

学位申請論文

頸椎症性脊髄症に合併する高血圧に及ぼす 脊柱管拡大手術の効果

獨協医科大学 脳神経外科学

糸岐 一茂

要 旨

背景：薬物治療中の高血圧症患者が、頸椎症性脊髄症 (cervical spondylotic myelopathy, CSM) の術後、その高血圧が改善する例を時に経験する。特に降圧薬治療に反応しない難治性高血圧群で改善が見られることが多い。本研究ではCSM術後の血圧及び副交感神経機能の推移について検討し、報告する。

方法：2009年1月1日から2009年12月31日まで我々の施設内でCSMに対する椎弓形成術を施行した68例に対し、検討を行なった。術前の平均血圧が100mmHgを超えていた術前高血圧群は17例あった。うち12例は術前降圧薬を内服していたにもかかわらず、入院時高血圧を呈していた(難治性高血圧群)。全症例で頸椎C3からC6にかけての筋層構築的棘突起椎弓形成術(myoarchitectonic spinolaminoplasty)が施行されている。血圧は術前、術後1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月の時点で外来で測定された。術後1週間のみ入院中の病棟で計測された。全対象症例中47例で術前、術後1週間、1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月の測定をすべて遂行しえた。測定した血圧は術前の血圧との比例で表し、平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比として比較検討している。また、副交感機能の指標として心電図上RR間隔変動係数(coefficient variance of RR intervals, CVRR)を同時に測定し、比較検討している。

結果：術前高血圧群(n=17)と正常血圧群(n=29)の間で術前後の血圧変化において有意差を認め、そのうち術前高血圧群において術後1週間、6ヶ月の平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の有意な低下を認めた。術前降圧薬内服群と術前降圧薬非内服群の間での血圧変化においても有意差を認め、そのうち術前降圧薬内服群において術後1週間の平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の優位な低下を認め、さらに収縮期血圧比のみ術後6ヶ月の時点で優位な低下を示した。さらに術前降圧薬を内服していたにもかかわらず、入院時高血圧を呈していた難治性高血圧群(n=12)とその他の症例群(n=37)との間で術前後の血圧変化に有意差を認め、難治性高血圧群では術後1週間と6ヶ月で有意な血圧低下効果のみをみた。術前正常血圧群(n=29)においては術後有意な血圧変化はみられなかった。

その他高齢者群(65歳以上, n=13)と若年者群(60歳以下, n=23)及び術前MRIで脊髄実質内にT2高信号を示した群(n=19)とそれ以外の群(n=27)の間では血圧変化に有意差は検出されなかった。

全ての群で、CVRRは有意な変化を示さなかった。

結論：頸椎症性脊髄症に対する外科的減圧術は、高血圧の改善をもたらす。その機構には副交感神経系の関与は否定的である。

Key Words：椎弓形成術, 自律神経, 高血圧, CVRR

緒 言

頸椎症性脊髄症(cervical spondylotic myelopathy, CSM)は高齢者で有病率の高い疾患である¹⁻³⁾。ある報告によれば、65歳以上の頸椎MRIスクリーニングで24%に頸椎症を認めるとされる¹⁾。CSMは進行性に運動感覚障害を生じ、日常生活に多大な影響を与える。

平成23年12月1日受付, 平成23年12月15日受理
別刷請求先: 糸岐一茂

〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林880
獨協医科大学 脳神経外科学

表1 全頸椎症性脊髄症 (CSM) 症例およびサブグループの構成

	All CSM	術前 高血圧	術前 非高血圧	術前降圧剤 内服	術前降圧剤 非内服	高齢者 (65≥)	若年者 (≤60)	MRI T2 (+)	MRI T2 (-)
総数	46	17	29	16	30	13	23	19	27
性別 (male/female)	35/11	12/5	23/6	12/4	23/7	9/4	17/6	16/3	19/8
年齢 (mean ± SD)	59.5 ±10.1	61.8 ± 9.4	58.2 ±10.4	62.9 ± 9.4	57.7 ±10.1	70.0 ± 4.9	52.2 ±8.2	62.7 ±9.3	57.3 ±10.1

術前高血圧群：術前の平均血圧 100 mmHg 以上 術前正常血圧群：術前の平均血圧 100 mmHg 未満 高齢者：65 歳以上 若年者：60 歳以下 T2 (+)：術前 MRI で脊髄実質内に T2 高信号を示した群 T2 (-)：術前 MRI で脊髄実質内に T2 高信号を示さなかった群

CSM の代表的な症状は分節性の脊髄症状と索路症状で生じる手指の巧緻運動障害や感覚障害、痙性歩行などであり、時に起立性めまいや頸椎症性前胸部痛など、自律神経障害を訴えることもある。頸椎症術後はこれらの典型的な症状は改善する。その他脊柱管の減圧が成功し脊髄症が改善した後に、さまざまな降圧薬内服治療にもかかわらず高血圧を呈していた患者が、正常血圧に改善する例にしばしば遭遇する。交感神経系の過緊張が高血圧をもたらす⁴⁾ ことから、我々は CSM の患者の一部は交感神経系の過緊張状態が高血圧をもたらすのではないか、という仮説を立てた。その検証のため頸椎症術後の血圧及び副交感機能の指標として心電図 RR 間隔変動係数 (coefficient variance of RR intervals, CVRR) を同時に測定し、比較検討を行なった。

方 法

対象：2009 年 1 月 1 日から 2009 年 12 月 31 日まで我々の施設内で頸椎症性脊髄症 (CSM) に対する筋層構築的棘突起椎弓形成術 (myoarchitectonic spinolaminoplasty, MSLP) を施行した 68 例に対し、検討を行なった。筋層構築的棘突起椎弓形成術 (MSLP) は後頸筋群と棘突起、椎弓との付着を温存する椎弓形成の手術法である⁵⁾。この手術法は後頸部の生理的構造を温存したうえで十分な関節可動域と頸椎のアライメントを保ち、術後の後頸部痛を軽減する。全ての症例は術前 MRI で脊髄圧迫の所見があり、脊髄症状を呈していた。頸椎の退行性変化は C5/6 を中心に C3 から C6 にかけて多く、当院での MSLP 症例の大部分は C3 から C6 までの除圧を行っている。本研究では前方固定などほかの手術法で治療した症例及び C3 から C6 以外の範囲で減圧を要した症例については、対象から除外した。また、自律神経機能に影響を及ぼす可能性のある糖尿病患者やアドレナリン、コリン受容体作動薬内服患者も除外した。

対象症例を以下のようにサブグループに分類した。日

表2 対照群の構成

総数	18	
性別 (male/female)	9/9	
年齢 (mean ± SD)	64.4 ± 7.2	
治療	Lumber (%)	10 (55.6)
	Clipping (%)	8 (44.4)

Lumber：腰椎狭窄症 clipping：未破裂脳動脈瘤

本高血圧学会「高血圧治療ガイドライン 2009 年版」によれば正常血圧の定義は収縮期血圧 130 mmHg 以下かつ拡張期血圧 85 mmHg 以下となっている。そこで収縮期血圧 130 mmHg かつ拡張期血圧 85 mmHg で平均血圧を計算すると 100 mmHg になるため、平均血圧 100 mmHg 以上を高血圧と定義した。降圧薬内服の有無は問わず術前の平均血圧が 100 mmHg を超えていた群を術前高血圧群とし、100 mmHg 以下の群を術前正常血圧群とした。術前降圧薬内服治療を受けていた群を術前降圧薬内服群とし、それ以外を術前降圧薬非内服群とした。術前降圧薬内服治療を受けているにもかかわらず術前平均血圧が 100 mmHg を超えていた群は難治性高血圧群とした。さらに 65 歳以上を高年齢者群、60 歳以下を若年者群とし、術前 MRI で脊髄実質内に T2 高信号を示した群とそれ以外の群に分類し、それぞれ術前後の血圧、CVRR を測定した (表 1)。

また、同期間に腰椎狭窄症および未破裂動脈瘤に対する手術を施行された患者を対照群とし、同様に血圧及び CVRR を測定した (表 2)。

血圧及び CVRR 測定法：全症例に対し、術前及び術後 1 週間、1 ヶ月、3 ヶ月、6 ヶ月の時点で血圧及び心電図を計測した。血圧は自動血圧計 (Korin Seiki, Tokyo, Japan) を用いて測定した。上記期間中に測定できなかった症例は除外した。血圧は数分間の安静の後、数回繰り返し計測した。数値が安定したことを確認して記

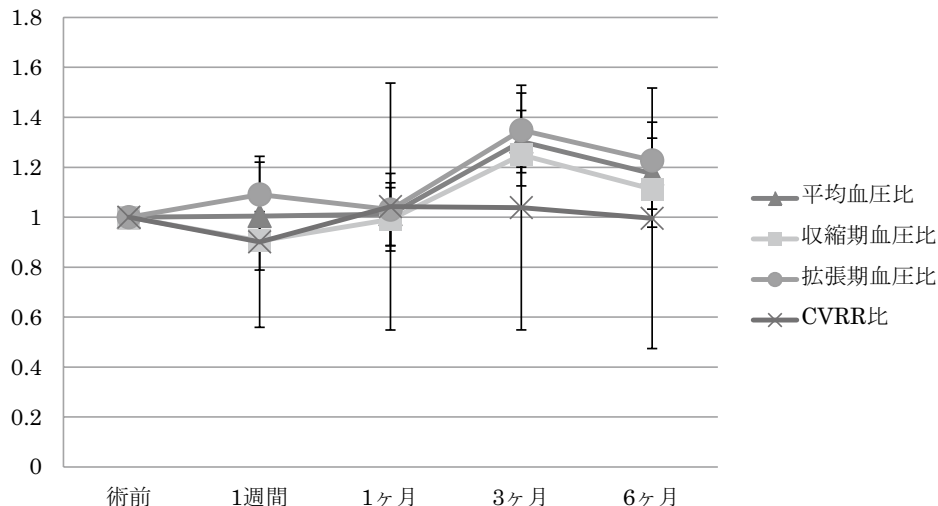


図1 全頸椎症性脊髄症 (CSM, n=46) における平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比, CVRR 比の術前術後の推移. すべての測定値において, 術前と術後の比較で有意差は見られなかった.

載した. 平均血圧は拡張期血圧に脈圧の1/3を加え, 算出した.

心電図RR間隔変動係数 (coefficient variance of RR intervals, CVRR) は心拍のゆらぎを反映し, 副交感神経機能の指標とされる. CVRRはRR間隔の標準偏差 (standard deviation, SD) をRR間隔の平均値 (M) で割った数値, すなわち $CVRR (\%) = SD/M \times 100$ で表した. 心電図は安静, 深呼吸負荷後の状態で測定した. 測定した血圧およびCVRRは術前の数値との比で表し, 平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比, CVRR比として比較検討した.

手術: 全ての症例は頸椎C3からC6までの, 筋層構築的棘突起椎弓形成術 (myoarchitectonic spinolaminoplasty, MSLP) を施行した. MSLPは椎弓形成の新しい手法で, 全ての後頸筋群を温存し, 筋肉と棘突起, 椎弓との付着からなる頸椎の後方要素を再建する方法である⁵⁾. まず患者を腹臥位で固定し, 後頸部正中に縦切開を加えた. 後頸筋をその層毎に正中の項靭帯で切離し, 僧帽筋, 頭板状筋, 頭半棘筋を左右に展開した. 棘突起に筋を付着させたまま正中で切離し, 椎弓への移行部で左右に切離した. この時切離された棘突起は, 頭半棘筋が付着したまま左右に展開した. 椎弓の正中は3mmダイヤモンドドリルで削除した. さらに椎弓と椎間関節への移行部で多裂筋の椎弓への付着を保ったまま, 左右にヒンジ溝を作成し, 椎弓フラップを挙上した. 挙上したフラップは椎弓を再構築するべくデザインされた弓状のインプラントで固定され, さらに左右に展開された棘突起を同じインプラントに固定した. このインプラントは骨の主成分であるハイドロキシアパタイトで構成され,

術後の骨化を促進するとされる. 棘突起の骨片は前述のように頸半拳筋とともにインプラントに固定され, 棘突起は術前同様に構築された. さらに後頸筋を各層で項靭帯と共に密に縫合し, 手術を終えた.

統計処理: 計測された血圧及びCVRRの比例値は, その平均値及び標準偏差 (SD) を計算した. さらに各サブグループ間の群間比較を行なった上で, 対応のあるStudent's t検定を用い比較した. 群間比較には2元配置分散分析を行い, 分散に有意差のみられた群に対し, Tukey法を用いて多重比較を行なった. P値0.05以下を有意差とした. 患者数はnで表した.

結 果

全症例で手術に伴う周術期合併症を認めなかった. 46症例が計画通り術後外来での追跡が可能であった (表1).

術前の平均血圧が100mmHgを超えていた術前高血圧群 (age: 61.8 ± 9.4 years) は17例あった. 術前平均血圧が100mmHg以下の術前正常血圧群 (age: 58.2 ± 10.4 years) は29例であった. そのうち16例は術前降圧薬内服治療を受けていた群を術前降圧薬内服群 (age: 62.9 ± 9.4) で, 特に術前降圧薬を内服していてもかかわらず, 入院時高血圧を呈していた12例を難治性高血圧群とした. 年齢比較では65歳以上の13例を高年齢者群 (age: 70.0 ± 4.9 years), 60歳以下の23例を若年者群 (age: 52.2 ± 8.2 years) とした. さらに術前MRIで脊髄実質内にT2高信号を示した19例 (age: 62.7 ± 9.3) とそれ以外の27例 (age: 57.3 ± 10.1) に分類している.

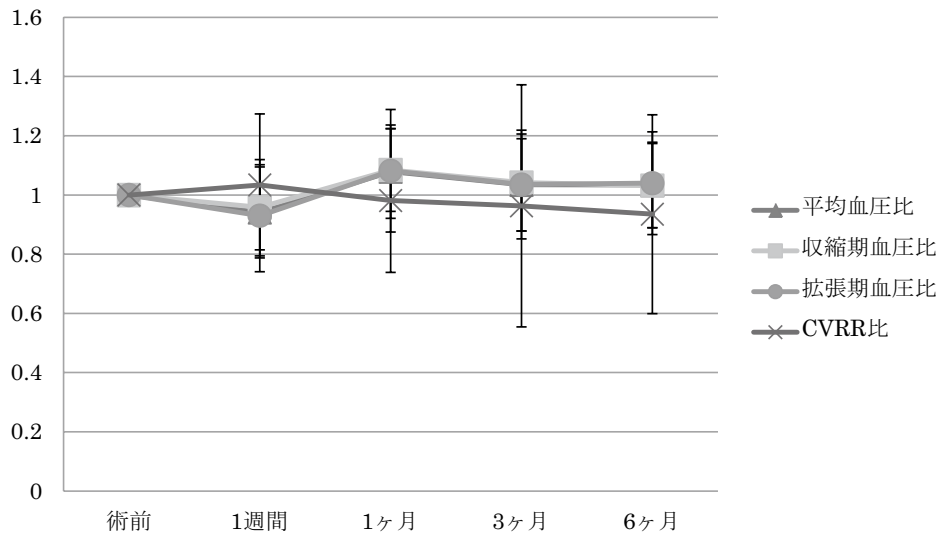


図2 対照群 (n=18) における平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比, CVRR 比の術前術後の推移. すべての測定値において, 術前と術後の比較で有意差は見られなかった.

表3 サブグループ間の群間比較で術前と比べ有意な変動をみた群のまとめ

比較群	サブグループ		1週間	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月
術前高血圧群と正常血圧群	正常血圧群	平均血圧比		↑↑**	↑↑	
		収縮期血圧比		↑↑	↑↑	
		拡張期血圧比		↑↑	↑↑	
	術前高血圧群	平均血圧比	↓↓**			↓↓
		収縮期血圧比	↓↓			↓↓
		拡張期血圧比	↓↓		↓*	↓↓
術前降圧薬内服群と非内服群	術前降圧薬非内服群	平均血圧比		↑↑	↑↑	
		収縮期血圧比		↑↑	↑↑	
		拡張期血圧比		↑↑	↑↑	
	術前降圧薬内服群	平均血圧比	↓↓			
		収縮期血圧比	↓↓			↓
		拡張期血圧比	↓↓			

術前高血圧群: 術前の平均血圧 100 mmHg 以上 術前正常血圧群: 術前の平均血圧 100 mmHg 未満

* ↓ 術前に比べ有意に低下 ($p < 0.05$)

** ↑ ↑ 術前に比べ有意に上昇 ($p < 0.01$); ↓ ↓ 術前に比べ有意に低下 ($p < 0.01$)

全症例の平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比, CVRR 比については, 術前後で有意な変化は得られなかった (図1). また, 対照群でも同様に全てのパラメーターで有意な変化は得られなかった (図2). 全症例と対照群の分散分析を行なったが, 有意な変化は得られなかった.

サブグループの比較 (表3) において, 術前高血圧群と術前正常血圧群間で術前後の血圧の変化に有意差がみられた (図3). 術前高血圧群において, 術後1週間, 6ヶ月の時点で術前と比較して平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比の有意な低下が見られた. 術前正常血圧群

では, 術後1ヶ月, 3ヶ月の時点で術前と比べ平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比の有意な上昇がみられたが, 術後6ヶ月目では有意差は無かった (図3). この2群間比較において, CVRR 比はどの時点でも有意差はみられなかった (図4).

術前降圧薬内服群と術前降圧薬非内服群間でも同様に術前後の血圧の変化に有意差がみられた (図5). 術前降圧薬内服群では術後1週間の平均血圧比, 収縮期血圧比, 拡張期血圧比の有意な低下を認め, さらに収縮期血圧比のみ術後6ヶ月の時点で有意な低下を示した. 術前降圧薬非内服群では術後1ヶ月, 3ヶ月の時点で術前と

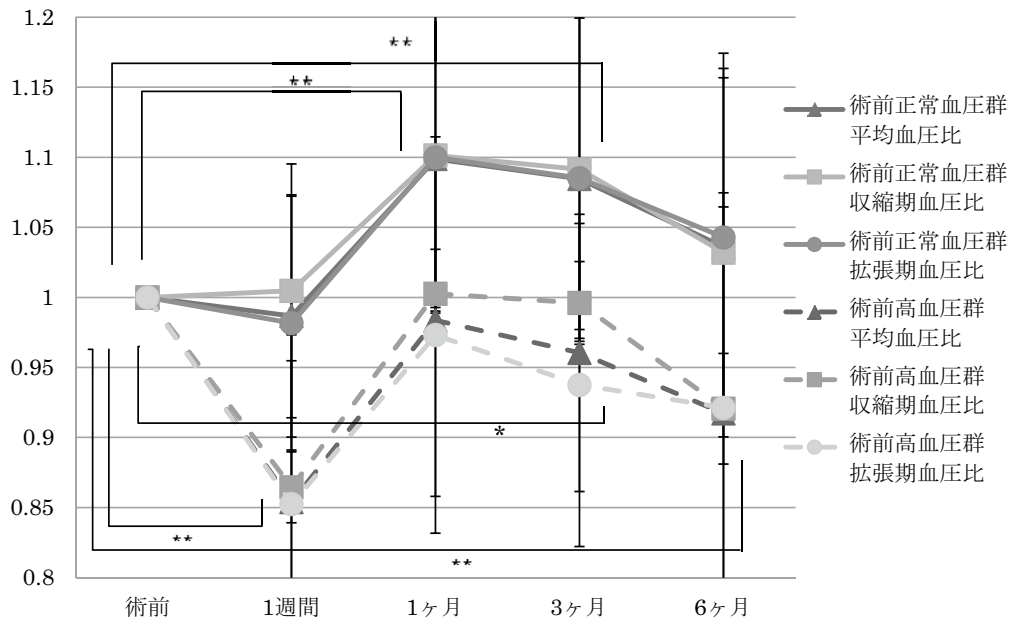


図3 術前高血圧群 (n=17) と術前正常血圧群 (n=29) の群間比較における、平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の術前術後の推移。

* p<0.05 ** p<0.01

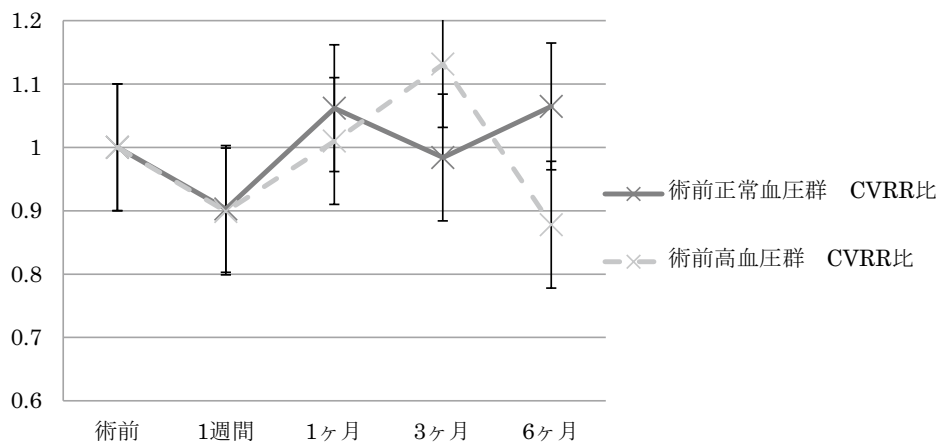


図4 術前高血圧群 (n=17) と術前正常血圧群 (n=29) の群間比較における、平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の術前術後の推移。

比べ平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の有意な上昇がみられたが、術後6ヶ月目では有意差は無かった(図5)。術前降圧薬内服群と非内服群の2群間比較でもCVRR比の変化に有意差は見られなかった(図6)。この中で術前降圧薬内服治療を受けているにもかかわらず術前平均血圧が100mmHgを超えていた難治性高血圧群ではそれ以外の群間と比較して術前後の血圧変化で有意差が見られ、平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比がそれぞれ術後1週間、6ヶ月の時点で術前と比較して有意な低下が見られた。この2群間比較において、CVRR比はどの時点でも有意差はみられなかった。

65歳以上の高齢者群と60歳以下の若年者の群間比較および術前MRIで脊髄実質内にT2高信号を示した群とそれ以外の群間比較では、術前後の血圧変化に有意差は見られなかった。

考 察

CSMの手術適応は画像所見と神経学的所見が一致したときに検討され、患者は通常古典的な分節性の脊髄症状と索路症状で生じる運動感覚障害を訴える。そして術後典型的な脊髄症状の改善に加え、頭痛やめまい、高血圧などが改善する症例をしばしば経験する。本研究にお

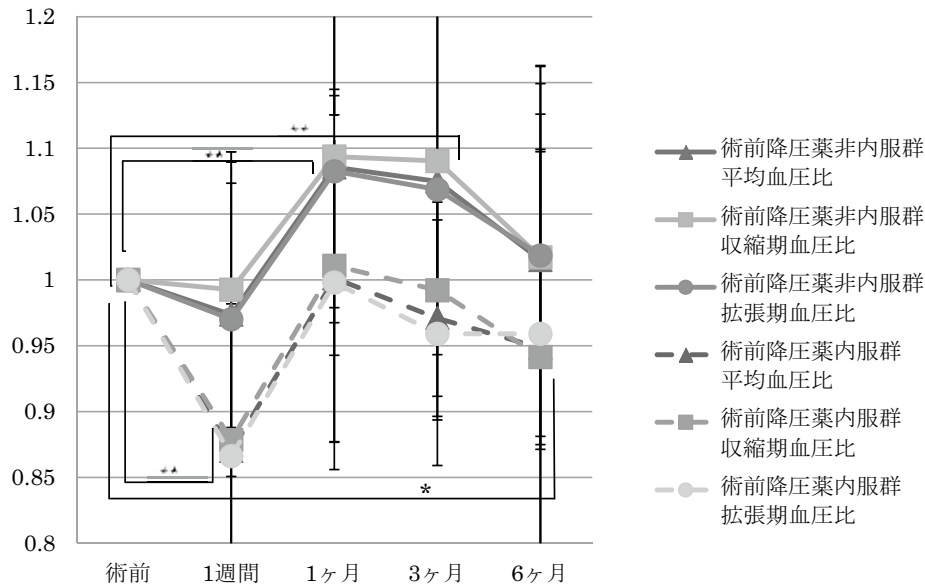


図5 術前降圧薬内服群 (n=16) と術前降圧薬非内服群 (n=30) の群間比較における、平均血圧比、収縮期血圧比、拡張期血圧比の術前術後の推移。

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

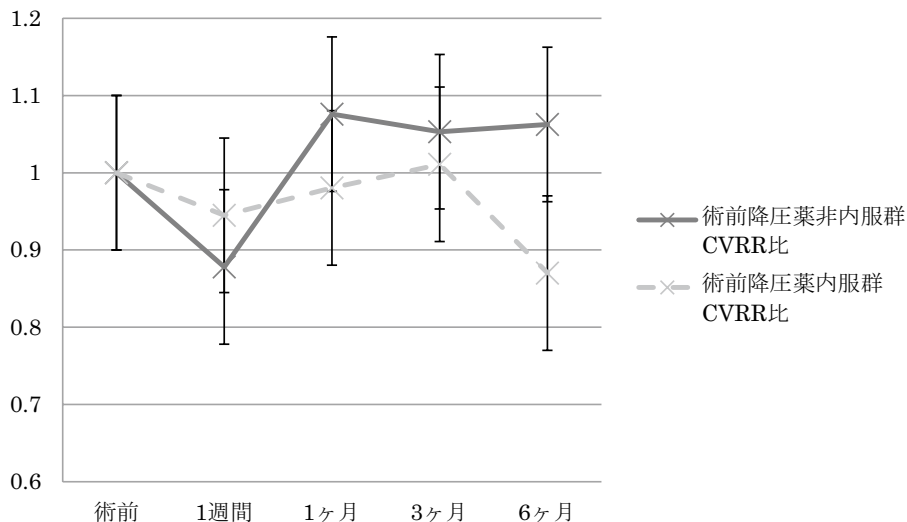


図6 術前降圧薬内服群 (n=16) と術前降圧薬非内服群 (n=30) の群間比較における、CVRR比の術前術後の推移。

いて頸椎症術後6ヶ月の時点で、術前から高血圧を示していた患者の血圧正常化が観察された。そして術前降圧薬内服治療を受けているにもかかわらず術前高血圧を示した難治性高血圧においても、術後6ヶ月でその高血圧は正常化した。この機序には様々な要因が関与していると思われるが、自律神経機能の正常化は最も考えられる要因の一つであると考えられる。今回の結果では副交感神経機能の指標であるCVRRは、血圧の変動と関連しなかった。例えば術前高血圧群において、術後6ヶ月の時点で術前と比較して平均血圧比、収縮期血圧比、拡張

期血圧比の有意な低下が見られた際にも、CVRR比は有意な変動を示さなかったことから、交感神経過緊張の改善で修飾された可能性がある。精神的な要因、例えば疼痛からの開放や不安の解消などの影響もあるだろうが、神経生理学的機構の関与も考えられる。考えられる原因の一つとして脊柱管の拡大により脊髄の微小循環が改善し、それまで圧迫により過緊張状態にあった交感神経機能が正常化したことがあげられる。

自律神経系の機能解剖と頸髄：頸髄損傷の患者においてしばしば病的な血圧の低下や上昇をみることがあ

る⁷⁾。こうした患者では血圧の自動調整能が失われ、神経因性ショックや自律神経障害、起立性低血圧をひきおこす⁸⁾。

交感神経節前線維による血圧調整は、脊髄より中枢側でコントロールされている⁹⁾。延髄弧束核は交感神経性の循環調節に関与し、その求心性及び遠心性線維は頸髄を走行する¹⁰⁾。実際に蛇行した椎骨動脈による延髄の圧迫が高血圧を引き起こし、責任血管の外科的転移（微小血管減圧術）により、その高血圧は改善するという報告がある^{11,12)}。上位頸髄の化学的刺激は、交感神経機能の亢進を生じる¹³⁾。頸髄白質の神経細胞は交感神経節前線維の心臓血管系支配に関与している¹³⁾。また頸髄神経の刺激は、脳血流の増加をもたらす¹⁴⁾。

これらの知見は頸髄の遠心性線維が、胸髄の交感神経節へ影響を及ぼしていることを示唆する。これらのことから頸椎症による頸髄の圧迫と微小循環の障害は交感神経機能異常と血圧調整不全を引き起こし、それらは頸髄の減圧により正常化することが考えられる。

頸椎症術後の血圧変動のメカニズム：全症例を比較検討した結果では、術前術後の血圧に有意な変化は見られなかった。しかしサブグループ間での比較において、術前高血圧群では術後1週間、6ヶ月の時点で術前と比較して血圧の有意な低下が見られた。術前降圧薬内服治療を受けているにもかかわらず術前高血圧を示した難治性高血圧群でも、術後1週間、6ヶ月の時点で術前と比較して有意な血圧低下が見られた。この効果は術前高血圧を呈していない群では観察されなかった。反対にこれらの群では術後1ヶ月、3ヶ月の時点で術前と比べ有意な血圧の上昇がみられた。これらの相反する反応はCSMによって障害を受けた交感神経機能が回復したことによるものと推定され、難治性の高血圧群でより顕著に現れ、術前高血圧を伴わない群では目立たなかった。以前我々が検討したラットの慢性脊髄圧迫モデルではCSM症状を示したラットの脊髄において、圧迫された部位の脊髄は圧迫されていない部位の脊髄に比べ局所血流の低下を認めた¹⁵⁾。もしこのような変化が実際のCSMでも生じているなら、血圧の自動調節能は脊髄局所の血流低下を補うため血圧を上昇させ、頸髄が減圧された時に血圧低下をもたらすことが予想される。

術前高血圧群と術前降圧薬内服群で観察された術後1週間での血圧低下は、手術の不安の解消や病院での安静が少なくとも部分的に関与していると思われる。術前正常血圧群と術前降圧薬非内服群で示された術後1ヶ月、3ヶ月の時点での術前と比べた有意な血圧上昇は、退院後に彼らの活動性が上がり、社会復帰を果たしたことによる一時的な交感神経機能亢進を反映していると思われる。

た。

CVRRは簡便で低侵襲かつ繰り返し施行可能な、すぐれた副交感神経機能の指標である。今回の研究ではCVRRを検討した結果、副交感神経機能の積極的な関与は証明されなかった。より詳細な検討には心拍のパワースペクトラム分析やノルエピネフリン濃度の測定、筋交感神経活動電位の測定などのより精度の高い自律神経機能検査の導入も検討すべきと思われる。

しかし特に高血圧を有した患者において頸椎症術後に血圧が正常化したこととその間CVRRに変化がなかったことから、この血圧正常化には交感神経機能がより強く関与している可能性が高い。

また我々は傍脊柱の構造と機能を温存し再建する筋層構築的棘突起椎弓形成術が、他の某脊柱の骨、筋構造に侵襲的な手法に比べ、このような血圧正常化効果に関してもより優れていると考えられた。

文 献

- 1) Teresi LM, Lufkin RB, Reicher MA, et al : Asymptomatic degenerative disk disease and spondylosis of the cervical spine : MR imaging. *Radiology* **164** : 83-88, 1987.
- 2) Ohtsuka K, Terayama K, Yanagihara M, et al : An epidemiological survey on ossification of ligaments in the cervical and thoracic spine in individuals over 50 years of age. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi* **60** : 1087-1098, 1986.
- 3) Imai T : Cervical spondylotic myelopathy and the antero-posterior diameter of the cervical canal. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi* **44** : 429-438, 1970.
- 4) Benarroch EE, Chang FL : Central autonomic disorders. *J Clin Neurophysiol* **10** : 39-50, 1993.
- 5) Kim P, Murata H, Kurokawa R, et al : Myoarchitectonic spinolaminoplasty : efficacy in reconstituting the cervical musculature and preserving biomechanical function. *J Neurosurg Spine* **7** : 293-301, 2007.
- 6) Kim P, Wakai S, Matsuo S, Moriyama T, et al : Bisegmental cervical interbody fusion using hydroxyapatite implants : surgical results and long-term observation in 70 cases. *J Neurosurg* **88** : 21-27, 1998.
- 7) Krassioukov A, Claydon VE : The clinical problems in cardiovascular control following spinal cord injury : an overview. *Prog Brain Res* **152** : 223-229, 2006.
- 8) Blackmer J : Orthostatic hypotension in spinal cord injured patients. *J Spinal Cord Med* **20** : 212-217, 1997.

- 9) Calaresu FR, Yardley CP : Medullary basal sympathetic tone. *Annu Rev Physiol* **50** : 511-524, 1988.
- 10) Duan YC, Xu B, Shi Z, Gao J, et al : Nucleus of solitary tract mediates cardiac sympathetic afferent reflex in rats. *Pflugers Arch* **459** : 1-9, 2009.
- 11) Jannetta PJ, Segal R, Wolfson SK Jr. : Neurogenic hypertension : etiology and surgical treatment. I. Observations in 53 patients. *Ann Surg* **201** : 391-398, 1985.
- 12) Jannetta PJ, Segal R, Wolfson SK Jr, et al : Neurogenic hypertension : etiology and surgical treatment. II. Observations in an experimental nonhuman primate model. *Ann Surg* **202** : 253-261, 1985.
- 13) Seyedabadi M, Li Q, Padley JR, et al : A novel pressor area at the medullo-cervical junction that is not dependent on the RVLM : efferent pathways and chemical mediators. *J Neurosci* **26** : 5420-5427, 2006.
- 14) Goellner E, Slavin KV : Cervical spinal cord stimulation may prevent cerebral vasospasm by modulating sympathetic activity of the superior cervical ganglion at lower cervical spinal level. *Med Hypotheses* **73** : 410-413, 2009.
- 15) Kurokawa R, Murata H, Ogino M, et al : Altered blood flow distribution in the rat spinal cord under chronic compression. *Spine (Phila Pa 1976)* **36** : 1006-1009, 2011.