金となる。(図1)

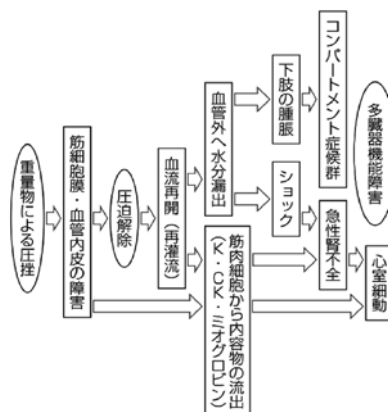


図1 圧挫症候群の発生機序の模式図²⁾

碎石位・頭低位を用いた腹腔鏡下手術において、WLCS発症の要因となるのは頭低位による下肢血流の低下（下肢が1cm挙上されるごとに0.78mmHg低下する）と下肢支持器による圧迫である。二酸化炭素送気による気腹や下肢の屈曲による静脈還流の低下が影響しているとする報告もある。手術時間は4時間以上のもので多く、10時間以上で特に多い³⁾。患者背景としては肥満や下肢筋の発達、末梢血管障害が挙げられている。手術操作における外腸骨動脈等の血管の牽引・圧迫や下肢動脈塞栓が下肢コンパートメント症候群の原因となることもあるが、これについては後述する。

WLCS発症の機序は以下の通りである。

- ①. 下肢固定具による下腿の筋の圧迫と頭低位による灌流圧の低下により下腿の筋組織の虚血が生じ、これが数時間続くことで筋組織の損傷が起こる。
- ②. 碎石位・頭低位の解除により、あるいは他の何らかの要因により虚血に陥っていた筋組織が再灌流され筋組織の腫脹が生じる。
- ③. 筋組織の腫脹により筋膜や骨などに囲まれたコンパートメント内圧の上昇が生じる。
- ④. コンパートメント内圧の上昇によりさらに筋組織の虚血が進行し悪循環となる。

ここで注意すべきは、碎石位・頭低位を解除したのちもこの悪循環が回り続けることである。手術終了時点では筋組織の腫脹が進んでおらずコンパートメント内圧の上昇がなかったとしても、手術終了後時間経過とともにコンパートメント症候群へ至る場合がある。発症早期に適切な処置を行わなければ神経麻痺や筋壊死などによる重篤な四肢機能障害へ進展する可能性があるため、病棟帰室後も下肢の疼痛や腫脹がないか観察が必要である。コンパートメント内圧が上昇した際の治療は筋膜切開であるが、比較的症状が軽い場合はクーリングや安静、輸液、利尿などで保存的に加療する。

コンパートメント症候群は早期診断・早期治療開始が重要であることは間違いないが、予防法は確立していない。しかし下肢筋への正常な酸素供給を維持し、下肢虚血が生じた時にはできるだけ短時間で血流を再開させることが予防となることは明らかである。

WLCSの予防として知られているものとして、碎石位の程度や時間を最小限にすること、下肢の挙上を右心房の高さ以上にしないことが挙げられる。また早期診断としては下肢コンパートメント内圧のモニタリング、血症CK値や尿中ミオグロビン値の測定などがある。

近年ではいくつかの新しい予防法が試みられている。術中に下肢のマッサージや屈伸を行う、弾性ストッキングを着用しない、頭低位の際に上半身が滑落して下腿への荷重を増やさないように摩擦の大きい敷物を用いる、肥満患者用の下肢支持器を使用する、等であり、ここに加えられるのが下肢酸素供給のモニタリングである。

下肢酸素供給モニタリング

下肢への酸素供給が途絶したか否かを検出しようとする際、パルスオキシメータを足趾に装着するというのは自然な発想であろう。手術操作により動脈の牽引・圧迫や血栓が下肢コンパートメント症候群の原因となりうることはすでに述べた。厳密にはこれらによるコンパートメント症候群はWLCSには含まれないかもしれないが、術中下肢虚血の原因として無視できないものである。特にロボット手術は術者に触覚が伝わらないことが弱点であり、視野外で血管の牽引・圧迫が生じても術者に感知されにくい。このとき足趾に装着したパルスオキシメータは波形が消失するため、術者に知らせて阻血時間を短くすることが可能である⁴⁾。同様に下肢虚血を生じるほどの血栓塞栓症が起こった際もパルスオキシメータにより検出されと考えられる。しかし主幹動脈圧が100mmHg程度であっても筋の細動脈圧は30～40mmHgであり、コンパートメント内圧がそれ以上になれば筋組織の虚血が生じる。この場合はパルスオキシメータで虚血をとらえることは不可能であり、仮に観血的動脈圧ラインが下肢に確保されていても困難である。

そこで新たな下肢酸素供給モニタリングとして期待されているのが近赤外線組織酸素飽和度モニタである。動脈成分のみを抽出してSpO₂値を算出するパルスオキシメータと異なり、静脈成分を含んだ組織全体の酸素飽和度をrSO₂値として連続的に測定することが可能である。rSO₂は以下の計算式で算出される。

$$rSO_2 (\%) = \frac{\text{動脈血} + \text{静脈血の酸素化Hb}}{\text{動脈血} + \text{静脈血の酸素化Hb} + \text{脱酸素化Hb}}$$

本来は低酸素による脳の循環状態をモニタリングする目的で開発されたが、下肢での応用も試みられている。動物実験ではブタの下肢の筋の虚血を検出できたという報告⁵⁾があり、また臨床ではECMO装着中の下肢虚血による切断予防に有用であったという報告がある⁶⁾。

近赤外線組織酸素飽和度モニタ使用の実際

現在、当院ではロボット支援下手術をはじめとした長時間頭低位腹腔鏡下手術の際、近赤外線組織酸素飽和度モニタであるINVOS™を使用している。初回の使用症例はLeriche症候群（血栓性大動脈分岐閉塞症）患者の腹腔鏡下結腸切除術であった。仰臥位・頭低位で2時間半前後と比較的短時間の手術であったためWLCS予防効果については不明であったが、頭低位による rSO_2 値の低下とプロスタグランジンE1投与による rSO_2 値の改善が認められた。

以降、ロボット支援下の碎石位・開脚位手術では全例下肢組織酸素飽和度のモニタリングを行っており、介入閾値： $rSO_2 < 50\%$ もしくはベースラインから20%相対的低下、危険閾値： $rSO_2 < 40\%$ もしくはベースラインから25%相対的低下を目安として麻酔管理を行っている。介入方法は様々であるが、主として輸液負荷や血圧の上昇を目的とした血管収縮薬投与が多く、また手術手技による低下が疑われる場合は速やかに術者に伝えている。

当初はセンサ貼付部位として脛骨前面外側を選択していた。これは前方コンパートメントが前脛骨と腓骨に挟まれておりコンパートメント内圧が高まりやすいため、最も組織障害を来しやすい部位と考えての選択であった。しかし脛骨前面へのセンサ貼付で rSO_2 値の低下を認めなかったにもかかわらずWLCSを発症した症例があり、以降碎石位手術では下腿後面にセンサを貼付している。（図2）実際に碎石位や頭低位への体位変換で危険閾値までの rSO_2 値低下を認める症例はそれほど多くないが、典型的な低下例を提示する。

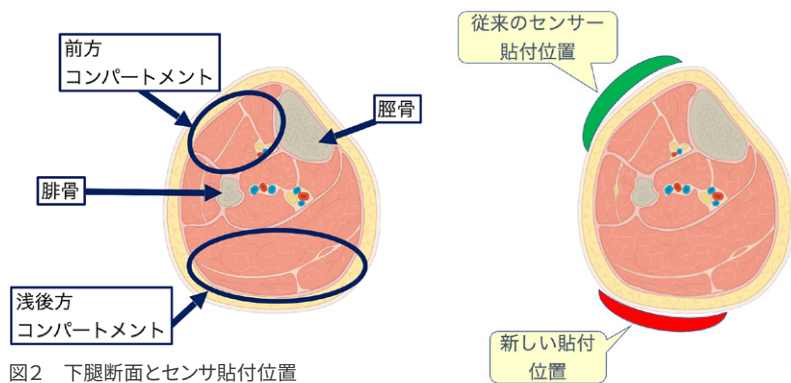


図2 下腿断面とセンサ貼付位置

症例

68歳男性、ロボット支援下膀胱全摘出術。INVOS™を使用し、硬膜外カテーテル挿入および全身麻酔導入後に両下腿後面にセンサを貼付した。 rSO_2 初期値は左が49%、右が68%であったため、危険閾値を左40%、右51%として麻酔管理することとした。麻酔記録を図3に示す。センサ貼付後碎石位とすると rSO_2 値の低下を認め、特に右で顕著であった。体位調整を行ったが改善せず、輸液負荷とノルアドレナリンの持続投与を開始した。頭低位となったところ両下肢とも rSO_2 値が危険閾値以下となり、ノルアドレナリンを増量して対応した。その後血圧の上昇とともに左下肢の rSO_2 値は危険域を脱したが、右下肢 rSO_2 値はある程度上昇したものの危険域内で推移した。 rSO_2 値低下から約4時間で碎石位が必須の手術手技が終了したため、仰臥位へ体位変換すると右下肢 rSO_2 値は速やかに改善した。術後コンパートメント症候群の発症はなく経過良好であった。この症例では術者の協力があり可能な限り碎石位の時間を短縮できたが、碎石位が長時間に及んだ場合はWLCSを発症していたかもしれない。

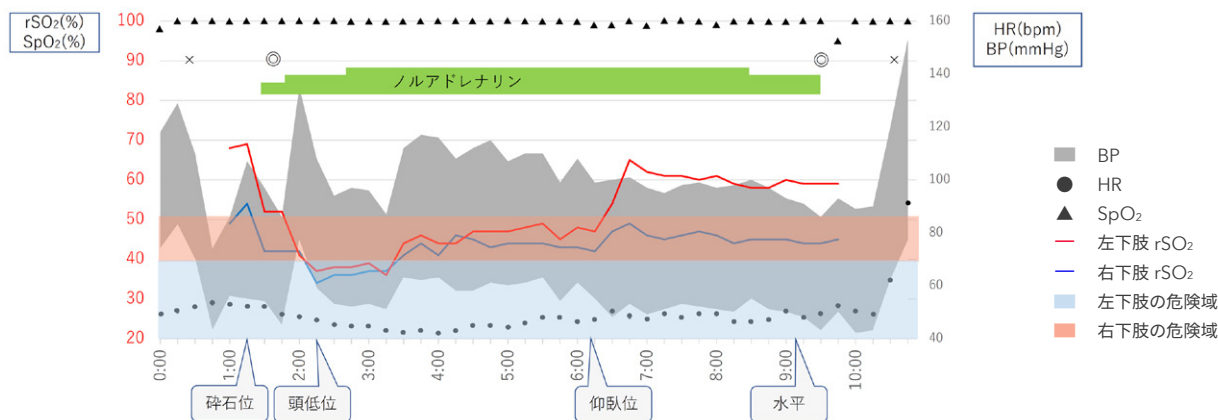


図3 麻酔記録およびINVOSで測定した rSO_2 値の推移

まとめ

ロボット支援科手術に代表される長時間碎石位・頭低位での腹腔鏡下手術において、WLCSの予防とはすなわち下肢虚血の予防である。下肢血流評価に近赤外線分光法を用いることに限っては、歴史が長いわりに方法が確立されていない。INVOS™等の近赤外線組織酸素飽和度モニタにより下肢筋の灌流低下をとらえることは可能と考えられるが課題は多い。相対評価と絶対値のいずれを用いるか、危険閾値はどう設定するか、貼付部位はどこが適切か、初期値はいつ測定するか、危険閾値まで低下した際の介入方法をどうするか、等を決定するには症例の蓄積が必要である。

WLCSの確実な予防法が確立していない現時点で、重要なことは医療者全員の情報共有と考える。長時間碎石位・頭低位での腹腔鏡下手術においてWLCSという合併症が生じうること、そのリスク因子・症状・治療等を理解し、予防と早期発見のため協力していくことが必要である。

Reference

1. Pridgeon S, et al. BJU Int. 2013;112(4):485-8. PMID:23879906
2. 阿南英明. 災害時の圧挫症候群と環境性体温異常: 日本内科学会; [cited 2022/8/5]. <https://www.naika.or.jp/saigai/kumamoto/atsuza/>.
3. 医療事故情報収集事業 第41回報告書 (2015年1月～3月): 日本医療機能評価機構; 2015 [cited 2022/8/5]. https://www.med-safe.jp/pdf/report_41.pdf.
4. 稲垣喜三編. 最先端外科手術の麻酔管理. 克誠堂出版; 2016: 259-262
5. Arbabi S, et al. J Trauma. 1999;47(5):829-33. PMID:10568708
6. Wong JK, et al. Artif Organs. 2012;36(8):659-67. PMID:22817780

販売名	INVOSモニタリングシステム
医療機器承認番号	30100BZX00181000
製造販売元	コヴィディエンジャパン株式会社

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2022 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。
TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。

Medtronic

お問い合わせ先
コヴィディエンジャパン株式会社

Tel: 0120-998-971
medtronic.co.jp