

図1 環軸関節亜脱臼に対する Magerl 法施行例 (52 歳, 女性, 頸髄麻痺例)

- a : 術前 X 線所見 ; 前屈位で ADI 12 mm の前方亜脱臼を認める。
- b : MRI ; 齒突起後方で頸髄の圧迫を認める。
- c : 術後 ; 亜脱臼は整復されている。環軸椎弓間にはチタン性のスペーサーが使用されている。

1). 椎骨動脈の走行が内上方に偏位する high riding vertebral artery の症例では、スクリュー刺入時の椎骨動脈損傷の危険が高くなるので本法を断念するか、スクリューを可及的内側上方に刺入するように心がける。

本法は固定性が良好のため、術後はポリネックなどの簡易頸椎装具の固定で十分であり、可及的早期の離床が可能である<sup>9)</sup>。

術後経過中に、下位頸椎に SAS を生じる症例も存在することから術後も定期的な経過観察が必要である。

## 2. 後頭骨・頸椎 (胸椎) 固定術

VS 例, 術前整復が困難な AAS 例, 環軸関節固定術後偽関節例などが適応となる。通常、後頭骨から C2 あるいは C3 までの固定を行う。ムチランス型や多関節破壊型で、SAS を同時に認める RA 患者においては、頸椎までの固定では固定下位に高頻度に新たな病変を生じることから、上中位胸椎までの広範囲固定を考慮する必要がある。歴史的には多くの方法が行われてきたが、現在主に用いられているのは、ロッド&ワイヤリング法とプレート (ロッド) & スクリュー法である (図 2)。特に後者は固定性が良好なことから、最近広く行われるようになってきている。鑑らにより報告された頸椎椎弓根スクリュー法は強固な整復力と固定性が得られることから、後頭一頸・胸椎固定術や著明な不安定性を有する SAS 例に対する後方固定術にはきわめて有用である<sup>1)</sup>。一方、本術式は技術的には決して容易ではなく、椎骨動脈損傷などの合併症も生じ得ることから、その適応も含め慎

重に行う必要がある。手術の安全性を高める工夫として、術中イメージの使用に加え、最近では術中に navigation system が用いられおり、安全なスクリュー刺入に役立っている。

## 3. 椎弓形成術

中下位頸椎には椎間腔狭小化、椎体変形、RA 肉芽による硬膜絞扼、椎体前方 (後方) すべり (SAS)、後弯変形などの RA 病変が生じ、時に頸髄症が惹起される。中下位頸椎 RA 病変による頸髄症は比較的急速に進行する傾向にあり、全身状態が許せば早期に手術を行う必要がある。椎弓形成術は前方すべりや後弯変形を認めない症例が絶好の適応であるが、本法では術後に頸椎の制動効果が得られることから、3 mm 以内の軽度前方すべりにも適応可能である。本邦では平林による片開き式脊柱管拡大術<sup>3)</sup>など数多くの椎弓形成術が考案されており、それぞれ良好な術後成績が報告されている。

## □ RA 頸椎手術例の予後

Matsunaga ら<sup>9)</sup>は脊髄症状のある環軸関節亜脱臼例 40 例の経過を観察した。このうち 19 例で手術が行われ、21 例では保存的に経過が観察された。非手術例では全例脊髄症状が悪化し、歩行不能となった。死亡時平均年齢 (平均余命) は手術例では 72 歳 (9.7 歳) であったのに対し、非手術例では 60 歳 (4.2 年) であった。戸山ら<sup>9)</sup>による 72 例の RA 頸椎病変手術患者における平均 7 年の追跡調査では、死亡 23 例、寝たきりないし車椅子 12 例、部分介助 9 例、完全自立 26 例、不明 2 名であり、約半数が予後不良であった。死亡例の死亡

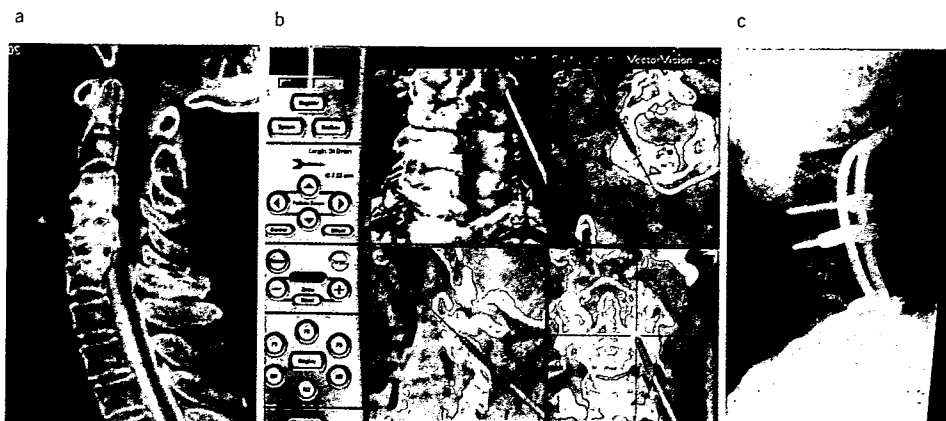


図2 軸椎下亜脱臼に対する椎弓根スクリューを用いた後頭骨-胸椎固定術 (72歳, 女性, 頸髄麻痺例)

- a : ミエロ後 CT 再構成画像；術前著明な軸椎下亜脱臼と脊髄圧迫を認める。前医で8年前に環軸椎固定術が行われていたが、偽関節を呈していた。
- b : 術中ナビゲーション；再手術例でもあり、術中ナビゲーションシステム (Brain Lab 社) を用いて、椎弓根スクリューの刺入を行った。本システムにより安全で、確実なスクリューの刺入が行える。
- c : 術後 X 線所見

時平均年齢は66歳であり、一般RA患者とほぼ同程度であった。

RA 脊椎術後の長期生命のおよび機能的予後は必ずしも良好とはいえないものの、脊髄麻痺例では生命予後は非手術例より手術例の方が明らかに良好であるので、積極的な手術が望ましい。また近年の手術手技の向上により、少なくとも中・短期的には除痛、麻痺の改善によるQOLの向上が期待できることから、適応を十分考慮したうえで手術を行うことには意義がある。

#### まとめ

RA 頸椎に対する手術療法について概説した。RA 頸椎に対する手術技術と手術成績は向上しており、特に頸髄・延髄障害例では生命予後の向上のためにも積極的な手術が望ましい。

#### 文献

- 1) Abumi K, Takada T, Shono Y, et al : Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod system. Spine 24 : 1425, 1999
- 2) Brooks AL, Jenkins EB : Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. J Bone Joint Surg 60-A : 279, 1978
- 3) 平林 洵 : 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について。手術 32 : 1159, 1978

4) Magerl F, Seemann PS, Gallen S : Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In Cervical Spine (edited by Kehr P and Weidner A), Springer-Verlag, Wein, p 322, 1987

5) Matsunaga S, Sakou T, Onishi T, et al : Prognosis of patients with upper cervical lesions caused by rheumatoid arthritis : comparison of occipitocervical fusion between C1 laminectomy and nonsurgical management. Spine 28 : 1581, 2003

6) McGraw RW, Rush RM : Atlanto-axial arthrodesis. J Bone Joint Surg 55-B : 482, 1973

7) 松本守雄, 戸山芳昭 : 外科的治療—脊椎の手術。リウマチ科 27(suppl. 1) 530, 2002

8) Matsumoto M, Chiba K, Tsuji T, et al : Use of a titanium mesh cage for posterior atlantoaxial arthrodesis. J Neurosurg (Spine 1) 96 : 127, 2002

9) 戸山芳昭, 松本守雄, 藤村祥一, 他 : リウマチ性頸椎病変手術例の予後。整形外科 46 : 1585, 1995

## 頸椎後縦靱帯骨化症の自然経過からみた治療戦略\*

松永 俊二\*\* 林 協司 山元 拓哉 長友 淑美  
宮口 文宏 米 和徳 小宮 節郎

### はじめに

頸椎後縦靱帯骨化症（以下、頸椎 OPLL）は月本<sup>1)</sup>の剖検例の報告以来、脊髄症状を惹起する疾患として注目されており、厚生労働科学費補助金難治性疾患克服研究事業の対象疾患に指定されている。本疾患についてはこれまで病因<sup>2)</sup>や治療法の開発について多くの研究が続けられてきた結果、手術成績については安定した成績を得ることが可能になった。現在本疾患の診療ガイドラインの作成も進められている。

しかし、本症に対する手術適応についてはまだ一定の基準がなく、特に整形外科と脳神経外科との手術適応には大きな隔りがある。頸椎 OPLL では潜在性の脊柱管狭窄により非骨傷性の頸髄損傷を引き起こすことはよく知られており、予防的手術を勧める意見もある。どのような疾患であっ

ても手術適応とそのタイミングを決定するためには、まず疾患と自然経過と保存治療の限界を知る必要がある。本稿では当科脊椎外来で定期的診察を続けさせていただいた頸椎 OPLL 患者の解析から、本症の自然経過、脊髄症状発現のメカニズム、外傷誘因の頸髄損傷の頻度について明らかにし、本症の治療戦略について言及したい。

### 対象と方法

#### ① 症 例

対象は、当科脊椎外来にて定期的直接検診を行うことのできた頸椎 OPLL 患者であり、保存的治療にて経過観察症例 170 例である。その内訳は、初診時脊髄症状を認めなかったため保存的治療を行った患者 143 名と、初診時すでに脊髄症状があったが手術を施行できなかった患者 27 名である。保存的治療は、理学療法、薬物治療に加えて神経根症状の強い症例には頸部硬膜外ブロックを行った。また外傷性の頸髄損傷を回避するよう生活指導も行った。調査期間は最短 10 年から最長 34 年の平均 20.7 年であった。性別は男性 125 例、女性 45 例であり、年齢は 45～75 歳(平均 63.4 歳)であった。骨化型の内訳は、連続型 42 例、分節型

#### Key words

後縦靱帯骨化症 (ossification of the posterior longitudinal ligament)  
脊髄症状 (myelopathy)  
骨傷のない頸髄損傷 (cervical cord injury without fracture or dislocation)

\* A Therapeutic Strategy Based on the Natural Course of Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament of the Cervical Spine

\*\* 鹿児島大学大学院運動機能修復学講座整形外科学 [〒890-8520 鹿児島市桜ヶ丘 8-35-1] / Shunji MATSUNAGA, Kyoji HAYASHI, Takuya YAMAMOTO, Yoshimi NAGATOMO, Fumihiko MIYAGUCHI, Kazunori YONE, Setsuro KOMIYA : Department of Orthopaedic Surgery, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Kagoshima University

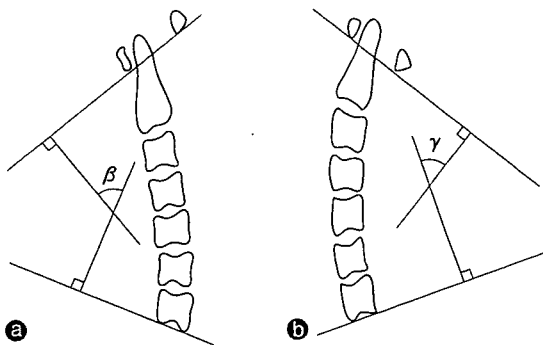


図1 頸椎全可動域 ( $\beta + \gamma$ ) の測定法  
a: 頸椎最大屈曲位, b: 頸椎最大伸展位.

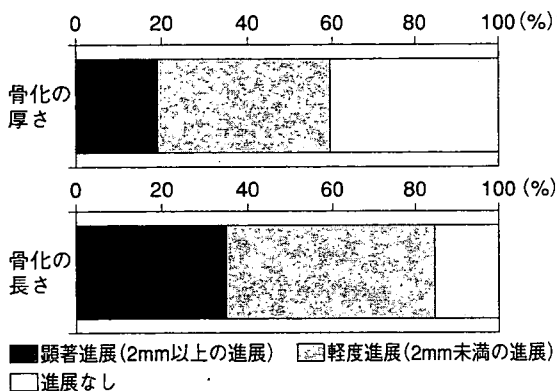


図3 骨化進展の割合

76例, 混合型49例, その他型3例であった。

## ② 臨床的評価法

これらの症例について, 臨床症状の経時的推移とX線学的な骨化進展の推移, 最小残余脊柱管径と頸椎全可動域との関係について検討した。頸椎の全可動域は, 第1頸椎と第7頸椎の下縁のなす角度を宮川ら<sup>11)</sup>の方法(図1)に準じて測定し, 前屈位と後屈位の差を求めた。また外傷を誘因として脊髄症状が出現あるいは増悪した症例の検討を加えた。

## ③ 統計学的解析方法

パラメトリックな解析は student-t test を用い, 95%信頼区間とした。脊髄症状発現と関連因子の検定は univariate および multivariate logistic regression analysis を使用し, P値が0.05以下を有意差ありとした。

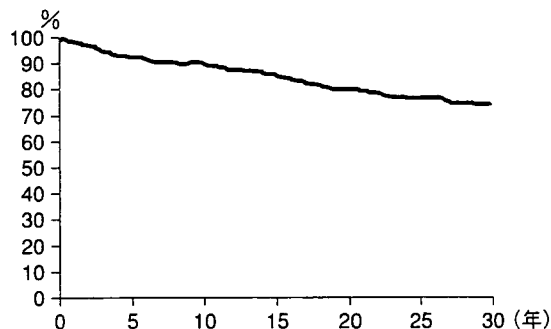


図2 脊髄症状が出現せずに経過した症例の割合 (n=143)

表1 最小残余脊柱管径6mm以上14mm未満の症例における頸椎可動域と脊髄症状の有無の関係

	脊髄症状あり (n=77)	脊髄症状なし (n=73)	P値
頸椎全可動域 (度)	53±15.2	34±7.5	<0.01

## 結果

### ① 臨床経過

初診時に脊髄症状を認めなかった143例のうち最終調査時までに新たな脊髄症状の発現をみた症例は25例(18%)であった。Kaplan-Meier法<sup>3)</sup>による脊髄症状非発現率は30年で70%であった(図2)。初診時すでに脊髄症状を有していた27例のうち18例(67%)で脊髄症状の増悪をみた。すなわち経過観察中に脊髄症状が発現したり増悪したものは170例中43例で, 全症例の25%であった。

### ② 骨化進展

骨化進展は厚さが2mm以上の増大をみた顕著進展例が32例(19%)であり, 2mm未満の軽度進展例38例を含めると70例(41%)で進展を認めた。長さでは, 1椎体以上骨化進展した顕著例は59例(35%)であり, 1椎体以下の軽度進展例85例(50%)であった。脊髄症状が出現または増悪した43例のうち, 著明な骨化進展を認めたものは18例(42%)であった(図3)。

表 2 脊髓症状出現あるいは増に関係する因子の単変量ロジスティック回帰分析

因子	係数	標準誤差	P値
頸椎可動域 (度)	0.065	0.017	<0.001
骨化進展 (あり 1, なし 0)	0.619	0.363	<0.110
骨化型 (連続型 1, 分節型 2, 混合型 3)	0.032	0.269	0.887
最小残余脊柱管径 (mm)	0.301	0.071	<0.001
外傷の有無 (あり 1, なし 2)	0.031	0.844	0.951
年齢 (歳)	0.059	0.039	0.091
性別 (男 1, 女 2)	0.0926	0.436	0.842
追跡期間 (月)	0.002	0.004	0.856

### ③ 最小残余脊柱管径と脊髓症状

最小残余脊柱管径が 6 mm 未満の 6 例では全例脊髓症状を呈し、また最小残余脊柱管径が 14 mm 以上の 14 例では全症例で脊髓症状はみられなかった。最小残余脊柱管径が 6 mm 以上 14 mm 未満の症例は 150 例あり、これらの中では脊髓症状の有無と最小残余脊柱管径に相関は認めなかった。

### ④ 頸椎可動域と脊髓症状

脊髓症状の有無と全可動域との関係を最小残余脊柱管径が 6 mm 以上 14 mm 未満の 150 例と比較した。脊髓症状を認める群の全可動域は脊髓症状を認めない群より有意に大きかった (表 1)。

### ⑤ 外傷誘因の脊髓症状発現

脊髓症状が新たに出現した 25 症例中外傷を契機として脊髓症状が出現した症例は 3 例 (12%) であり全例交通事故であった。頸髄損傷を惹起した症例は 2 例であった。初診時脊髓症状がなかった 143 例中、その後の経過において外傷を誘因として脊髓症状が出現する頻度は 2% (3/143) となった。対象の 143 例中頸部に外傷を受けた患者は 6 名 (4%) であった。外傷を受けた患者で外傷を誘因として脊髓症状が発症した率は 50% (3/6) であった。外傷誘因で脊髓症状を発症した症例は全例混合型骨化であった。

### ⑥ 脊髓症状発症関連因子の検討

脊髓症状発現と種々の因子の相関を解析すると、骨化進展、骨化型、年齢、性別、追跡期間、外傷の有無には相関は認められず、最小残余脊柱

管径と頸椎可動域で相関が認められた (表 2)。

## 考 察

外来初診時における頸椎 OPLL 患者の有脊髓症状率は、片岡ら<sup>4)</sup>が 30%、関ら<sup>14)</sup>が 51%と報告している。長期的観察では、山浦ら<sup>19)</sup>が初診時脊髓症状のみられなかった 22 例中 3 例 (14%) に脊髓症状の新たな発現したと報告している。今回のわれわれの平均 20.7 年の追跡調査では、18%の症例で新たに脊髓症状が発現していた。これは、山浦ら<sup>19)</sup>の報告とほぼ同値である。また、筆者が以前報告した平均 6 年の調査<sup>9)</sup>で対象とされた症例が今回の調査にも多く含まれているが、脊髓症状を発症した症例は前回の調査で 16%であったのに対し、今回の調査では 18%とあまり増えていない。脊髓症状は経年的に発現していくのではなく、脊髓症状を発症する症例と発症しない症例との間に本質的な違いがあることが示唆される。脊髓症状を発症しない場合の本症患者の QOL は長期的に良好である<sup>7)</sup>ので、どのような患者が脊髓症状を発現し、どのような患者は脊髓症状を発現しないのが予測できれば、それは本症の治療戦略において有益な情報といえよう。

今回の研究では残余脊柱管径が 6 mm 未満の症例は全例脊髓症状を呈しており、残余脊柱管径と脊髓症状発現にも相関があった。したがって靱帯骨化による脊柱管狭窄の程度はやはり重要な因子であるといえる。骨化進展については多くの報告がなされている<sup>16,17)</sup>。骨化が進展し脊髓への慢

性的な圧迫が増加することは、脊髄症状の重要な因子であると考えられる。今回の調査でも、骨化が進展した70症例のうち18症例に脊髄症状の発現や進行を認めている。しかし、これは脊髄症状の発現・増悪した症例43例の42%にすぎず、骨化が高度に進展している症例でも脊髄症状の発現や増悪を認めなかったり、骨化の進展がほとんどみられないような症例でも、脊髄症状の発現をみたりしている。脊髄症状の発症や増悪は骨化靭帯による圧迫因子のみが関与しているわけではないといえる。骨化型では比較的高度の圧迫があるにもかかわらず脊髄症状を呈していない症例は、ほとんどが連続型の骨化であり、前縦靭帯の骨化も合併しており、頸椎の可動性が著明に制限された症例であった。最小残余脊柱管径8mm未満で脊髄症状のない15例は全例連続型であった。一方、混合型の骨化で分節型と連続型の骨化の間で不安定性のある症例や分節型で大きな可動域のある症例では、比較的軽度の靭帯骨化でも脊髄症状を呈する場面がみられた。最小残余脊柱管径はある一定の臨界点を超えると脊髄症状を惹起するもっとも重要な因子ではある<sup>9)</sup>が、臨界点以下の状態では動的因子が関与する部分がかなり大きいと考える。われわれは頸椎の全可動域を動的因子を反映する値として検討に用いた。宮川ら<sup>11)</sup>は、各椎間の可動域が5度以上は可動性あり、3度未満では可動性なし、3度以上5度未満では全可動角度・骨化型より判断するという基準を提唱している。各椎間の異常可動性をもって動的因子を反映するという考えもあるが、前述のように異常可動性を決定する基準が必ずしも明確でないこと、狭窄部位と異常可動部が同一であるとは限らないこと、誤差が少ないことなどから、動的因子として全可動域を用い検討した。

潜在的脊柱管狭窄のある本疾患においては外傷による脊髄症状の発症や増悪も考慮する必要がある。本症患者においては軽微な頸部の外傷により重篤な頸髄損傷を呈することがあることは以前より報告されている<sup>2,15)</sup>。さらに外傷誘因による脊髄症状例は、非外傷誘因による脊髄症状発症例の手

術成績より劣るとする報告もある<sup>1,5,13)</sup>。予防的手術を推奨する根拠はこれらの事実によるものであろう。われわれが以前に報告した初診時すでに脊髄症状を呈していた184例に対する脊髄症状の発症と外傷の関係についての聞き取りによる後ろ向き調査<sup>9)</sup>では、頸部の外傷契機として脊髄症状が発症した症例は13%であった。また頸部の外傷の既往があった患者は28%であり、外傷を受けた患者のうち46%が外傷を誘因として脊髄症状が出現していた。今回の前向き調査で外傷による脊髄症状発現の頻度は約2%であり、これを根拠に予防的手術を行うことを支持する頻度ではなかった。外傷による脊髄症状発現の頻度が後ろ向き調査より著しく減少したのは、生活指導による外傷の回避が役に立ったためであろう。

以上の研究成果から、われわれは本疾患に対する治療戦略としての手術適応を次のように考えている。

1) まず靭帯骨化が存在しても症状が軽度かあるいはまったく認められない場合の予防的手術については、積極的に推奨する根拠がなく慎重であるべきと考える。

2) 最小残余脊柱管径が6mm以下の高度の狭窄例や混合型骨化で動的因子による脊髄症状発現や増悪のリスクが高い症例は、患者にその点を十分説明し、より慎重な診察を続ける必要がある。

3) すでに脊髄症状を呈した症例の手術のタイミングについてのわれわれの長期的観察<sup>10)</sup>では脊髄症状の軽いJOA scoreが12点以上では手術治療と保存治療に有意な差が認められず、手術治療は保存治療に比べ治療成績が明らかによいJOA score 11点くらいで行うのがよいのではないかと考えている。しかし、JOA scoreが4点以下の重症例では改善率はあまり高くなく、手術のタイミングを逸しないよう心がける必要がある。

本稿ではこのように自然経過の観点から手術適応について論述したが、今後脊髄のグルコース代謝などの研究により脊髄機能障害発現の機序がより詳細に解析されれば、治療戦略も変化していく

べきものと考えている。

## おわりに

頸椎 OPLL の保存的治療例の臨床経過を最短 10 年以上観察した結果から、手術治療を含めた本症の治療戦略について検討した。本症に対する予防的手術は慎重であるべきであり、脊髄症状の発現因子として、静的圧迫因子のみならず動的因子も考慮することが重要である。

### 文 献 (太字番号は重要文献)

- 1) Fujimura Y, Nakamura M, Toyama Y : Influence of minor trauma on surgical results in patients with cervical OPLL. *J Spinal Disord* 11 : 16-20, 1998
- 2) 林 協司, 吉国長利, 武富栄二, 他 : 非骨傷性頸髄損傷の治療成績の検討. *西日脊椎研会誌* 20 : 40-43, 1994
- 3) Kaplan EL, Meier P : Nonparametric estimation from incomplete observation. *J Am Stat Assoc* 53 : 457-481, 1958
- 4) 片岡 治, 広畑和志, 栗原 章, 他 : 頸椎後縦靭帯骨化の臨床像とその推移. 厚生省特定疾患後縦靭帯骨化症調査研究班昭和 52 年度研究報告書, 1978, pp 102-110
- 5) Katoh S, Ikata T, Hirai N, et al : Influence of minor trauma to the neck on the neurological outcome in patients with ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) of the cervical spine. *Paraplegia* 33 : 330-333, 1995
- 6) Matsunaga S, Kukita S, Hayashi K, et al : Pathogenesis of myelopathy in patients with ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Neurosurg (Spine)* 96 : 168-172, 2002
- 7) Matsunaga S, Sakou T, Arishima Y, et al : Quality of life in elderly patients with ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine* 26 : 494-498, 2001
- 8) Matsunaga S, Sakou T, Hayashi K, et al : Trauma-induced myelopathy in patients with ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Neurosurg (Spine)* 97 : 172-175, 2002
- 9) Matsunaga S, Sakou T, Taketomi E, et al : The natural course of myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine. *Clin Orthop* 305 : 168-177, 1994
- 10) Matsunaga S, Sakou T, Taketomi E, et al : Clinical course of patients with ossification of the posterior longitudinal ligament : a minimum 10-year cohort study. *J Neurosurg (Spine)* 100 : 245-248, 2004
- 11) 宮川 準, 田中耕一, 大熊哲夫, 他 : 頸椎後縦靭帯骨化症における前後屈可動性に関する検討. 厚生省特定疾患脊柱靭帯骨化症調査研究班昭和 57 年度研究報告書, 1983, pp 168-176
- 12) Sakou T, Taketomi E, Matsunaga S, et al : Genetic study of ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine with human leukocyte antigen haplotype. *Spine* 6 : 1249-1252, 1991
- 13) Saruhashi Y, Hukuda S, Katsuura A, et al : Clinical outcomes of cervical spinal cord injuries without radiographic evidence of trauma. *Spinal Cord* 36 : 567-573, 1998
- 14) 関 寛之, 津山直一, 林浩一郎, 他 : 頸椎後縦靭帯骨化症 185 例の臨床的検討. *整形外科* 25 : 704-710, 1974
- 15) 竹田 毅, 有馬 亨 : 軽微な機転により四肢麻痺を来した頸椎後縦靭帯骨化症の症例. *臨整外* 7 : 949-953, 1972
- 16) 武富栄二, 酒匂 崇, 森本典夫, 他 : 頸椎 OPLL の骨化進展に及ぼす手術の影響. *臨整外* 23 : 537-542, 1988
- 17) 富村吉十郎, 武富栄二 : 頸椎後縦靭帯骨化症の骨化巣の推移—自然経過と術後経過. *日獨医報* 32 : 158-169, 1987
- 18) 月本裕国 : 頸椎後縦靭帯骨化により脊髄圧迫症候を呈した 1 剖検例. *日外宝* 29 : 1003-1007, 1960
- 19) 山浦伊波吉, 藤井紘三, 斉藤 俊, 他 : 頸椎後縦靭帯骨化症の臨床的観察. *整形外科* 25 : 253-267, 1974

## 頸椎椎弓根スクリーウ固定： 解剖と生体力学\*

鏡 邦芳\*\*

### はじめに

以前は頸椎椎弓根の形態に関する詳細な研究、特に形態計測の報告はほとんどなかった。また軸椎椎弓根の明確な定義もなされていなかった。筆者が1993年に頸椎椎弓根スクリーウ固定を国際学会で発表して以来、椎弓根スクリーウ固定を念頭に置いた頸椎椎弓根ならびに椎弓根と周辺組織の関係などに関する形態学的研究が輩出した。一方、他の頸椎内固定法との固定性を比較した生体力学研究もいくつかなされてきた。それらの結果を総括して頸椎椎弓根スクリーウ固定に関連した解剖と生体力学について述べる。

### 頸椎椎弓根の解剖

#### 1 椎弓根の定義

解剖学的には、椎弓根は椎体と神経弓 (neural arch) を連結する部分と定義される。これはC2から仙骨に至るまで共通するが、椎体を欠く環椎 (C1) に椎弓根は存在しない。軸椎 (C2) の椎弓根の定義に関しては異論がある。通常われわれが軸

#### Key words

頸椎椎弓根 (cervical pedicle)

解剖 (anatomy)

バイオメカニクス (biomechanics)

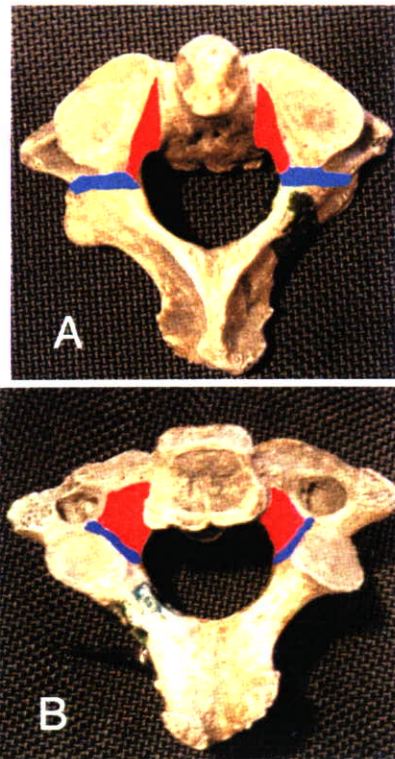


図1 軸椎椎弓根の位置

軸椎の椎弓根スクリーウが通過する部分は関節間部 (pars interarticularis) と椎弓根を合わせた部分であり、真の椎弓根は椎体に近接した短い範囲に限定される。  
A：軸椎の頭側面、B：軸椎の尾側面。赤の部分が椎弓根、青の部分は関節間部。

\* Cervical Pedicle Screw Fixation : Related Anatomy and Biomechanics

\*\* 北海道大学保健管理センター・整形外科 [〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目] / Kuniyoshi ABUMI : Health Administration Center, Hokkaido University, Department of Orthopaedic Surgery

0914-4412/05/¥400/論文/JCLS



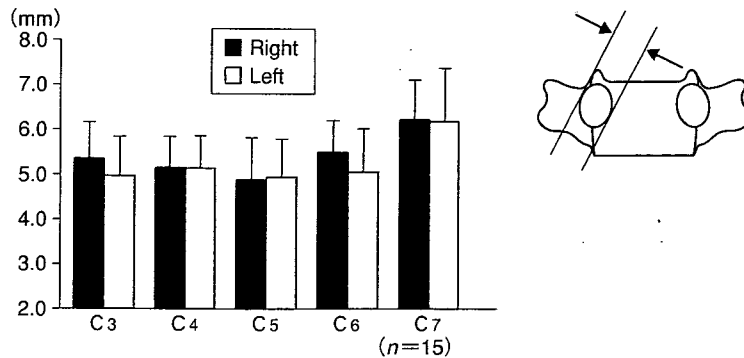


図2 頸椎椎弓根の横径  
日本人晒骨標本の計測結果である。C3からC6最狭部は5mm前後である。

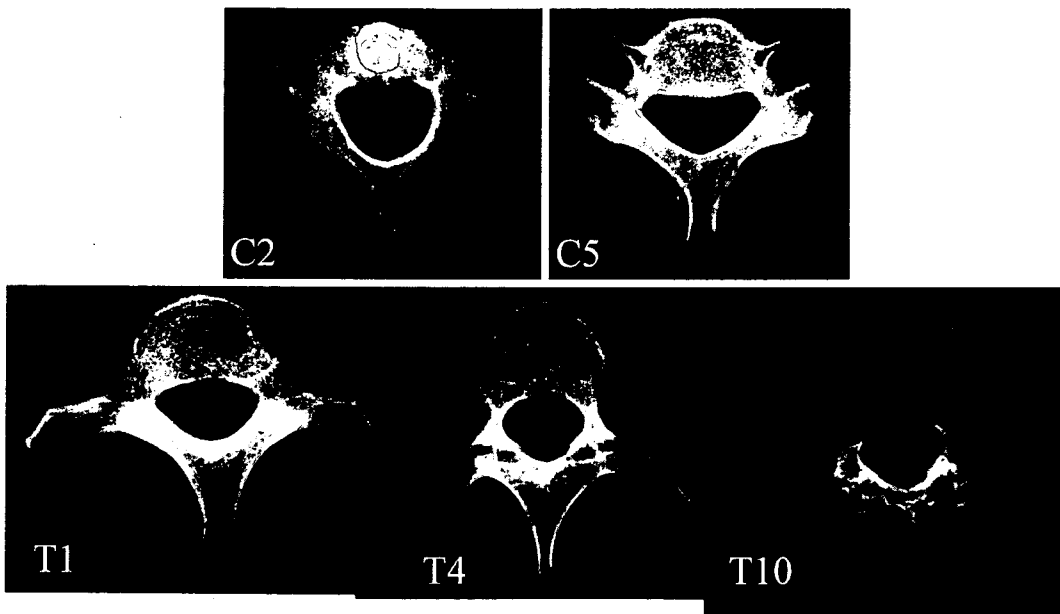


図3 頸椎と胸椎の椎弓根の比較(同一標本から)  
椎弓根の横径はC3,4,5が小さくC6, C7の順に大きく、T1ではさらに大きい。それより尾側では次第に小さくなり、T4-8では頸椎よりも小さいことが少なくない。

椎の椎弓根と称し、C2椎弓根スクリューを刺入している部分は関節間部(pars interarticularis)と椎弓根を合わせた部分であり、真の椎弓根は椎体に近接した短い範囲に限定される(図1)<sup>3,14)</sup>。実際には、C2の椎弓根スクリューは関節間部を通り椎弓根を経由して椎体に刺入される。本稿では、椎弓根スクリュー刺入との関連から、関節間部を含めて広義に解釈して論を進める。

## 2 頸椎椎弓根の形態

### 1. 椎弓根の大きさ

安保らによる日本人の頸椎晒骨標本の計測では、これまでに米国から出された結果より多少小さい傾向にあるが、横径はC3,4,5が小さくC6, C7の順に大きくなることは共通している(図2)。椎弓根の径はT1でさらに大きく、それより尾側では次第に小さくなり、T4-8では頸椎よりも小さい

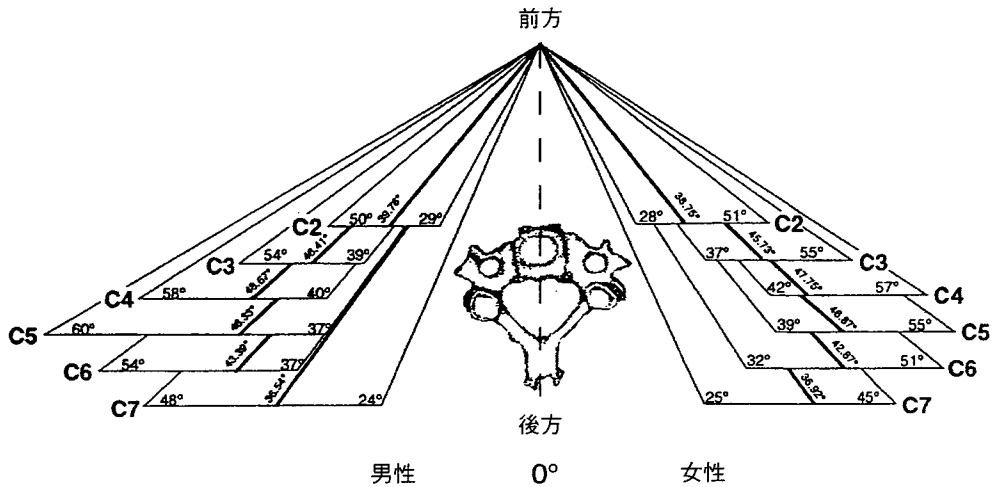


図 4 矢状面に対する頸椎椎弓根長軸の角度<sup>9)</sup>

横断面における頸椎椎弓根の矢状面に対する方向は Karaikovic らによると、C2 で平均 40 度、C7 で平均 37 度と小さく、その間の C3-6 では C4 の平均 49 度を頂点として C2、C7 より大きい。

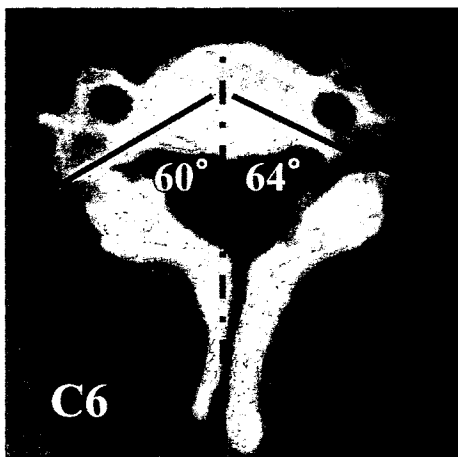


図 5 椎弓根の方向の個人差

頸椎椎弓根の方向の個人差は大きい。図は C6 分離症例であるが、両側の椎弓根の矢状面に対する角度は 60 度以上である。

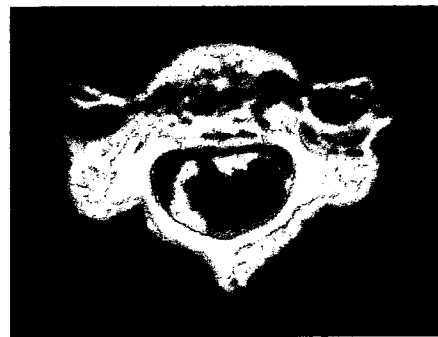


図 6 頸椎椎弓根の骨皮質

頸椎の椎弓根の骨皮質は内側すなわち脊柱管側が常に最も厚く、外側すなわち椎骨動脈側が薄い。

ことが少なくない(図 3)。Panjabi らの結果では、横径の最小は C4 で 5.7 mm、Karaikovic の結果では、最小は C3 の 5.2 mm、Bozbuga らによると最小は C4 の 4.4 mm、筆者らの計測では最小は C5 で 4.9 mm であった。縦径はいずれの結果でも横計より 30%前後大きい<sup>2,9,16)</sup>。

## 2. 椎弓根の方向

横断面における頸椎椎弓根の矢状面に対する角

度は、Karaikovic らによると、C2 で平均 40 度、C7 で平均 37 度と小さく、その間の C3-6 では C4 の平均 49 度を頂点として C2、C7 より大きかった(図 4)。この矢状面に対する角度の個人差は大きく、ときには 60 度に達する場合もある(図 5)。頸椎椎弓根の矢状面での方向は、C4 から C7 では上位椎体終板にほぼ平行であるが、C3 では多少頭側に向かう。C2 椎弓根の方向を決定することは、基準点の特定が困難で現実的でない。

## 3. 椎弓根骨皮質

頸椎の椎弓根の骨皮質は内側、すなわち脊柱管

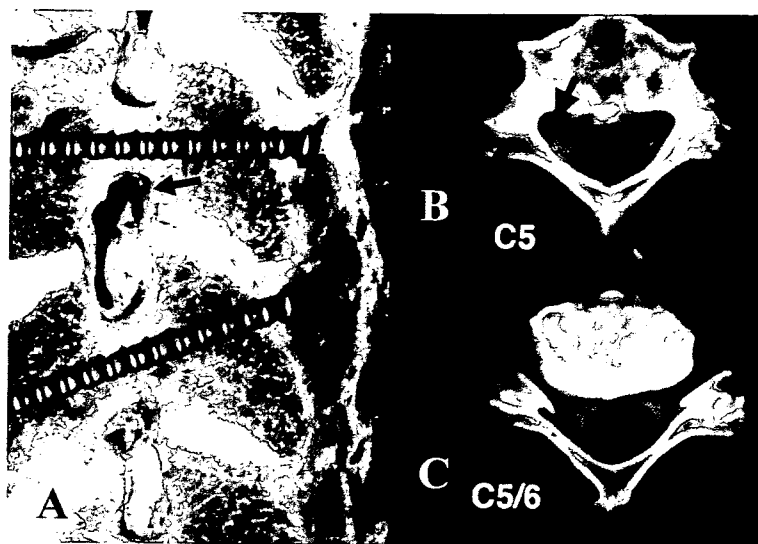


図 7 頸椎椎弓根と神経根・脊髄との関係

頸椎では、硬膜外腔から椎間孔にかけて神経根の走行は水平に近く、椎間孔の尾側にあつて椎弓根に接しながら椎間孔外に出る (A, C)。したがって多くの場合、椎間孔の頭側には神経根は存在しない。腰椎と異なり椎弓根の内側には硬膜外腔があり、ここに神経根はない (B)。

側が常に最も厚く、外側、すなわち椎骨動脈側が薄い(図 6)<sup>9,10</sup>。また椎弓根径が小さい場合、髄腔が存在せず皮質骨のみで形成されていることもある。

### ③ 周辺の神経血管組織との関係

#### 1. 神経根・脊髄との関係

頸椎では、硬膜外腔から椎間孔にかけて神経根の走行は水平に近く、椎間孔の尾側にあつて椎弓根に接しながら椎間孔外に出る(図 7A, C)<sup>17,21</sup>。したがって多くの場合、椎間孔の頭側には神経根は存在しない。腰椎と異なり椎弓根の内側には硬膜外腔があり、ここに神経根はない(図 7B)。

#### 2. 椎骨動脈との関係

椎弓根の外側に位置する横突孔内には椎骨動脈が存在する。横突孔の横断面で椎骨動脈が占める比率は、通常はそれほど高くないが(図 8A)、左右の椎骨動脈の優劣が大きい場合の優位側や、横突孔内で椎骨がループを形成する場合などでは、横突孔における椎骨動脈の占拠率は高くなる(図 8B)。またこのような場合、横突孔は拡大し、椎弓根径が小さくなる。

#### ④ 椎弓根スクリューの刺入点の特定

頸椎椎弓根スクリューの刺入点は胸椎・腰椎ほど明確でないが、有効なランドマークとして下関節突起と外側塊外縁の陥凹が挙げられる。中下位頸椎では上位椎の下関節突起の下端で外側塊の外縁から2ないし4mmのところが入点である(図 9A)。また頸椎の外側塊の外縁には陥凹があり、この陥凹の最も窪んだ地点の数mm内側が入点である(図 9B)<sup>1,10</sup>。この陥凹はC3-5で比較的明瞭であるが、C6, C7では不明瞭なことが多い。特にC7で横突起が発達している例ではこの陥凹は存在しない。

### 頸椎椎弓根スクリュー固定のバイオメカニクス

#### ① 頸椎 instrumentation に必要な固定性の程度

これまで、instrumentation を使用した固定頸椎の安定性に関する多くの力学試験が行われてきたが、固定性の程度を評価するにあたり、正常頸椎と比較し安定性が高ければ固定性は良好であ

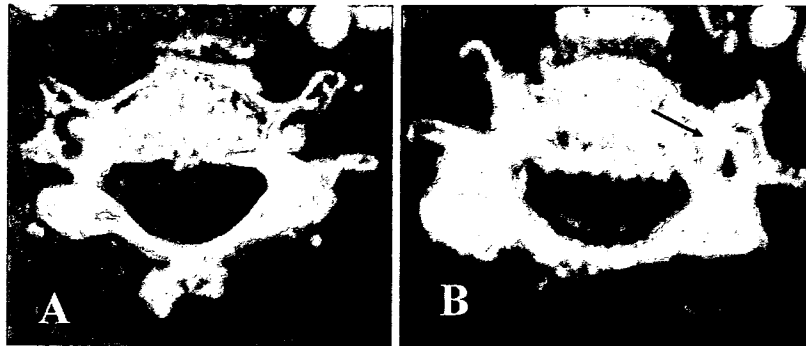


図 8 横突孔内における椎骨動脈

横突孔内には椎骨動脈が存在するが横突孔の横断面で椎骨動脈が占める比率は、通常はそれほど高くない(A)。左右の椎骨動脈の優劣が大きい場合の優位側や、横突孔内で椎骨がループを形成する場合などでは、横突孔における椎骨動脈の占拠率は高くなる(B)。

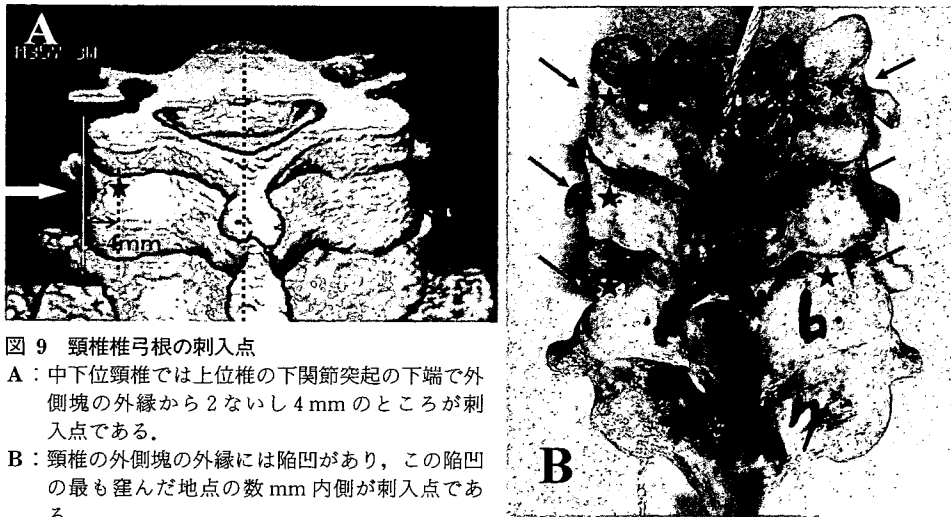


図 9 頸椎椎弓根の刺入点

A：中下位頸椎では上位椎の下関節突起の下端で外側塊の外縁から2ないし4mmのところが入点である。

B：頸椎の外側塊の外縁には陥凹があり、この陥凹の最も窪んだ地点の数mm内側が入点である。

る、と評価される傾向があった。しかし、正常頸椎と同程度の安定性では、日常の生活動作による外力による椎間運動のため、内固定単独では骨癒合率は低く、外固定の補助を要する。外固定の補助なしで固定範囲の椎間運動のすべてを制御し、正常頸椎より高い安定性をもたらすには、より安定性の高い instrumentation が必要である。

## ② 既存の頸椎 instrumentation の生体力学的特徴

1990年代に後方の外側塊スクリュー固定、椎弓根スクリュー固定が登場し頸椎の再建手術は大きく変化した。これまでの多くの生体力学実験から、

頸椎 instrumentation の力学的特徴がある程度まで確かめられている<sup>4,11,18,19,20</sup>。

### 1. 後頭-頸椎固定

後頭骨アンカーとしては、wire, screw, hookなどが使用されているが、そのアンカー自体の固定性に関する力学的研究はない。頸椎アンカーとしては椎弓下 wiring, 椎弓 hook, 外側塊 wiring, 外側塊スクリュー, 椎弓根スクリュー, C1-2 椎間関節スクリューなどが使用されてきた。後頭頸椎固定の力学的比較研究によると、C1-2 椎間関節スクリュー、椎弓根スクリューの固定性が最も高い<sup>15</sup>。

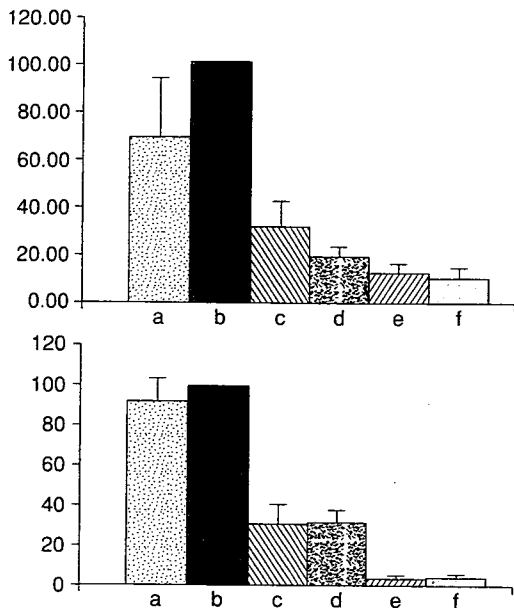


図 10 環軸椎固定法の固定性の比較<sup>13)</sup>

a : 正常椎間, b : 不安定椎間モデル, c : Gallie 法, d : McGraw 法, e : C1-2 screw 固定 (C1 : lateral mass screw+C2 pedicle screw), f : Magerl+Gallie 法.

A : 屈曲伸展の ROM, B : 左右回旋の ROM.

## 2. 環軸椎固定

Gallie 法, McBride 法とその変法, Brooks 法, Halifax 法, Magerl 法などが環軸椎の後方 instrumentation として行われてきたが, 固定性の点では Magerl 法が最も優れている。特に軸椎歯突起の不全状態には Magerl 法が有利である。Magerl 法と Brooks 法の併用は固定性の点で最強であり, 環軸椎の多くの不安定状態に対応可能である<sup>5,6)</sup>。最近使用されるようになってきた環椎外側塊スクリュー固定と軸椎椎弓根スクリューによる環軸椎固定の固定性も優れている (図 10)<sup>7,13)</sup>。

## 3. 中下位頸椎固定

前方プレート固定は, AO の interlocking screw plate の登場により, monocortical screwing でも, それ以前の Casper plate などの bicortical screwing より固定性は増強したが, なお triple wiring や外側塊プレートなどの後方 instru-

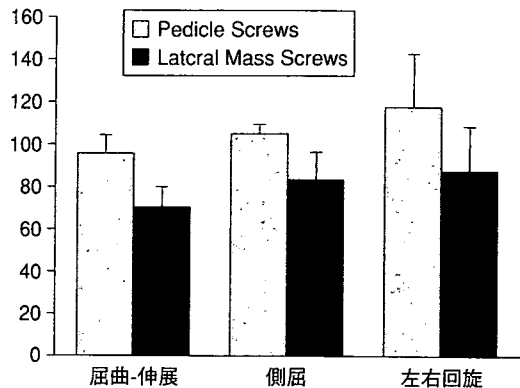


図 11 繰り返し負荷後の安定性<sup>12)</sup>

繰り返し負荷に対して椎弓根スクリュー固定が外側塊スクリュー固定より安定していた。

mentation の固定性に及ばない<sup>11)</sup>。特に後方靭帯が損傷された状態では, 力学的に不利なことは明瞭である。ただし, 頸椎腫瘍などで鉤椎関節を含めた椎体全切除を要した場合は, 前方プレートも固定頸椎の安定性に寄与する。

椎弓根は骨粗鬆症の進行や RA, 破壊性脊椎症などによる骨破壊進行の影響を受けにくい部位であり, 頸椎の後方 instrumentation 手術における最も強靱な固定アンカーとなる。さらに頸椎椎弓根スクリュー固定の安定性が他のあらゆる頸椎内固定法に勝ることは力学実験で示されている<sup>11)</sup>。椎弓根スクリュー固定と他の頸椎内固定の固定性との差は損傷モデルの椎間安定性が低いほど大きい<sup>10)</sup>。Kothe ら<sup>12)</sup>は椎弓根スクリュー固定と外側塊スクリュー固定の繰り返し負荷に対する安定性を比較し, 椎弓根スクリュー固定が繰り返し負荷に対し安定していることを示した (図 11)。また椎弓根スクリューの引き抜き強度が外側塊スクリューのそれをしのぐことも実験的に証明されている<sup>8)</sup>。引き抜き強度の大きいことは頸椎配列異常の矯正に重要である。

## おわりに

椎弓根スクリュー固定は固定性に優れ, 最も汎用性の高い頸椎内固定である。一方, 神経血管に対するリスクは否定できない。安全性を高める最

大の方策は頸椎椎弓根とその周辺組織の解剖に精通することである。

文 献 (太字番号は重要文献)

- 1) Abumi K, Ito M, Kotani Y : Cervical pedicle screw fixation. in Cervical Spine Research Society (ed) : *The Cervical Spine Surgery Atlas*, 2nd Edition. Lippincott Williams Wilkins, Philadelphia, 2004, pp 411-422
- 2) Bozbuga M, Oztuk A, Ari Z, et al : Morphometric evaluation of subaxial cervical vertebrae for surgical application of transpedicular screw fixation. *Spine* 29 : 1876-1880, 2004
- 3) Ebraheim NA, Fow J, Xu R, et al : The location of the pedicle and pars interarticularis in the axis. *Spine* 26 : E 34-37, 2001
- 4) Gill K, Paschal S, Corin J, et al : Posterior plating of the cervical spine. *Spine* 13 : 813-816, 1988
- 5) Grob D, Crisco III JJ, Panjabi MM, et al : Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 17 : 480-490, 1992
- 6) Henriques T, Cunningham BW, Olerud C, et al : Biomechanical comparison of five different atlantoaxial posterior fusion techniques. *Spine* 25 : 2877-2883, 2000
- 7) Hott JS, Lynch JJ, Chamberlain RH, et al : Biomechanical comparison of C1-2 posterior fixation techniques. *J Neurosurg Spine* 2 : 175-181, 2005
- 8) Jones EL, Heller JG, Silcox DH, et al : Cervical pedicle screws versus lateral mass screws : anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 22 : 977-982, 1997
- 9) Karaikovic EE, Daubs MD, Madsen RW, et al : Morphologic characteristics of human cervical pedicles. *Spine* 22 : 493-550, 1997
- 10) Karaikovic EE, Kunakornsawat S, Daubs MD, et al : Surgical anatomy of the cervical pedicles : landmarks for posterior cervical pedicle entrance localization. *J Spinal Disord* 13 : 63-72, 2000
- 11) Kotani Y, Cunningham BW, Abumi K, et al : Biomechanical analysis of cervical stabilization systems : an assessment of transpedicular screw fixation in the cervical spine. *Spine* 19 : 2529-2539, 1994
- 12) Kothe R, Ruther W, Schneider E, et al : Biomechanical analysis of transpedicular screw fixation in the subaxial cervical spine. *Spine* 29 : 1969-1975, 2004
- 13) Melcher RP, Pttlitz CM, Kleinstueck FS, et al : Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 27 : 2435-2440, 2002
- 14) Naderi S, Arman C, Güvender M, et al : An anatomical study of the C2 pedicle. *J Neurosurg (Spine 1)* 3 : 306-310, 2004
- 15) Oda I, Abumi K, Haggerty CJ, et al : Biomechanical evaluation of five different occipito-atlanto-axial fixation techniques. *Spine* 24 : 2377-2382, 1999
- 16) Panjabi MM, Duranceau J, Goel VK, et al : Cervical human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. *Spine* 16 : 861-869, 1991
- 17) Pech P, Daniels DL, Williams AL, et al : The cervical neural foramina : correlation of microtomy and CT anatomy. *Radiology* 155 : 143-146, 1985
- 18) Schmidt R, Wilke HJ, Claes L, et al : Pedicle screw enhance primary stability in multilevel cervical corpectomies : biomechanical *in vitro* comparison of different implants including constrained and nonconstrained posterior instrumentations. *Spine* 28 : 1821-1828, 2003
- 19) Sutterlin CE, McAfee PC, Warden KE, et al : A biomechanical evaluation of cervical spinal stabilization methods in a bovine model. *Spine* 13 : 795-802, 1988
- 20) Ulrich C, Woersdoerfer O, Kalff R, et al : Biomechanics of fixation systems to the cervical spine. *Spine* 16 : S 4-S 9, 1991
- 21) Xu R, Kang A, Ebraheim NA, et al : Anatomic relation between the cervical pedicle and the adjacent neural structures. *Spine* 24 : 451-454, 1999

■ パネルディスカッション

関節リウマチによる頸椎多椎間病変  
—病態とナビゲーション手術の成績—

星 地 亜都司 竹 下 克 志 東 川 晶 郎  
川 口 浩 中 村 耕 三

抄録：多椎間手術を行った20例についてMRI T2強調画像で髄内輝度変化出現高位の分布を調べた結果、18例で脊髄病変は1カ所であった。ナビゲーション下の固定手術を行うにあたりMRI上の脊髄病変高位以外での不安定椎間、癒合椎間、術前計画で判明したスクリュー挿入不能椎骨の存在などが、固定椎間数増加の原因となった。ナビゲーションガイド下に挿入されたスクリュー80本中20本で軽度の骨皮質穿破があったが、神経血管損傷はなく固定性は良好であった。

\* Multiple-level cervical lesions caused by rheumatoid arthritis: the pathology and the short-term results of computer-aided surgery

Key words : computer-aided surgery コンピュータ支援手術, rheumatoid arthritis 関節リウマチ, cervical spine 頸椎

はじめに

関節リウマチ(以下RA)による頸椎病変において、単純X線写真上は多椎間に病変があることが少なくないが、MRIで観察すると脊髄症の責任高位は限局していることが多い印象がある。多椎間にわたるRA頸椎病変に対する手術治療を行う際、手術対象範囲の決定には脊髄症の責任高位の特定が必要である。

一方、多椎間固定術を行う場合、フックやワイヤーを用いた従来法では矯正固定力が良く、ワイヤリングには脊髄障害のリスクもあることから<sup>2)</sup>、最近では椎弓根スクリューを使用する施設が増えている。しかし椎弓根経由のスクリューは

アンカーとして優れているが、神経血管損傷のリスクがある<sup>1)</sup>。特にムチランス型RAでは多椎間固定手術を余儀なくされることが多いがリウマチ病変の骨侵食、椎間のすべり、亜脱臼などによりスクリュー挿入が難しい。スクリュー挿入の安全性を高める目的で、われわれはコンピュータナビゲーションシステムを用いてきた<sup>3)</sup>。本研究の目的は、多椎間手術症例における脊髄病変の分布ならびに多椎間手術を要した要因の分析、ナビゲーションガイド下に行った多椎間スクリュー挿入手術の精度と問題点の報告である。

対象および方法

コンピュータナビゲーションシステムを導入し

東京大学整形外科〔連絡先；〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1, 東京大学整形外科, 星地亜都司, TEL 03-5800-8656〕 Atsushi SEICHI, Katsushi TAKESHITA, Akio HIGASHIKAWA, Hiroshi KAWAGUCHI and Kozo NAKAMURA

た1999年9月より2004年1月までの期間にRA頸椎病変に対して手術を行った症例は41名である。このうち21名は環軸椎亜脱臼単独病変であり、手術内容はMagerl法による環軸椎間固定15名、Olerude法による後頭骨軸椎間固定6名であった。本研究では4椎間以上の固定または除圧症例を多椎間手術例と定義し、これに該当しない

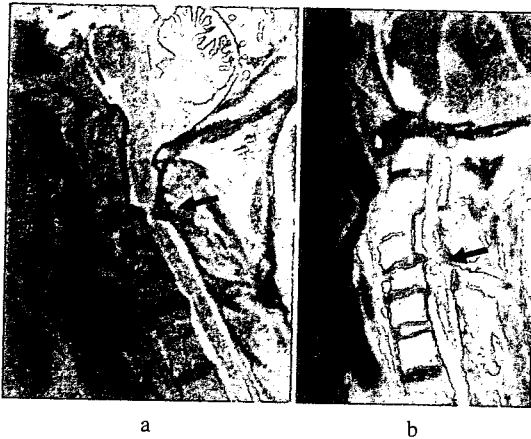


図1 MRI T2強調画像による髄内高輝度信号部位  
aは頭蓋内陥入があるものの責任病巣はC3/4間1カ所とした症例、bはC1/2、C5/6の2カ所が責任病巣と判定した症例である。

21名を除いた20名を調査対象とした。なお20名中、男性は1名のみであった。20名中9名はいわゆるムチランス型のRAであり11名は多関節型であった。手術時年齢は51～75歳、平均62歳であった。多椎間手術の内訳は、後頭骨よりC3以下に延びる頸椎までのインストルメンテーション8例、後頭骨胸椎間インストルメンテーション2名、頸椎胸椎間固定1例（この症例はO-C7が自然癒合していた症例である）、環軸椎間固定プラス椎弓形成3例、後頭骨軸椎間固定プラス椎弓形成2例（うち1例はO-C2固定後に発生した軸椎下病変に対する椎弓形成が追加手術）、椎弓形成術4例であった。

調査項目は、術前後MRI T2強調画像による責任病巣の高位の調査、多椎間固定手術が必要と判断した要因の分析、ナビゲーション手術の短期成績、である。

脊髄症の責任病巣については、術前と術後3週でMRIを撮影し、T2強調画像で髄内に術前後とも一致して見られる高輝度部位を責任病巣と仮定してその局在を調査した（図1）。

固定椎間を増加させる要因として、責任椎間以外での不安定椎間の存在、癒合椎の存在、責任病変のある当該椎骨以外での椎弓根スクリュー挿入

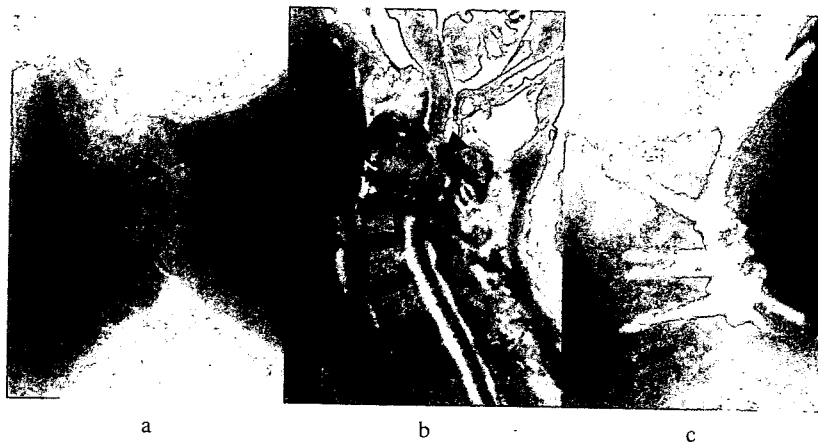


図2 スクリュー増加の要因

本症例では髄内高輝度変化のあるC2/3/4が責任高位であるが（a、b矢頭）、垂直性亜脱臼による頭蓋内陥入があり頭側は後頭骨までの固定が必要となる。C3、4、5が癒合しており（a、b矢印）、なおかつC3、4が椎体圧壊のためにスクリュー挿入不能である。C5への2本のスクリュー挿入のみでは強度的に不足すると判断し、スクリュー挿入部位をC6まで増やした（c：術後頸椎側面像）。



不能椎の存在，を調べた（図2）．ナビゲーション手術には Stealth Station（メドトロニクスソフトウェアモアダネック社）を使用した．術前に造影CTを撮影した画像を用いて椎骨と椎骨動脈の2次元および3次元画像を再構成し，スクリュー挿入経路，配列を計画した．コンピュータ上でシミュレーションを行うことでスクリュー挿入が不能である椎骨を術前計画中に察知できる．

術後に1.25 mm スライス of CT を撮影しスクリュー挿入精度を評価した．スクリューに平行になるようなスライスでCT横断像画像を検討した．スクリューが骨皮質内にあるものをグレード1，一部骨皮質を穿破しているがスクリュー径の半分以下であるものをグレード2，それ以上の穿破をグレード3とした<sup>5)</sup>．Ranawat法で脊髄症状の推移を評価した<sup>4)</sup>．

## 結果

### 1. MRI T2 高信号領域から見た脊髄症の責任高位

MRI から見た責任病巣の分布は C1/2：6例，C2/3：3例，C3/4：5例，C4/5：4例などさまざまであり，2例を除き単椎間脊髄障害であった（表1）．

### 2. 多椎間手術を行った理由

4椎間以上のインストルメンテーション手術を必要とした11例全例（7例がムチランスタンプ）がC1/2垂直性亜脱臼を合併していた．このうち6例では責任病巣が軸椎下にあり，C1/2垂直性亜脱臼の合併が固定椎間を後頭骨まで延ばさざるをえない大きな要因となっていた（表1）．また責任病巣以外の軸椎下での亜脱臼合併が7例あり，これも下位への固定椎間延長の大きな要因となっ

表1 症例のまとめ

症例	年齢	T2 high 高位	環軸椎	固定範囲	椎弓形成	多椎間手術理由
1 (多)	67	C1/2	VS	O-C6		癒合椎，スクリュー挿入不能椎
2 (多)	69	C1/2	VS	O-C5		スクリュー挿入不能椎
3 (ム)	58	C1/2	VS	O-C6		スクリュー挿入不能椎，軸椎下亜脱臼
4 (多)	68	C1/2	VS	O-C6		癒合椎，軸椎下亜脱臼
5 (ム)	53	C1/2, 5/6	VS	O-C6		VS，癒合椎，軸椎下亜脱臼
6 (ム)	59	C2/3	VS	O-C6		VS，癒合椎，軸椎下亜脱臼
7 (ム)	73	C2/3/4	VS	O-C6		VS，スクリュー挿入不能椎，軸椎下亜脱臼
8 (ム)	61	C3/4	VS	O-T2		VS，軸椎下亜脱臼
9 (ム)	60	C3/4	VS	O-T1		VS，軸椎下亜脱臼
10 (ム)	61	C7/T1	VS	C6-T3		癒合椎
11 (多)	70	C2/3	VS	O-C5		VS，癒合椎
12 (多)	69	C1/2	AS	C1-2	C3-7	C1/2 病変と軸椎下多椎間狭窄の合併
13 (ム)	52	C3/4	AS	C1-2	C3-7	C1/2 病変と軸椎下多椎間狭窄の合併
14 (多)	57	C5/6	AS	C1-2	C3-7	C1/2 病変と軸椎下多椎間狭窄の合併
15 (多)	59	C4/5	VS	O-C2	C3-7	C1/2 病変と軸椎下多椎間狭窄の合併
16 (多)	64	C3/4	VS	O-C2	C3-7	C1/2 病変と軸椎下多椎間狭窄の合併
17 (ム)	51	C4/5	VS		C3-7	軸椎下多椎間狭窄
18 (多)	57	C4/5	なし		C3-7	軸椎下多椎間狭窄
19 (多)	75	C3/4	VS 固定後		C3-7	軸椎下多椎間狭窄
20 (多)	71	C4/5	なし		C3-7	軸椎下多椎間狭窄

症例1-11は4椎間以上のインストルメンテーション，12-16は環軸椎間または後頭骨軸椎間固定と椎弓形成術併用，17-20は椎弓形成術単独手術症例

(多)：多関節型 RA，(ム)：ムチランスタンプ型 RA，VS：垂直性亜脱臼，AS：前方亜脱臼

ていた。環軸椎亜脱臼でありながらC2の圧壊によりC2にスクリューを挿入できないためにC3以下の固定を要したものの3名、椎間自然癒合のためにスクリュー本数の増加必要と判断し尾側への固定範囲が拡大したものが6例あった。

椎弓形成を施行した9症例中5例で頭頸移行部固定術併用となった。中下位頸椎に責任病巣があるがC1/2の不安定性が著しかった3例、C1/2に責任病巣があるが中下位での狭窄も著しかった1例、O-C2固定後の隣接椎間障害1例が椎弓形成術と固定術を併用した症例であり、残り4例は亜脱臼を伴わない中下位頸椎での狭窄に対し椎弓形成術単独手術を受けた。

### 3. ナビゲーション手術の成績

ナビゲーションガイド下に挿入されたスクリューは、合計80本である。骨皮質をスクリューが越えたものが20本あり、いずれもグレード2であった。

ナビゲーション手術16例の術後経過観察期間は平均21ヵ月(6-43ヵ月)であり、2例が肺炎で死亡していた。神経血管損傷はなく、ハードウェア破損もなく良好な固定性が得られていた。Ranawat法による評価では、全例に何らかの脊髄症の改善があったが、3Bの3例、3Aの2例でグレードが上がらなかった。

後頭骨軸椎固定後の椎弓形成術1例を除く15例においては新たな不安定性出現による再手術はいまのところないが、画像上、C6まで固定した1例でC7/T1間に新たなすべりを生じていた。

## 考 察

これまで多椎間障害を伴うRA頸椎病変において、脊髄病変がどのように分布するかを検討した報告はなかったが、今回の調査では、ほとんどの症例でMRI上の責任病巣が1カ所であった。

責任高位が単椎間であっても、手術範囲が多椎間に及ぶ要因はインストルメンテーション使用か非使用かで2通りに分かれる。1つは骨破壊と不安定性がほとんどない多椎間狭窄例であり、椎弓形成術を行うことで多椎間手術となる。もう1つは亜脱臼を伴う症例に対するインストルメンテーションの使用である。椎弓根スクリュー固定は

現在のところ最も固定力に優れる方法であり、他の方法に比して固定椎間を短縮できるはずのインストルメンテーションである。しかし椎弓根スクリューを用いても、固定範囲はさまざまな要因で多椎間に拡大した。特にムチランスタイプにおいては、責任病巣が単椎間であっても複数高位での不安定性を伴うことが多いこと、骨破壊によるスクリュー挿入不能椎があること、椎体間の癒合のため確実な固定性獲得にはスクリュー挿入範囲を増やさざるをえない場合があること、などが多椎間固定を選択する理由となった。

ナビゲーション手術は小さい骨格、破壊の著しい症例、特にムチランスタイプや再手術例においても最適なスクリュー挿入予定経路の術前検討ができ、スクリュー挿入不能椎を察知できる点も有用であった。固定力の良い椎弓根スクリューをかなりの高精度で挿入でき、短期成績は良好であったといえる。しかしグレード2の例が約30%にあり、骨孔作成時の手ぶれなどまだ問題が残る。さらに多椎間固定を必要とする症例ではムチランスタイプが多く骨破壊が強いため条件が悪い。あくまでバーチャルリアリティであることを強く認識しX線透視装置の併用、サウンダーによる骨皮質穿破がないことの確認などを怠ると誤挿入に結びつく可能性がある。

ムチランスタイプの頸椎不安定性病変に対する椎弓形成術の成績は不良であり<sup>3)</sup>、内固定が現在のところ唯一の手段であるが、強力な内固定材を用いて多椎間固定を行う場合、隣接椎間障害が起きる頻度やその予知因子は不明であり今後の課題である。非固定部位に新たな不安定性が生じて再手術を余儀なくされた場合には、ドミノ法を用いた固定範囲延長で対応可能であると考えている。

## 結 論

多椎間手術が必要であった症例において脊髄症の責任病巣は多くの場合、単椎間であった。責任高位以外での画像上の不安定性、椎間自然癒合、スクリュー挿入不能椎の存在などが固定椎間増加の要因となっていた。ナビゲーション手術の短期成績は良好であった。

第53回東日本整形災害外科学会パネルディスカッションにて発表.

### 文 献

- 1) Abumi, K., Takada, T., Shono, Y., et al. : Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod systems. *Spine*, 24 : 1425 - 1434, 1999.
- 2) Matsunaga, S., Ijiri, K. and Koga, H. : Results of a longer than 10-years follow-up of patients with rheumatoid arthritis treated by occipitocervical fusion. *Spine*, 25 : 1749 - 1753, 2000.
- 3) Mukai, Y., Hosono, N., Sakaura, H., et al. : Laminoplasty for cervical myelopathy caused by subaxial lesions in rheumatoid arthritis. *J. Neurosurg. (Spine 1)*, 100 : 7 - 12, 2004.
- 4) Ranawat, C.S., O'Leary, P., Pellici, P., et al. : Cervical spine fusion in rheumatoid arthritis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 61 : 1003 - 1010, 1979.
- 5) Seichi, A., Nakajima, S., Kitagawa, T., et al. : Image-guided surgery for cervical disorders in rheumatoid arthritis. *Mod. Rheumatol.*, 12 : 329 - 332, 2002.

# 光学式三次元位置計測システムを用いた 脊椎上肢協同運動の動作解析

辺見 俊一

正富 隆\*

**Key words:** Motion analysis (動作解析), Optical 3-D motion analysis system (光学式三次元位置計測システム)  
Activities of daily living (日常生活動作), Coordination (協同運動)

〔目的〕 摂食、洗髪、洗顔などの日常生活動作 (ADL) は、脊椎と上肢の複数の関節の動きが密接に協同して行われている。これら ADL の評価は問診、あるいは実際の動作の観察から、出来るか出来ないかを検者の主観により評価しているのが現状である。近年、下肢機能評価に於いて光学式位置計測システムが実用化されているが、このシステムを用いた上肢機能評価は殆ど行われていない<sup>1)3)</sup>。今回、頸椎と上肢が関連する ADL を、この下肢で確立している動作解析システムを応用して定量的に評価可能か検証し、それによる関節リウマチ患者の上肢機能評価、再建計画の可能性を明らかにしたので報告する。

〔対象と方法〕 光学式三次元位置計測システムは米国 Vicon Motion System 社製 VICON 512™ システム (以下 VICON) を使用した。これは被検者の体に、マーカーと呼ばれる赤外線を反射する小球を頭部に 4 個、体幹に 5 個、上肢に 7 個ずつ計 23 個貼り付け、6 台の CCD カメラから放射された赤外線の反射光を再びカメラで捉えることにより、マーカーの位置座標を計測し、このデータを基にして各関節の動きを自動的に計測する仕組みになっている。

対象は健常者 5 人 (女性 3 人、男性 2 人)、年齢は 20 歳～28 歳 (平均年齢 23 歳) 及び、関節リウマチにより肘関節の拘縮を来した 46 歳女性とした。調査は、VICON を用いて頸椎の屈曲・伸展、肩関節の屈曲、肘関節の屈曲・伸展、前腕の回内・回外の可動域を計測した。

VICON の計測精度は高精度のシステムとされている<sup>2)</sup>。しかし体表面にマーカーを固定した場合、この位置の移動により測定精度が低下する可能性がある。このため、本システムの臨床使用による信頼性の評価を行った。最初に、本システムで各被験者に対し同一検者が 3 回繰り返し測定し、各被験者の標準偏差の平均から再現性の評価を行った。また、本システムによる 3 回計測の測定値の平均と日常診療で用いられる万能角度計での可動域との相関を調べた。次に光学式三次元位置計測システムを用いて洗顔、洗髪、食事動作に於ける頸椎屈曲、肩関節

屈曲、肘関節屈伸、前腕回内外の最大角度を計測した。さらに、関節リウマチによる肘関節拘縮を生じた患者の洗髪動作と健常者との動作の比較を行った。

〔結果〕 VICON による各関節の可動域計測の標準偏差は 0.78～2.56 度であり、3 度以内の誤差におさまっていた。次に、本システムと万能角度計による可動域の平均値と両者の相関係数は 0.69 以下のものはなかった。特に頸椎屈曲、肩関節屈曲、肘関節屈曲では相関係数は 0.9 以上であった。健常者 (case 1) の洗髪動作における頸椎、肩関節、肘関節の動きをグラフで示した (図 1)。洗髪動作に於いて、頸椎、肩関節、肘関節はそれぞれ単独で動いているのではなく、協調して動いていた。また、本例の洗髪動作における最大屈曲時の角度は、頸椎 39 度、肩関節 61 度、肘関節 135 度であった。表 1 に健常者に於ける洗髪、洗顔、食事動作の各関節の動きの平均値を示した。各動作により必要とされる屈曲角度はほぼ一定の値になっており、いずれの動作に於いても、肘関節の屈曲角度は、洗髪、洗顔、食事動作でそれぞれ 151 度、140 度、146 度とほぼ最大屈曲角度を必要としていた。一方、頸椎の屈曲角度は各動作により 46 度、16 度、-8

表 1. 健常者における洗髪、洗顔、食事動作の動き

	洗髪	洗顔	食事動作
頸椎屈曲	46±10*	16±7	-8±13
肩関節屈曲	46±9	50±7	43±6
肘関節屈曲	151±9	140±5	146±5
Total flexion angle	261±18	207±8	185±10

\* 標準偏差

表 2. 健常者 (case 1) と RA 拘縮肘の頸椎上肢の屈曲角度の比較

	健常者	RA 拘縮肘
頸椎屈曲	39	56
肩関節屈曲	61	67
肘関節屈曲	135	108
Total flexion angle	235	231

国立病院機構大阪南医療センター 整形外科

\* 大阪厚生年金病院 整形外科