

【高気圧酸素治療エビデンスレポート】

急性外傷性血流障害(挫滅症候群またはコンパートメント症候群) (Acute traumatic ischemias (crush injury, compartment syndrome))

當銘 保則*^{1, 2)} 金谷 文則¹⁾ 合志 清隆*²⁾
(* : 学術委員会)
琉球大学大学院 医学研究 整形外科学講座¹⁾
琉球大学医学部附属病院 高気圧治療部²⁾

I. 概略

四肢の外傷性組織血流障害には、以下の2つの病態がみられる。その1つである挫滅症候群では軟部組織から骨・関節まで挫滅が及んで非可逆性の変化に陥るものである^{1, 2)}。感染や骨接合不全から外科治療を含めた標準的治療でも切断率は50~60%といわれている^{1, 2)}。さらに、もう一つの病態であるコンパートメント症候群は、四肢のコンパートメント(筋区画)内の浮腫や出血によって内圧上昇から循環障害によって筋肉壊死や神経麻痺を起こすものである。原因には骨折が69~75%で関係している^{3, 4)}。その臨床症状は“5P”として広く知られており、Pain (疼痛), Paresthesia (異常感覚), Pallor (蒼白), Paralysis (麻痺) と Pulselessness (脈拍消失) の出現である。診断の1つとして筋区画内圧の測定が有用であり、通常は10mmHg以下である筋区画内圧が30mmHg以上になればコンパートメント症候群として、速やかに治療に移るべきとされている⁵⁾。

外傷に伴う組織低酸素状態を改善させる必要性は、酸素が組織代謝に不可欠なものであるだけでなく、組織修復に必要な血管新生と線維化とを活性化させるからであり、さらに感染巣での白血球の酸素ラジカルによる細菌貪食能が重要である^{1, 2)}。このような作用の改善に必要とされる組織の酸素分圧は30mmHg以上とされており⁶⁾、ここに急性組織外傷に高気圧酸素治療(HBO2)を行なう意味がある。次いで、外傷性組織血流障害では再灌流障害として好中球が血管内皮に付着して活性酸素種が産生されると、血管収縮が加わり組織障害が助長される。HBO2はサイトカイ

ンを介した好中球の血管内皮からの遊離作用、さらに活性酸素種に対するスカベンジャー誘発作用も有することから、外傷性血流障害に生化学的な側面でも有利に作用することになる¹⁾。

II. 治療効果

以上の2つの病態に対するHBO2の治療結果の報告は数多くなされているが^{1, 2)}、Cochrane Libraryでは外科的手術や外傷によるacute woundsに対するHBO2の有効性をみた3つのrandomized controlled trial (RCT) が検討されている⁷⁾。しかし、これらには2つの植皮術が含まれるためにRCTのメタ解析は困難であり、この挫滅症候群を対象としたRCTは1つのみである。

この報告は36例の挫滅症候群を対象としてHBO2群と非HBO2群(sham: 加圧保持)のそれぞれ18例ずつを検討している⁸⁾。HBO2(2.5ATA, 90分間)は術後24時間から開始して日に2回を6日以上が行われている。その結果、完全治癒率が高く(RR: 1.70, 95% CI: 1.11-2.61) (p<0.01)、さらに植皮術や切断を含めた再手術はHBO2群1例に対して非HBO2群が6例とHBO2群で有意に再手術が抑制されている(RR: 0.25, 95% CI: 0.06-1.02) (p<0.05)。また、組織壊死においてはHBO群で1例に発症したのに対して非HBO2群では8例に発症しHBO2群で有意に組織壊死が抑制されている(RR: 0.13, 95% CI: 0.02-0.90)。更に年齢(40歳以上)と重症度を加味した高リスク群でのsubgroup解析では、創傷治癒はHBO2群が7例(87.5%)で得られたのに対して非HBO2群では3例(30

%)と有意にHBO2群で創傷治癒の促進が報告されている ($p<0.05$)。

さらに近年、RCTではないがHBO2の導入前後での治療結果を比較した下記の報告がある⁹⁾。挫滅症候群の29症例を対象としてHBO2の導入前の13症例と導入後の16症例とで治療結果の比較が検討されている。HBO2は2.0ATAで60分間の治療であり、日に1回として計2~12回(6.0 +/- 3.0回)が行われている。両群間で重症度とHBO2を除いた因子の差はなかったが、HBO2導入後に創感染が低くなっており(0/16例(0%) vs. 6/13例(46%), $p=0.003$)、さらに再手術の頻度も低下していたものである(0/16例(0%) vs. 5/13例(38%), $p=0.013$)。しかし、ICU在室期間(8.8 +/- 5.8日 vs. 12.3 +/- 47.3日, N.S.)と入院期間(49 +/- 41日 vs. 42.6 +/- 28.5日, N.S.)での短縮傾向は示されながらも両群間で差がなかったとされている。

また、コンパートメント症候群では数百例に上る治療経験の報告事例があり良好な治療成績が報告されているがRCTは行われていない¹⁰⁻¹²⁾。しかし、これらの臨床報告は動物実験での良好な治療結果と類似したものであることも紹介されている¹⁾。

Ⅲ. プロトコール

急性外傷性血流障害には早急なHBO2の開始が重要であり、全身状態が許せば可及的速やかにHBO2を行うのが望ましいとされている^{1, 2)}。例えば、挫滅症候群では外傷から4~6時間以内にHBO2を開始して24時間以内に3回以上を実施して、その後の3日間は日に2回の治療が推奨されている^{1, 2)}。これに対してコンパートメント症候群では24~36時間以内では日に2回のHBO2を行い、腱膜切開が行われれば7~10日間は日に2回の治療が推奨されている¹⁾。しかし、日に複数回のHBO2を早急に行うことが推奨されながらも、その開始時期やその他の治療法も確立されたものはない。さまざまな施設で治療圧は2.0~2.8ATAと幅があり治療時間も90~120分間と統一性がなく^{1, 2, 8, 9)}、欧州では2.2~2.8ATAの90分間のHBO2が広く用いられている²⁾。

Ⅳ. その他の臨床事項

コンパートメント症候群では筋区画内圧が高い状態が6-8時間持続すると不可逆的な軟部組織のダメージを引き起こすため^{5, 13)}、診断や治療の判断は速やかに行われなければならない。末梢神経や筋組織に不可逆的な損傷が生じた場合は、前腕ではVolkman拘縮が生じ、著しい機能障害が永続する。外傷でガーゼ保護や包帯固定を行っている場合はすみやかに除去し除圧を試みる。骨折によってギプス固定されている場合は、ギプスとその中の巻き綿に完全に割を入れてギプスを広げ除圧を試みる。上述のように筋区画内圧が30mmHgを超える場合は速やかに筋膜切開をし、筋区画の除圧を図る。筋膜切開後は筋壊死や横紋筋融解による腎臓へのミオグロブリン蓄積による急性腎不全の発症に注意し、CKのモニタリングと十分な補液と利尿を行う¹⁴⁻¹⁶⁾。切開した皮膚は縫合糸を靴紐状に縫合して徐々にしぼることにより緩徐に閉鎖する場合や分層植皮を行う事もある。

筋壊死や横紋筋融解により重篤な腎不全や心不全などの多臓器不全を合併した場合は、救命のために切断を選択せざるを得ない場合もある。また、筋肉壊死や神経麻痺による廃用肢に対しても切断が行われることがある。

Ⅴ. まとめ

挫滅症候群は標準的な治療法では切断率や再手術の頻度が極めて高く、HBO2の有効性を検討したRCTの結果はHBO2の高い治療効果を強く支持するものである。さらに数多くの比較対照試験結果でも類似の治療結果が示されている。同様のHBO2の有効性はコンパートメント症候群においても類似したものである。以上の病状を対象としたRCTの積み重ねも必要ではあるが、現状の科学的な結果からは早期からHBO2を積極的に行うべきと判断される。

参考文献

- 1) Strauss MB: The effect of hyperbaric oxygen in crush injuries and skeletal muscle-compartment syndromes. *Undersea Hyperb Med* 2012; 39: 847-855.
- 2) Kemmer A: Crush injury and other acute traumatic ischemia. In: Mathieu D ed. *Handbook on Hyperbaric Medicine*. The Netherlands; Springer, 2006; pp305-327.
- 3) Erdos J, Dlaska C, Szatmary P, et al: Acute compartment syndrome in children: a case series in 24 patients and review of the literature. *Int Orthop* 2011; 35: 569-575.
- 4) Mauser N, Gissel H, Henderson C, et al: Acute Lower-leg Compartment Syndrome. *Orthopedics*. 2013; 36: 619-624.
- 5) Mubarak SJ, Hargens AR, Owen CA, Garetto LP, Akeson WH: The wick catheter technique for measurement of intramuscular pressure. A new research and clinical tool. *J Bone Joint Surg Am* 1976; 58: 1016-1020.
- 6) Hunt TK, Zederfeldt B, Goldstick TK: Oxygen and healing. *Am J Surg* 1969; 188: 521-525.
- 7) Eskes A, Vermeulen H, Lucas C, Ubbink DT: Hyperbaric oxygen therapy for treating acute surgical and traumatic wounds. *Cochrane Database Syst Rev* 2013; 12: CD008059.
- 8) Bouachour G, Gronier P, Gouello JP, et al: Hyperbaric oxygen therapy in the management of crush injuries: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Journal of Trauma* 1996; 41: 333-339.
- 9) Yamada N, Toyoda I, Doi T, et al: Hyperbaric oxygenation therapy for crush injuries reduces the risk of complications: research report. *Undersea Hyperb Med* 2014; 41: 283-289.
- 10) Pitzpatrick DT, Murphy PT, Bruce M: Adjunctive treatment of compartment syndrome with hyperbaric oxygen. *Mil Med* 1998; 163: 577-579.
- 11) Oriani G: Acute indications of HBO therapy -final report. In: Oriani G ed. *Handbook of Hyperbaric Medicine*. New York; Springer, 1996; pp93-103.
- 12) Strauss MB, Hart GB: Hyperbaric oxygen and the skeletal muscle-compartment syndrome. *Contemp Orthop* 1989; 18: 167-174.
- 13) Via AG, Oliva F, Spoliti M, Maffulli N: Acute compartment syndrome. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2015; 27: 18-22.
- 14) Mabvuure NT, Malahias M, Hindocha S, Khan W, Juma A: Acute compartment syndrome of the limbs: current concepts and management. *Open Orthop J* 2012; 6: 535-543.
- 15) BMJ Evidence Centre. Compartment syndrome of extremities. London: BMJ; 2011 [cited 2012 July 14]; Available from: <http://bestpractice.bmj.com/best-practice/monograph/502/treatment/details.html>
- 16) Lima RS, da Silva Junior GB, Liborio AB, Daher Ede F: Acute kidney injury due to rhabdomyolysis. *Saudi J Kidney Dis Transpl* 2008; 19: 721-729.