

vertebrae and vertebrae immediately after vertebroplasty with hydroxyapatite blocks ($P<.01$). The vertebrae immediately after vertebroplasty were significantly weaker than healthy vertebra ($P<.01$), but no significant difference was noted in the strength of the repaired vertebrae and healthy vertebrae at 1 or 2 months after the procedure.

In vertebrae observed 1 week after filling with hydroxyapatite blocks, bone tissues that were assumed to have been broken during vertebroplasty were observed around the hydroxyapatite blocks. Two weeks after vertebroplasty, development of new bone was observed around parts of the hydroxyapatite blocks (Figure 5), and after 1 month the amount of new bone had increased with firm crosslinking between neighboring hydroxyapatite blocks (Figure 6).

DISCUSSION

Synostosis and pseudoarthrosis may develop in cases of compression fracture at a thoracolumbar lesion in which a heavy burden is placed on a vertebra. Local kyphotic deformation may also be facilitated, and the crushed vertebra may point into the vertebral canal and induce a nervous disorder.⁵

In fresh fractures of the spine, Taneichi et al⁶ found symptoms of progressively crushed vertebrae after vertebral fracture and nervous disorders in 36% and 3% of cases, respectively. The biomechanical characteristics of a thoracolumbar lesion include an excessive anterior load as large as 70% and a small posterior load as little as 30%.^{5,7} Based on these data, redevelopment of the anterior support system is necessary in treatment of a disease with anterior load failure at a thoracolumbar lesion. Thus, vertebral repair at the pedicle of the vertebral arch is a minimally invasive method that can be used clinically in the early postoperative period.

Polymethylmethacrylate, calcium phosphate cement, and hydroxyapatite blocks have been used as filling material in vertebroplasty. However, these materi-

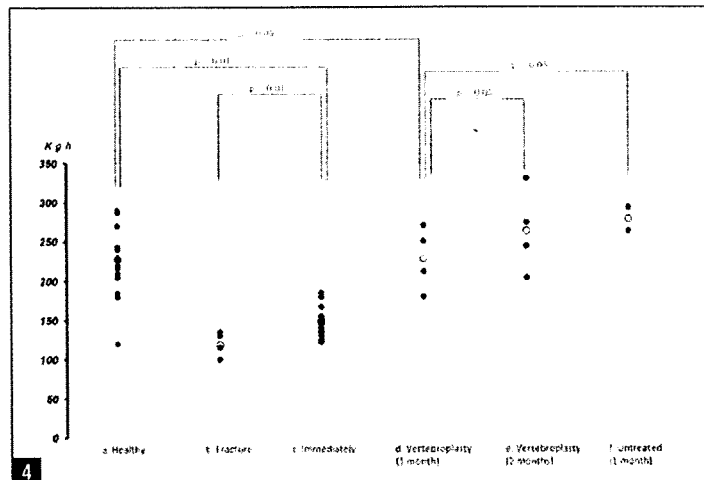


Figure 4: Measurement of compressive strength of healthy vertebrae (a), vertebrae from the vertebral fracture model (b), vertebrae immediately after filling with hydroxyapatite blocks (c), vertebrae 1 month after filling with hydroxyapatite blocks (d), vertebrae 2 months after filling with hydroxyapatite blocks (e), and untreated vertebrae after 1 month (f)

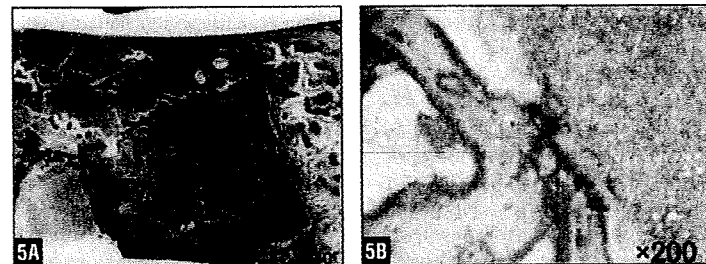


Figure 5: Development of new bone was found in the area around the hydroxyapatite blocks 2 weeks after vertebroplasty.

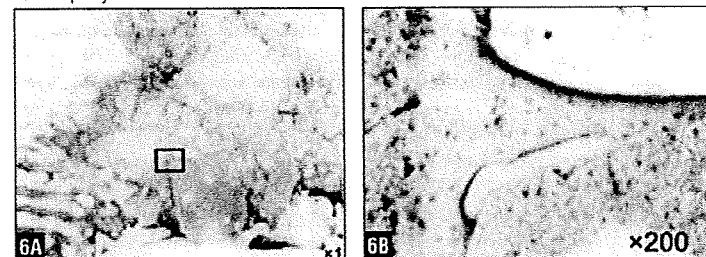


Figure 6: Crosslinking of new bone was found 1 month after vertebroplasty with hydroxyapatite blocks in the fracture model.

als have problems of surgical usage, safety, bone affinity, and cost.

In vertebroplasty performed using PMMA or calcium phosphate cement in

a fracture model of cadaveric thoracolumbar vertebral bodies, Lim et al⁸ found that failure against compressive loads increased significantly with PMMA com-

pared to normal vertebrae, whereas compressive stiffness decreased significantly with calcium phosphate cement compared to PMMA and normal vertebrae.

Tomita et al⁹ compared the strength and stiffness of individual vertebrae after vertebroplasty for thoracic and lumbar vertebrae in female cadavers using PMMA and calcium phosphate cement. The postoperative strength increased significantly with vertebroplasty for thoracic vertebrae using PMMA, and a significant decrease in postoperative stiffness was found after vertebroplasty for lumbar vertebrae using PMMA and for thoracic and lumbar vertebrae using calcium phosphate cement. Turner et al¹⁰ compared compressive strength 1 and 6 months after vertebroplasty in dog vertebrae using calcium phosphate cement and PMMA. With calcium phosphate cement, the strength at 6 months postoperatively was greater than that at 1 month; whereas with PMMA, the strength at 6 months was less than at 1 month, although the difference was not significant.

The compressive strength and histology after vertebroplasty with hydroxyapatite blocks have not been examined prior to the present study. We found that the compressive strength of vertebrae in a model of vertebral fracture increased significantly after vertebroplasty performed using hydroxyapatite blocks. This may be because the compressive strength of fractured vertebrae increased after destroyed bone trabeculae of cancellous bone were replaced by hydroxyapatite blocks. However, in the early phase after vertebroplasty, the dynamic strength was not equivalent to that of healthy bone, which may be related to breakage of the anterior wall of the vertebra, the strength of the hydroxyapatite blocks, and differences in the strength of histological bonds.

In vertebroplasty with hydroxyapatite blocks, the dynamic strength has been shown to depend on the form and porosity of the hydroxyapatite blocks. Matsuzaki¹ performed a compressive load test to determine the appropriate block size to maintain

an orthodontic force and found that a block of 4 to 5.6 mm was superior. In addition, the effect on vertebral reposition was maximized with a block with 1 sloping face because such blocks can converge into a so-called "stone wall-like form." Hydroxyapatite is also more effective than PMMA due to facilitation of osseous conduction.

It is thought to be difficult for new bones to develop in the blocks when the porosity of the block is decreased to increase the strength, and thus the strength of the crosslinking bond may be decreased. In our study, a porosity of 30% was used to ensure sufficient strength to avoid breakage of hydroxyapatite blocks following filling of vertebrae.

In a biomechanical study, Belkoff et al¹¹ showed that the compressive strength of a fractured vertebra after filling with bone cement was higher than that of healthy bone. However, the risk of fracture in neighboring vertebrae may be increased by increasing the strength of the fractured vertebra¹²; and there is no consensus on the appropriate compressive strength of vertebrae in vertebroplasty.

In the vertebroplasty performed in the present study, a strength greater than that of the model bone fracture was achieved, but vertebrae filled with hydroxyapatite blocks were not as strong as healthy vertebrae in the early phase. However, a strength equivalent to that of healthy vertebrae was obtained 1 month after vertebroplasty. A further study is required to determine the ideal strength of vertebrae in the early phase and the changes in strength over time.

Histologically, development of new bone around hydroxyapatite blocks was found in the model of vertebral fracture 2 weeks after vertebroplasty, and crosslinking of new bone was confirmed between neighboring hydroxyapatite blocks after 1 month. These findings are consistent with the compressive strength of the vertebrae, which was higher after 1 month than immediately after vertebroplasty and became equivalent to that of healthy vertebrae.

Urrutia et al¹³ reported osteonecrosis in approximately 50% of rabbits in which vertebroplasty was performed with PMMA, based on a histological examination performed in the early phase. In the present study, no osteonecrosis was found in the tissues of individual vertebrae for which vertebroplasty was performed using hydroxyapatite blocks. The strength of vertebrae in the early phase after vertebroplasty with PMMA has been shown to be higher than that after vertebroplasty using calcium phosphate cement, but the subsequent compressive strength is unclear.

Turner et al¹⁰ suggested that the strength decreased with PMMA 6 months postoperatively, and histological factors such as osteonecrosis may be involved in this observation. However, it is apparent that hydroxyapatite permits osseous conduction and that strength is increased by development of new bone over time, compared with PMMA. In our study, strength was increased by crosslinking of new bone 2 months postoperatively, and further examination of long-term dynamic strength and histological changes, including an evaluation of porosity, may help to optimize the procedure of vertebroplasty with hydroxyapatite blocks.

CONCLUSION

Our study addressed the difference in regeneration potential between healthy and osteoporotic vertebrae. Generally, an osteoporosis model should be prepared using oophorectomy and calcium-free dieting, but this requires a long period of time, and such models also have large individual variability. In our study, young dogs were used with the aim of reducing individual variability of vertebral strength, and vertebroplasty was evaluated using hydroxyapatite blocks. Vertebral collapse and bone adhesion in patients with osteoporosis-related vertebral body fracture require evaluation over a long period, and the clinical course is completely different from that in a healthy vertebra model. However, vertebroplasty performed with

hydroxyapatite blocks for improvement of bone strength in the early phase of bone fracture will be effective for improving the dynamic strength of vertebrae using anterior support, and thus is important for treatment of osteoporosis-related vertebral fracture. We plan to perform a similar study using an osteoporosis model. 

REFERENCES

1. Gangi A, Kastler BA, Dietemann JL. Percutaneous vertebroplasty guided by a combination of CT and fluoroscopy. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1994; 15(1):83-86.
2. Jensen ME, Evans AJ, Mathis JM, Kallmes DE, Cloft HJ, Dion JE. Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: technical aspects. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1997; 18(10):1897-1904.
3. Yamamoto H, Shibata T, Ikeuchi M. Calcium phosphate cement for osteoporotic vertebral fracture [in Japanese]. *Rinsho Seikei Geka*. 1999; 34(4):435-442.
4. Matsuzaki H. New transpedicular kyphoplasty using hydroxyapatite for vertebral fracture [in Japanese]. *J Musculoskeletal System* 2002; 15(3):247-253.
5. Ito M. Biomechanics of osteoporotic spinal compressive fracture [in Japanese]. *Spine and Spinal Cord*. 2003; 16(9):927-932.
6. Taneichi H, Kaneda K, Oguma T, Okaji M. Risk factor analysis for osteoporotic vertebral collapse and pseudoarthrosis [in Japanese]. *Rinsho Seikei Geka*. 2002; 37:437-442.
7. Haer TR, Tozzi JM, Lospinuso ME, et al. The contribution of the three columns of the spine to spinal stability: a biomechanical model. *Paraplegia*. 1989; 27(6):432-439.
8. Lim TH, Brebach GT, Renner SM, et al. Biomechanical evaluation of an injectable calcium phosphate cement for vertebroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002; 27(12):1297-1302.
9. Tomita S, Molloy S, Jasper LE, Abe M, Belkoff SM. Biomechanical comparison of kyphoplasty with different bone cements. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004; 29(11):1203-1207.
10. Turner TM, Urban RM, Singh K, et al. Vertebroplasty comparing injectable calcium phosphate cement compared with polymethylmethacrylate in a unique canine vertebral body large defect model. *Spine J*. 2008; 8(3):482-487.
11. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, Deramond H. The biomechanics of vertebroplasty. The effect of cement volume on mechanical behavior. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001; 26(14):1537-1541.
12. Grados F, Depriester C, Cayrolle G, Hardy N, Deramond H, Fardellone P. Long-term observations vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. *Rheumatology (Oxford)*. 2000; 39(12):1410-1414.
13. Urrutia J, Bono CM, Mery P, Rojas C. Early histologic changes following polymethylmethacrylate injection (vertebroplasty) in rabbit lumbar vertebrae. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008; 33(8):877-882.

Reproduced with permission of the copyright owner. Further reproduction prohibited without permission.

椎体形成術*

網代 泰充**

はじめに

骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折に伴う腰背部痛は、患者の日常生活動作 (activities of daily living: ADL) を障害し、生活の質 (quality of life: QOL) を低下させる。しかし、疼痛の改善が得られると QOL は著明に改善することが報告されている¹⁴⁾。また、脊椎圧迫骨折は受傷後時間が経過することにより脊柱後弯変形による体幹バランスの悪化、骨癒合不全などによる神経障害の出現など患者の QOL に影響を及ぼす。従来、骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折の治療は保存療法が第一選択であるが、近年、椎体形成術も施行されている。今回、脊椎圧迫骨折に対する椎体形成術の動向、およびわれわれが施行しているハイドロキシアパタイトブロック (hydroxyapatite block: HA block) による椎体形成術の実際について述べる。

vertebroplasty と kyphoplasty

Vertebroplasty は脊椎血管腫に対して骨セメ

Key words

骨粗鬆症性椎体骨折 (osteoporotic vertebral fracture)
椎体形成術 (vertebroplasty)
ハイドロキシアパタイトブロック (HA block)

ント (polymethylmethacrylate: PMMA) を脊椎に充填する手技として報告されて以来、米国では疼痛を伴う骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折に適応され、その低侵襲性と優れた除痛効果により広まった。Vertebroplasty は骨折した椎体を矯正することなく PMMA を椎体内に充填し椎体の安定、強度を高める手技である。一方、kyphoplasty は、vertebroplasty の亜系ともいえる手技で、椎体内に balloon を挿入しそれを膨らますことにより変形圧縮した椎体を矯正し、できた空隙に PMMA を挿入する手技である⁶⁾。

欧米を筆頭に諸外国では、vertebroplasty といえば、ほぼ使用マテリアルは PMMA である。しかし、本邦では椎体内への PMMA の挿入は禁忌であり、一部の施設 (第3項先進医療技術) を除いて使用できない。そのため本邦で一般に使用可能なマテリアルはリン酸カルシウム骨セメント (calcium phosphate cement: CPC) や HA である。

HA block

HA block (Hoya[®]) は松崎ら¹¹⁾が開発した一辺 5 mm、気孔率 30% の HA からなる一片が傾斜しているブロック体である。この形は充填する際、石垣状に収束するよう設計されており、電車の線

* Vertebroplasty

** 川口市立医療センター整形外科 [〒333-0833 川口市西新井宿 180] / Yasumitsu AJIRO : Department of Orthopaedic Surgery, Kawaguchi Municipal Medical Center

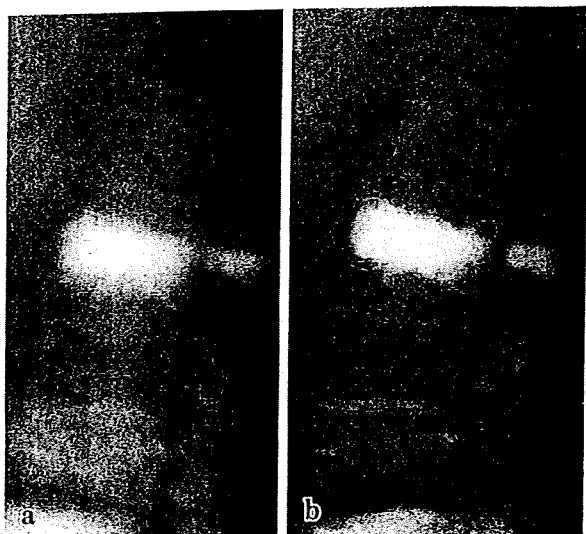


図1 HA block による椎体形成術

- a : 術直後、圧縮率は13.8%、VASは3と改善した。
b : 術後3年、隣接椎体骨折もなく、経過良好である（圧縮率：22.6%、VAS：0）。

路の敷石にヒントを得てこの形状を思いついたという。実際、充填時には、この傾斜により椎体内でHA blockが回転し、敷き詰めるように充填可能である（図1）。

Vertebroplastyの最大の問題点は椎体外への充填物質の漏出・逸脱である。特にPMMAやCPCなど流動性のある物質を椎体に高圧流入することは、静脈系や脊柱管内への漏出が高頻度で発生する¹⁷⁾。血管系への漏出は肺梗塞などを生じ、脊柱管内への漏出は神経学的合併症を生じ得る。特に肺梗塞は致死性の高い重篤な合併症であり、たとえその発生頻度が低くても憂慮すべき事柄である。そのため、より低圧でのPMMA注入が必要とされ、balloon kyphoplasty (BKP)がReileyらのグループ⁶⁾により考案された。また、BKPではballoonにより骨折部の空隙が密になり、PMMAの流出は著明に減少するとされる⁴⁾。CPCは同じ流動体であるため、充填時のポイントとして武政ら¹⁵⁾は椎体内に十分な空隙を作成し、低血圧下に高粘調度のCPCを置くように注入すべき、としている。HA blockは、椎体内挿入マテリアルとして唯一の固形体であり、唯一血管系への漏出の危険性がない安全なマテリアルである。

圧迫骨折は椎体高が減少しており、椎体高の回復は重要である。PMMAやCPCによるvertebroplastyでは、椎体高の回復は体位による矯正のみであり、充填物質であるPMMAやCPC自体で椎体高の回復、矯正は不可能である。矯正するにはBKP（本邦未承認）か、武政ら¹⁵⁾の方法のように圧壊終板と押し戻す操作が必要である。一方、HA blockは専用ツールにて整復はするが、充填することによりHA block自体で矯正することができ、ほかのマテリアルにない特徴をもつ^{2,11)}。

PMMAには骨伝導能や骨誘導能はなく、椎体内の海綿骨とPMMAが長期間に安定して共存するのは問題がある。一方、HAとCPCはPMMAと異なり骨伝導能をもつことから新鮮例にはよい適応だが、偽関節などの骨修復機転が不良な症例ではHAやCPCに骨形成を促進させる能力はないため、成績不良になる可能性がある。しかし、新鮮例へのCPCの適応の問題として、椎体の出血などの環境では安定しない（血液の混入による硬化能の低下、圧縮強度の低下）ことが挙げられる⁷⁾。HAは椎体の出血などの環境に影響されないが、根本的に本邦では新鮮脊椎圧迫骨折例に対する椎体形成術の適応には批判が多い。

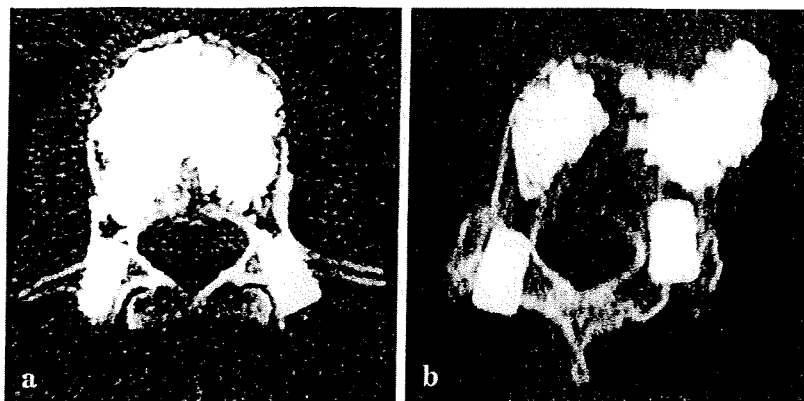
新鮮椎体骨折例に対する椎体形成術

骨折新鮮例は当たり前であるが出血を伴う。すなわち、流動体であるPMMAやCPCは合併症の出現の可能性が高い。最近、米国では新鮮椎体骨折に対するvertebroplasty (PMMA)は、多くの合併症もあり行われなくなってきた。FDAの勧告でも8週間もしくはそれ以上の保存治療期間が必要、とされている⁵⁾。

適応の問題は別として、新鮮椎体骨折に椎体形成術を施行する場合、3種のマテリアル (PMMA, CPC, HA block)のうち最も理想的なものはHA blockと思われる。なぜなら、固形体であり、血管系への漏出の危険性がないからである。さらに、HA blockのもつ骨伝導能は骨修復機転が不良な陈旧例よりも骨修復機転が良好な新鮮例でこ

図 2 術後 CT の比較

- a : 理想的な HA block の充填が行われており、HA 量は十分である (HA block 31 本使用)。
b : HA を椎体外に逸脱させると支持性は大きく損なわれる。



そよりよい効果をもたらすと考えられる。

われわれ¹⁾は骨粗鬆症性新鮮椎体骨折に対する HA block による椎体形成術の成績を後ろ向きに調査した。術後 6 カ月以上経過観察し得た 51 例 (男 15 例, 女 36 例, 手術時平均年齢 73.4 歳) を対照とした。離床は平均 1.6 日で可能であり、腰背部痛は visual analogue scale (VAS) で術前平均 8.7 が術翌日平均 1.9, 最終観察時は平均 1.3 と良好であった。椎体圧縮率 $[(\text{椎体後縁高} - \text{椎体前縁高}) / \text{椎体後縁高} \times 100]$ は、術前平均 35.4%, 術後平均 13.1%, 最終観察時平均 32.7% と平均約 20 カ月の経過観察において 19.6% の矯正損失が認められた。合併症として HA block の脊柱管内逸脱 (挿入時) が 2 例 (3.9%), 偽関節が 4 例 (7.8%) であった。肺塞栓症などの周術期合併症はなかった。HA block の脊柱管内逸脱 2 例中 1 例は HA の摘出を要したが、もう 1 例は症状を認めないため経過観察とした。偽関節の 4 例中 2 例は透析例であり、PLF の追加手術を施行した。もう 1 例は関節リウマチの症例で脊柱短縮術を施行し、1 例は症状を認めないため経過観察となった。

この経験のため、透析例と関節リウマチ例には HA block 単独での椎体形成術は施行していない (instrumentation 併用としている)。新鮮椎体骨折に対する HA block による椎体形成術は優れた除痛効果、早期離床効果があると結論した。しかし、本研究は保存療法との比較をしておらず、今後の検討を要する。

術後矯正損失の問題と対策

2000 年以降 HA block を用いた椎体形成術を施行し、術後 1 年以上経過観察した 97 例中 9 例 (9.3%) は、最終的に椎体楔状率 (椎体前縁高/椎体後縁高 $\times 100$) は 50% 未満となっていた。しかし、88 例 (90.7%) は椎体楔状率が術後平均 84.6%, 最終観察時 76.7% で、矯正損失が 7.9% だが、術前椎体楔状率が平均 63.1% であり、術前と最終観察時の比較では 13.6% の矯正効果があった。つまり、9 割の症例は術前と比較して矯正されていた。

再圧潰にて再手術を要したのは 7 例 (7.2%) であった。椎体前方への HA 逸脱は 6 例中 3 例 (50%) が再手術になっていた。一方、側方の逸脱では 10.3% であった。以上により HA を挿入するには椎体前方への逸脱に注意が必要であり¹⁰⁾、椎体前壁や側壁の骨欠損による HA 逸脱予防のため、残存する椎体内海綿骨を椎体前方にインパクトにて押し込み椎体前方に壁を作るのが重要である^{2,11)} (図 2)。

vertebroplasty の現状

Vertebroplasty は、その優れた即時的、持続的除痛効果が多く報告されているが、ランダム化比較試験がなく、その効果に疑問も投げかけられていた。

最近、ランダム化比較試験により、有痛性の骨粗鬆症性椎体骨折に対して、vertebroplasty はブ

ラセボ群と有意差がないことが示された³⁾。この調査の対象群は偽手術として、椎弓根に穿刺針の挿入を受けている。小橋ら⁸⁾は骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折の痛みの原因は椎体内圧の上昇と考え、経椎弓根的に椎体内圧を減圧（経椎弓根的に圧迫骨折部位にプローブを挿入するのみ）することにより早期除痛が得られると報告している。すなわち、vertebroplasty の効果がないのではなく、偽手術の効果があるとも考えることもできる。しかし、偽手術（椎体減圧術）に効果があるとも考えるとも椎体充填物はいらなくなることとなる。現在、kyphoplasty もランダム化比較試験が行われており、結果を待ちたい。

椎体形成術の理想と問題

椎体骨折の治療の理想は、早期に診断し、椎体変形の進行なく、さらに椎体変形を回復させて骨癒合することである。椎体変形の残存は、場合により慢性疼痛の残存、外見の問題、局所後弯による隣接椎体への障害、などを及ぼし、椎体偽関節になると遅発性神経障害の発生の危険がある。

早期診断は、MRI の普及している本邦では MRI を撮影することができればほぼ可能である。しかし、椎体骨折の予後を早期の MRI から予測することは不可能である。中村ら¹²⁾は骨粗鬆症性椎体骨折に続発する偽関節の発生率を前向き研究し、偽関節が発生する頻度は 6 カ月の経過観察において 12.7% であり、MRI にて 3 カ月経過しても輝度の回復傾向がみられない T1 強調像や高輝度領域および低輝度領域が混在する不均一な T2 強調像などが予後不良所見であると報告している。中野ら¹³⁾は超早期に予後不良例を鑑別することはできないと述べている。今後、予後不良例が早期に診断可能になれば、その症例に椎体形成術を早期に施行することにより予後を改善できる可能性がある。

椎体圧潰の問題がある。骨粗鬆症性脊椎骨折の初期治療の重要性が示されている。吉田ら¹⁸⁾は体幹ギプス固定 1 カ月、その後硬性コルセットを

1~2 カ月装着することにより良好な骨癒合成績を報告している。しかし、伸展位で整復された椎体は荷重による整復損失は避けられない。また、高齢者を臥床させておく合併症の危険がある。種市ら¹⁶⁾は硬性コルセットを 3~4 カ月使用した保存療法を行っても、椎体骨折後に椎体骨折が進行性に圧潰する現象は新鮮椎体骨折の 36.6% に起こり、13.9% が偽関節となり、3% に神経障害が惹起されると報告し、保存療法の限界を示唆している。

手術により椎体高を矯正する方法は、BKP（本邦未承認）か HA block による椎体形成術がある。BKP は balloon により椎体高の再獲得と PMMA による確実な強度が得られ安定しているとされているが、重合後の PMMA による骨折椎体の強度の向上により隣接椎体骨折が危惧されている。BKP 後の隣接椎体骨折の頻度は 4~34% と報告されている。一方、HA block は充填を繰り返すことにより、椎体高はさらに整復され復元する。しかし、術後矯正損失（術後椎体高減少）がある。矯正損失が HA の欠点とされるが、強すぎる椎体強度は隣接椎体骨折のリスクになり、ある程度の減少は生理的なものかもしれない。われわれの経験では、矯正損失は 7.9~20.8% であるが、術後隣接椎体骨折は 3.1~5.1% と PMMA に比べ低く、また術前に比べれば 2.7~13.6% 矯正されており一概に欠点とはいえない。しかし、本来の椎体高の獲得が維持されることが理想と思われ、椎体内注入物質はこれからも再考されていくだろう。

今後の展望

HA block の利点は充填により整復可能なことである。しかし、椎体前壁がなければ HA では対処できない（例：アリゲーターマウス型）。一方、CPC は空洞のある症例への充填に適している。現在、CPC と HA block の併用による椎体形成が試行されている¹¹⁾。臨床結果が待たれる。CPC に骨形成蛋白（bone morphogenetic protein：BMP）を添加することにより、骨形成を促進し、

能動的に CPC が吸収され短時間に骨に置換することが証明されている⁹⁾。

BMP と CPC の併用, または HA block の併用による椎体形成術への効果は有用である可能性があり期待される。

文 献 (太字番号は重要文献)

- 1) 網代泰充, 星野雅洋, 西村太一, 他: 骨粗鬆症性新鮮椎体骨折に対する HA block を用いた経椎弓根的椎体形成術. 関東整災誌 36: 170-171, 2005.
- 2) 網代泰充, 徳橋泰明, 松崎浩巳: 骨粗鬆症性脊椎骨折に対する低侵襲 vertebroplasty. in 馬場久敏 (編): OS NOW Instruction No. 10 脊椎の低侵襲手術. pp 60-66, 2009
- 3) Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, et al: A Randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med* 361: 557-568, 2009
- 4) Eck JC, Nachtigall D, Humphreys SC, et al: Comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of vertebral compression fractures: a meta analysis of the literature. *Spine J* 8: 488-497, 2008
- 5) FDA Public Health Web Notification: *Complications related to the use of bone cement and bone void fillers in treating compression fractures of the spine*. US Food and Drug Administration, Silver Spring, 2004
- 6) Galfin SR, Yuan HA, Reily MA: New technologies in spine: Kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 26: 1511-1555, 2001
- 7) 浜西千秋: バイオアクティブペーストの問題点. 関節外科 21: 1528-1534, 2002
- 8) 小橋芳浩, 松浦恒明, 石谷栄一, 他: 骨粗鬆症による胸腰椎圧迫骨折に対する椎体減圧術の経験. 整・災外 49: 833-839, 2006
- 9) 町田正文, 河野 仁, 田村睦弘, 他: リン酸カルシウムセメント・ヒト遺伝子組み換え骨形成蛋白 (rhBMP-2) 複合体による骨形成促進. 別冊整形外科 47: 144-149, 2005
- 10) 松本健一, 立川裕一郎, 中島伸哉, 他: 骨粗鬆症性脊椎骨折に対し HA block を用いた椎体形成術の検討. 日脊会誌 20: 57, 2009
- 11) 松崎浩巳, 星野雅洋, 中島伸哉, 他: 人工骨における脊椎外科治療. 臨整外 44: 31-36, 2009
- 12) 中村博亮, 辻尾唯雄, 寺井秀富, 他: 骨粗鬆症性椎体骨折偽関節発生の予測因子. 脊椎脊髄 22: 240-246, 2009
- 13) 中野哲雄: 骨粗鬆症性脊椎骨折の診断と自然経過. 脊椎脊髄 22: 231-239, 2009
- 14) 高田潤一, 片平弦一郎, 的場浩介, 他: 腰背部痛を有する骨粗鬆症患者の quality of life の経時的変化. 整形外科 55: 1265-1270, 2004
- 15) 武政龍一: リン酸カルシウム骨セメントを使用した椎体形成術: 脊椎脊髄 17: 1164-1167, 2004
- 16) 種市 洋, 金田清志, 小熊忠教, 他: 骨粗鬆症椎体圧潰 (偽関節) 発生のリスクファクター解析. 臨整外 37: 437-442, 2002
- 17) Yeom JS, Kim WJ, Choy WS, et al: Leakage of cement in percutaneous transpedicular vertebroplasty for painful osteoporotic compression fractures. *J Bone Joint Surg Br* 85: 83-89, 2003
- 18) 吉田 徹, 見松健太郎, 南場宏通, 他: 骨粗鬆症性脊椎骨折の保存療法—体幹ギブス療法を中心に. 整・災外 49: 779-787, 2006

チューブラーレトラクターを用いた 腰椎後方最小侵襲除圧手術

—内視鏡下手術(MED 法)と顕微鏡下手術(MD 法)の比較—

新井嘉容^{*1} 大川 淳^{*2} 四宮謙一^{*3}

Abstract: チューブラーレトラクターを用いた腰椎後方除圧術として、内視鏡を使用する MED システムと顕微鏡を使用する MD システムがあるが、その導入初期例を中心に両者を比較した。その結果、手術成績や手術時間に差はなかったが、MED 群でのみ 4.5% に術中硬膜損傷を認めた。さらにヘルニア再発等の再手術例も MED 群でのみ認めた。したがって、導入初期においては顕微鏡使用のほうが内視鏡使用に比し優れていた。また片側進入両側除圧を意図した場合、「慣れと工夫」によりいずれの方法でも満足な除圧は可能と思われた。内視鏡の顕微鏡に対する欠点としては立体視ができないということであるが、利点としては術者の手や器具が視野を妨げることがないため、より優れた術野が提供されることが挙げられる。さらに、内視鏡が斜視鏡であるという特性を生かせば MED システムのほうが進入側の椎間関節に対する侵襲をより最小限にしうる可能性がある。

(J MIOS. No. 53 : 63-70, 2009.)

目 的

内視鏡を用いた腰椎後方除圧手術は、傍脊柱筋に対する不必要な侵襲を最小限なものにしうる優れた手術法である^{1)~3)}。しかしながら、そのためにはチューブラーレトラクターという狭い working space 内での操作が要求され、かつ内視鏡操作に習熟する必要がある。ラーニングカーブ克服には時間がかかり、初期には硬膜損傷など種々の合併症を起こしやすい⁴⁾。一方、同じ径のチューブラーレトラクターを用いて顕微鏡下に除圧が行えるのであれば、傍脊柱筋に対する侵襲という点では差はなくなり⁵⁾、慣れた顕微鏡を用いること

ができるので術者にとってもストレスが少ない。そこで今回我々は同じ径のチューブラーレトラクターを用いて内視鏡および顕微鏡下に腰椎後方除圧術を施行し、その両者をレトロスペクティブに比較した。

対 象

2000 年以降、我々の施設において施行した METRx チューブラーレトラクターを用いた腰椎後方除圧手術のうち 6 か月以上調査可能であった低侵襲手術導入時からの症例 110 例を対象とした。このうち 67 例は内視鏡を使用(うち、両側除圧は 8 例)、43 例は顕微鏡を使用(うち、両側除圧

Key words: チューブラーレトラクター(tubular retractor)

腰椎後方除圧術(posterior lumbar decompression)

低侵襲手術(minimally invasive surgery)

内視鏡(endoscopy) 顕微鏡(microscopy)

^{*1} Arai Yoshiyasu, 〒114-0024 東京都北区西ヶ原 2-3-6 国立印刷局東京病院整形外科, 部長

^{*2} Ohkawa Atsushi, 〒113-8519 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科整形外科学分野, 准教授

^{*3} Shinomiya Kenichi, 同, 教授

表 1. 術式変更症例

	MED 群	MD 群
術式変更の理由	9 例	4 例
➤視野確保困難・視界不良	1	4
➤器具操作困難	5	0
➤硬膜損傷	3(4.5%)	0
対処法	7:従来法 2:MD 法	4:従来法

は 10 例)していた。内視鏡症例のうち術中術式変更例は 9 例, 13.4%(うち, 両側除圧は 1 例)あり, 最終的には 58 例が内視鏡を用いて手術が行われていた。一方, 顕微鏡使用症例 43 例では術式変更例が 4 例, 9.3%(うち, 両側除圧は 2 例)あり, 最終的には 39 例が顕微鏡を用いて手術が行われていた。

方 法

内視鏡使用症例を MED 群, 顕微鏡使用症例を MD 群とし, 各群間の術後 6 か月時の JOA スコア改善率, 手術時間, 合併症と再手術例について比較した。また術中 DVD 画像をもとにそれぞれのシステムでの術野や操作性についても検討した。さらに術後の CT 画像から椎間関節への侵襲度を調査した。椎間関節への侵襲度は Grobler らの方法⁹⁾に準じ, 椎体後縁と下位椎体の上位終板高位の残存下関節突起切除面のなす角とした。なお, JOA スコア改善率, 手術時間を両群間で比較する場合には, それぞれの術式変更例は除外した。

結 果

術後最終 JOA スコアは全例で改善した。JOA スコア改善率は MED 群で 83.2%, MD 群で 81.2%であり, 両者には統計学的有意差を認めなかった。

また平均手術時間も片側除圧で MED 群 120.4 分, MD 群 116.7 分, 両側除圧で MED 群 155.3 分, MD 群 161.2 分であり, それぞれ各群間には有意差を認めなかった。

他の術式への変更(conversion)は内視鏡使用で 9 例(13.4%), 顕微鏡使用で 4 例(9.3%)に認めた(表 1)が, 内視鏡使用 9 例のうち 2 例は顕微鏡用

表 2. 術後合併症および再手術例

	MED 群	MD 群
➤筋力低下	1	0
➤硬膜外血腫	2	0
➤ヘルニア再発	1(術後 1 週) (再手術⇒術後 3 か月)	0
➤馬尾ヘルニア	1(術後 10 日) (再手術⇒術後 2 週)	0
	5 例	0 例

のチューブローレトラクターに変更し顕微鏡下に対処できた。硬膜損傷は内視鏡使用症例でのみ 3 例, 4.5%に経験し, これらは全て皮切を延長し顕微鏡を用いた従来法(open conversion)へと術式変更した。手術記録の記載から, 術中術式変更の理由につき調査したところ, 内視鏡使用症例の術式変更例は視界不良・視野確保困難であったものが 1 例, 器具の操作が困難であったものが 5 例であった。一方, 顕微鏡使用症例での open conversion はすべて視界不良・視野確保困難によるものであった。なお, 術式変更例は全てその初期 30 症例までに生じていた。

術後合併症や再手術は内視鏡使用症例にのみ認めた(表 2)。合併症は 3 例経験したが, 1 例は術後一過性の筋力低下であり, 経過観察のみで 3 か月後には改善していた。2 例は術後血腫であったが, 一過性の下肢痛であり, 約 3 週で自然に軽快した。再手術例は 2 例あり, 1 例はヘルニアの術後 1 週での超早期再発, もう 1 例は MED の open conversion 例で, 硬膜修復後の馬尾ヘルニアを経験した。

術中 DVD 画像をもとにそれぞれのシステムでの術野や操作性, すなわち手術のやりやすさについても検討した。図 1 に示すように MD システムでは時として術者の手や器具と術野が干渉してしまうことがある。一方, MED システムでは術野がさえぎられることなく, 拡大された鮮やかな術野が得られる。図 2 には対側の除圧を施行している場面を示した。このように MED システムでは操作の妨げになるものではなく, 良好な視野が得られており, 内視鏡手術操作に慣れてしまえば, よく見える分, 安全確実な除圧が施行可能となる。図 3 は同一の組織に対する見え方を比較するた

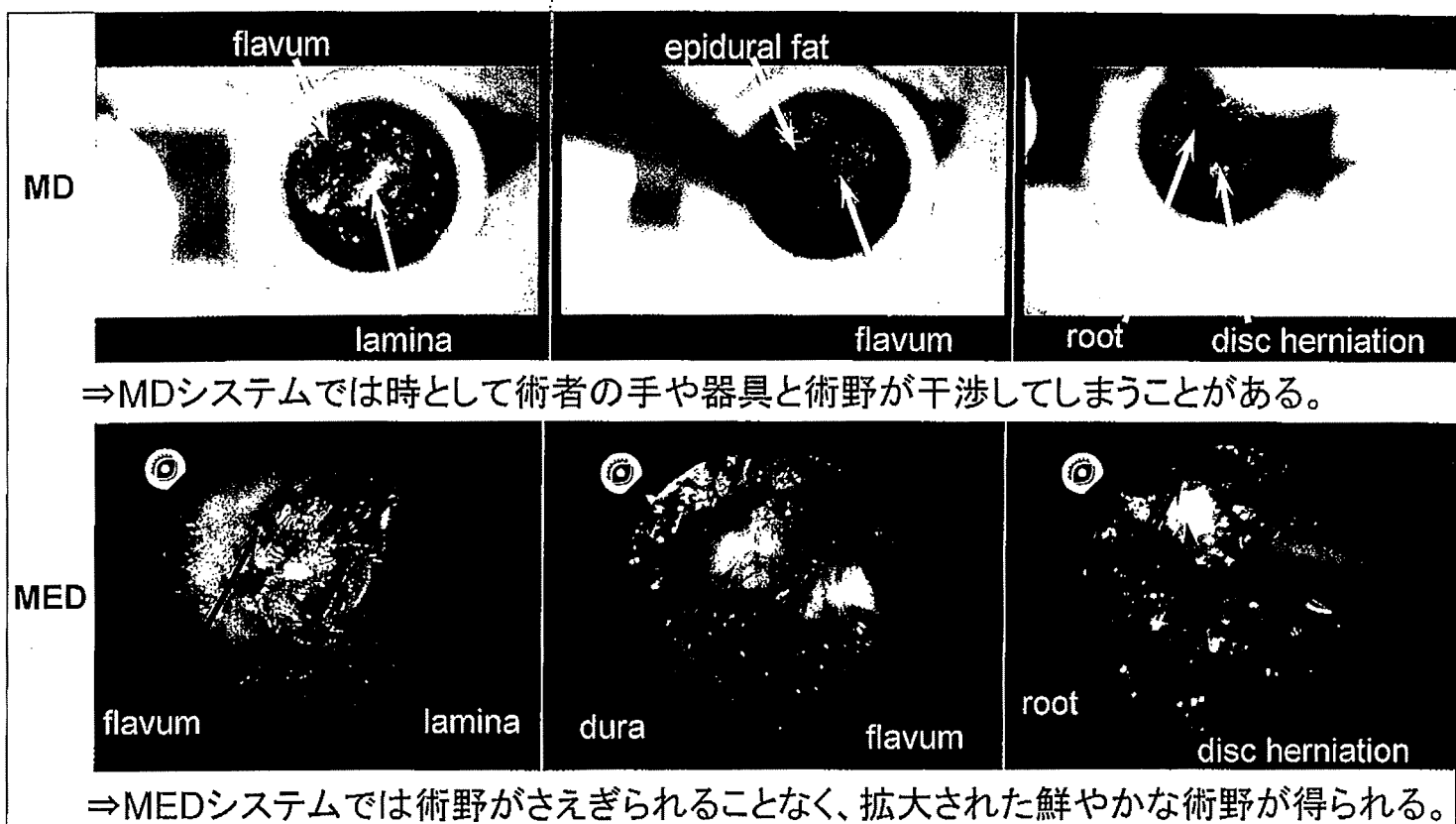


図 1. 両システムの見え方の違い(進入側)

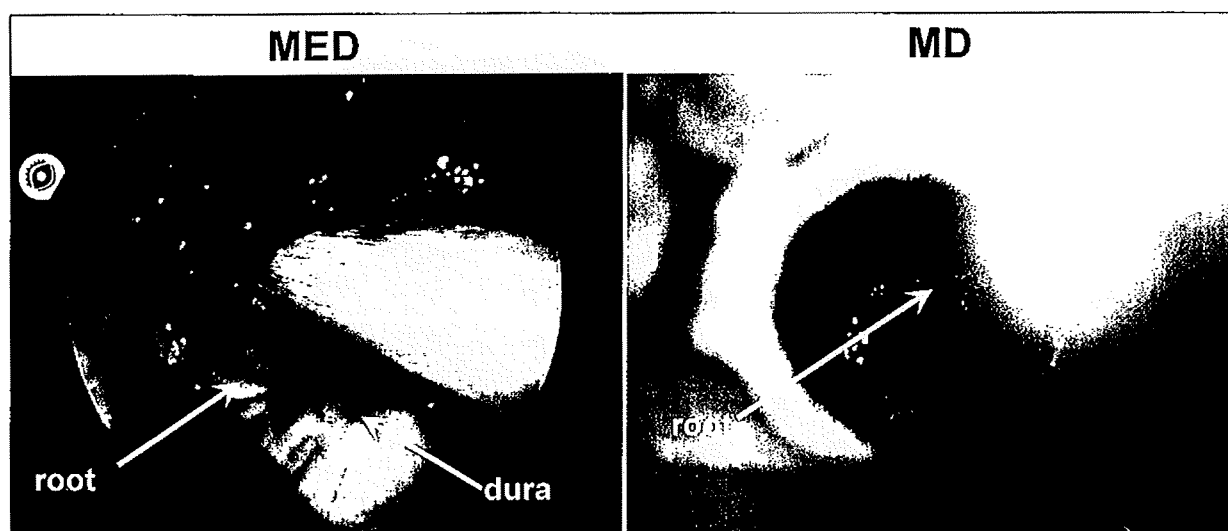


図 2. 両システムの見え方の違い(対側除圧)

MED システムでは操作の妨げになるものではなく、良好な視野が得られており、内視鏡手術操作に慣れてしまえば、よく見える分、安全確実な除圧が施行可能となる。

め、MED システムでヘルニア摘出を行った後、MD システムで同じ術野を観察した画像である。このように内視鏡使用では神経根を内側から外側に向かって観察することが容易であり、かつ骨切除面も描出できるため、より小侵襲で安全な除圧を可能にし得る。これらは内視鏡が斜視鏡であることによるものである。

術後 CT 画像は MED 群：片側除圧 12 例、両側

除圧 3 例、MD 群：片側除圧 12 例、両側除圧 3 例に撮影されていたが、それらを元に椎体後面と下関節突起切除線のなす角度を計測した(図 4、5)。このグラフから、片側除圧初期症例では内視鏡使用のほうがより有利であったことがわかる。しかしながら、両側除圧では内視鏡も顕微鏡もともに良好な骨切除がなされていた。

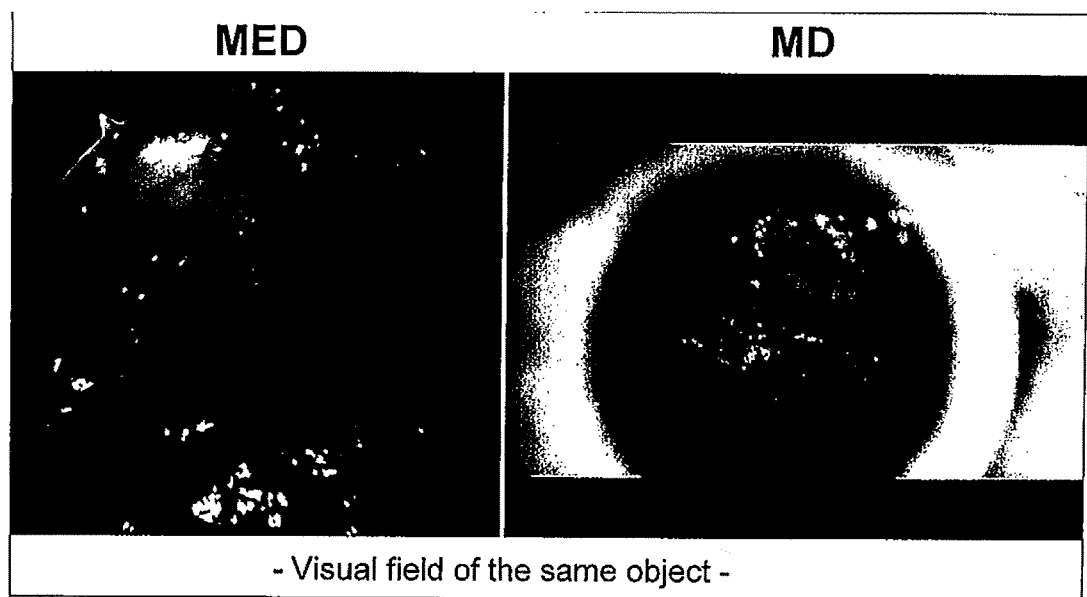


図 3. 同一対象に対する見え方の違い
 内視鏡は斜視鏡であるため神経根を内側から外側に向かって観察することが容易であり、かつ骨切除面も描出できるため、より小侵襲で安全な除圧を可能にし得る。

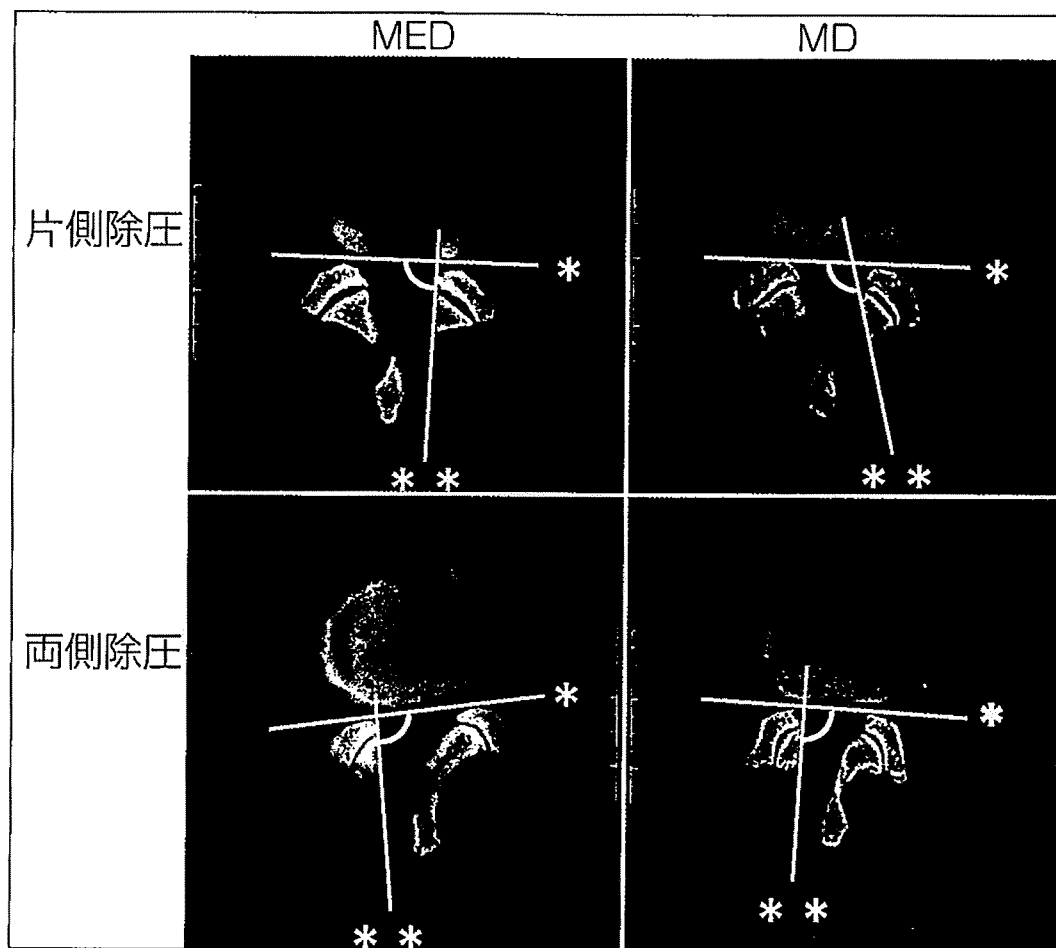


図 4.
 術後 CT 典型例
 * : 椎体後面
 ** : 残存下関節突起
 切除ライン

考 察

腰椎に対する低侵襲後方除圧手術として多くの場合 METRx チューブラーレトラクターが用いられるが、それには内視鏡を使用する MED シス

テムと顕微鏡を使用する MD システムの二つが存在する。背筋に対する侵襲という点においてはまったく同等といえるこの両術式には果たしていかなる違いがあるのであろうか？ 今回我々はそれぞれの特徴および有用性を明らかにする目的

で、その両者を比較・検討した。

今回の結果からは、両システム間の手術成績に決定的な相違を指摘することはできなかった。内視鏡使用群に硬膜損傷例が認められたが、全て MED の導入初期例であり、内視鏡操作に慣れていなかったことが主因と考えられた。

内視鏡と顕微鏡ということ以外に、両システムの違いとしてはチューブラーレトラクターの長さの違いがあげられる。内視鏡システムでは内視鏡特有の焦点距離の問題で、チューブラーレトラクターの長さはおのずと規定されてしまう。一方、顕微鏡システムではチューブラーレトラクターの長さが術野の深さに対応して調整可能である。ワーキングスペースはチューブラーレトラクターの長さに依存するので、一般にワーキングスペースは顕微鏡システムのほうが広くなるはずである(図 6)。しかしながら、かえって内視鏡システムのほうが術野・視界の保持が良好であった。これは両システムの眼・手・対象組織の位置関係の違いと、内視鏡が 25° 斜視鏡であることに起因するものと思われる(図 7)。特に、進入側の椎間関節に関しては、内視鏡が斜視鏡であることから内視鏡を使用したほうが必要以上の骨切除を避けるこ

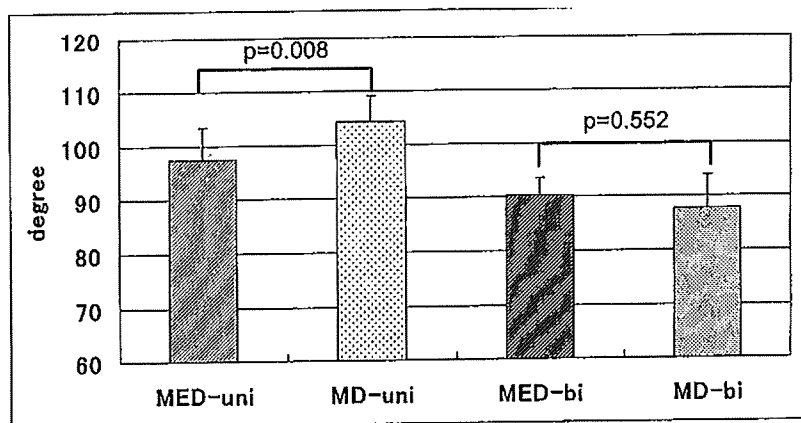


図 5. 椎間関節への侵襲度

とができたと考えられる。両側除圧術の場合この傾向は解消されていたが、両側除圧では棘突起基部をも切除するため、内側に向いていたチューブラーレトラクターの設置に自由度が生じ、顕微鏡下でも外側への処置が可能となったためと考えられた(図 8)。

症例を重ねるにつれ、チューブラーレトラクターを設置しやすく棘突起基部を切除したとしても特に上位腰椎症例や MD 症例の中にはどうしても理想的な骨切除ができなかったものを経験するようになった(図 9)。図 9, 症例 1 は内側に向いていたチューブラーレトラクターを外側に向けようとしすぎて棘突起の骨折を生じてしまった MD 症例であり、症例 2 は棘突起の骨折を回避しようと棘突起基部の骨切除を控えめにしたため、進入側の骨切除が多くなりすぎた MD 症例であ

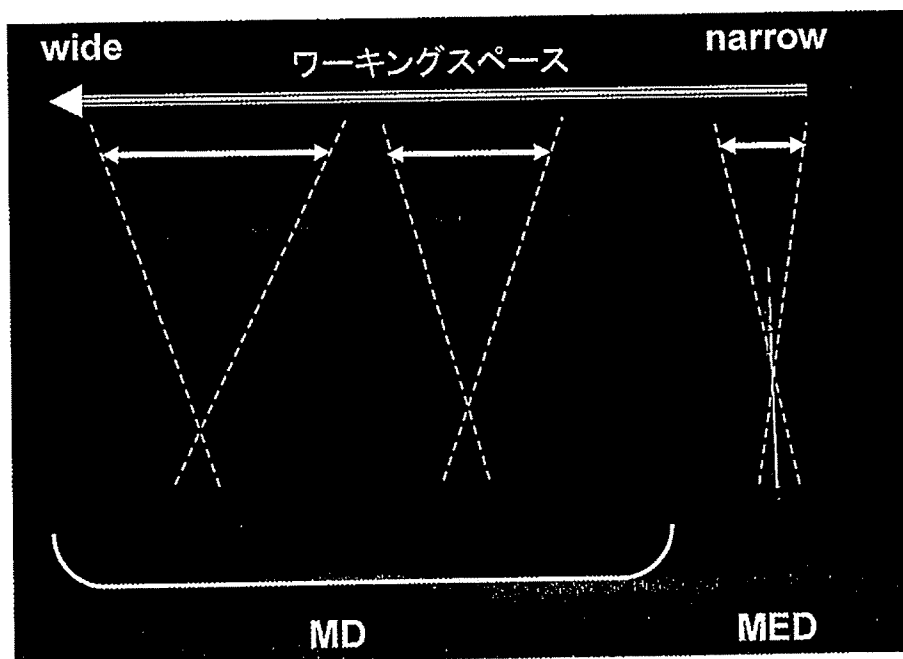


図 6.
チューブラーレトラクターの長さと
ワーキングスペース

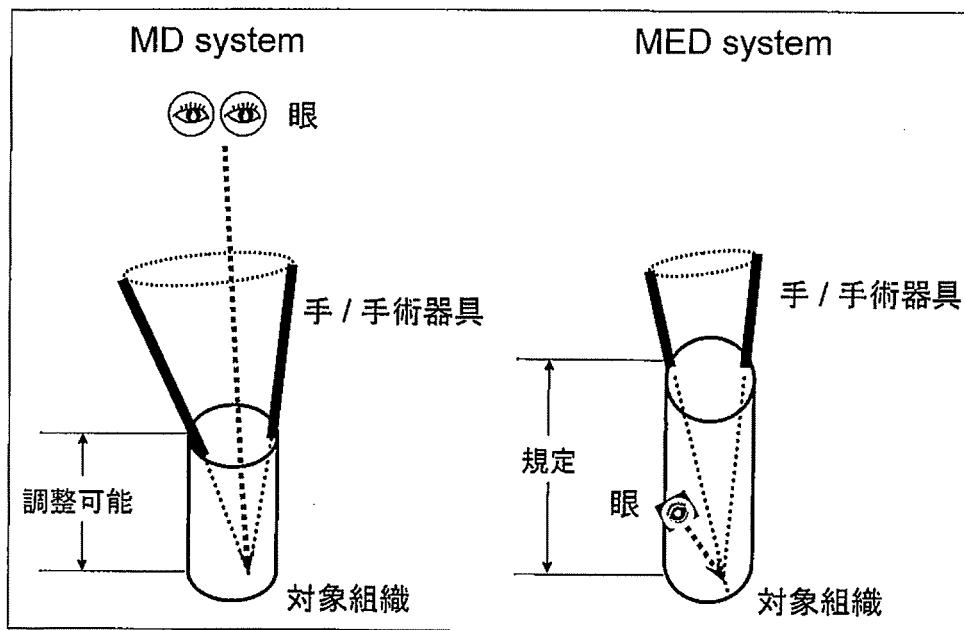


図 7.
両システムの眼・手・対象組織の
位置関係の違い

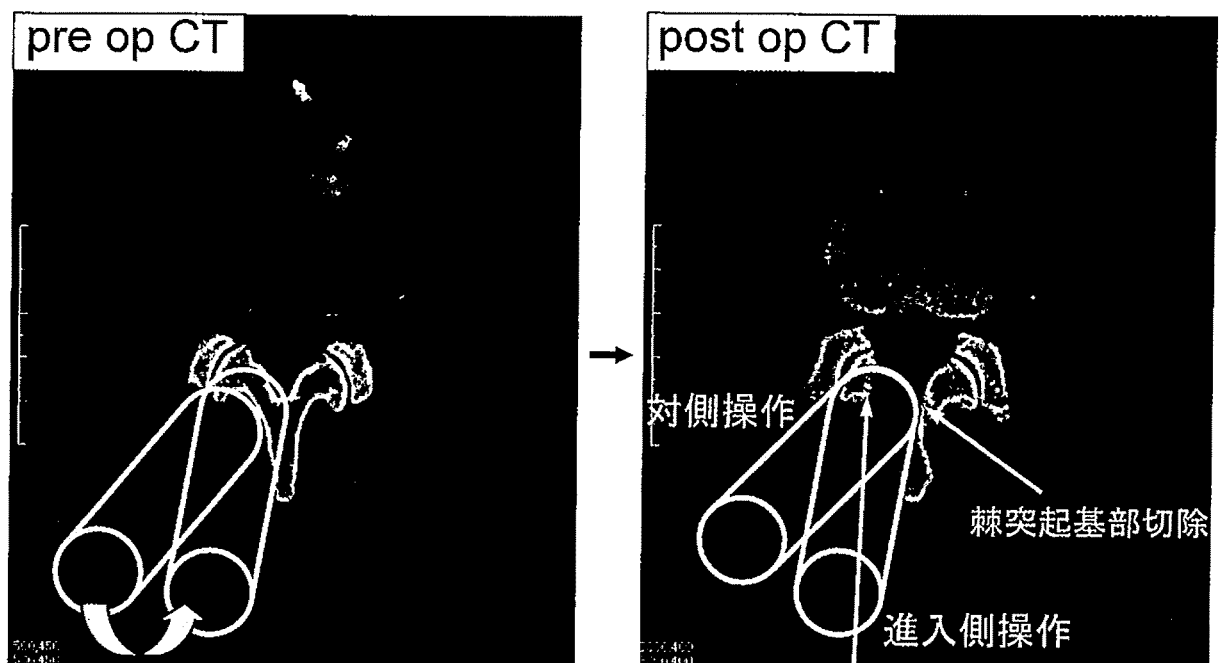
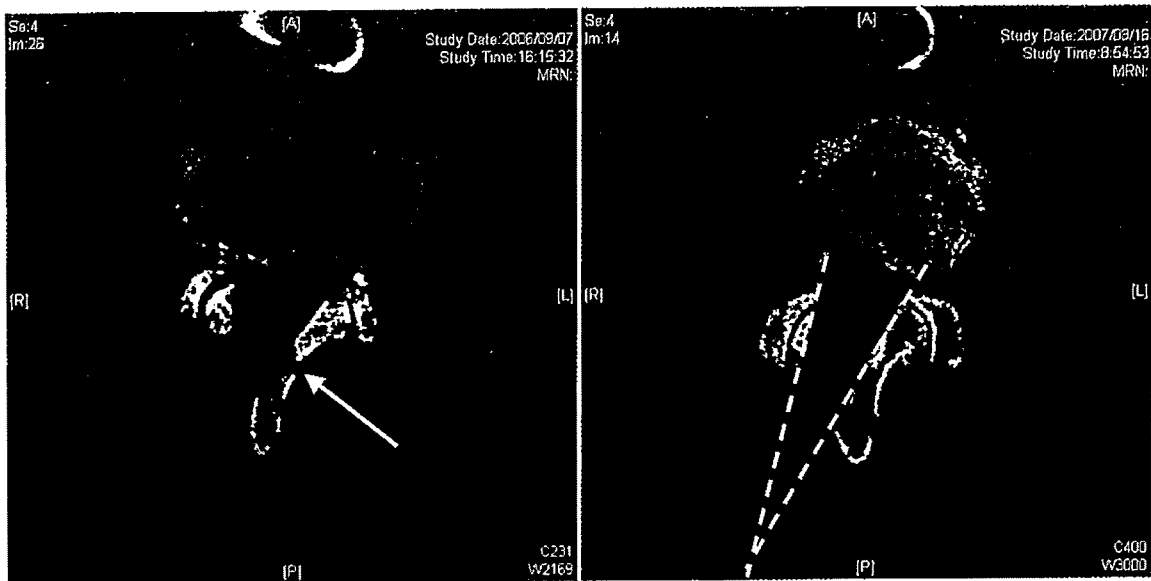


図 8. チューブラーレトラクター設置の自由度

る。いずれも術後臨床症状に問題はなく術後経過は良好であるが、これらの反省から、2007 年からは MD 用のチューブラーレトラクター先端を斜めにカットし、その面を棘突起側に設定することにより手術操作がしやすくなるような工夫をしている(図 10)。図にはこのチューブラーレトラクターを用いて顕微鏡下に両側除圧を施行した腰部脊柱管狭窄症症例の術後 CT および術後 6 か月時の MRI をともに掲げた。理想的な除圧が行われ、筋肉のダメージもごくわずかであることがわかる。術後 2 年経過した現在、JOA・JOABPEQ と

もにフルマークと術後経過は良好である。チューブラーレトラクターに対する同様の工夫は菅らからも報告されている⁷⁾。一方、内視鏡は斜視鏡であるため MED のほうが MD に比しより有利と想像されるが、たとえ内視鏡を用いたとしても進入側の骨切除量が多くなりやすいという問題は完全にはクリアできない⁸⁾。Ikuta らは内視鏡下片側進入両側除圧術 47 例において下関節突起骨折を 6% に生じたとも報告している⁹⁾。

さて、「低侵襲手術」というとややもすると、ただ単に皮切の小ささばかりが取り上げられてしま



a|b

図 9. チューブラーレトラクターの長さでワーキングスペース

- a : 症例 1. 内側に向いていたチューブラーレトラクター先端を外側に向けようとしすぎて棘突起の骨折を生じてしまった症例
b : 症例 2. 棘突起の骨折を回避しようと棘突起基部の骨切除を控えめにしたため、進入側の骨切除が多くなりすぎた症例

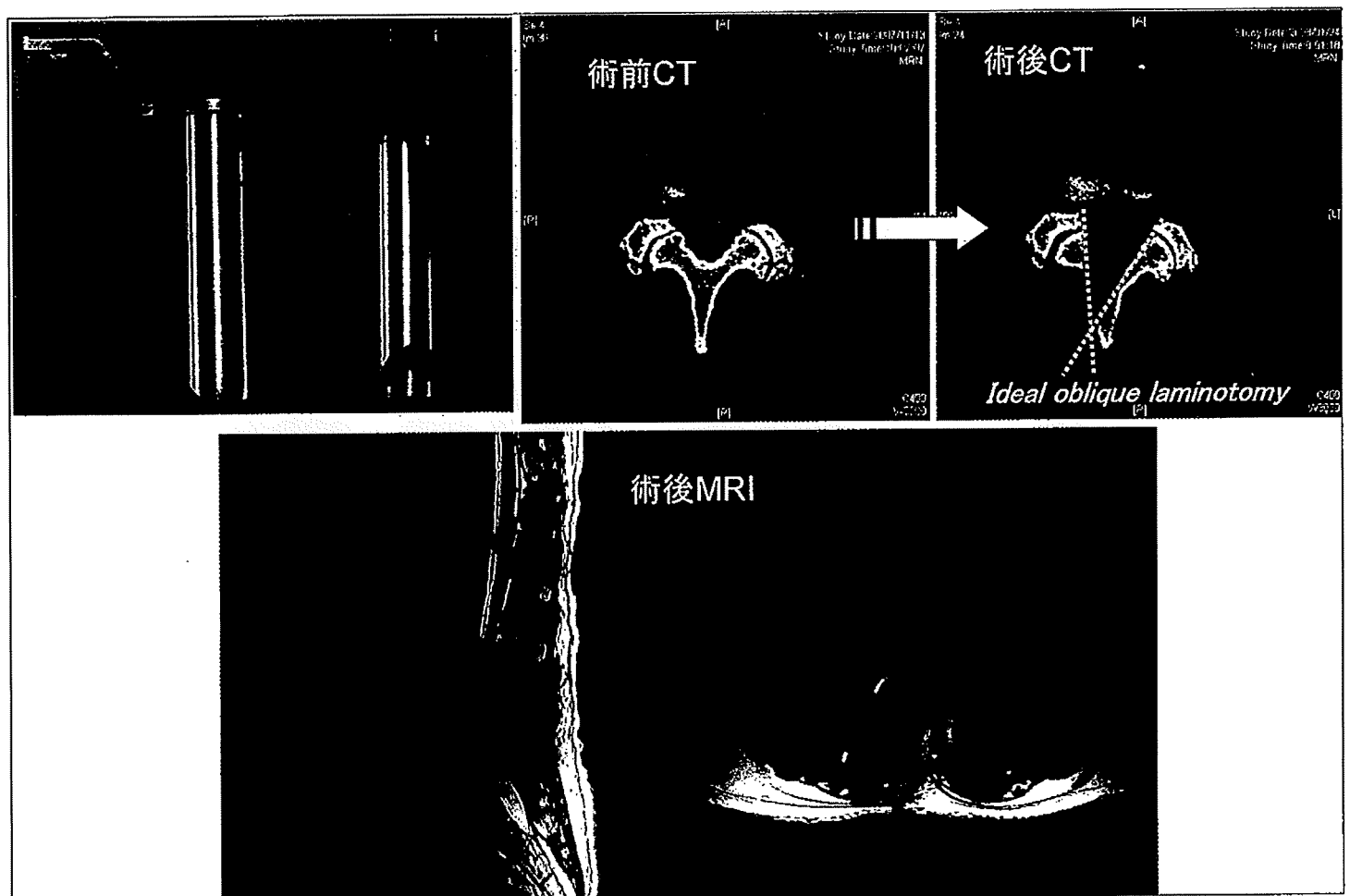


図 10. 斜めにカットしたチューブラーレトラクターと
それを用いて顕微鏡下に施行した片側進入両側除圧手術症例

う傾向があるが、脊椎外科領域では「除圧するために犠牲とせざるをえない組織を最小限に抑える」ということのほうがより本質的ではないだろうか。たとえば腰椎変性すべり症の手術成績に関して、除圧術のみでよいのか、それとも固定術を併用すべきか、という議論があるが、一口に後方除圧と言っても、たとえば、展開の範囲、棘上・棘間靱帯や棘突起の処置の仕方、椎間関節への侵襲度が施設ないし術者によって違うということを考慮に入れるべきと考える。術後の不安定性の出現に関しては、手術とは無関係な加齢変化によるものも含まれるであろうが、手術による影響は無視できない¹⁰⁾。この点、内視鏡の導入やチューブラーレトラクターの使用は我々脊椎外科の分野において画期的な進歩をもたらした。今回の調査では結局、「慣れと工夫」により内視鏡でも顕微鏡でもどちらの方法でも満足な除圧は可能であることがわかったが、大切なことは内視鏡か顕微鏡かではなく、従来法に満足することなく術者がこのような高い意識を持って、不必要な固定術や成績悪化例を減らせるよう努力をしていくことなのかもしれない。

結 語

MED システムと MD システムを比較した場合、手術成績や手術時間に有意差を認めなかった。MD システムは、立体視という点において有利で合併症や再手術例もなかったが、良好な視野の確保ということにおいては MED システムのほうが優れていた。現時点では「慣れと工夫」により、いずれの方法でも満足な除圧は可能と思われるが、斜視鏡の特性をうまく利用すれば、MED のほうがより低侵襲となる可能性がある。

文 献

- 1) Foley, K. T., Smith, M. M. : Microendoscopic Discectomy. *Techniques in Neurosurgery*, 3 : 301-307, 1997.
- 2) Bernard, G., Larry, K., Richard, F. : A Minimally Invasive Technique for Decompression of the Lumbar Spine. *Spine*, 27 : 432-438, 2002.
- 3) 吉田宗人 : 内視鏡下脊椎後方手術の現況と課題. *日整会誌*, 80 : 857-863, 2006.
- 4) Ikuta, K., Tono, O., Tanaka, T., et al. : Surgical complications of microendoscopic procedures for lumbar spinal stenosis. *J Minim Invasive Neurosurg*, 50 : 145-149, 2007.
- 5) 奥田鉄人, 藤田拓也, 細川栄隆ほか : 腰部脊柱管狭窄症に対する円筒形レトラクターを用いた顕微鏡下片側進入両側除圧術の成績—従来法(両側拡大開窓術)との比較. *整形外科*, 57 : 263-267, 2006.
- 6) Grobler, L. J., Robertson, P. A., Norotny, J. E., et al. : Decompression for degenerative spondylolisthesis and spinal stenosis at L4-5 The effects on facet joint morphology. *Spine*, 18 : 1475-1482, 1993.
- 7) 菅 尚義, 宮崎昌利, 吉田省二ほか : 顕微鏡下脊椎手術のための円筒形レトラクターの作製. *臨整外*, 44 : 183-191, 2009.
- 8) 吉本三徳, 川口 哲, 竹林庸雄ほか : 腰部脊柱管狭窄症に対する内視鏡下片側進入両側除圧術における進入側椎間関節切除量の検討. *整形外科*, 59 : 571-576, 2008.
- 9) Ikuta, K., Arima, J., Tanaka, T., et al. : Short-term results of microendoscopic posterior decompression for lumbar spinal stenosis. *J Neurosurg Spine*, 2 : 624-633, 2005.
- 10) Nakai, O., Ookawa, A., Yamaura, I. : Long-term roentgenographic and functional changes in patients who were treated with wide fenestration for central lumbar stenosis. *J Bone Joint Surg*, 73-A : 1184-1191, 1991.

特別企画●『腰痛研究のエビデンス・評価と臨床的展望』

表面筋電図から見た装具療法の功罪

大川 淳 榎本 光裕 富澤 将司
川端 茂徳 四宮 謙一

Key words ■ 腰痛(low back pain), 表面筋電図(surface electromyography),
腰椎装具(lumbar orthosis)

要旨：表面筋電図を用いて腰背筋の筋活動を計測することにより，腰痛の存在を客観的に把握することができる．例えば，腰椎後弯症患者では，歩行時の表面筋電図計測により腰背筋の持続放電がみられるが，杖により正常例に近い筋活動リズムになる．また，急性腰痛患者では腰部固定帯の使用で前後屈時の腰背筋筋活動量が低下する傾向がみられる．慢性腰痛症においても同様の報告がなされている．こうした腰椎装具による腰背筋の筋活動低下効果が臨床的な有効性と関連している可能性がある．

一方，筋活動低下は，長期装用による筋の廃用を危惧させるが，現時点では長期間の固定帯装用後の腰背筋筋力に関する研究は乏しい．側弯症装具による筋力・可動性低下が治療終了後も持続するとの報告や腰椎の分節運動を制限するには腰椎装具では不十分との報告を加味すると，腰痛症の治療目的や予防的な場面での固定帯の装着は急性期にのみ使用することが望ましい．

Summary

We can evaluate a degree of low back pain objectively by measuring paraspinal muscle activity using a surface electromyogram. For example paraspinal muscle activity during walking in patients with lumbar degenerative kyphosis was detected to resume a normal rhythmic pattern by means of a cane. In patients with acute low back pain, a lumbar corset was presumed to make paraspinal muscle activity decrease during motion. Together with a similar report in patients with chronic low back pain, this decrease effect for muscle activity may be attributed to a clinical effectiveness of a lumbar corset.

On the other hand, long-term wearing of orthosis might cause disuse atrophy of paraspinal muscle. A lumbar corset usage is so far recommended for patients with acute low back pain in a short term.

Atsushi OKAWA et al : An effectiveness of a lumbar corset for patients with low back pain estimated by surface electromyography.

東京医科歯科大学大学院整形外科 [〒113-8519 東京都文京区湯島 1-5-45]

緒 言

CTやMRIなどの画像機器の進歩により、椎間板ヘルニアや腰部脊柱管狭窄症などの腰椎疾患に対する形態的な診断アプローチは近年格段に容易になった。しかし、画像検査で異常所見がみられても無症状であることは少なくない。逆に、急性腰痛症では、画像上の異常所見に乏しいことがしばしば経験されるように、腰痛を他覚的に評価する方法は確立されていない。

一方、筋の活動は電氣的に評価できることから、腰背筋活動性を表面筋電計によって把握することで腰痛を二次的に評価できる可能性がある。

また、最近、いくつかの論文で理学治療の効果を筋電図学的に評価する試みが報告されており、装具療法もその対象になりうる。腰椎装具による疼痛軽減は急激な腰背筋活動の発生を防止し、筋疲労を減少させることによると思われるが、本項では表面筋電図を用いた他覚的評価の試みを紹介する。さらに従来からの報告とあわせて、装具治療の功罪について検討した。

I. 表面筋電図による腰痛症の解析

ポータブル型の表面筋電計(図1)により、筋電信号をメモリーにストックし、のちにコンピュータに転送して解析を行う。低侵襲のうえ、一定範囲の筋活動を時間経過をおって記録することができる点に特徴がある。臨床研究においては、不随意運動など短時間の動作解析から、労作業中の腰背筋への負荷分析にまで用いられている。これまで得られている主な知見は次のとおりである。

1. flexion relaxation phenomenon

腰痛がない場合、最大前屈姿勢を維持している間は筋放電が消失する。これをflexion relaxation phenomenon (FRP)といい、その後、中間位に戻るときに筋収縮が最大となる。腰痛症患者では最大前屈時にも腰背筋活動は消失せず、筋活動が持続することが特徴的である(図2)。腰背筋の筋電図上FRPが存在すれば、腰痛がないことを示す客観的な傍証になりうる。メカニズムとして、最大前屈時には上半身の体重が靱帯あるいは筋膜組織にのみ支えられることで筋活動が消失すると考えられている。

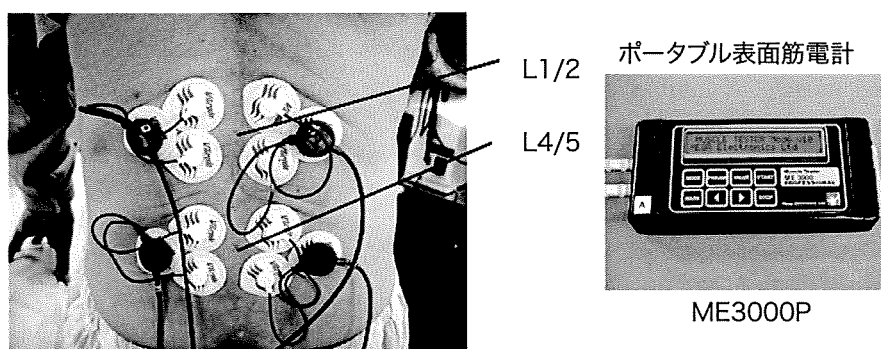


図1 ポータブル型筋電計による腰背筋筋電図計測
動作時の筋活動を記録し、コンピュータ上で波形を解析する。

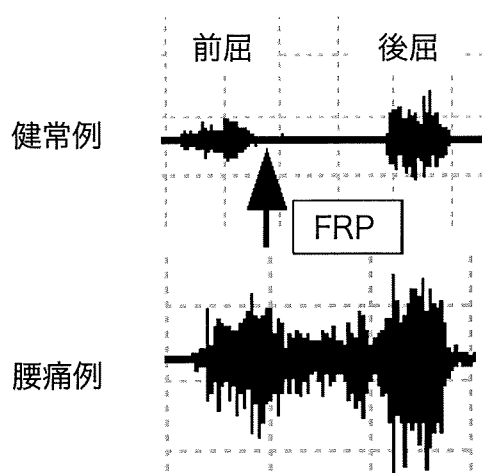
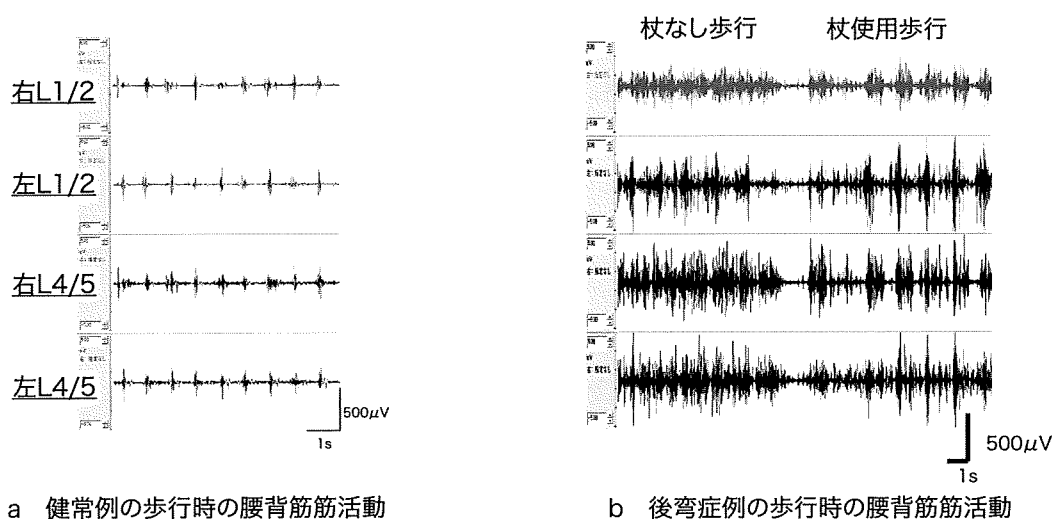


図2 Flexion Relaxation Phenomenon (FRP)

最大前屈時に腰背筋の筋放電が消失する現象。腰痛例では筋放電が消失しない。



a 健常例の歩行時の腰背筋筋活動

b 後弯症例の歩行時の腰背筋筋活動

図3 歩行時の腰背筋筋活動

歩行中は健常例ではわずかな筋放電が左右交互に認められるのみである (a)。

変性後弯例では持続的に筋放電が見られるが、杖により健常例に近い筋活動のリズムが出現する (b)。

2. 動作時筋電図

前後屈動作や歩行時の筋活動を評価できる。痛みがない場合の安静坐位や立位では腰背筋の活動性はほとんどみられない。歩行時にも、腰痛のない健常例では腰背筋の活動性は少なく、リズムカルな興奮がわずかにみられるのみである(図3a)。一方、慢性的に腰痛を訴える例では、歩行時には持続的に筋放

電が見られる。しかし、杖の使用により腰背筋の筋活動は低下し、自覚的な腰痛も軽減する(図3b)。

3. 慢性腰痛における腰背筋疲労

腰背筋の易疲労性を検査するには、一定の姿勢を維持させることによる等尺性運動を行う。易疲労状態にあればこうした等尺性運動が長時間できず、筋電波形の周波数が時間経