低侵襲頸椎椎弓形成術における傍脊柱筋群の萎縮について

The Mid-term Evaluation of Paraspinal Muscle Atrophic Changes after Minimally Invasive Cervical Laminoplasty

上田 茂雄 澤田 真寛 隈元 真志 佐々木 伸洋 川那辺 吉文
湯川 弘之 小泉 徹 木原 俊壺 寶子丸 稔

Shigeo Ueda, M. D., Hiroaki Sawada, M. D., Shinji Kumamoto, M. D., Nobuhiro Sasaki, M. D., Yoshifumi Kawanabe, M. D.,
Hiroyuki Yukawa, M. D., Toru Koizumi, M. D., Shun-ichi Kihara M. D., Minoru Hoshimaru, M. D.

Abstract

Background : At present, in patients with degenerative cervical spondylosis, anterior decompression or laminoplasty is performed according to the extent of the lesion and the extent of spinal cord compression. Cervical laminoplasty is a useful surgical technique for multi-level disease, but problems have been identified with this procedure, such as postoperative axial pain, atrophy of the paraspinal muscles and postoperative kyphotic deformity.

Purpose of the study : The evaluation of the postoperative changes in the nuchal muscles.

Patient selection : Since December 2006, 65 patients with CSM have undergone the procedure, of whom 60 (35 men and 25 women) were selected for this study. Follow-up periods ranged from 12 to 18 months, with an average of 14 months. Average age at operation was 69 years (range, 37 to 82 years).

Outcome measures : For quantitative analysis of the damage to the posterior cervical muscles, atrophy rates were calculated using *Image J* software from cross-sectional areas of the paraspinal muscles on the pre- and postoperative axial MRI. In addition, Serum creatine kinase was measured in preoperative and postoperative day 1 and 7 to further assess the muscle damage. To evaluate clinical outcomes, the Japanese Orthopaedic Association scoring system for cervical myelopathy (JOA scores) was used. The change of alignment was calculated by subtracting the pre-operative C2-7 angle from the postoperative C2-7 angle. Statistical analysis was performed using these parameters.

Results : No significant difference was found in the volume of all cross-sectional area. However, the volume of the deep muscle layer which is composed of muscles multifidus and rotatores muscles was significantly decreased post-operatively. The mean changes of alignment were 5.4 degree in our study Group, showing a trend toward improvement of alignment. The JOA score showed a significant improvement from 13 to 16.5. The improvement rate was 77.4%.

Conclusion : Although the slight muscle atrophy was confirmed in the deep layer, no significant difference was found in the other layers. Therefore, it is suggested that this surgical technique not only provide sufficient expansion of the spinal canal, but also prevents postoperative kyphotic deformity.

(Received August 22, 2009 ; accepted October 27, 2009)

Key words

laminoplasty, hydroxyapatite, implants, cervical myelopathy

大津市民病院脳神経外科 / 〒520-0804 大津市本宮 2-9-9 [連絡先: 上田茂雄]

Address reprint requests to : Shigeo Ueda, M. D., Department of Neurosurgery, Otsu Municipal Hospital, 2-9-2 Motomiya, Otsu-shi, Shiga 520-0804, Japan

はじめに

後縦靱帯骨化症や頸椎症によって生じる、多椎間頸部脊柱管狭窄病変に対する最適な手術法に関しては、依然として議論の余地があるところである。本邦における手術法としては、比較的安全に施行しうる後方除圧法が選択されることが多い。

後方除圧法は古典的な椎弓切除術に始まり、椎弓形成術へと発展した。1978年に平林らによって創始された片開き式脊柱管拡大術 (expansive open-door laminoplasty) はさまざまな改良・変遷を経て、現在に至っており、頸椎椎弓形成術を代表する一法である^{1,2)}。また、桐田・宮崎式脊柱管拡大術は、現在いわゆる観音開き式椎弓形成術 (french door open laminoplasty) と称されている後方除圧術の基本形であり、広く応用されている³⁾。これらの後方除圧法の手術成績に関して、椎弓形成術の成績は改善率 13~81.2%の広がりがあるが、40~60%の改善率が得られるという報告が多い⁴⁻¹⁰⁾。また、椎弓切除術は、33~72%の改善率が得られることが報告されており^{10,11)}、椎弓形成術と椎弓切除術を比較した報告 (meta-analysis) では椎弓形成術との成績の差は見いだせないが¹²⁾、椎弓切除では術後の後弯変形の進行が目立ったと報告しており、椎弓形成術の施行が可能であれば椎弓切除を勧める理由は見当たらない^{13,14)}。

現在、これらの椎弓形成術は、多椎間に及ぶ圧迫性頸髄症に対する最も標準的な術式として確固たる評価を得ているが、一方で、軸性疼痛、頸部可動域低下や項部傍脊柱筋群の萎縮に伴う術後後弯変性を生じることなどの問題点が指摘されており、いずれも頸椎後方要素の破壊に起因する中・長期的な合併症であることが知られている¹²⁾。

有茎棘突起再生スパーサーを用いた頸椎椎弓形成術 (K-method) は、現在までに報告された椎弓形成術が抱える術後軸性疼痛や後弯変性などの諸問題を解決すべく考案された手術法であり¹⁵⁾、すでに 2,000 例以上の症例に本法を用いて良好な手術成績をあげている。

今回われわれは、有茎棘突起再生スパーサーを用いた頸椎椎弓形成術における手術操作が、術後に傍脊柱筋群に及ぼす影響を中期的に検討し、臨床成績との関連や問題点について報告する。

対象および方法

対象症例は、当院にて 2006 年 12 月~2007 年 3 月までに頸椎椎弓形成術を施行した連続 65 症例で、術後 1

Table 1 Patient selection

No. of patients	60
Age (ave)	61.5 (37~82)
Gender	
male	35
female	25
Primary cause	
cervical spodylosis with deformities	38
cervical canal stenosis	12
OPLL	7
cervical disc herniation	3

年の時点にて頸椎 MRI を撮影しえた症例 60 例 (男性 35 例、女性 25 例) を対象とした。疾患の内訳は Table 1 に記載している。

1. 傍脊柱筋萎縮の評価

評価の対象とした MRI は、術前および術後 1 年目の時点で撮影されたものを使用した。術前後の MRI から C5 棘突起部断面を用いて、関心領域を設定して傍脊柱筋群の断面積を算出した。面積を算出するにあたっては ImageJ software (NIH. <http://rsb.info.nih.gov/>) を使用した (Fig. 1)。

2. クレアチニンキナーゼによる筋破壊の評価

当科にて使用しているクリニカルパスに沿って、採血検査は術前、術翌日、術後 7 日目に施行した。筋破壊の血清マーカーとしてクレアチニンキナーゼ (CK) 値を測定して、それぞれを経時的に比較した。

3. 頸椎 alignment 評価

評価の対象とした X 線像は、MRI と同じく術前および術後 1 年目の時点で撮影されたものを使用した。頸椎 alignment は、立位側面中間位 X 線像にて C2-7 前弯角を計測した。

4. 臨床評価

術前後の臨床評価の指標として、日本整形外科学会頸髄症治療成績判定基準 (JOA スコア) を用いた。術後の改善率は、平林法による改善率を用いて評価した。

$\text{recovery rate (\%)} = (\text{postoperative JOA score} - \text{preoperative JOA score}) \times 100 / (17 - \text{preoperative JOA score})$ ⁷⁾

5. 統計学的処理

連続変数データに関しては、mean ± standard errors にて表記している。2 群間における差に関しては、One-way factorial ANOVA にて比較した。Probability value (p) が 0.05 未満の際に、有意差ありと判断した。

Fig. 1 Dorsal extensor muscles, visualized on an axial MRI at the C5 level

a : Preoperative image.

b : Postoperative image.

①Superficial layer : Splenius capitis and Semispinalis capitis

②Middle layer : Semispinalis cervicis

③Deep layer : Multifidus and rotatores muscles

These layers can be carefully identified. The cross sectional area of each muscle was measured using Image J software, with calibration to the scale provided in these images.

手術手技における工夫

本手術 (K-method) の手術手技の詳細に関してはすでに報告済みであるが¹¹⁾, 後方要素を温存するために, 特に留意している点を記載する。

1. 体位は頸椎を正中位からわずかに後屈させた腹臥位とする

これによって術創展開時に, 傍脊柱筋群の過伸展損傷が予防できる。頭部がわずかでも回旋している状態にあると, 正中に存在する組織 (項靱帯) が偏在して, 筋損傷をきたしやすいので注意が必要である。

2. 項靱帯の funicular portion に関しては確実に正中を切開する。また, 閉創時には非吸収糸を用いて確実に縫合する

Funicular portion は項靱帯の背側に位置する硬い線維状組織であるが, 僧帽筋・小菱形筋の付着部であるため, 開・閉創時には確実な操作が必要である。Funicular portion を温存して僧帽筋筋膜との間隙を剥離する方法も報告されているが, 僧帽筋からの強い張力を考えると, 長期的には離解して軸性疼痛の原因となる可能性がある。

3. 項靱帯の lamellar portion を温存して, 筋組織を直視しない

Lamellar portion は funicular portion の腹側に位置する 2 層構造の膜様組織であり, 間隙に脂肪などの組織も認める。これらを損傷しないように剥離をすすめると, 棘突起まで到達できる。通常, bifurcated type の棘突起を有する C3-5 棘突起背部に lamellar portion は存在する

(Fig. 2 a, Fig. 3)。

4. 棘突起に付着している多裂筋を剥離する (侵入側のみ)

多裂筋を棘突起付着部から剥離する。ここまで筋鉤は使用せずに, 吸引管にて筋肉にわずかにテンションをかけるのみとする。C6-3 に付着する多裂筋の付着部を剥離すると, 傍脊柱筋はコンパートメントとして可動化する。この時点から筋鉤などを用いて, 外側へと剥離をすすめる (Fig. 2 c)。

5. 頸半棘筋の剥離は最小限にとどめる

頸半棘筋は主に第 2 頸椎棘突起, 第 3-5 頸椎棘突起に起始部をもち, 第 4 頸椎外側塊から第 6 胸椎横突起に至る。頸椎の前弯維持には重要な要素となるため, 第 2 頸椎棘突起からの剥離は最小限にとどめる (Fig. 2 b)。

6. C3-6 の各棘突起は基部にて切離する

各棘突起の頭側から硬膜剥離匙などを棘間靱帯の腹側から挿入すると対側の椎弓を触知可能である。これを指標にして, 棘突起を切離すると, 棘突起には安全に基部での切離が可能であり, 対側の多裂筋が付着した状態で温存可能である。したがって, 対側の筋層剥離は椎弓尾側に付着している回旋筋群のみとなる (Fig. 2 d)。

結果

1. 術前・後の傍脊柱筋に対する影響

Fig. 3 のごとく, 傍脊柱筋を頭板状筋・頭半棘筋が構成する浅層, 頸半棘筋による中間層および多裂筋と回旋

Fig. 2 Intraoperative photographs

- a** : Midline splitting of the nuchal ligament has been performed. The lamellar portion of the nuchal ligament has been split and retracted by the suction tube. The tip of the suction tube is touching to the C4 spinous process. No muscles are seen in the picture.
- b** : The left side semispinalis cervicis is retracted by the suction tube to dissect multifidus from the C3 spinous process.
- c** : The left side paraspinal muscles are dissected. The paraspinal muscles are mobile as a compartment. A retractor can be used without muscle damage.
- d** : Splitting the base of the respective C3 to C6 spinous processes.

Fig. 3 Cross sectional anatomy at C5 spinous process

筋が構成する深層の三群に分割して、それぞれの C5 棘突起断面における面積を ImageJ software にて計測した (Fig. 1)。

浅層の術前断面積は右 4.72 cm², 左 4.89 cm²であった。術後は右 4.55 cm², 左 4.98 cm²であり明らかな断面積の減少や左右差を認めていない (Fig. 4 a)。

中間層においても同様に、術前断面積は右 2.18 cm², 左 2.18 cm², 術後右 2.28 cm², 左 2.68 cm²であり、術前後に有意差を認めなかった (Fig. 4 b)。

深層における術前断面積は、右 1.39 cm², 左 1.51 cm², 術後右 1.17 cm², 左 1.03 cm²であり、断面積の有意

な減少を認めたが[§] (p<0.0001), 左右差は認めなかった (Fig. 4 c)。

全層 (浅層・中間層・深層の合計) においては、術前断面積は右 8.33 cm² 左 8.57 cm² 術後、右 8.27 cm² 左 8.96 cm²であり、明らかな断面積の減少や左右差を認めていない (Fig. 4 d)。

2. 術前・後の採血値 (CK 値)

術前・後の採血値の比較において CK 値は術前平均の 109μ/l から術翌日 209μ/l へと 91.7%の一過性の上昇を認めたものの、術後 7 日目においては 68.5μ/l と正常化していた (Fig. 5)。

Fig. 4 The volume of each muscle layers at C5 spinous process
 These bar graphs are showing the measurement of the muscle cross sectional area.
a : Superficial layer.
b : Middle layer.
c : Deep layer.
d : Total layer.
 ※ : significant difference, $p < 0.0001$, ☆ : no significant difference

Fig. 5 Time course of the serum creatine kinase
 ※ : significant difference, $p < 0.0001$, ☆ : no significant difference.

Table 2 C2-7 angle and JOA Score

	Pre-op	Post-op	p-value
C2-7 angle	9.35 (min -17.5/max 22.4)	14.7 (min -10.5/max 24.7)	$< 0.01^a$
JOA score	13 (min 6/max 16)	16.5 (min 9/max 17)	$< 0.01^a$
The improvement rate was 77.4%			

最高 17 点) であった。平林法による改善率は 77.4% であった (Table 2)。

なお、臨床評価と頸椎前弯角の増加は正の相関関係にあった。

3. 頸椎 alignment

症例全体の alignment は、術前平均 9.35 度から術後平均 14.7 度と前弯角の有意な増加を認めた ($p < 0.01$)。2 例において軽度の前弯角の減少を認めたが、いずれも -3.5 度 (術前 10 度, 術後 6.5 度), -2.0 度 (術前 5 度, 術後 3 度) と軽度であり、進行性の増悪は認めていない (Table 2)。

4. 臨床評価

JOA スコアを用いた臨床評価は、平林法による改善率を用いて評価した。術前の JOA スコア中央値は 13 点 (最低 6 点, 最高 16 点), 術後中央値は 16.5 点 (最低 9 点,

考 察

後方除圧法は古典的な椎弓切除術に始まり椎弓形成術へと発展し、片開き式、両開き式など多くの術式が報告されている。椎弓切除術を含むいずれの術式においても良好な脊髓除圧が得られることが知られており、その短期臨床成績においては明らかな有意差を認めない。一方で、中・長期成績となると、術後の項部筋群の萎縮や、それに伴う軸性疼痛や頸椎後弯変性が問題点として指摘されており、これに関しては椎弓形成術に利点があることが知られている。椎弓形成術における頸椎後弯変性は、

術後 35% の症例にて発生して、10% は進行性に増悪するとの報告がある^{16,17)}。後弯変性の進行に伴って、遅発性脊髄症状が発症することが知られており、その発生予防は ADL にも直結する重要な因子である。

頸椎には 37 カ所の関節が存在し、20 対の筋肉が作用してその複雑な運動に寄与している。Conley M らは頸椎の前弯維持に関与する頸部筋群を、MRI を用いた非侵襲的方法で計測し、頭板状筋、頭半棘筋、頸半棘筋および胸半棘筋が主な筋であることを明らかにした¹⁸⁾。つまり、頸椎椎弓形成術を施行するにあたって温存すべき傍脊柱筋は前述の 4 筋群であることが推測される。術後の後弯変性に関連する臨床報告においては、C2、C7 に付着する筋肉剥離（特に頸半棘筋）によって生じることが言及されており、その可及的温存が重要であるとされる。さらに、項靱帯の温存は術後の alignment 維持や頸椎不安定性予防に対して有用との報告がある¹⁹⁾。これらの報告からは、浅層に存在する傍脊柱筋や靱帯を温存・再建するための工夫が必要であることが示唆される。

われわれの術式では、従来のほとんどの椎弓形成術で行われているような頸部を前屈させた体位は採用せず、正中位からわずかに後屈させる。このような体位の工夫によって、わずか 3 cm 程の小さな皮膚切開でも十分な範囲の椎弓の剥離が可能となる。また、浅層・中間層の筋群の緊張が軽減することから、開創器使用に伴う筋肉の過伸展損傷の予防となる。さらに、小さな皮膚切開部から剥離を行うことで、結果的に項靱帯の損傷を最小限にとどめることが可能になる。同時に C2 および C7 棘突起とそれに連なる靱帯や筋群を温存することで、皮膚伸縮機能を含めた後方要素が温存される。このことにより、術後項部疼痛の軽減が図られるのみならず、棘突起を尾側へ引っ張る力を温存することが可能となる。この力の作用は頸椎椎体の前弯を維持するうえで、非常に重要なものと考えられる。

実際に、今回の C5 棘突起部位における傍脊柱筋断面積の術前後の比較において、頸椎の前弯維持に必要な浅層および中間層においては筋萎縮を認めず、わずかに 3.3% (2/60 例) の症例で軽度の後弯変性を認めたのみであったことから、頸椎の前弯維持に必要な要素が温存できているものと考えられた。

一方で、深層筋群である多裂筋や回旋筋に萎縮を認めたが、頸椎前弯角の維持において必須の筋肉ではなく、臨床的に問題になることはなかった。興味深いことに、剥離方法に左右差があるにもかかわらず（左側のみ棘突起から多裂筋を剥離する）、断面積に左右差を認めなかったことから、筋剥離に伴う直接的な筋損傷以外の機序で

ある可能性が示唆された。多裂筋は頸神経後枝内側枝の単神経支配であり、2 重神経支配である頸半棘筋などと比較すると脱神経に伴う筋萎縮が生じやすいことが影響していることが推測された。

血清中の CK 値は、周術期の筋破壊の指標として用いることが可能であり、これまでにさまざまな臨床報告にて使用されている。われわれの渉猟し得た範囲において頸椎椎弓形成術での報告はなかったものの、Laurence の報告によれば小筋肉切開手術（膝関節置換術や腹部正中切開による開腹手術等）における CK 値上昇率の平均が 487%、大筋肉切開手術（股関節置換術や腰椎椎弓切除術を含む）では 1450% であった²⁰⁾。この報告からは、今回の CK 値上昇率の平均 91.7% は軽度の上昇であると考えられ、筋破壊の程度も軽度であると考察された。

本研究においては、傍脊柱筋や項靱帯に着目してその術後性変化を評価しているが、一方で、Ratliff らの meta-analysis においては術後の後弯変性に最も影響を及ぼす因子は、椎間関節の損傷であると結論づけている¹²⁾。本術式においては椎間関節包を含めて、椎間関節をほとんど損傷していないことも、良好な alignment 維持に関与した可能性があり、今後の検討課題であると考えられる。

結 語

深部筋群の有意変性および萎縮を認めたものの、頭棘筋、頸半棘筋などの中層に存在する頭部・脊柱の伸展に重要な要素に変化を認めなかった。採血値からも筋破壊の程度は軽度であり、本法においては、術後に項部傍脊柱筋群の萎縮に伴う後弯変性を生じる危険性は低いと考えられる。

文 献

- 1) Hirabayashi K, et al : Open-door expansive laminoplasty and other posterior decompressions for the treatment of myelopathy due to ossification of the longitudinal ligament of the cervical spine. *Clin Orthop* 359 : 35-48, 1999
- 2) 平林 冽 : 頸髄症に対する後方除圧法としての片開き式脊柱管拡大術。手術, 32 : 1159-1163, 1978
- 3) Kirita Y : Clinical Findings and Surgical Treatment for Ossification of the Cervical Posterior Longitudinal Ligament and its Results. *Rinsho Seikeigeka* 10 : 1077-1085, 1975
- 4) Baba H, Furusawa N, Chen Q, et al : Cervical laminoplasty in patients with ossification of the posterior longitudinal ligaments. *Paraplegia* 33 : 25-29, 1995
- 5) Baba H, Imura S, Kawahara N, et al : Osteoplastic laminoplasty for cervical myeloradiculopathy secondary

- to ossification of the posterior longitudinal ligament. *Int Orthop* **19** : 40-45, 1995
- 6) Goto S, Kita T : Long-term follow-up evaluation of surgery for ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine* **20** : 2247-2256, 1995
 - 7) Iwasaki M, Kawaguchi Y, Kimura T, et al : Long-term results of expansive laminoplasty for ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine : more than 10 years follow up. *J Neurosurg* **96** : 180-189, 2002
 - 8) Kawano H, Handa Y, Ishii H, et al : Surgical treatment for ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine. *J Spinal Disord* **8** : 145-150, 1995
 - 9) Tani T, Ushida T, Ishida K, et al : Relative safety of anterior microsurgical decompression versus laminoplasty for cervical myelopathy with a massive ossified posterior longitudinal ligament. *Spine* **27** : 2491-2498, 2002
 - 10) Tomita K, Nomura S, Umeda S, et al : Cervical laminoplasty to enlarge the spinal canal in multilevel ossification of the posterior longitudinal ligament with myelopathy. *Arch Orthop Trauma Surg* **107** : 148-153, 1988
 - 11) Kato Y, Iwasaki M, Fuji T, et al : Long-term follow-up results of laminectomy for cervical myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Neurosurg* **89** : 217-223, 1998
 - 12) Ratliff JK, Cooper PR : Cervical laminoplasty : a critical review. *J Neurosurg* **98** : 230-238, 2003
 - 13) Edwards CC, 2nd, Heller JG, Murakami H : Corpectomy versus laminoplasty for multilevel cervical myelopathy : an independent matched-cohort analysis. *Spine* **27** : 1168-1175, 2002
 - 14) Yonenobu K, Hosono N, Iwasaki M, et al : Laminoplasty versus subtotal corpectomy. A comparative study of results in multisegmental cervical spondylotic myelopathy. *Spine* **17** : 1281-1284, 1992
 - 15) Kihara S, Umebayashi T, Hoshimaru M : Technical improvements and results of open-door expansive laminoplasty with hydroxyapatite implants for cervical myelopathy. *Neurosurgery* **57** : 348-356 ; discussion 348-356, 2005
 - 16) Aita I, Wadano Y, Yabuki T : Curvature and range of motion of the cervical spine after laminoplasty. *J Bone Joint Surg Am* **12** : 1743-1748, 2000
 - 17) Baba H, Maezawa Y, Furusawa N, et al : Flexibility and alignment of the cervical spine after laminoplasty for spondylotic myelopathy. *Int Orthop* **19** : 116-121, 1995
 - 18) Conley M, Meyer R, Bloomberg J, et al : Noninvasive analysis of human neck muscle function. *Spine* **20** : 2505-2512, 1995
 - 19) Sakaura H, Hosono N, Mukai Y, et al : Preservation of the nuchal ligament plays an important role in preventing unfavorable radiologic changes after laminoplasty. *J spinal Disord Tech* **21** : 338-343, 2008
 - 20) Laurence A : Serum myoglobin and creatine kinase following surgery. *Br J Anaesthesia* **84** : 763-766, 2000