脊椎外科手術における超音波骨切除装置の有用性

土 屋 邦 喜* 山 岡 和 弘* 宮 城 光 晴* 岡 村 武 志*

Application of Ultrasonic Bone Scalpel for Spinal Surgery

Kuniyoshi Tsuchiya*, Kazuhiro Yamaoka*,
Mitsuharu Miyagi*, and Takeshi Okamura*

脊椎疾患 133 例の手術に超音波骨切除装置を使用した。超音波骨メスの使用により骨切除が容易かつ安全に施行可能であった。特に有用であった術式は頸椎椎弓形成の正中縦割、頸椎前方除圧固定、胸椎レベルの靱帯骨化に対する除圧術、腰椎では骨形成的椎弓切除術であった。2 例に硬膜損傷を経験した。これらはハンドピースの先端部のフックで機械的に硬膜を挟み込んだものと推定され、手技的なものと考えられた。その他超音波骨メスは硬膜露出後の追加骨切除の際に有用であった。超音波骨メスは削開スピード自体はエアトームに劣るが術者の負担軽減が期待でき、脊椎手術の際有用であることが示された。

One-hundred thirty-three patients underwent spine surgery using ultrasonic bone scalpel. Safe and quick bone resection was provided for all cases. Dural tear was observed in two patients and was estimated to be related to the use of ultrasonic bone scalpel. Both were considered to be caused by inappropriate use of handpiece, and thus preventable. Ultrasonic bone scalpel was useful especially for cervical laminoplasty, anterior decompression and fusion, decompression for the ossification of spinal ligaments, and pars resection in osteoplastic laminectomy of the lumbar spine. The device was beneficial for additional bone resection after exposure of the neural tissue.

Key words : spine surgery (脊椎手術), ultrasonic bone scalpel (超音波骨メス), surgical device (手術器具)

は じ め に

脊椎手術において骨切除に使用される器具に求められる性質としては安全性、迅速性、正確性および非侵襲性（組織愛護）が挙げられる。現在脊椎手術において骨切除（切離）のデバイスとしてはサージエアトーム、鋭匙、ケリソン鉗子、オステオトーム、鉗子類（リウエル）、T-saw 等が一般に用いられている。超音波骨切除装置（ソノペット）は超音波振動で骨組織を切除する新しいタイプの手術器具であり、その特徴として骨組織あるいは骨化組織のみを切離し、軟部組織は基本的に損傷し難いことが挙げられる。この特徴は脊椎手術には有利であると考えられたため当院では 2001 年より超音波骨切除装置を導入し種々の脊椎手

術に使用してきた。今回超音波骨切除装置の各種脊椎手術における適応、特徴およびその問題点に関し検討した。

対象および方法

対象は 2001 年超音波骨切除装置（以下ソノペット、図 1）導入以降脊椎手術にソノペットを使用した 133 例である。対象症例は表 1 に示す。症例は頸椎から腰椎におよび、代表的な使用症例は比較的頻度の高いものは頸椎椎弓形成、開窓術等の腰椎後方除圧術、そして腰椎骨形成的椎弓切除である。種々のハンドピースがあるが脊椎領域では図 2 に示す 2 種類を比較的多く使用する。上が鋭匙型、下がフックスカルペル型である。

* 済生会八幡総合病院整形外科 Department of Orthopaedic Surgery, Saiseikai Yahata Hospital, Fukuoka, Japan

表1 疾患内訳

上位頸椎, 後頭骨	6 例
頸椎椎弓形成術	57 例
頸椎前方固定術	4 例
骨化性病変	4 例
腰椎後方除圧	22 例
片側開窓時の骨切除	18 例
腫瘍性病変	7 例
骨形成的椎弓切除	12 例
腰椎再手術例	3 例
計	133 例

図1 UST-2001 本体およびハンドピース外観

図2 ハンドピース先端写真, 上が鋭匙型, 下がフック型

ソノベットの特に有用であった術式としては上記に加え頸椎前方除圧固定術, 胸椎靱帯骨化症に対する手術等が挙げられる。

代表的な使用法として, 頸椎前方除圧固定ではまずエアトームで除圧レベルを削開したあと削開領域の辺縁, つまり椎体後縁の骨棘の切除に使用する (鋭匙型)。通常の鋭匙, ケリソン鉗子等に較べ脊髄に圧迫を加えることなく迅速安全に椎体後縁の骨棘を切除可能である (図3)。ほとんど力を加える必要がないため不意の動きも少なく安全である。胸椎黄色靱帯骨化症 (OYL) 等に対する除圧術では硬膜露出後に除圧を確認しながら安全に骨化巣を切除可能である (図4)。鋭匙型を使用する。骨形成的椎弓切除の pars 切離ではフックスカルペル型を用い pars の内側骨皮質まで連続的に切離可能である (図5)。

図3 頸椎前方除圧固定術, 硬膜露出後も椎体後方の骨棘を安全に切除可能である。

図4 黄色靱帯骨化症に対し, 硬膜に接する骨化組織を安全に切除可能である。

図5 骨形成的椎弓切除のpars切離。正中に見えるのは正中切離のためのT-sawである。

結果および考察

すべての症例でソノペットを用いて容易に予定した骨切除が可能であった。合併症として2例に硬膜損傷を経験した。一例は環椎後弓切除の症例、一例は腰椎骨形成的椎弓切除の症例である。いずれもフックスカルペル型ハンドピースを使用して圧迫の強い部位の内側骨皮質（硬膜に接する）を切離する際硬膜をフックの先端で挟み込んだものと考えられた。いずれも骨切除後直ちに硬膜損傷が発見され、損傷部位の長さは1-2mmであり神経組織の損傷を伴わず容易に修復可能であった。フックの角度等を工夫することでこの状況は防止できるものと考えられ、超音波使用開始後比較的初期のこの2例以降硬膜損傷は経験していない。

超音波骨メスの原理は超音波の微振動で硬組織を切除する、基本的にはCUSAと同様の原理である。ピエゾ素子の発振を利用し、その振動を伝達経路で増幅しチップに伝える構造である。発振周波数は25kHz、振幅は概ね200-300 μ mであり直視下では振動していることはほとんどわからない。したがって骨組織あるいは骨化組織は切離するが可動性のある軟部組織は基本的に切離されない。また回転運動を伴わないため軟部組織に直接触れた場合も巻き込み等は基本的に起こりえないことが挙げられる。したがってチップ先端が硬膜に触れても基本的には硬膜損傷を起こさないという特徴がある。この特徴を生かし種々の脊椎手術に応用が可能である。胸椎では例えばOYLの症例で硬膜展開後に硬膜あるいは神経根を直視しながら脊髄に圧迫や衝撃力を加えることなく骨化病変を切除可能である。

またOPLLでは前方より骨化病変最高度圧迫部位の硬膜に接する部位を直接切除しながらの除圧が可能である。骨化病変がFloatingとなった場合は切削力が落ちるため骨化巣の切除を試みる場合は基本的には硬膜損傷を起こし難いその特徴を生かし最初から骨化巣の中央部より削開し骨化巣切除を周辺に向かって広げていくのがソノペットの特徴をより生かせるようである。硬膜が骨化組織と癒着を生じている場合は超音波骨メスといえど骨切除の際に硬膜損傷を起こす可能性は存在する。しかし先だって述べたように実際に硬膜損傷が起きたとしても巻き込みによって硬膜欠損が拡大するリスクは少なく、また神経組織等の巻き込みも起こらないため、この場合に神経組織等の障害のリスクはかなり回避されるものと考ええる。もちろん硬膜損傷自体もきわめて起こりにくいためエアトームによる合併症の率を低下させることは期待できる。いずれにしても骨化浮上でいくか骨化巣切除でいくかはリスクを含め一長一短と考えられ、各々の症例を十分検討した上で術者の判断となる。腰椎では内側椎間関節切除に加え骨形成的椎弓切除におけるpars切離に使用価値が高い。parsの骨切りに使用できるデバイスとして一般的にはオステオトームあるいはT-sawが用いられている。オステオトーム等は操作は最も簡便であるが神経根損傷の可能性や骨切り部位の骨挫滅による椎弓還納後のギャップが問題点として挙げられる。T-sawは骨切り面は平滑で骨挫滅も少ないがpars下の通過が時に困難で時間を有することを経験する。超音波骨メスは以上の欠点をほぼ回避しており操作は簡便で迅速なpars切離が可能である。椎弓内側の皮質まで離断可であるが内側からの切離開始の部あるいは神経根上で狭窄が強い場合はその部位で硬膜を挟み込むことにより物理的に硬膜損傷も起こりえるため十分な注意および可能な範囲で硬膜の保護は必要である。切骨部の幅は0.7mmで骨切り面は平滑なため還納後のギャップはほとんど生じない。椎弓摘出後に上関節突起内側も切除可である。

一般的にエアトームでも習熟により安全な操作は可能だが切除部位の形状によってはburr先端が弾く可能性や内視鏡手術等でone-hand operationを強いられる場合は通常よりさらに習熟を要しいずれにしても術者の負担は大きい。特に神経組織近傍での使用は慎重を要する。

その他ソノペットは切除境界の分かりにくい再手術等では特に有用であった。

現時点での問題点としてはおおむね4点である。

第一に削開速度はサージエアトームに劣ることより現時点ではある程度の骨切除が必要な場合はエアトームを併用して骨切除を行い、顕微鏡下でソノペットによる神経周辺の操作を行う形で使用している。またエアトームと同様発熱の問題は存在し、本体にイリゲーションが設定してあり通常の使用では十分なイリゲーションが得られるが、特に皮質骨の厚い症例等で厚い皮質骨をソノペットのみで深く切り込んでいくとチップ側面が皮質骨削開面に接触している部全体の摩擦で強い発熱を生じる場合があり確実なイリゲーションが必要である。これはチップの幅（厚さ）がチップ先端と基部で同じため、このような場合エアトームである程度削開した後でソノペットを使用すればこの問題はかなり解決するためこの点でもエアトームの併用は有意義である。

第二に海綿骨を含む骨組織の削開の際エアトームでは骨粉等によりある程度の止血が得られるが、ソノペットの切断面で生じる骨粉はきわめて微細で肉眼的にはほとんど見えず、さらにイリゲーションによって洗い流されるためエアトームで見られるような切除骨粉による自然止血効果が見られない。したがってエアトームに比べやや出血しやすいため特に骨粗鬆症症例においては海綿骨削開部位における止血を考慮する必要がある。

第三に深部に向かって削り込んでいく操作は不得手なため後方よりの椎間孔開放等はソノペット単独では困難である。

4点目はハンドピースのメンテナンスがやや煩雑でチップ交換の頻度はさほど高くないものの作業はメーカー依頼で修理に準じた対応となり期間、コストの問題を考慮する必要がある。

今回超音波骨切除装置（ソノペット）の特徴、問題点、使用上のポイントに関し考察を加えた。いくつかの問題点はあるものの超音波骨切除装置は従来の手術における術者の負担軽減が期待され、サージエアト

ームと併用し、必要部分に超音波を利用することでそのメリットが最大に発揮されるものと考えられた。先に述べたように硬膜損傷はきわめて起こりにくい物理的に余裕がない空間で物理的に硬膜、神経を挟み込んだ場合は硬膜損傷も起こりえるため術中のすべてのリスクを回避できるものではなく、その特徴の十分な理解と的確な使用は不可欠である。現在超音波骨メスは脳神経外科、形成外科領域で汎用されている¹⁴⁾。脊椎外科領域においては脳神経外科分野からの報告が主である²³⁾が整形外科領域では未だ使用施設は少ないようである。その理由として削開速度の問題に加え価格、メンテナンスが多くを占めるものと考えられるが、安全性においては高い価値をもっており、今後その特徴を生かして内視鏡手術との併用等を含めさらに検討していきたいと考えている。

ま と め

①種々の脊椎手術に超音波骨メスを用いその特徴を検討した。

②超音波骨メスを用いる事により迅速かつ安全な骨切除が可能であった。

③2例に硬膜損傷を経験した。

④脊椎外科領域におけるメリットは大きいですが、使用法を誤ると合併症の危険があり、使用法には十分習熟すべきである。

参 考 文 献

- 1) 平野仁崇ら：軟骨無形成症患児の大孔部減圧術における超音波骨メスの有用性。脊椎，脊髄神経手術手技，6：96-99，2004。
- 2) 井上 洋ら：中心型腰部脊柱管狭窄症に対する顕微鏡下靱帯切除術 超音波骨メス（骨削除子）を用いた片側進入法。脊椎外科，17：131-138，2003。
- 3) 伊藤康信，渡邊一夫，中川 洋：脊椎外科手術における超音波骨メスを用いた hemilaminoplasty。日本脊損医学会雑誌，18：154-155，2005。
- 4) 毛利謙三ら：Le Fort I型骨切り術における超音波骨メス（SONOPET）の使用経験。日本口腔外科学会雑誌，50：126-127，2004。