

T-sawによる完全還納式脊髄除圧椎弓形成術(Recapping T-saw laminoplasty)における還納椎弓の組織学的変化についての実験的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/4504

T-saw による完全還納式脊髓除圧椎弓形成術 (Recapping T-saw laminoplasty) における還納椎弓の 組織学的変化についての実験的研究

金沢大学大学院医学系研究科がん医科学専攻機能再建学
(旧講座名：整形外科学)
(主任：富田勝郎教授)

新 屋 陽 一

脊髓腫瘍、脊髓空洞症、脊髓動静脈奇形などの脊柱管内病変に対して、これまで行われてきた広範囲の椎弓切除術には、
脊髓に対する椎弓の防御機構の損失、術後脊柱管狭窄や医原性の不安定性といった短所がある。1989年より当教室では脊柱
管内病変に対し、独自に開発したthreadwire saw (T-saw) (富田・川原、金沢)を用いた完全還納式脊髓除圧椎弓形成術
(Recapping T-saw laminoplasty)を行ってきた。T-sawは椎弓、椎弓根、棘突起を鋭利に切離することができるため、脊柱管内
の手術操作後に椎弓を還納し、後方要素の解剖学的再建が可能である。本研究では雑種成犬を用いたRecapping T-saw
laminoplastyモデルを作成し、自家骨移植片である還納椎弓の経時的な組織学的変化を検討した。その結果、術後4週で接合
部に仮骨形成を伴わない一次骨癒合(primary bone healing)を生じ、24週で還納椎弓において接合部からの海綿骨のリモデリ
ングが観察された。皮質骨では海綿骨のリモデリングに伴う海綿骨側からのリモデリングの経路と、外骨膜側からの経路が存
在していた。脊柱管部の皮質骨では海綿骨側からのリモデリングのみが起こり、その他の皮質骨では接合部に近い部分は海綿
骨側からのリモデリングの関与が大きく、遠位部になるにしたがい外骨膜側からのリモデリングの関与が大きくなっていく。
48週では還納椎弓のリモデリングはすべて完成していた。また、脊柱管に面する皮質骨では海面骨側からのリモデリングの
みが生じており、脊柱管内に狭窄を生じるような余剰な類骨組織や骨組織の形成は認めなかった。以上Recapping T-saw
laminoplastyモデルで経時的に還納椎弓が生物学的に再構築されることが判明した。すなわち本法は脊髓神経に対して長期的
に安全な術式であると結論した。

Key words recapping T-saw laminoplasty, remodeling of bone, histology

脊髓腫瘍、脊髓空洞症、脊髓動静脈奇形などの脊柱管内病変
に対して、安全な脊柱管内の手術操作を行うためには広範囲の
椎弓切除が必要となる¹⁾。しかし、広範囲に椎弓切除を行うと
脊髓に対する椎弓の防御機構が失われ、後方からの外傷に対し
て危険な状態となる²⁾。また、後方の椎弓切除した部分から脊
柱管内へ瘢痕組織が侵入し、脊柱管狭窄が生じた例も報告され
ている³⁾。さらに広範な椎弓切除により脊柱の支持性が失われ、
医原性の不安定性をきたし、脊柱の亜脱臼や後弯変形を生じる
こととなる^{4)~9)}。

一方、1989年より当教室では脊柱管内病変に対し、独自に開
発したthreadwire saw (T-saw) (富田・川原、金沢)を用いた完
全還納式脊髓除圧椎弓形成術 (Recapping T-saw laminoplasty)
を行っている (図1)^{10)~13)}。T-sawは1894年 Gigliにより考案さ
れた Gigli saw¹⁴⁾を発展させ開発されたものであり、stainless
steelのより糸で構成された直径0.36mmあるいは0.54mmのマ
イクロケーブルである。表面は滑らかで軟部組織に対して安全

であり、また柔軟で操作性に富んでいる (図2)。このため当教
室で開発したT-sawガイドやT-sawガイドチューブを用いて脊
髓硬膜外腔に挿入しsaw motionの操作により椎弓、椎弓根、棘
突起を鋭利に切離することが可能である。任意の部位で脊髓硬
膜を損傷することなく安全に椎弓を切離することが可能であ
り、広い手術野が確保できる。さらにまた切り幅がほとんどな
いため、脊柱管内の手術操作が完了した時点で一旦切離した椎
弓を再び元の位置に正確に還納し、固定することが可能であ
る。

この手術法において、臨床的には自家骨移植片である還納椎
弓はほぼ3ヶ月程度で骨癒合することが確認されている¹¹⁾。し
かし、この還納椎弓がリモデリングされ生着するのか、壊死に
陥るのかは不明である。

本研究の目的は実験的に完全還納式脊髓除圧椎弓形成術モ
デルを作成し、還納椎弓の経時的な組織学的変化を検討すること
である。

平成15年5月29日受付、平成15年9月12日受理

Abbreviations : T-saw, threadwire saw

対象および方法

I. 対象動物および麻酔法

体重9.0-11.5kg (平均10.4kg) の雑種成犬合計18頭を使用した。塩酸ケタミン (三共, 東京) 10mg/kgの筋肉内注射により麻酔導入した。肘静脈に点滴路を確保した後に気管内挿管を行い, 臭化パンクロニウム (三共) 0.1mg/kgにて非動化した後に人工呼吸器を用いて調節呼吸を行った。換気回数は20回/分, 1回換気量は25ml/kgに設定した。維持麻酔として塩酸ケタミン2mg/kgを静注し, 麻酔中に臭化パンクロニウムを適宜追加した。術後は自発呼吸が再開するまで人工呼吸で管理を行い, 意識, 呼吸状態に問題がないと判断した時点で気管内チューブを抜去した。

II. 完全還納式脊髄除圧椎弓形成術モデルの作成

全身麻酔後に実験動物を腹臥位にして手術台に固定し, 背側正中に皮膚切開を加え第4腰椎から第6腰椎までの傍脊柱筋を棘突起から椎弓, 神経孔まで剥離し展開した。まず第4/5腰椎椎弓間の黄色靱帯を切除した。T-sawガイドチューブを用い, 黄色靱帯切除部分から両側第5腰椎神経孔に, 直径0.36mmのT-sawを通した。T-sawの両端をT-sawクランプで把持し, sawing motionを行うことにより, 両側の第5腰椎椎弓の関節突起間部にて骨切りを行った (図3A)。第5/6腰椎椎間関節の関

節包を尖刃刀にて切離することにより第5腰椎椎弓を一塊として切除した。直径1.5mmのキルシュナーワイヤーを用いて骨片と母床に締結用の孔を作成し, 切除椎弓を骨切り面が肉眼的に一致するように還納し, 2-0絹糸を通して締結・固定した (図3B)。還納した椎弓の固定性が良好であることを用手的に確認したのち, 傍脊柱筋筋膜を3-0絹糸, 皮膚を4-0ナイロン糸にてそれぞれ縫合し閉創した。手術後はコルセット等の外固定は行わなかった。

実験群は手術後の期間により以下の5群 (各群3頭) に分けた。すなわち第1群 (手術後4週間), 第2群 (手術後8週間), 第3群 (手術後12週間), 第4群 (手術後24週間), 第5群 (手術後48週間) とした。

III. 病理組織学的検討

各群ともにそれぞれの手術後の期間が経過した時点で, 塩酸ケタミン10mg/kgの筋肉内注射, 肘静脈に点滴路を確保した後, 1M塩化カリウム20mlを静注し安楽死させた。犠牲屠殺後すぐに第4腰椎から第6腰椎までを傍脊柱筋を含めて一塊として摘出し, 10%中性緩衝ホルマリン液にて2週間固定した。脱灰後, パラフィンに包埋し, 還納椎弓の中心を通るように体軸に対し垂直な断面での連続切片標本を作成し, HE染色を行った。

それぞれの標本を接合部を含めた椎弓部, 棘突起部, 脊柱管

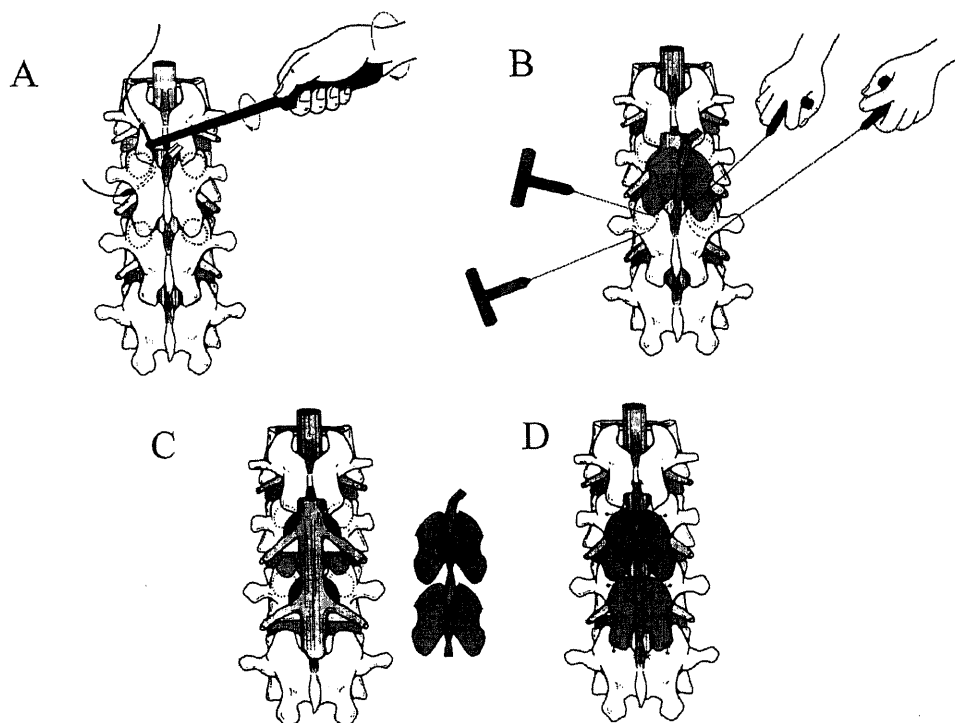


Fig. 1. Diagrammatic representation of one of the methods of the recapping threadwire saw (T-saw) laminoplasty: cutting the pars interarticularis of the lamina. (A) Schema demonstrating the technique of passing the T-saw guide from the interlaminar space into the nerve root canal. The tip of the T-saw guide should be introduced along the medial cortex of the lamina and the pedicle. After passing the T-saw guide, a T-saw is passed through the hole of the T-saw guide. (B) Schema demonstrating the technique of cutting the pars interarticularis of the lamina. Using a reciprocating motion, the T-saw produces a fine cut of the pars interarticularis without injuring the dura mater or the nerve roots. (C) Schema demonstrating the operative field after laminectomy of two laminae and the two resected laminae. (D) Schema demonstrating the reconstruction of the posterior arch. Because the bone loss resulting from cutting by the T-saw is negligible, the excised laminae are placed exactly in situ in their original anatomic position. Recapped laminae are held in place with sutures.

部と3つの部分に分け検討した。

成 績

I. 第1群 (n=3, 手術後4週間で屠殺)

1. 接合部を含めた椎弓部 (図4A, B)

骨接合部 (矢印) は類骨組織による架橋形成を認めた。海綿骨部の還納椎弓側は線維性肉芽組織で置換されていた。皮質骨は壊死骨となっていた。脊柱管内に血腫、線維性肉芽組織の形成はなかった。

2. 棘突起部 (図4C)

海綿骨部は線維性肉芽組織で満たされていた。皮質骨部は壊死骨となっていた。

II. 第2群 (n=3, 手術後8週間)

1. 椎弓部 (図5A, B)

全例で周囲の母床と還納椎弓の間の骨癒合は仮骨形成を伴わ

ずに完成していた

いまだ還納椎弓の海綿骨部の大部分は線維性肉芽組織で置換されていたが、正常海綿骨組織の形成が骨接合部 (矢印) を起点として始まっていた。

皮質骨部でも海綿骨側からの骨新生が骨接合部を起点として始まっており、線維性肉芽組織が正常海綿骨組織に置換されている範囲と一致していた。また、還納椎弓の傍脊柱側の外骨膜側では軟部組織からの壊死皮質骨の吸収像を認めた。しかし、骨皮質の脊柱管側では壊死皮質骨の吸収像はみられなかった。また脊柱管内に血腫、線維性肉芽組織の形成はなかった。

2. 棘突起部 (図5C)

海綿骨部は線維性肉芽組織で満たされていた。皮質骨部の外骨膜側では周囲軟部組織から壊死皮質骨の吸収像を認めた。

III. 第3群 (n=3, 手術後12週間)

1. 椎弓部 (図6A, B)

還納椎弓の海綿骨部では大部分の線維性肉芽組織が正常海綿骨組織に再置換されていた。正常海綿骨組織に再置換されている範囲に一致して、皮質骨部では海綿骨側から骨新生が生じていた。還納椎弓の傍脊柱側における骨皮質の外骨膜側では周囲軟部組織から壊死皮質骨の吸収像と骨新生像が混在していた。しかし、脊柱管側の骨皮質には壊死皮質骨の吸収像および外骨膜からの骨新生はみられなかった。(矢印は骨接合部)

2. 棘突起部 (図6C)

海綿骨部は線維性肉芽組織で満たされていた。皮質骨部の外骨膜側では周囲軟部組織からの壊死皮質骨の吸収像と骨新生像が混在していた。

IV. 第4群 (n=3, 手術後24週間)

1. 椎弓部 (図7A, B)

海綿骨部では正常海面骨組織による再置換が完成していた。同時に皮質骨部では海綿骨側からの骨新生が全域にわたり生じていた。還納椎弓の傍脊柱側の皮質骨の外骨膜側では周囲軟部組織からの骨新生が優位となるも依然として壊死皮質骨の吸収

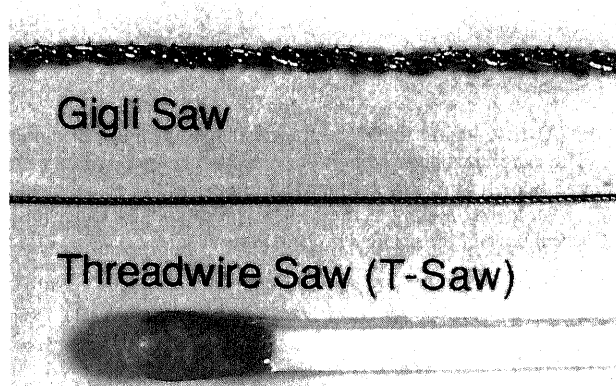


Fig. 2. A match (top), a T-saw (middle), and a Gigli saw (bottom). A T-saw is a thin, smooth and flexible microcable.

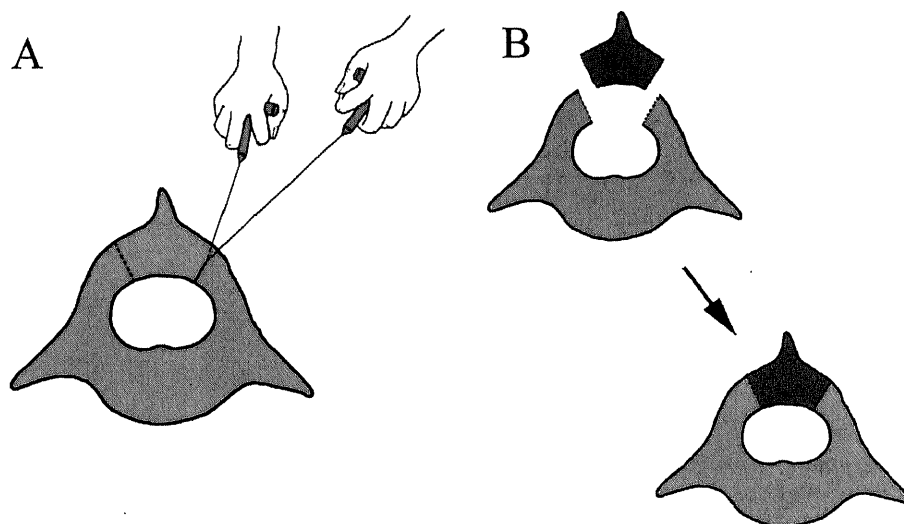


Fig. 3. Schematic demonstrating the technique of cutting pars articularis of the lamina. Using a reciprocating motion, the T-saw produces a fine cut of the pars interarticularis without injuring the dura mater or the nerve roots. After removal of resected lamina, the excised lamina is placed exactly in situ in its original anatomic position. Recapped lamina is held in place with sutures.

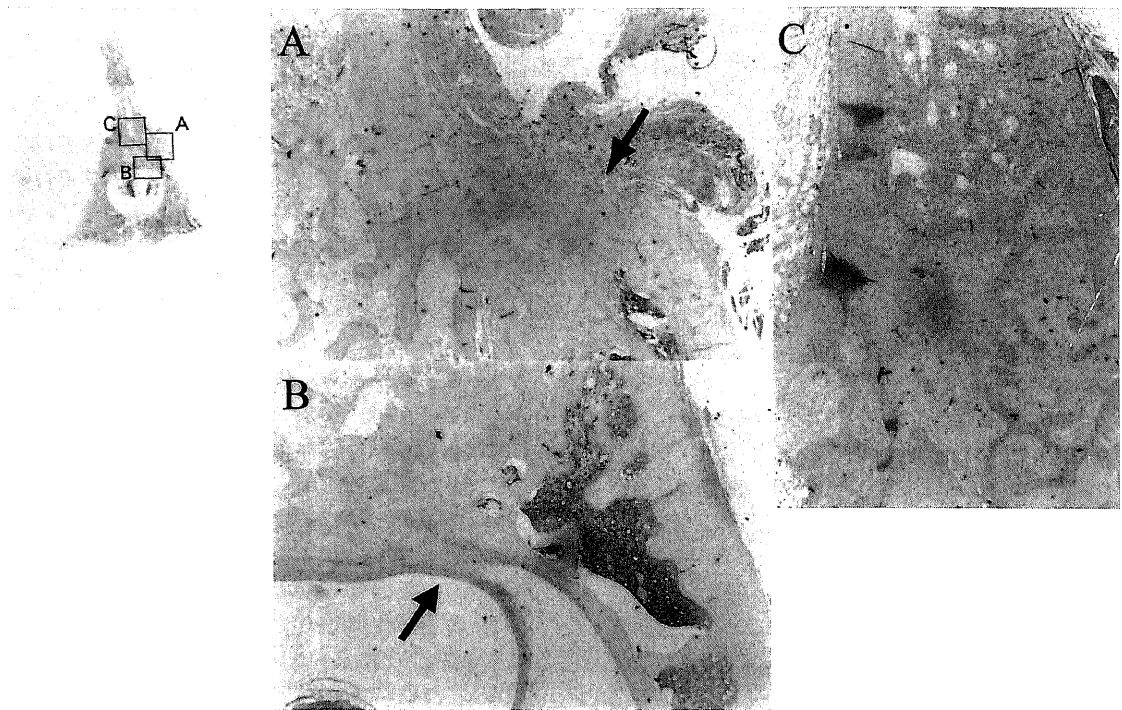


Fig. 4. Histological findings of the group 1 (killed 4 weeks after operation). (A) Histological finding at the recapped junction. Bridging callus formation with osteoid tissue is recognized at the junction (arrow). The cancellous bone area of the recapped lamina is filled with fibrous granulation tissue. The cortical bone of the recapped lamina is dead bone tissue. (B) Histological finding at the spinal canal. Hematoma or fibrous tissue formation is not seen in the spinal canal. (C) Histological finding at the spinous process. The cancellous bone area of the spinous process is filled with fibrous granulation tissue. Cortical bone of the spinous process is dead.

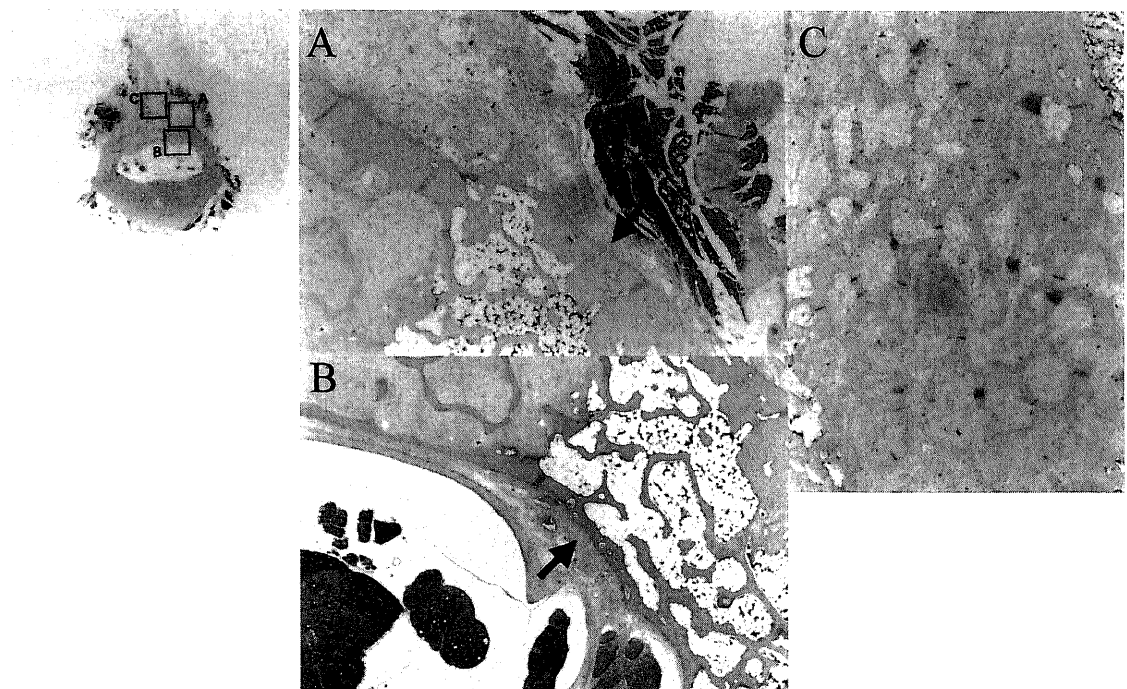


Fig. 5. Histological findings of the group 2 (killed 8 weeks after operation). (A) Histological findings of the recapped junction and the lamina. The recapped junction is fused without excessive callus formation in all dogs (arrow). The cancellous bone area of the recapped lamina is almost filled with fibrous granulation tissue. New cancellous and cortex bone formation grows from the recapped junction. In the outer cortex of the recapped lamina, bone absorption arises from the surface. (B) Histological finding at the spinal canal. Cortex facing the spinal canal is not absorbed at all. Hematoma or fibrous tissue formation is not seen in the spinal canal. (C) Histological finding at the spinous process. The cancellous bone area of the spinous process is filled with fibrous granulation tissue. In the outer cortex of the spinous process, bone absorption arises from the surface.

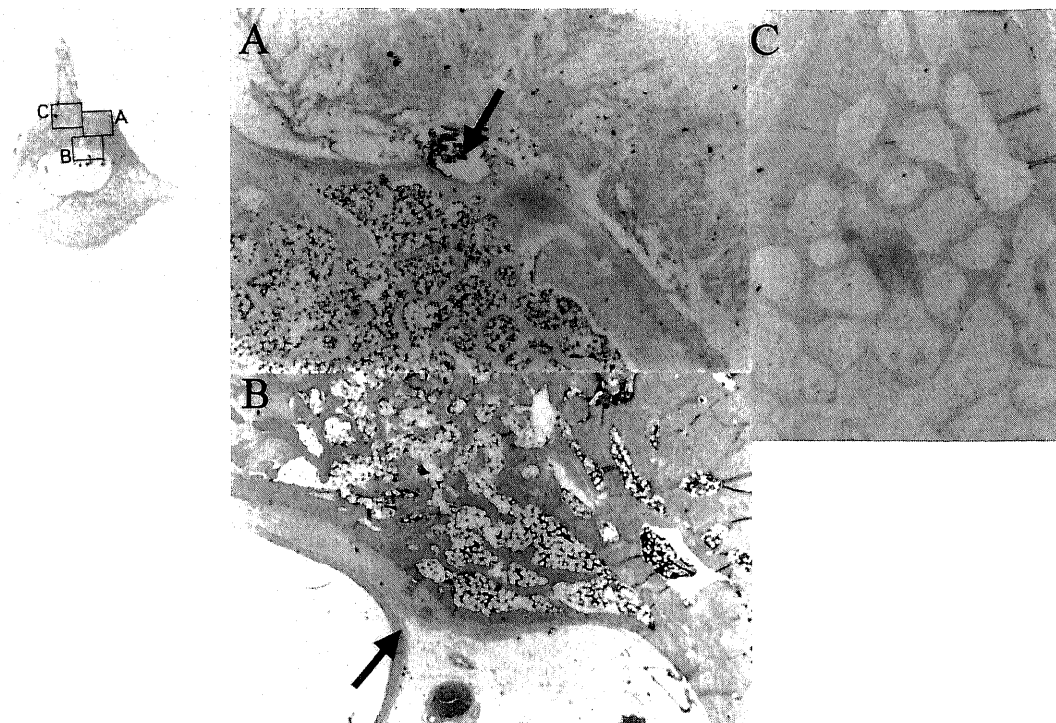


Fig. 6. Histological findings of the group 3 (killed 12weeks after operation). (A) Histological findings of the recapped lamina. Most of cancellous bone area is replaced with new cancellous and cortex bone formation. Bone absorption and new bone formation are mixed in the outer cortex. (B) Histological finding at the spinal canal. Bone absorption and new bone formation arises from cancellous bone. (C) Histological finding at the spinous process. The cancellous bone area of the spinous process is filled with fibrous granulation tissue. Bone absorption and new bone formation are mixed in the outer cortex.

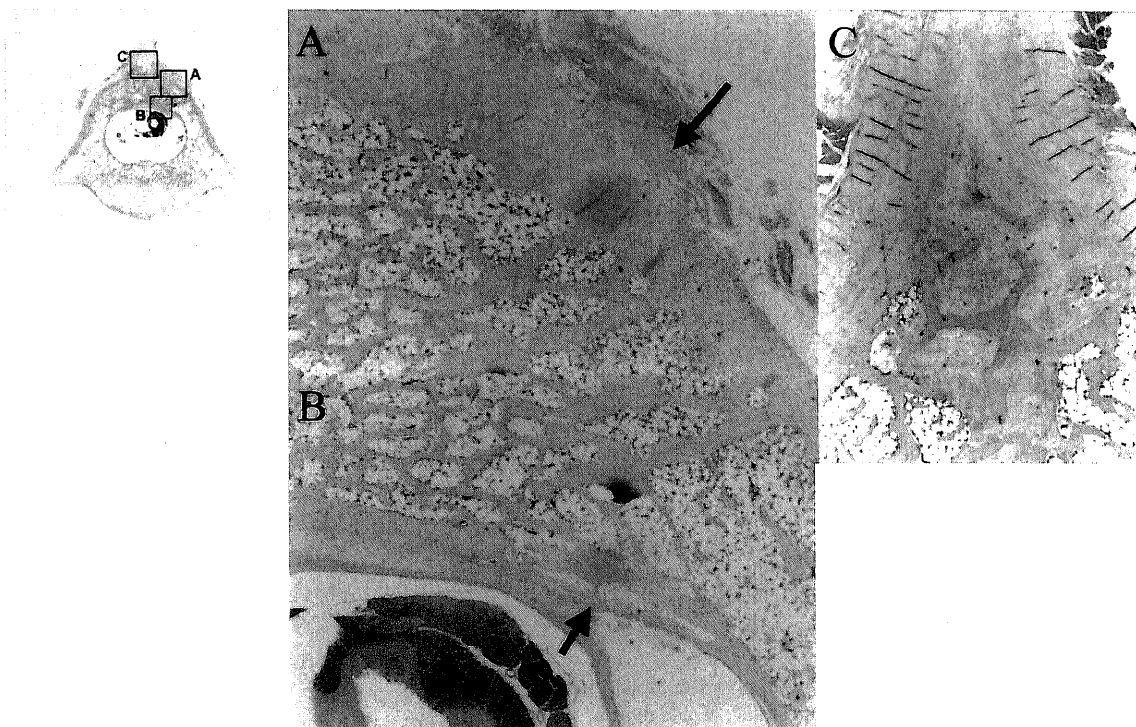


Fig. 7. Histological findings of the group 4 (killed 24weeks after operation). (A) Histological findings of the recapped lamina. Whole part of cancellous bone area is replaced with new cancellous bone formation. New bone formation becomes dominant compared to bone absorption in the outer cortex. (B) Histological finding at the spinal canal. Bone remodeling is completed in the cortex facing the spinal canal. (C) Histological finding at the spinous process. Cancellous bone area is filled with fibrous granulation tissue. Bone absorption and new bone formation are mixed in the outer cortex.

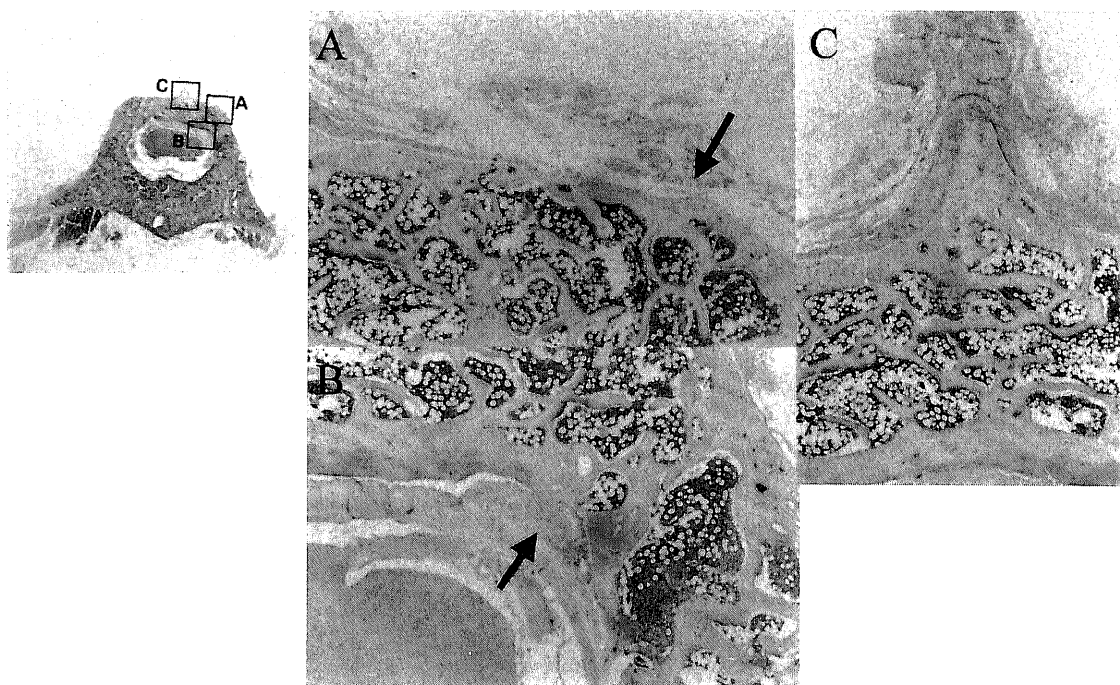


Fig. 8. Histological findings of the group 5 (killed 48 weeks after operation). (A) Histological findings of the recapped lamina. Bone remodeling is completed in both the cancellous bone area and outer cortex. Thickness of remodeled graft cortex is similar to that of the cortex of the host bone. (B) Histological finding at the spinal canal. Bone remodeling is completed in cortex of spinal canal. (C) Histological finding at the spinous process. Bone remodeling is completed in the outer cortex and the cancellous bone area. Thickness of remodeled graft cortex is similar to that of host side cortex.

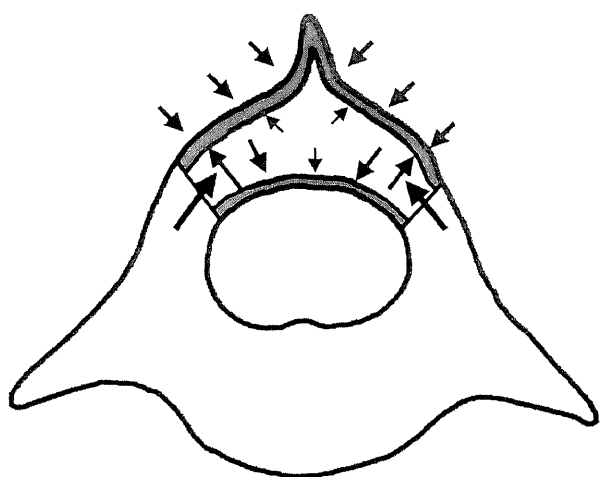


Fig. 9. Schema of remodeling in the recapped lamina. In the cancellous bone area, revascularization from the recapped junction leads remodeling of cancellous bone 2 or 3 months after operation. Remodeling of the cortex of the recapped lamina arises through two pathways, the first is from the remodeled cancellous bone area, the second is from soft tissue around the outer cortex. At cortex of spinal canal, remodeling arises only from cancellous bone site. The size of arrows indicates the effect of remodeling from each pathways.

像も観察された。傍脊柱側の皮質骨に比し非薄な脊柱管側の皮質骨では海綿骨側からの骨新生が完成し、成熟した皮質骨にリモデリングされていた。(矢印は骨接合部)

2. 棘突起部 (図7C)

海綿骨部は線維性肉芽組織で満たされていた。皮質骨部の外骨膜側では骨膜性の骨新生が優位となるも依然として周囲軟部組織からの壊死皮質骨の吸収像も観察された。

V. 第5群 (n=3, 手術後48週間)

1. 椎弓部 (図8A, B)

傍脊柱側の皮質骨においても海綿骨側と外骨膜側からの骨新生は完成し、成熟した皮質骨にリモデリングされていた。骨皮質の厚さは母床側と同程度に回復していた。脊柱管内に脊髄神経を圧迫するような余剰な類骨組織や骨組織の形成はなかった。線維性肉芽組織の侵入も認められなかった。(矢印は骨接合部)

2. 棘突起部 (図8C)

海面骨部は正常海面骨組織による再置換が完成していた。皮質骨部では外骨膜側からの骨新生は完成し、リモデリングされており、骨皮質の厚さは母床側と同様であった。

考 察

脊髄腫瘍、脊髄空洞症、脊髄動静脈奇形などの脊柱管内病変に対し、手術野を確保し脊柱管内の手術操作を安全に行うために、従来は広範な椎弓切除術が一般的に行われてきた¹⁾。しかし、この広範囲椎弓切除術では椎弓、椎間関節、棘上靱帯、棘間靱帯、黄色靱帯といった後方支持要素が破綻する^{2)~9)}。この

後方支持要素の損失、破綻によっておこる医原性の脊柱不安定性、脊柱後弯変形、瘢痕組織の増生による脊髄圧迫などの合併症を予防するためにこれまで様々な後方要素温存を目的とした術式が試みられてきた^{15)~22)}。近藤ら²¹⁾は腰椎椎間板ヘルニアに対し、骨ノミを用いて健康な椎弓を一塊として切除し、もとの母床に還納する術式を骨形成的椎弓切除術としてはじめて報告した。その後ハイスピードドリル、Gigli saw、骨ノミを使用し骨切りを行った同様な術式が追試されている。一方、当教室ではT-sawを用いたrecapping T-saw laminoplastyを行ってきた。この手術法では従来の方法に比べ切り幅がほとんどないため手術操作が完了した時点で再び本来の位置に正確に還納することができる。臨床的には自家骨移植片である還納椎弓と母床とはほぼ3ヶ月程度で骨癒合することが確認されている¹¹⁾。しかし、骨癒合した後にこの還納椎弓が組織学的にリモデリングをきたし生着するのか、血管進入、増生に伴い骨吸収がおこるのか、また壊死に陥るのかなどは不明である。また還納椎弓が脊柱管内の瘢痕形成に与える影響についても明らかではない。

Perrenら²³⁾は骨折の治癒過程において転位がほとんどなく、強固な固定力が働くときに仮骨形成を伴わずに生じる骨癒合を直接骨癒合 (direct bone healing) または一次骨癒合 (primary bone healing) と命名している。本研究の成績では母床と還納椎弓の接合部では4週で仮骨形成を伴わずに骨癒合が完成していた。これはT-sawでの骨切りの際には切り幅のロスがほとんどないため、転位の無い骨折のように解剖学的に元の位置に還納され、安定した状態が保たれていたためと考えられる。

一般に自家骨移植後の移植骨の自然経過は海綿骨と皮質骨に分けて論ぜられる。Goldbergら^{24)~26)}によると海綿骨は移植後に周辺部の骨細胞を残してほとんどが一旦壊死骨となる。ここに線維性肉芽組織が侵入し、周辺部のわずかに生存している骨細胞が骨新生を導く。移植後4週以内に血管新生が起こり、骨芽細胞と破骨細胞が運ばれ壊死骨の骨吸収と骨新生が始まる。この海綿骨のリモデリングは6ヶ月から12ヶ月で完成し移植海綿骨は正常な海綿骨に完全に置き換わる。本研究でも術後4週で還納椎弓の海綿骨部は未だ線維性肉芽で満たされていたが、術後8週から接合部からの正常海綿骨組織へのリモデリングがはじまっており、このリモデリングは24週で完成していた。

血管新生は移植骨のリモデリングのための重要な因子である。Ray²⁷⁾は海綿骨では移植骨と母床間に直接微小血管吻合が生じるとしている。Stringa²⁸⁾はペルリンブルーを注入する家兔大腿骨の移植実験を行い、海綿骨の自家移植では移植後7日で移植骨の50%に血管新生が見られ、早期の血管新生が移植骨の外側端から3mm位までの範囲に起こるとしている。また黒木ら²⁹⁾は家兔の腸骨稜を全層移植し水素クリアランス法にて海綿骨の血流量を測定した。骨片を採取部位に還納した自家骨置換群では移植骨の骨髄内の血流は移植前に比し2週で1.5倍、4週で3倍、8週でも2倍となっており、反対側に移植した自家骨移行群では2週で0.8倍、4週で1.6倍、8週で移植前と同じであり、本来の位置に還納した群が有為な血流が多かったとしている。これは骨接合部が密着することが移植骨の血流再開に有利であることを示している。切り幅の少ないT-saw¹⁰⁾¹²⁾を用いたRecapping T-saw laminoplastyは椎弓が本来の母床に完全に還納されるために、移植骨と母床が密着するために、還納椎弓の血管新生が起こるのに最適な条件であると言える。さらに活発な血管新生に伴って骨接合部からの移植骨のリモデリングも誘導

される。

Goldbergら^{24)~26)}によると自家皮質骨移植の場合、2週後では骨細胞核の消失、広範囲壊死像を呈する。移植骨内への血管再生は6日目より始まり、全層に血管再生が生じるまでに少なくとも2ヶ月かかる。海綿骨と異なり皮質骨ではまず破骨細胞により骨が吸収され、その間隙に血管新生が起こる。この血管新生に伴い、骨芽細胞によるリモデリングがはじまる。このため皮質骨のリモデリングは海綿骨のそれに比して時間を要する。この破骨細胞による移植骨の骨吸収は2週後から起こり、6週まで増加し1年で定常状態となる。さらに骨髄側は外骨膜側に比し早期である9ヶ月で正常海綿骨に置換されるとしている。

本研究では還納椎弓の皮質骨の海綿骨側では海綿骨がリモデリングされるにつれてそれと接している皮質骨部分から骨新生が生じていた。また外骨膜側では周囲軟部組織からの骨新生像を認めた。48週では還納椎弓の皮質骨は海綿骨側と外骨膜側の両方でリモデリングされており、その骨皮質の厚さは母床側と同等であった。また、脊柱管部の皮質骨部では正常海綿骨組織の侵入に伴う海綿骨側からのリモデリングのみが生じていた。これは血行が豊富な軟部組織が脊柱管内には存在しないため移植骨に血管新生を生じなかったためと考えた。すなわち脊柱管内に狭窄を生じ、脊髄神経を圧迫するような余剰な類骨組織や仮骨形成は全く認めなかった。これらのことよりRecapping T-saw laminoplastyにおいて再建された椎弓は1年以内に完全にリモデリングされ、生着していることが証明された。

還納椎弓は接合部より血管の侵入に伴う海綿骨のリモデリングが早期より起こる。皮質骨では海綿骨のリモデリングに伴う海綿骨側からのリモデリングの経路と、周囲軟部組織からの血管新生に伴う外骨膜側からのリモデリングの経路が存在するが、脊柱管部の皮質骨は海綿骨側からのリモデリングのみが起こる。周囲軟部組織と接する皮質骨では接合部に近い部分は海綿骨側からのリモデリングの関与が大きく、遠位部になるにしたがい外骨膜側からのリモデリングの関与が大きくなると推察した。(図9)

LaRoccaら³⁰⁾は犬の椎弓切除モデルを用いた研究で、術後3日目では硬膜の前後や神経根は血腫で満たされており、1週後より背筋表面から始まる線維組織形成が見られると述べている。時間と共に血腫内を厚い線維性瘢痕が広がっていき、硬膜や神経根を取り巻くその厚い線維性瘢痕をlaminectomy membraneと名付けた。本研究では脊柱管内には血腫や線維性瘢痕を全く認めなかった。これはRecapping T-saw laminoplastyでは椎弓が還納されるため血腫を生じるような死腔が出来ないことと、線維性瘢痕形成を誘導する背筋と硬膜外腔が遮断されているのが原因と考えられる。また、脊柱管内に狭窄を生じるような余剰な類骨組織や骨組織の形成は全くなかった。脊柱管部の皮質骨部では移植骨に血管新生を生じるような血行が豊富な軟部組織が存在しないため、正常海面骨組織の侵入に伴う内骨膜側からのリモデリングのみが生じていた。Lawsonら³¹⁾は犬の椎弓切除モデルを用い、椎弓切除後にそれぞれ一塊とした自家骨移植、ポリメタクリル酸メチル、テフロン-プロプラストにて椎弓を修復したものを組織学的に比較検討した。自家骨移植にて修復したものが瘢痕、癒着が最も少なく理想的な手術法としている。

Recapping T-saw laminoplastyでは切り幅がほとんどないT-

sawにて骨切りを行なうため、切除椎弓の解剖学的な還納が可能であり、母床との間で早期に一次癒合することが証明された。また一次癒合した還納椎弓は1年以内にリモデリングされ、術後余剰仮骨形成にともなう脊柱管狭窄を生じることもないため、本法は脊髄神経に対して長期的に安全な術式であると結論した。

結 論

実験的 Recapping T-saw laminoplasty モデルを作成し、その還納椎弓を組織学的に検討することにより以下の結果を得た。

1. Recapping T-saw laminoplasty の還納椎弓は約4週で母床との間で一次骨癒合が得られ、1年以内でリモデリングが完成した。

2. 還納椎弓のリモデリングには骨接合部の海綿骨から始まるものと、周辺軟部組織に接する皮質骨から始まるものの、2経路が存在した。

3. 脊柱管内への仮骨形成および肉芽組織の浸潤、増生は認めなかった。

以上から Recapping T-saw laminoplasty モデルでは経時的に還納椎弓が生物学的に再構築されることが判明した。すなわち本法は脊髄神経に対して長期的に安全な術式と結論した。

謝 辞

稿を終えるに臨み、御指導、御校閲を賜りました恩師、金沢大学大学院機能再建学富田勝郎教授に深甚なる謝意を申し上げます。また、始終直接御指導、御助言を頂きました金沢大学附属病院川原範夫助教授に深く感謝いたします。

なお、本研究の要旨は第27回日本脊椎外科学会(1998, 札幌)において発表した。

文 献

- 1) Love JG. Neurosurgical techniques: Laminectomy for removal of spinal cord tumors. *J Neurosurg* 25: 116-121, 1966
- 2) White AA, Hirsch C. The significance of the vertebral posterior elements in the mechanics of the thoracic spine. *Clin Orthop* 81: 2-14, 1971
- 3) Yamagami T, Matsui H, Tsuji H, Ichimura K, Sano A. Effects of laminectomy and retained extradural foreign body on cauda equina adhesion. *Spine* 18: 1774-1781, 1993
- 4) Fraser RD, Paterson DC, Simpson DA. Orthopaedic aspect of spinal tumors in children. *J Bone Joint Surg Br* 59: 143-151, 1977
- 5) Lonstein JE. Postoperative kyphosis. *Clin Orthop* 128: 93-100, 1977
- 6) Winter RB, Hall JE. Kyphosis in childhood and adolescence. *Spine* 3: 285-308, 1978
- 7) Yasuoka S, Peterson HA, MacCarty CS. Incidence of spinal deformity after multilevel laminectomy in children and adults. *J Neurosurg* 57: 441-445, 1982
- 8) Elsberg CA. Concerning spinal cord tumors and their surgical management. *Am J Med Sci* 159: 194-207, 1920
- 9) Epstein F, Epstein N. Surgical treatment of spinal cord astrocytomas of childhood: A series of 19 patients. *J Neurosurg* 57: 685-689, 1982

- 10) Tomita K, Kawahara N. The threadwire saw: a new device for cutting bone. *J Bone Joint Surg Am* 78: 1915-1917, 1996
- 11) Kawahara N, Tomita K, Shinya Y, Matsumoto T, Baba H, Fujita T, Murakami H, Kobayashi T. Recapping T-saw laminoplasty for spinal cord tumors. *Spine* 24: 1363-1370, 1999
- 12) 富田勝郎, 川原範夫. Threadwire saw (T-saw) の開発と脊椎外科領域での応用—その1. 完全還納式椎弓切除術—. *臨整外* 28: 1249-1257, 1993
- 13) 川原範夫, 富田勝郎. 完全還納式椎弓切除術. *脊椎脊髄* 9: 151-157, 1996
- 14) Gigli L. Über ein neues Instrument zum Durchtrennen der Knochen, die Drahtsäge. *Zentralbl Chir* 18: 409-411, 1894
- 15) Perkinson D. Replacement laminotomy. *Surg Neurol* 8: 277-279, 1977
- 16) Raimondi AJ, Gutierrez FA, Di Rocco C. Laminectomy and total reconstruction of the posterior spinal arch for spinal canal surgery in childhood. *J Neurosurg* 45: 555-560, 1976
- 17) Panjabi MM, Goel VK, Takata K. Physiologic strains in the lumbar spinal ligaments: An in vitro biomechanical study. *Spine* 7: 192-203, 1981
- 18) Malcolm W, Filder MS, Bongartz EB. Laminar removal of and replacement: A technique for the removal of epidural tumor. *Spine* 13: 218-220, 1988
- 19) Plasmans CMT, Van der Eijken. Laminar removal and replacement in combination with a spondylodesis in children with an intraspinal extension of a neuroblastoma: Two case reports. *Spine* 13: 125-127, 1988
- 20) Minatsu K. New laminoplasty after thoracic and lumbar laminectomy. *J Spinal Disord* 10: 20-26, 1997
- 21) 近藤鋭矢, 桐田良夫. 腰部椎間板ヘルニアに対する骨形成的偏側椎弓切除術の改良(骨形成的部分的椎弓切除術). *日整会誌* 28: 419-421, 1954
- 22) 小田祐胤, 河合伸也. 骨形成的椎弓切除術. *整形外科MOOK* 41: 251-264, 1985
- 23) Perren SM, Cordy J. Current concepts of internal fixation of fractures. In ME Muller, M Allgower, R Schneider, H Willenegger (eds), *Manual of Internal Fixation*, 3rd ed, p63-77, Springer-Verlag, New York, 1980
- 24) Goldberg VM, Bos GD, Heiple KG, Zika JM, Powel AE. Improved acceptance of frozen bone allografts in genetically mismatched dogs by immunosuppression. *J Bone Joint Surg Am* 66: 937-950, 1984
- 25) Goldberg VM, Powel A, Shaffer JW, Zika J, Bos GD, Heiple KG. Bone grafting: role of histocompatibility in transplantation. *J Orthop Res* 3: 389-404, 1985
- 26) Goldberg VM, Stevenson S. Natural history of autografts and allografts. *Clin Orthop* 225: 7-16, 1987
- 27) Ray RD. Vascularization of bone grafts and implants. *Clin Orthop* 87: 43-48, 1972
- 28) Stringa G. Studies of the vascularization of bone grafts. *J Bone Joint Surg Br* 39: 395-420, 1957
- 29) 黒木健文, 緒方公介. 腸骨移植後の血流再開に関する実験的研究(水素クリアランス法を用いて). *別冊整形外科* 18: 52-56, 1985

30) LaRocca H, Mcnab I. The laminectomy membrane studied in its evolution, characteristics, effects, and prophylaxis in dogs. J Bone Joint Surg Br 56: 545-550, 1974

31) Lawson KJ, Malucky JL, Berry JL, Steffee AD. Lamina repair and replacement to control laminectomy membrane formation in dogs. Spine 16: S222-226, 1991

Histological study on Recapping Laminoplasty in dogs Yoichi Shinya, Department of Orthopedic Surgery, School of Medical Science, Kanazawa University, Kanazawa 920-8640 — J. Jusen Med Soc., **112**, 131 — 139 (2003)

Key words recapping laminoplasty, remodeling of bone, histology

Abstract

Conventional expansive laminectomy has been used for intra-spinal canal lesions, for instance, spinal cord tumor, syringomyelia and spinal arterio-venous malformation.

However, this procedure sacrifices the protective role of the posterior elements. In addition, post-operative canal stenosis and iatrogenic instability after laminectomy cannot be avoided. At our institute recapping T-saw laminoplasty has been performed since 1989 for intra-spinal canal lesions with the aid of a newly developed threadwire saw (T-saw). The cut of the T-saw is so thin that bone loss is negligible, and this made it possible to achieve exact matching if the laminae are replaced or reapproximated after cutting. As a result the replaced laminae after intra-spinal operation are likely to remain in their primary position and to be very stable. The purpose of this study was to evaluate the histological changes in recapped autografted laminar bone in dog models. Primary bone healing was observed at the recapped junction at 4 weeks after the operation. In the cancellous part of the graft, revascularization from the recapped junction led to remodeling of cancellous bone 2 or 3 months postoperatively. Remodeling of the cortex of the recapped lamina develops via two pathways, from the remodeled cancellous bone area, and from the soft tissue around the outer cortex. At the cortex of the spinal canal, remodeling developed only from the cancellous bone site. Bone remodeling of the recapped lamina was completed 48 weeks after the operation except for the cancellous bone area of the spinous process. This study proved that recapping T-saw laminoplasty makes anatomical reconstruction of the spinal arch following intra spinal surgery possible and that post-operative canal stenosis and iatrogenic instability and subluxation can be avoided.