

## ●原 著

## 骨延長術(仮骨延長法)に対する高気圧酸素療法の有用性に関する検討

井上 治<sup>\*,\*\*</sup> 島袋博之<sup>\*</sup> 外間 晶子<sup>\*\*</sup>  
野原 敦<sup>\*\*</sup> 湯佐 祚子<sup>\*\*</sup> 茨木 邦夫<sup>\*</sup>

仮骨延長法は骨移植を必要としない画期的な骨延長術であるが、長期間を要する難点がある。われわれは高気圧酸素療法(HBO)が犬の橈骨切除部の骨膜性骨形成を促進することをすでに報告したが、仮骨延長法においても仮骨形成を促進するかどうかを臨床および実験的に検討した。若年者6例9骨に対しOrthofix延長器にて仮骨延長法を行った。両下肢を片側ずつ延長した小人症の1例では仮骨延長中にHBOを併用した下肢はHBOを併用しなかった反対側の下肢と比べ、とくに脛骨で骨形成が促進された。一側の脛骨をHBOとの併用で延長した2例中1例ではhealing indexは31.0日/cmで、De Bastianの報告と比べ治療期間の短縮が得られた。尺骨をHBOと併用して延長した3例中1例はとくに仮骨形成が著明であった。また雑種犬2頭を用いて一側大腿骨を仮骨延長した後、反対側大腿骨を同様に延長し、HBOを延長期間中、併用したところHBO併用側では旺盛な骨膜性骨形成がみられた。

キーワード：骨延長術，仮骨延長法，高気圧酸素療法

### Bone Lengthening by callotasis with intermittent hyperbaric oxygenation.

Osamu Inoue<sup>\*\*\*</sup> Hiroyuki Shimabukuro<sup>\*</sup> Akiko Hokama<sup>\*\*</sup> Atsushi Nohara<sup>\*\*</sup> Toshiko Yusa<sup>\*\*</sup> Kunio Ibaraki<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Orthopaedic Surgery, University of the Ryukyus, School of Medicine

<sup>\*\*</sup>Division of Hyperbaric Medicine, University of the Ryukyus, School of Medicine

Lengthening of the tubular bones by callotasis is a remarkable procedure without bone grafting, but it requires long morbidity. Although we reported the favorable effect on periosteal new bone formation by hyperbaric oxygenation (HBO) in resected radial bones in dogs, effect of HBO in callotasis is evaluated clinically and experimentally. Nine bones in six young patients were lengthened by Orthofix lengtheners. In one

achondroplasia whose bilateral limbs were lengthened reciprocally, periosteal callus formation in right tibia lengthened with HBO was more wide and high in density than that of left tibia lengthened without HBO. One of the two tibial bones lengthened with HBO independently obtained the healing index of 31.0 which was superior to De Bastian's. One of the three ulnae lengthened with HBO revealed marked new bone formation.

Bilateral femurs in two mongrel dogs were reciprocally lengthened with or without HBO. Periosteal callus formation in the two femurs lengthened with HBO was prominent.

### Keywords :

bone lengthening  
callotasis  
hyperbaric oxygenation

<sup>\*</sup>琉球大学医学部整形外科

<sup>\*\*</sup>琉球大学医学部附属病院高気圧治療部

### はじめに

近年、仮骨延長法による骨延長術が De Bas-

表1 骨延長症例一覧表：骨延長終了時における評価

No.	年齢・性	原因疾患	短縮骨	待機	骨延長	延長期間	HBO	延長速度	仮骨幅・密度	
1	11歳・女	軟骨発育不全症による小人症	右大腿骨	9日	100mm	107日	80回	0.86	good	good
			左大腿骨	12日	100mm	105日		0.85	good	good
			右脛骨	22日	100mm	113日	80回	0.74	good	good
			左脛骨	12日	100mm	139日		0.66	fair	fair
2	9歳・男	先天性絞扼輪	左脛骨	14日	50mm	82日	63回	0.52	good	good
3	13歳・男	多発性外骨腫	右脛骨	13日	50mm	49日	45回	0.80	good	good
4	8歳・男	多発性外骨腫	左尺骨	7日	20mm	20日	27回	0.74	good	good
5	11歳・女	多発性外骨腫	右尺骨	15日	25mm	61日	49回	0.32	fair	good
6	10歳・女	多発性外骨腫	右尺骨	10日	30mm	63日	50回	0.41	good	fair

tiani, Ilizarovらにより開発され、骨移植を必要としない画期的な骨延長術として脚長差の矯正、小人症の治療などに行われている<sup>1)~3)</sup>。すなわち仮骨延長法は長管骨を骨切りし、創外の延長器を数本のピンで骨に固定し、仮骨形成を確認後、延長装置により1日1mm以下の緩徐な骨延長を行う術式で、骨移植を必要とせず、延長部に骨膜性仮骨を誘導し、架橋骨癒合を得ることができる。しかし骨延長には数ヵ月からときに1年以上の治療期間を要し、また骨形成が乏しい場合、あるいはピン感染を合併すると骨延長を中断せざるを得ないこともある<sup>1)3)</sup>。われわれは犬の橈骨切除部における骨膜性骨形成が高気圧酸素療法(HBO)により促進されることを既に報告したが<sup>4)</sup>、HBOが仮骨延長法においても仮骨および架橋骨形成を促進し得ることを臨床および雑種犬にて検討した。

#### 症例および方法

6例(男3例, 女3例), 8~13歳の9骨を仮骨延長法にて骨延長した。5例では短縮した単骨をHBOとの併用で骨延長し、仮骨が見られた時期すなわち待機期間, 延長した長さとして要した期間の比すなわち延長速度, および仮骨幅, 仮骨密度を評価した。また架橋骨癒合後, ピンを抜去した時期からhealing index(H.I)すなわち1cmの骨延長に要した日数を評価した。両下肢を延長した1例では右大腿骨と右脛骨はHBOを併用して骨延長し, 左大腿骨と左脛骨ではHBOを併用せず骨延長し, 左右差を上記評価にて比較した。延長

した骨は大腿骨2, 脛骨4, 尺骨3で, また骨短縮の原因疾患は多発性骨軟骨腫4例および小人症(軟骨発育不全症), 先天性絞扼輪症候群の各1例であった(表1)。術式はOrthofix延長器を長管骨にピン4本で片側に創外固定し, 骨幹部を骨膜を温存しながら電気ノコで骨切りした。小人症1例では5cmの骨延長後に小型延長器から中型に取り替え, 10cmの骨延長を行った。術後の待機期間をおき, レ線上, 骨切り部に仮骨を確認後, 骨延長を開始した。骨延長部の仮骨形成が断絶しない1日に1.0mm以下の速度で骨延長し, 仮骨形成が乏しい場合は延長を休止した。脛骨延長の2例では早期より荷重歩行させたが, 小人症の1例では起立訓練と関節可動域練習を行った。尺骨延長の3例では患肢を自由に使わせた。骨延長終了後, 仮骨硬度が増加した時点で長軸負荷(dynamization)を開始し, 架橋骨が十分骨化した時点でピンを抜去した。HBOは羽生田鉄鋼所製第二種高気圧酸素治療装置を用い, 加圧15分, 2絶対気圧50分, 減圧20分/日にて術翌日から骨延長の期間中, 週5回ないし6回施行した。また動物実験として成犬2頭を用い, 先ず右大腿骨骨幹部を骨膜下に骨切りし, Orthofix小型延長器をピン4本にて装着した。術後14日より0.5mm/日の延長速度で, 40日間に20mm延長し, 2ヵ月後に骨化が完了した時点で, 延長器を抜去した。次に左大腿骨を同様に骨切りし, 延長器を装着し, 術後14日より0.5mm/日で40日間に20mm延長した。また左大腿骨ではHBO(加圧5分, 2絶対気圧60分, 減圧15分/

日)を羽生田鉄工所製第一種高気圧治療装置にて術翌日より延長終了まで54日間行った。レ線像にて左右大腿骨の仮骨形成を比較観察した。

## 結 果

### 1. 臨床例

#### 1) 両下肢の骨延長を行った1例(症例1)

11歳、女兒の小人症では右大腿骨は術後9日で仮骨を確認後、107日間で100mm延長し、またHBOを術翌日より骨延長終了後3週まで80回行った。左大腿骨は術後12日で仮骨を確認後、105日間で100mm延長したが、MRSAによるピン感染を合併したため延長終了後HBOを30回行い、感染は治癒した。延長速度は右大腿骨は0.86mm/日、左大腿骨は0.85mm/日で、延長中の仮骨幅、仮骨密度共にほぼ同等であった。骨延長終了後の架橋骨形成は左右大腿骨共に良好で、右大腿骨は術後228日でピンを抜去した。左大腿骨は同様に術後220日でピンを抜去出来た(表1, 2 No.1。図1)。右脛骨は骨切りと同時に内反矯正した結果、骨切り端は離解し、仮骨形成が遅れ、術後22日より延長を開始し、113日間で100mm延長した。またHBOを術翌日より延長終了3週まで80回行った。左脛骨は術後12日より延長を開始し、仮骨形成は術後6週まで良好であったが、結局、HBOを併用した右脛骨よりも遅れ、100mmの延長に139日間を要した。延長速度は右脛骨が0.74mm/日で、左脛骨は0.66mm/日であった。また右脛骨は延長終了後も架橋骨形成は良好で、術後284日でピンを抜去できたが、左脛骨は延長終了後も仮骨の骨化が遅れ、ピン抜去は術後322日になった。またHBOを併用しなかった左脛骨は骨延長後にピン感染を合併したが、HBO30回を施行し、治癒した(表1, 2 No.1。図2)。

#### 2) 一側の脛骨を延長した2例

症例2は延長に82日を要し(延長速度0.52mm/日)、HBOを63回行ったが、術後204日でピンを抜去し、H.Iは40.8日/cmとなった。また症例3は仮骨形成が良好で49日で延長は終了し(延長速度0.80mm/日)、HBOを45回行い、術後115日でピンを抜去し、H.Iは31.0日/cmとなった。共にピン感染などの合併症はみられなかった(表1, 2 No.2, 3)。

#### 3) 一側の尺骨を延長した3例

表2 架橋骨完成時(ピン抜去時)における評価

No.	短縮骨	骨延長	ピン抜去	H. I
1	右大腿骨	100mm	228日	22.8
	左大腿骨	100mm	220日	22.0
	右脛骨	100mm	284日	28.4
	左脛骨	100mm	322日	32.2
2	左脛骨	50mm	204日	40.8
3	右脛骨	50mm	155日	31.0
4	左尺骨	20mm	63日	31.5
5	右尺骨	25mm	142日	56.8
6	右尺骨	30mm	119日	39.6

H. I: Healing Index (days/cm)

術後7~15日(平均10.7日)でレ線上、仮骨を確認後、延長を開始した。骨延長は20~30mmで、20~63日を要し、延長速度は0.32~0.74mm/日(平均0.49mm/日)であった。HBOは27~50回行った。ピン抜去は術後63~142日で行い、H. Iは31.5~56.8日/cm(平均42.6)であった。症例4, 5では不全骨折を来したが、短期間のギプス固定にて治癒した。いずれもピン感染はみられなかった(表1, 2 No.4, 5, 6)。

### 2. 犬による実験

HBOを併用した2頭において左大腿骨(HBO側)では術後2週で明瞭な仮骨がみられたが、HBOを併用しなかった右大腿骨(非HBO側)では術後3週で少量の仮骨がみられた。HBO側では延長中、仮骨幅はほぼ骨幹部の横径を維持し、仮骨密度も良好で、骨延長終了後の8週以降も骨化が進行した。一方、非HBO側では延長期間中、仮骨幅はやや狭く、仮骨密度も低く、骨化は遅れた(図3)。

## 考 察

仮骨延長法は骨膜を温存しつつ骨切り端を緩徐に離解させることにより骨膜下に連続した仮骨を誘導する術式で、生体の組織修復能を利用した生理的な骨延長法である<sup>1)~3)</sup>。

HBOは適切な条件下で多くの生体の組織修復能を賦活することが報告され、整形外科分野では骨髄炎、骨壊死、筋皮弁移植術などの補助療法と

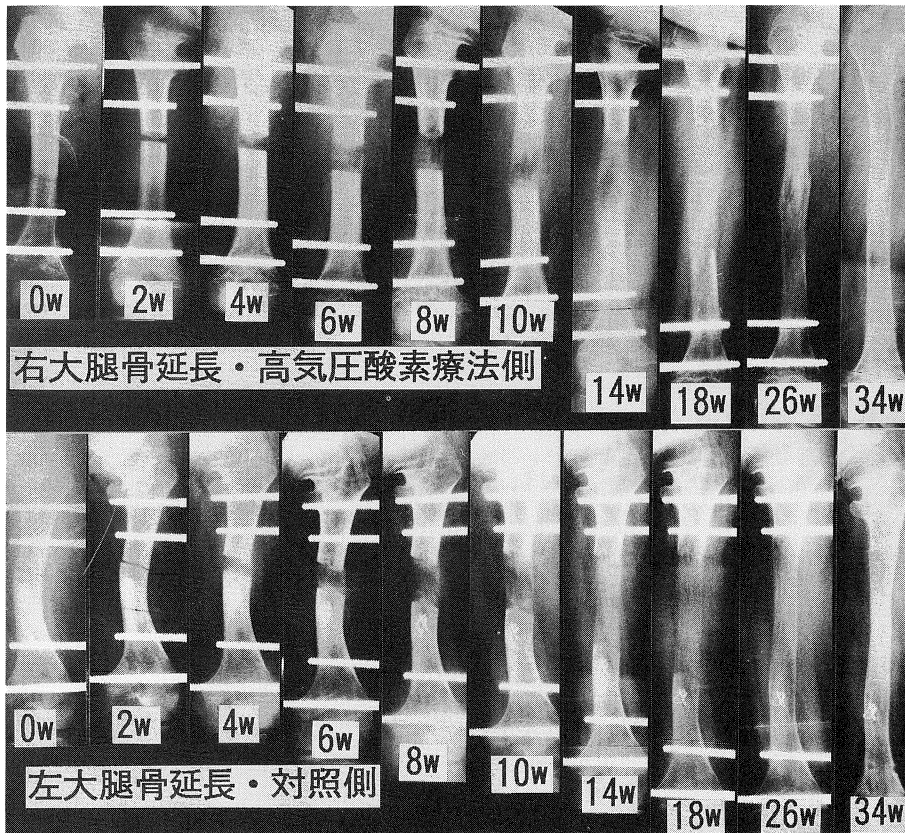


図1 症例1(小人症)における左右大腿骨仮骨延長法の経時的レ線像  
HBO併用側では延長中、やや幅の広い仮骨がみられた。

して臨床に応用されているが、骨折などにおける HBO の骨形成賦活作用に関する臨床報告は少ない<sup>9)</sup>。Kolontai らは多数の骨折例に HBO を併用し、その有用性を報告したが、おもに開放性骨折などにおける感染、血行障害などの合併症に対する補助療法と考えた<sup>7)</sup>。一方、Yablon, Barth らはラットの実験で HBO が骨修復の全過程すなわち血管新生、骨形成、骨改築 (remodeling) などを促進することを報告した<sup>9)</sup>。われわれは犬を用いて仮骨延長法における HBO の骨形成促進作用をレ線学的に評価したが、骨形成能は年齢差、個体差が大であることから HBO が仮骨延長法における骨形成を促進するか否かを臨床的に証明することはやや困難であった。

De Bastiani は100骨に及ぶ仮骨延長の経験から H. I (healing index) すなわち 1 cm の延長に

要した日数で治療成績を評価している<sup>1)</sup>。われわれの小人症例では大腿骨 (HBO 側22.8=非 HBO 側22.0)、脛骨 (HBO 側28.4>非 HBO 側32.2) で、大腿骨は両側共に De Bastiani の小人症大腿骨の平均42より良好であり、また脛骨は両側共に小人症脛骨の平均37より良好で、かつ HBO 併用において治療期間の短縮が得られた。また HBO 併用で脛骨を単独延長した2例は H. I が31.0および40.8日/cm で、内1例は De Bastiani の脛骨単独延長の平均41より良好であった。尺骨の仮骨延長法では多数例における H. I の報告がないため、われわれの3例では HBO の併用効果を評価できなかったが、内1例では著明な仮骨形成がみられ、治療期間の短縮が得られた。われわれの実験では人と近似した骨単位性骨形成能を有する犬を用い、同一個体の左右大腿骨を HBO 側と非

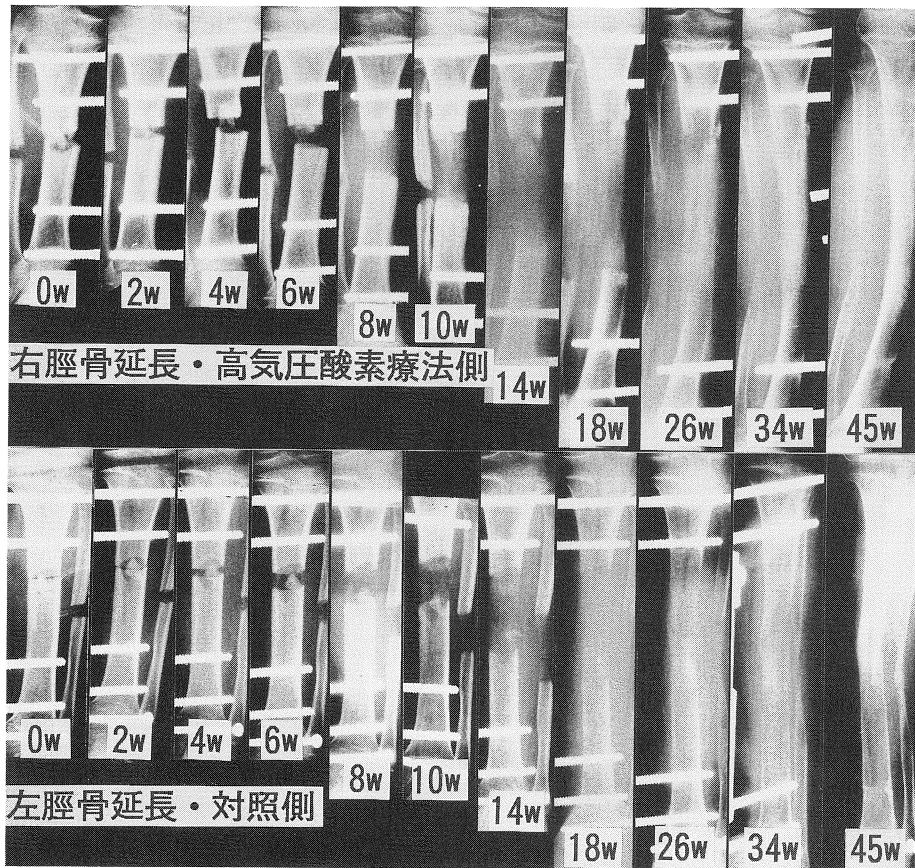


図2 症例1 (小人症)における左右脛骨仮骨延長法の経時的レ線像

HBO併用側では延長中、仮骨形式は良好で、架橋骨形式も1カ月以上早期に完成した。

HBO側に分けて個体差を除外し、また2 ATA、60分/日のHBOを行うことにより臨床応用可能な条件を設定した。一方、歩行などの荷重負荷も骨形成を促進することからHBOの効果と区別する必要がある。しかし延長器を一侧の大腿骨に装着した場合は対側が主荷重脚となり、延長器の抜去および対側大腿骨の延長器装着により再び主荷重脚となったことから荷重負荷の差は骨形成に影響を生じない程度であると考えられた。

本実験とは別に犬1頭で2倍の延長速度すなわち1.0mm/日の仮骨延長をHBO併用にて行ったが、仮骨形成は乏しく、延長中に仮骨は断裂し、20mm延長後の架橋骨形成は得られなかった。したがってHBOは仮骨幅や仮骨密度を増加させるが、過度の延長速度は禁忌であり、少なくとも連

続した仮骨が得られる速度がHBOの補助療法としての限界と考えられた。またHBOの仮骨延長法における適用であるが骨延長術はおもに若年者を対象とするため長期に及ぶHBOは活性酸素の副作用を考慮しなければならない。したがって仮骨形成に重要な骨延長を開始するまでの待機期間および旺盛な骨膜性仮骨形成がみられる骨延長期間に限り、HBOは行われるべきであると考えている。

仮骨延長法におけるピン感染は少なからずみられ、そのため骨延長を中断せざる得ない場合もある<sup>1)3)</sup>。しかしHBOを併用した7骨に刺入したピン28本ではピン感染はみられず、一方、HBOを併用しなかった2骨のピン8本中4本にピン感染を合併し、その後HBOを行うことによりピン感染

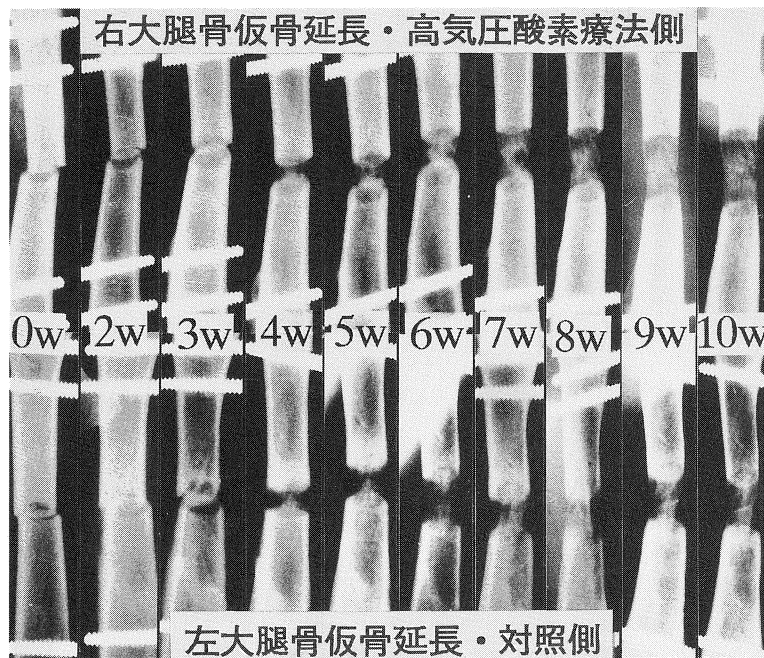


図3 犬における左右大腿骨仮骨延長法の経時的レ線像  
20mmの骨延長を54日(図の8wまで)で行ったが、HBO側は仮骨幅・仮骨密度共に良好であった。

が治癒したことから HBO はピン感染の予防あるいは治療にも有効であると考えられた。

#### まとめ

仮骨延長法において HBO は骨形成を促進し得る補助療法であり、ピン感染の治療あるいは予防にも有用であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L: Limb lengthening by callus distraction (callositas). J Pediatric Orthop 7:129-134, 1987
- 2) Ilizarov GA: The principles of the Ilizarov method. Bulletin of the Hospital for Joint Diseases Orthopaedic Institute. 48:1-35, 1988
- 3) 安井夏生: Achondroplasia に対する両下肢延長術. 手術 43:1589-1597, 1989
- 4) 井上治, 湯佐祥子, 野原敦, 幸地貴子, 島袋博之, 茨木邦夫: 高気圧酸素療法が骨膜性骨形成に及ぼす効果に関する実験的・臨床的検討. 日本高気圧環境医学会雑誌 26 (3) :151-157, 1991
- 5) Strauss MB, Hart GB: Clinical experiences with HBO in fracture healing. In: Smith G (ed) Proceedings of the 7th International Congress on Hyperbaric Medicine. University of Aberdeen Press. Aberdeen. pp329-332, 1977
- 6) Malloy RB, Kolodny SC: Osteogenesis enhancement. Hyperbaric Oxygen Therapy, In: Davis JC (ed) The Undersea Medical Society, pp281-285, 1977
- 7) Kolontai YU, Smirnova LA, Kondrashov AN: Treatment of open fractures in long tubular bones. Sov Med 39:94-100, 1976
- 8) Yablon IG, Cruess RL: The effect of hyperbaric oxygen on fracture healing in the rat. J. Trauma., 8:186-202, 1968
- 9) Barth E, Sullivan T, Berg E: Animal model for evaluating bone repair with and without adjunctive hyperbaric oxygen therapy (HBO): J. Invest. Surg., 3:387-392, 1990