

【原著】

癒着性腸閉塞に対する高気圧酸素治療による腸管内 ガス容積変化と治療効果の検討 — CT画像再構成による定量的評価 —

濱田 倫朗¹⁾, 工藤 康一²⁾, 坂上 正道¹⁾, 荒木 康幸¹⁾, 高森 啓史³⁾
済生会熊本病院 臨床工学部門¹⁾
済生会熊本病院 消化器内科²⁾
済生会熊本病院 外科³⁾

2013年1月から2014年6月までに癒着性腸閉塞で入院し、高気圧酸素治療(Hyperbaric oxygen therapy: HBOT)を行った98例中、HBOT前後に腹部CTを撮影した30例を対象とし、HBOT後に症状が改善した24例と手術が必要となった6例の2群に分けて解析を行った。マルチスライスCTで撮影したCT画像を再構成し、横隔膜下面から骨盤までの範囲で腸管内ガス像を3D構築後その容積を測定し、HBOT前後のガス量変化とCT画像所見について2群間比較を行った結果、手術群ではHBOT後に腸管内ガス量が多く著明な腸液貯留が認められた。さらにHBOT前のガス量と、その変化量およびHBOT後の腸液貯留との関係について検討した結果、HBOT前のガス量とHBOT前後のガス変化量の関係では負の相関を認めた。ROC(receiver operating characteristic)曲線からカットオフ値として700mLを求め、HBOT前のガス量が700mLを超える群では、それ未満の群に比しHBOT後の著明な腸液貯留を認めるものが少なかった。HBOT前のガス量が多いほどガスの減少量は多く、特にHBOT前700mL以上の場合、HBOTによる腸管の減張効果により腸液貯留の改善が期待できることが示唆された。一方、700mL未満の場合は、より慎重に治療、経過観察を行う必要があると考えられた。

キーワード 癒着性イレウス, マルチスライス CT3D 構築, ガス変化量, 腸管減張効果, 腸液貯留

【Original】

Effect of hyperbaric oxygen therapy on intestinal gas volume in patients with adhesive intestinal obstruction: Quantitative assessment with reconstruction of CT images

Michio Hamada¹⁾, Koichi Kudo²⁾, Masamichi Sakae¹⁾, Yasuyuki Araki¹⁾, Hiroshi Takamori³⁾

1) Department of Clinical Engineering, Saiseikai Kumamoto Hospital

2) Department of Gastroenterology & Hepatology, Saiseikai Kumamoto Hospital

3) Department of Surgery, Saiseikai Kumamoto Hospital

【Abstract】

Of 98 patients who were admitted to the hospital for adhesive intestinal obstruction and received hyperbaric oxygen therapy (HBOT) during January 2013 through June 2014, 30 cases receiving CT imaging both before and after HBOT were investigated on the outcome of HBOT. These cases were divided into two groups; those who showed improvement after HBOT and did not require surgery (24 cases), and those who showed little improvement after HBOT and eventually required surgery (6 cases). The intestinal gas volume was estimated by the reconstruction of multi-slice CT data from the inferior surface of the diaphragm to the pelvis. The surgery group had a larger gas volume and greater intestinal fluid accumulation after HBOT. Changes in gas

volumes before and after HBOT showed a negative correlation to the intestinal gas volume prior to HBOT, i.e., the greater the intestinal gas volume before HBOT, the larger the decrease after HBOT. A cut-off value of 700 mL of intestinal gas volume was obtained from the receiver operating characteristic curve. When the intestinal gas volume was greater than 700 mL before HBOT, HBOT worked well, whereas if less than 700 mL, HBOT was not so effective and there was a higher probability of surgery being required after the initial HBOT. In conclusion, a more careful treatment policy is recommended for cases with intestinal gas volumes less than 700 mL, making unnecessary the urgent need to resort to HBOT.

keywords

adhesive ileus, multi-slice CT 3D reconstruction, change in gas volume, reducing effect on intestinal tension, intestinal fluid accumulation

緒言

本邦では、一般的に腸管の通過障害をイレウスと呼び、物理的な異常や解剖学的な異常の有無で機械的イレウスと機能的イレウスに分類され、機械的イレウスには、循環障害がない単純性イレウスと循環障害がある複雑性イレウス(絞扼性イレウス)がある。一方、機能的イレウスは、腸管が弛緩した麻痺性イレウスと腸管が痙攣性に硬直した痙攣性イレウスに分類される¹⁾。欧米では、「イレウス」は麻痺性イレウスに限定されており、汎発性腹膜炎のときや開腹術直後の腸管麻痺を指し、機械的イレウスは「腸閉塞」と呼ばれ²⁾、開腹手術の既往がある患者の癒着性腸閉塞が最も多い¹⁾。

この癒着性腸閉塞に対する初期治療では、保存的に経過観察するか手術を行うかの判断は困難な場合があり、臨床症状、血液検査データ、画像所見を総合的に評価して方針を決定する必要がある¹⁾。保存的治療を行う場合、絶飲食に加え臨床症状の改善を図るため減圧による腸管の減張効果を企図した胃管やイレウス管の挿入、高気圧酸素治療(hyperbaric oxygen therapy: HBOT)が実施されており³⁾、保存的治療で症状の改善が認められない場合に手術が検討されることとなる^{1, 4)}。

HBOTは、癒着性腸閉塞に対する保存的治療法の一つとして、その効果が報告されており^{5, 6)}、局所的な作用機序として、加圧による腸管内ガス容積減少、腸管内ガス吸収促進、血管収縮作用による腸管浮腫の改善、高濃度溶解酸素による腸管壁低酸素状態の改善を期待して実施される⁷⁾。一方で、HBOTがどのような症例に有効であるかについては明確な基準が示されていない^{5, 7)}。今回、HBOT前後に撮影した腹

部CT画像を用い腸管内ガス容積を測定し、腸管内ガス量の変化とHBOTの効果について後向きに検討し、さらにHBOT前のガス量と腸液貯留改善の関係について統計学的な解析を行った。

対象と方法

2013年1月から2014年6月までに癒着性腸閉塞で当院に入院しHBOTを行った98例中、HBOT前後に腹部CTを撮影した30例を対象とした。癒着性腸閉塞の原因となった既往腹部手術歴は、下部消化管手術(小腸, 虫垂, 結腸, 直腸)が最も多く46.7%, 次いで婦人科手術(子宮, 帝王切開)23.3%, 上部消化管手術(胃, 十二指腸)20.0%, 泌尿器, 血管系など後腹膜手術が10.0%であった。非手術例における絞扼性イレウスの除外診断は、理学所見において明らかな腹膜刺激症状がないこと, CT画像所見において腸管虚血を認めないこと, 著明な腹水の出現がないこととした。HBOTの治療装置は、第一種装置(SECHRIST社製2500B)を使用し、純酸素を用いて約15分で2.0絶対気圧まで加圧後60分間気圧を維持した後、約15分かけて大気圧まで減圧する方法で行い、1日に1回連日施行した。

腸管内ガス量の定量は、マルチスライスCTで撮影した腹部CT画像において、横隔膜下面から骨盤までの範囲で、CT値をもとに腸管内ガスだけを残すように抽出後3D再構築し、そのガス容積を計測した。再構成条件はスライス厚5mm, CT値は閾値-500HU(Hounsfield unit)以下と定義し検討した(Fig.1)。HBOT後に症状が改善した24例(改善群)と手術が必要となった6例(手術群)の2群間で、年齢, 性,

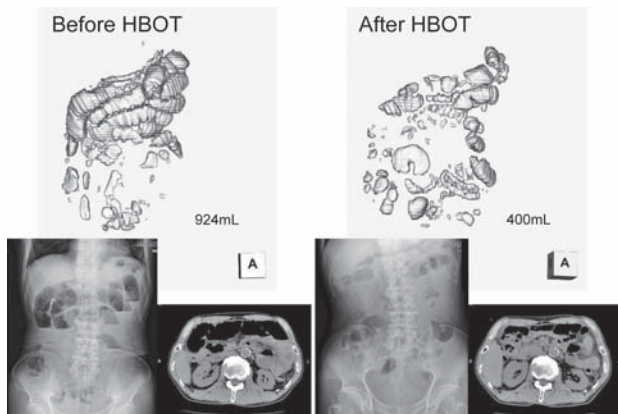


Fig.1 3D reconstruction of intestinal gas (improved case). The reconstruction condition is a 5-mm slice thickness, and the CT value was defined as -500 HU below the threshold. HU, Hounsfield unit; HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

併用治療としての減圧チューブ挿入，HBOT回数，HBOT前後のガス変化量および変化率について比較検討し，HBOT前のガス量とガス変化量の相関について統計学的解析を行った。

さらに，HBOT後の著明な腸液貯留の有無というアウトカムをHBOT前のガス量から，その感度と偽陽性率（1-特異度）により予測するカットオフ値をROC（receiver operating characteristic）曲線⁸⁾を用いて求めた。統計学的検定には，Fisherの正確確率検定，Mann-Whitney U検定，Wilcoxon符号付き順位検定を用いた。統計解析ソフトはIBM SPSS statistics 22を用い，危険率は0.05未満を有意差ありと判定した。

結果

1. 改善群と手術群の比較

(1) 患者背景と治療内容 (Table 1)

平均年齢は，改善群75歳（57歳～91歳），手術群71歳（30歳～100歳）で有意差を認めなかった。男女比は，男性の割合が改善群24例中9例（37.5%），手術群6例中3例（50.0%）で有意差を認めなかった。

治療内容は，胃管挿入が改善群11例（45.8%），手術群2例（33.3%）で有意差を認めなかった。イレウス管挿入は改善群10例（41.7%），手術群6例（100%）で手術群が有意に多く挿入されていた（ $p=0.013$ ）。手術群における胃管挿入2例は，入院時に胃管を挿入した後，症状が悪化したためイレウス管に変更していた。

Table 1 Patient background and treatment

	HBOT (n=24)	HBOT + Surgery (n=6)	p Value *
Age (years)	75±2	71±12	0.631
Sex (male/female)	9/15	3/3	0.455
short tube	11	2	0.469
long tube	10	6	0.013
Number of HBOT sessions between the first and second CT	3.0±0.4	3.5±0.4	0.527
Total number of HBOT	5.8±0.4	5.0±0.7	0.494

* Continuous variables with non-normal distribution were compared with the Mann-Whitney U test and categorical variables with the Fisher's exact test. HBOT, hyperbaric oxygen therapy; CT, computed tomography.

HBOTによる改善率は，HBOT単独が100%，胃管併用が84.6%，イレウス管併用が62.5%で全体の奏功率は80%であった。

入院時のCT撮影からHBOT実施後のCT撮影までの期間に行ったHBOT回数は，改善群3.0±0.4回，手術群3.5±0.4回で両群間に有意差を認めなかった。また，HBOTの総治療回数も改善群5.8±0.4回，手術群5.0±0.7回で有意差を認めなかった。

(2) CT所見

HBOT前のCT所見では改善群，手術群ともに全例で定性的に著明な腸液貯留が認められた。その他，腹水貯留や腸管の壁肥厚，腸管狭窄所見の各項目において2群間で有意差を認めなかった (Table 2)。

なお，HBOT前後における著明な腸液貯留の有無は，改善群で24例から9例に減少していたが，手術群ではHBOT後も6例全例に著明な腸液貯留があり，2群間で有意差を認めた（ $p=0.008$ ）。（Fig.6参照）

(3) 腸管内ガス量

腸管内ガス量の平均は，改善群のHBOT前が609±113mL，後が418±47mL，手術群の前が575±

Table 2 CT findings before HBOT

	HBOT (n=24)	HBOT + Surgery (n=6)	p Value *
Intestinal fluid accumulation	24	6	-
ascites	15	3	0.455
Intestinal wall thickening	9	1	0.326
Intestinal stenosis	9	2	0.620

Data are the number of cases.

* The p values obtained from Fisher's exact probability test. CT, computed tomography; HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

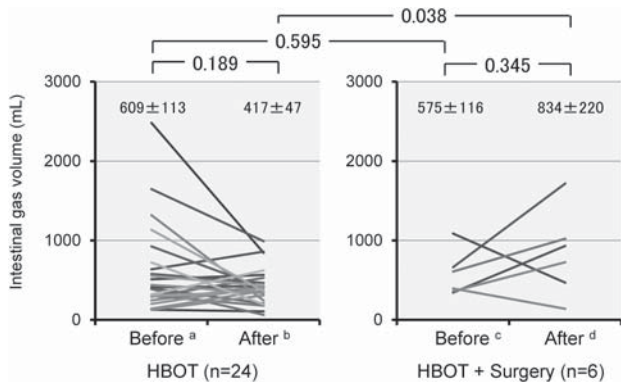


Fig.2 Changes in intestinal gas volume before and after HBOT. The comparisons of a-b and c-d used the Wilcoxon signed-rank test, and the comparisons of a-c and b-d used the Mann-Whitney U test. HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

116mL, 後が834 ± 220mLで、HBOTの前後比較において改善群で減少、手術群で増加傾向を示したが有意差を認めなかった(改善群p=0.189, 手術群p=0.345)。HBOT前のガス量は2群間で有意差を認めなかったが(p=0.595), HBOT後の2群間比較では、改善群に比し手術群で有意に多い(p=0.038)という結果であった(Fig.2)。また、HBOT前後のガス変化量でみると、改善群が192 ± 96mLの減少、手術群が259 ± 246mLと増加しており、2群間で有意差はないものの手術群でHBOTによるガス減少効果が少ない傾向が認められた(Fig.3a)。一方、個々の症例ごとの腸管ガスの変化率で2群間の比較を行った結果では、改善群3.0%, 手術群63.3%と手術群が増加傾向

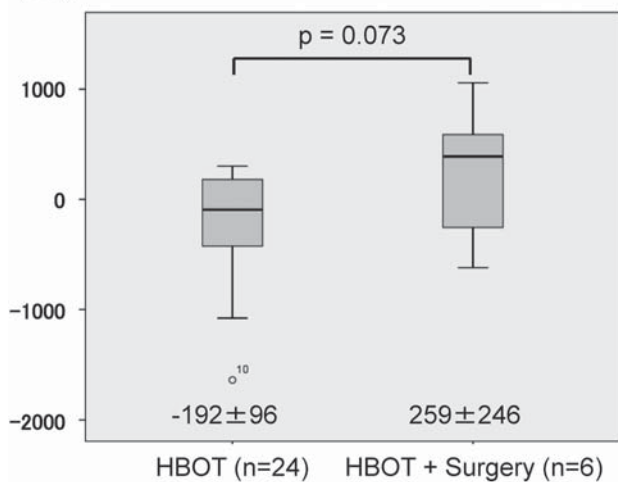


Fig.3-a Changes in gas volume. Mann-Whitney U test. HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

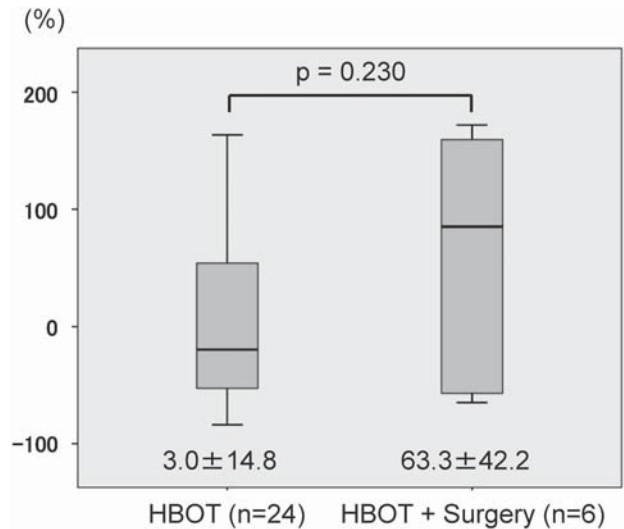


Fig.3-b Rate of change in gas volume. Mann-Whitney U test. HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

であったが、有意差を認めなかった(Fig.3b)。

2. HBOT前ガス量とガス圧縮の関係

対象全30症例におけるHBOT前のガス量と変化量の関係をスピアマンの順位相関分析で解析を行ったところ、HBOT前のガス量が多いほど腸管内のガス量は有意に減少しており負の相関(r=-0.578)を認めた(Fig.4)。さらに、HBOT前のガス量のカットオフ値をいくらにすれば、最もHBOT後の著明な腸液貯留の有無を効率よく予測できるかについてROC曲線を描き、その値を求めた。その結果、曲線下面積

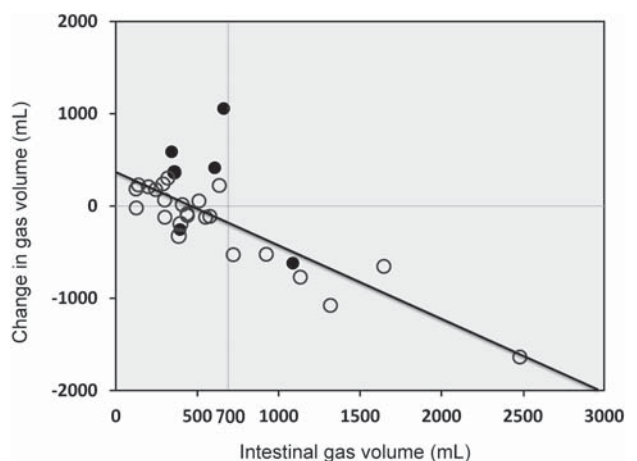


Fig.4 Spearman rank correlation coefficient tests for the correlation between the intestinal gas volume before HBOT and the amount of change. r = -0.578; p = 0.001. Open circles, HBOT; closed circles, HBOT + Surgery. HBOT, hyperbaric oxygen therapy.

AUC (area under the curve) は0.689, p値は0.078で, HBOT後の腸液貯留を判別する最良のカットオフ値は395mL (感度0.667, 偽陽性率(1-特異度) 0.200)で, 次のポイントが692mL (感度0.933, 偽陽性率(1-特異度) 0.600)であった (Fig.5)。

この結果を踏まえ, カットオフ値を400mLに設定した場合, 腸閉塞解除術に加え小腸切除の手術を行った3例の手術群の患者が漏れることになるため, 今回我々は, 感度を上げ特異度を下げて, カットオフ値を第2のポイントである700mLに設定した。

このカットオフ値700mLを用い, HBOT前のガス量とHBOT後における著明な腸液貯留の有無についてクロス集計表によるFisherの正確確率検定を行ったところ, HBOT前のガス量が700mLを超える群では, それ未満の群と比較して著明な腸液貯留が有意に少なかった (p=0.040) (Fig.6)。

一方, 700mL未満の手術群5例と改善群18例, 700mL以上の手術群1例と改善群6例について, 同様に検定を行った結果では, 手術群と改善群の間に有意差を認めなかった (p=0.567)。

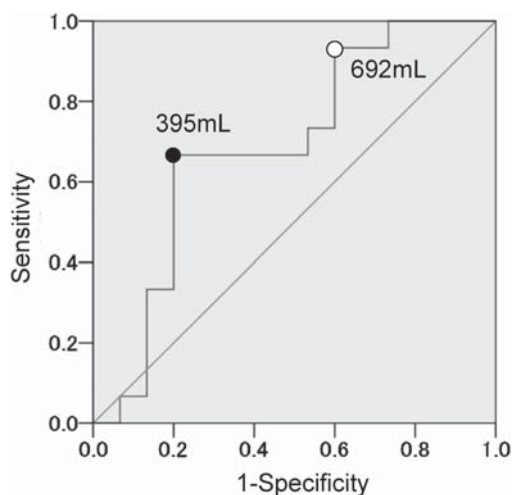


Fig.5 Cut-off value from the receiver operating characteristic (ROC) curve for the presence or absence of intestinal fluid accumulation and gas volume before hyperbaric oxygen therapy. The best cut-off point for balancing the sensitivity and specificity of a test is the point on the curve closest to the (0,1) point. The first cut-off point is the closed circle: sensitivity 0.667, 1-specificity 0.200. The second cut-off point is the open circle: sensitivity 0.933, 1-specificity 0.600.

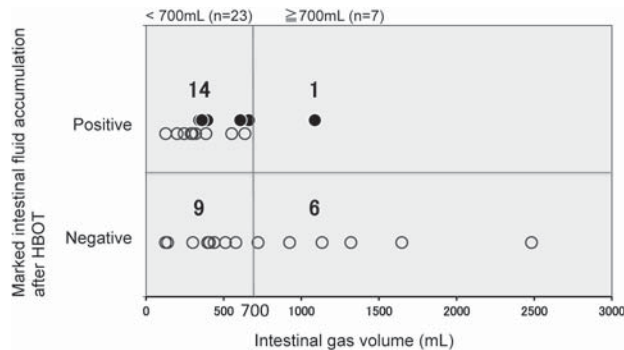


Fig.6 Intestinal gas volume before hyperbaric oxygen therapy (HBOT) and intestinal fluid accumulation after HBOT. Fisher's exact probability test p-value = 0.040. Open circles, HBOT; closed circles, HBOT + Surgery.

考 察

癒着性腸閉塞に対して安易に外科的治療が行われると, poly surgeryによる再発や短腸症候群のリスクがあるため, 第1選択は保存的治療であり⁹⁾, また保存的治療と手術は二者択一の相反する治療ではなく保存的治療の延長線上に手術を位置づけ, 一連の流れとして認識すべきである⁴⁾。当院では腸閉塞の患者が救急外来を受診した場合, 速やかにCT検査を実施し, 緊急手術の適応となる症例は手術を行う。一方, 減圧治療で改善が期待できると判断した症例には, 自覚症状, 身体所見なども含め総合的に判断し, 減圧チューブ (胃管・イレウス管) 挿入後HBOTを施行しており, 改善群よりも重症度の高い手術群でイレウス管挿入率が有意に高かった。減圧方法別の改善率について笹屋ら¹⁰⁾は, HBOT単独92%, 胃管併用89%, イレウス管併用65%で, Ambiru¹¹⁾らは, 546例の検討でHBOT単独94%, 胃管併用85%, イレウス管併用74%であり, HBOT症例全体の奏功率は85%であったと報告している。今回, 手術群のイレウス管挿入は100%であり, 改善群でも胃管挿入45.8%, イレウス管挿入41.7%で減圧チューブとしては87.5%が挿入されていた。改善率は, HBOT単独100% (3/3), 胃管併用84.6% (11/13), イレウス管併用62.5% (10/16)で, HBOT症例全体の奏功率は80%であり, 他の報告同様, 減圧チューブを併用した群がHBOT単独群より奏功率が低下していた。理由は減圧チューブ併用群に重症例が多く, 特に癒着解除困難症例にイレウス管が挿入されていることが考えられる^{10, 11)}。

癒着性腸閉塞に対するHBOTの治療回数を目安についてAmbiruら¹¹⁾は、5回以内に比較して6回以上施行した症例で有意に手術症例が増加したと述べている。岡田ら¹²⁾もHBOT単独では6回の施行が一つの目安になると提唱している。イレウス管を併用してHBOTを行っても5日以上改善がみられない場合は、速やかに手術を行うべきとの報告もある^{5, 13)}。自験例においても、手術群では全例がイレウス管併用にもかかわらず症状の改善が見られず、平均5.0回のHBOT施行後に手術適応となっており、適切に手術時期を決定していると思われた。また、改善群でも平均5.8回の治療で症状が改善しており、手術群と治療回数において差を認めなかった。

一般に癒着性腸閉塞の画像診断においては、CTで coffee bean C loop, beak sign, radial distribution, whirl signなどを認めれば絞扼所見¹⁴⁾として手術適応とされ、癒着部位を同定することが可能な症例もあるが、その原因として最も多い索状物をCTで確認することは困難な場合が多い^{15, 16)}。また、腸管内腸液貯留や腹水貯留とその増量がみられた場合も絞扼を示唆する所見として重要であり^{17, 18)}、さらにHBOT中であってもイレウス管の進行が不良となった場合は速やかに手術に移行すべきと考えられる¹³⁾。今回の自験例においては、HBOT前のCT画像所見で手術適応の根拠となりうる明らかな所見は認めなかった。一方、正常なヒトの腸管内ガスは、窒素を主成分として100mL前後存在しているのみであるが¹⁹⁾、腸管の閉塞が起こると、早期にはガス主体の腸管拡張が起こり、閉塞期間が長くなると腸液が増加して拡張が増大する²⁰⁾。腸管内のガスは、HBOTにより圧縮され容積が減少し、また酸素と置換されることにより吸収促進が図られる⁷⁾。手術適応となる症例では、腸管の拡張度に比較して腸管内ガスは乏しく、腸液で満たされており¹⁾、gasless abdomenを呈するような場合が、より重症と考えられる¹⁹⁾。今回、HBOT後のガス量が手術群で多かったのは、HBOTによるガス容積減少効果やガス吸収促進^{3, 7)}などの腸管機能回復効果が十分に得られなかったことを意味していると思われる。

HBOTは、その作用機序として加圧によるガス圧縮

効果があり、ある程度の腸管内ガスを認める場合に有効と考えられており^{21, 22)}、瀧ら²³⁾は、風船と注射器を用いたイレウス模型を使用して加圧による圧縮効果を視覚的に検討し、腸管内ガス量の多い場合にHBOTはより効果を発揮すると結んでいる。自験例においても、HBOT前のガス量とその変化量は負の相関を認め、ガス量が多いほどガス減少量が多く、特にHBOT前のガス量が700mL以上の場合に減張効果によると考えられる腸液貯留の改善が認められた。一方、手術群の全例においてHBOT後のCT所見で腸液貯留の改善が見られておらず、手術に移行しており、腸管内が腸液で充満され、腸管内からガスが消失した状態に陥った場合には、その効果を期待することは困難と思われる¹³⁾。また、腸管内ガス量のカットオフ値700mLにおける改善群と手術群の比較で優位差を認めなかったことは、手術の適応が腸管内ガス量だけでは判断できないことを示唆していると考えられる。

癒着性腸閉塞は頻繁に遭遇する腹部救急疾患であり²⁴⁾、その重症度はさまざまであるため病態を正確に把握し迅速に治療方針を決定する必要がある。その保存的治療においては常に手術移行も念頭においておかなければならず、決して軽視してはならない³⁾が、HBOTは非侵襲的治療のひとつの選択肢としてその意義は大きい⁹⁾。今回、癒着性腸閉塞のCT画像再構成による腸管内ガス容積変化の定量的評価の結果、腸管内ガスが多いほどHBOTの効果は高く、また治療回数として5回をひとつの目安にできると考えられた。

結 語

HBOT前の腸管内ガス量とHBOTによるガス変化量には負の相関がみられ、特にHBOT前700mL以上の場合HBOTによる腸管の減張効果により腸液貯留の改善が期待できることが示唆され、一方700mL未満の場合は、より慎重に治療、経過観察を行う必要があると考えられた。

謝 辞

本研究にご助言を賜った、高気圧酸素治療専門医米原敏郎先生およびCT画像のデータ解析を行ってくだ

さった中央放射線部 井上淑博係長，ならびに臨床工
学部門の堺美郎係長，管田壘主任に深謝いたします。

COI開示

本論文に関連し共著者全員に，開示すべきCOI
(conflict of interest) 関係にある企業，組織，団体は
いずれもありません。

参考文献

- 1) 三重野寛治:イレウス(腸閉塞).In:森岡恭彦(監修).新臨床外科学第3版.東京;医学書院.1999;pp.744-750.
- 2) Livingstone EH, Passaro EP Jr: Postoperative ileus. Dig Dis Sci 1990;35:121-132.
- 3) 渡邊利広, 木村理: イレウスの初期治療と保存的治療. 消化器外科 2010;33:1555-1563.
- 4) 神藤英二, 瀧端康博, 上野秀樹, 橋口陽二郎, 長谷和生: イレウスの手術適応と手術のタイミング. 消化器外科 2010;33:1565-1572.
- 5) 黒木克郎, 田中景一, 上原尚人, 黒木敦郎: イレウスに対する高気圧酸素療法. 日本高気圧環境医学会雑誌 2002;37:29-33.
- 6) 古山信明, 樋口道雄, 鈴木卓二, 大塚博明: 術後イレウスに対する高気圧酸素療法. 日本高気圧環境医学会雑誌 1983;18:9-18.
- 7) 安蒜聡, 中田瑛浩, 宮崎勝: 術後麻痺性イレウス及び癒着性腸閉塞に対する高気圧酸素治療. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2009;44:196-203.
- 8) Akobeng AK: Understanding diagnostic test 3: Receiver operating characteristic curves. Acta Paediatr. 2007;96:644-647.
- 9) 安蒜聡, 古山信明, 青野光夫, 他.: 小児ならびに成人術後腸閉塞症再発に対する高気圧酸素治療の意義 -複数回高気圧酸素治療症例の検討-. 日本高気圧環境医学会雑誌 2005;40:219-224.
- 10) 笹屋高大, 早川直和, 山本英夫, 他.: 癒着性イレウスに対して高気圧酸素療法を行った92例の臨床経験の検討. 日本腹部救急医学会雑誌 2006;26:825-828.
- 11) Ambiru S, Furuyama N, Aono M, et al.: Hyperbaric oxygen therapy for the treatment of postoperative paralytic ileus and adhesive intestinal obstruction associated with abdominal surgery: experience with 626 patients. Hepatogastroenterology 2007;54:1925-1929.
- 12) 岡田忠雄, 田辺正裕, 吉田英生, 他.: 癒着性イレウスに対する高気圧酸素療法の適応と成績. 外科 1999;61:535-539.
- 13) 濱田倫朗, 多田修治, 工藤康一, 坂上正道, 荒木康幸: 癒着性小腸閉塞における高気圧酸素治療の有効性と限界. 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 2013;48:151-158.
- 14) Frager D: Intestinal obstruction role of CT. Gastroenterol Clin North Am 2002;31:777-799.
- 15) 園村哲郎, 三田裕記, 石井清午, 他.: 急性腹症の画像診断イレウス. 臨床放射線 2010;55:727-736.
- 16) 片桐美和, 長尾二郎, 中村陽一: 診断の進め方と注目すべき臨床所見, 検査所見. 消化器外科 2010;33:1535-1544.
- 17) 吉川健治, 外山和隆, 戸口啓介, 山口拓也, 平林邦昭: 腹水の有無に着目した絞扼性イレウスの早期診断法 -腸管虚血の早期指標としての腹水-. 日本腹部救急医学会雑誌 2011;31:713-716.
- 18) 山岸茂, 山口茂樹, 木村英明, 他.: 絞扼性イレウスの早期診断法. 日本消化器外科学会雑誌 2003;36:11-17.
- 19) Levitt, M.D.: Volume and composition of human intestinal gas determined by means of an intestinal washout technique. N. Engl. J. Med 1971;284:1394-1396.
- 20) 山田岳史, 古川清憲, 佐々木順平, 他.: イレウスの原因, 分類, 疫学, 病態生理. 消化器外科 2010;33:1527-1533.
- 21) Ambiru S, Furuyama N, Kimura F, et al.: Effect of hyperbaric oxygen therapy on patients with adhesive intestinal obstruction associated with abdominal surgery who have failed to respond to more than 7 days of conservative treatment. Hepatogastroenterology 2008;55:491-495.
- 22) Jain KK: HBO Therapy in Gastroenterology. In: Jain KK, ed. Textbook of Hyperbaric Medicine. 5th revised and update edition. Cambridge; Hogrefe & Huber Publishers, 2009;pp.347-356.
- 23) 瀧ともみ, 中島正一, 秋吉美奈, 他.: 麻痺性イレウスに対する高気圧酸素療法(HBOT)の治療効果の検討. 日本臨床高気圧酸素・潜水医学会雑誌 2005;2:76-71.
- 24) 恩田昌彦, 高崎秀明, 古川清憲, 田中宣威, 森山雄吉: イレウス全国集計21, 899例の概要. 日本腹部救急医学会雑誌 2000;20:629-636.