

博士論文

三次元動作解析装置を用いた頸部運動の測定

井口はるひ

目次

要旨.....	6
1 序文.....	7
1.1 頰部の解剖学.....	7
1.2 頰部可動域とその測定方法.....	9
1.3 三次元動作解析装置.....	11
1.4 頰部の安静姿勢.....	13
1.5 随伴動作.....	14
1.6 運動の回転中心.....	15
1.7 頰部の疾患.....	16
1.7.1 先天性筋性斜頰.....	16
1.7.2 頰椎症性脊髄症.....	18
1.8 本研究の目的.....	19
2 研究.....	21
2.1 研究1 三次元動作解析装置による頰部運動測定の妥当性・再現性.....	21
2.1.1 目的.....	21
2.1.2 方法.....	21
2.1.2.1 研究参加者.....	21

2.1.2.2	三次元動作解析装置	21
2.1.2.3	Cervical Range of Motion (CROM)装置	25
2.1.2.4	実験の流れ	25
2.1.2.5	解析	27
2.1.2.6	統計	28
2.1.3	結果	29
2.1.3.1	参加者背景	29
2.1.3.2	妥当性の確認	30
2.1.3.3	再現性の確認	36
2.1.4	考察	41
2.1.5	研究 1 のまとめ	50
2.2	研究 2 先天性筋性斜頸患者の手術前後の頸部運動評価	51
2.2.1	目的	51
2.2.2	方法	51
2.2.2.1	患者情報	51
2.2.2.2	三次元動作解析装置	53
2.2.2.3	実験の流れ	54
2.2.2.4	解析	54
2.2.2.5	統計	55

2.2.3	結果.....	56
2.2.3.1	患者および健常群の背景.....	56
2.2.3.2	安静姿勢の評価.....	56
2.2.3.3	各動作の主動作の ROM.....	58
2.2.3.4	随伴動作の変化.....	61
2.2.3.4.1	屈伸動作での随伴動作.....	61
2.2.3.4.2	側屈動作での随伴動作.....	64
2.2.3.4.3	回旋動作での随伴動作.....	66
2.2.4	考察.....	69
2.2.5	研究 2 のまとめ.....	75
2.3	研究 3 頸椎症性脊髄症患者の手術前後の頸部運動評価.....	76
2.3.1	目的.....	76
2.3.2	方法.....	76
2.3.2.1	研究参加者.....	76
2.3.2.2	実験の流れ.....	77
2.3.2.3	解析.....	78
2.3.2.4	統計.....	79
2.3.3	結果.....	80
2.3.3.1	参加者背景.....	80

2.3.3.2	患者ごとの比較	81
2.3.3.2.1	症例 1	81
2.3.3.2.2	症例 2	83
2.3.3.2.3	症例 3	85
2.3.3.2.4	症例 4	86
2.3.3.2.5	症例 5	88
2.3.3.2.6	症例 6	89
2.3.3.2.7	症例 7	91
2.3.3.2.8	症例 8	92
2.3.3.2.9	症例 9	94
2.3.3.4	全対象者の各動作の ROM	96
2.3.3.4	各動作の ROM の術式による比較	98
2.3.3.5	ROM の左右差	106
2.3.3.6	回転中心	107
2.3.4	考察	111
2.3.5	研究 3 のまとめ	116
3	総合考察	118
4	引用文献	122
5	謝辞	141

要旨

頸部は頭部と体幹を連結し、屈伸・側屈・回旋方向の動きを組み合わせ様々な運動を行う。われわれは三次元動作解析装置の一つ、VICON を用いた頸部運動評価を健常成人 12 人に対して行い、その妥当性・再現性を確認した。さらに、成人先天性筋性斜頸患者 1 人の術前後の頸部運動を測定し、手術による安静時斜頸位・ROM 制限の改善と随伴動作の変化を確認した。また、頸椎症性脊髄症患者 9 人の術前後の頸部運動を測定し、疾患や手術により ROM 制限を認めることと運動の回転中心が健常群・手術前後で差がないことを確認した。今後、本法を用いた頸部運動評価を頸部疾患・全身性疾患患者に応用することで、重症度・治療効果などの判定などに役立つと考える。

1 序文

1.1 頸部の解剖学

脊柱は頸椎・胸椎・腰椎・仙椎・尾椎の五つの部位より成り、脳から末梢への神経伝達の経路となり、四肢の運動の基点となるほかに、脊柱自体も大きな可動性を持つ。なかでも頸部は、頭部と体幹・上肢を連結し、頸椎内を上肢・体幹・下肢の運動を支配する脊髄が縦走する。頭部には視覚・嗅覚・聴覚などの情報入力を行うための受容器が多数存在し、受容器を多方向に向けるため、頸部は大きな可動域（range of motion, 以下 ROM）を有する必要がある(1)。頸椎（cervical spine）は7つの椎骨より構成され、上部は後頭骨と、下部は胸椎（thoracic spine）と連結する。第1頸椎（C1, 環椎）・第2頸椎（C2, 軸椎）は上位頸椎と呼ばれ、軸椎の前上方から垂直に突出する歯突起が環椎椎孔にはまり込む構造を持つ。第3頸椎から第7頸椎は、下位頸椎とも呼ばれ、椎間関節で連結し斜角筋・最長筋などの脊柱起立筋などの多くの筋が付着し、それらが複合的に働き頭部を垂直に保ちかつ複雑な動きを可能にしている（表 1・表 2）。頸部運動は、運動の方向により可動性の大きい部位が異なり、屈曲・伸展では後頭下関節（C0-1）と下位頸椎（C4-5, C5-6, C6-7）が、側屈では頸椎中央部（C2-3, C3-4, C4-5）が、回旋では環軸関節（C1-2）が大きく動く（表 3）(1-3)。

表 1 頸部の筋

頸部の筋	外側頸筋	胸鎖乳突筋
	前頸筋群	舌骨上筋群（顎二腹筋，茎突舌筋，顎舌骨筋，おとがい舌筋） 舌骨下筋群（胸骨舌骨筋，肩甲舌骨筋，胸骨甲状筋，甲状舌骨筋）
	後頸筋群	椎前筋群（頸長筋，頭長筋，前頭直筋，外側頭直筋） 斜角筋群（前斜角筋，中斜角筋，後斜角筋）
背部の筋 （固有背筋）	長背筋群	板状筋（頭板状筋，頸板状筋） 脊柱起立筋群（腸肋筋，最長筋，棘筋）
	短背筋群	横突棘筋群（半棘筋，多裂筋，回旋筋） 棘突間筋 横突間筋 後頭下筋群（大後頭直筋，小後頭直筋，上頭斜筋，下頭斜筋）

表 2 頭部と頸部の動きと筋の作用

	屈曲	伸展	側屈	同側回旋	対側回旋
椎前筋群	○		○		
舌骨筋群	△				
斜角筋群	△		○		
胸鎖乳突筋	○	△	○		○
肩甲挙筋			△		
板状筋群		○	○	○	
後頭下筋群		○	○	○	
脊柱起立筋群		○	○	○	
短背筋群		○	○		○

表 3 頸椎間の関節可動域

部位	屈伸	側屈	回旋
C0-C1	4-33° (13°)	4-14° (8°)	0° (0°)
C1-2	2-21° (10°)	0° (0°)	22-58° (47°)
C2-3	5-23° (8°)	11-20° (10°)	6-28° (9°)
C3-4	7-38° (13°)	9-15° (11°)	10-28° (11°)
C4-5	8-39° (12°)	0-16° (11°)	10-26° (12°)
C5-6	4-34° (17°)	0-16° (8°)	8-34° (10°)
C6-7	1-29° (16°)	0-17° (7°)	6-15° (9°)
C7-T1	4-17° (9°)	0-17° (4°)	5-13° (8°)

() は代表的数値

1.2 頸部可動域とその測定方法

頸部には主に屈伸・側屈・回旋方向の可動性があり，これらを組み合わせることで様々な運動が可能である．ROM は関節の取りうる運動範囲の最大限の角度を数値化したもので，関節構造の特徴や筋・腱・靱帯・皮膚などの関節外構造の形態・柔軟性によって変化する．ROM 制限は日常生活動作や歩行などの能力障害に大きく影響するため，治療の指標の一つとして重要である(4)．頸部のみならず全身の ROM は，年齢・性別・個体による差と肢位による変動が大きい．10 歳前後から ROM は減少しはじめ，60 歳以上で減少が加速する．また，性別では女性の方が ROM が大きい傾向がある(5)．ROM は，一般的に関節角度計を用いて，関節の運動軸に角度計の支点を当て，角度計の 2 本の腕木を関節を挟む二つの身体部分の長軸に並行におき測定する．体幹に近く固定されている身体部分を基本軸，測定のために動く部分を移動軸という．

頸部は解剖が複雑であるため，上肢や下肢のように個々の関節の ROM に分解することができず，頸部 ROM は頸部の全体的な運動として計測される．頸部 ROM は，一般的に，坐位で，体幹に対する頭部の角度として測定される（表 4）(6)．

表 4 頸部可動域の測定法

	ROM 参考値	基本軸	移動軸	測定法及び 注意点
屈曲	60°	肩峰を通る床への垂直線	外耳孔と頭頂を結ぶ線	頭部体幹の 側面で行う
伸展	50°			
回旋	60°	両側の肩峰を結ぶ線への垂直線	鼻梁と後頭結節を結ぶ線	体幹の背面 で行う
側屈	50°	第 7 頸椎棘突起と第 1 仙椎棘突起を結ぶ線	頭頂と第七頸椎棘突起を結ぶ線	

ROM : range of motion

頸部には屈伸・側屈・回旋方向の可動性があり、それらの組み合わせで様々な運動が可能であるが、頸部 ROM の詳細な三次元的解析は今までにあまり行われていない。頸部の ROM は、臨床的には単純 X 線(7-10)や関節角度計(11)を用いて測定され(11)、また多くの機器が開発され(12)研究に用いられている。電子角度計(13, 14)・電子傾斜角度計(15, 16)・磁気式位置計測システム[FASTRAK(17-19)・Flock of Birds(20, 21)]・超音波式位置計測システム[Zebis(9, 22)]などの機器が開発され、中でも Cervical Range of Motion (以下 CROM) 装置 (Performance Attainment Associates, Roseville, MN, U.S.A., 図 1) の高い妥当性が報告されている(12)。

CROM 装置は、めがね状の土台で頭部に角度計を固定する装置で、土台に付いた傾斜角度計を用いて屈曲伸展・側屈の角度を、頸部に巻きつけた磁石による磁場を利用して土台に付いた方位磁針で回旋の角度を測定する。CROM 装置は安価でかつ簡便に使用できるため、過去にも同装置を使った報告が多く見られる(23-26)が、いくつかの問題点を有する。一つ目は、屈曲伸展・側屈は、地面に対する頭部の動きを評価するため、体幹の動きも角度に

含み，純粋な頸部運動は測定できない．それに対して回旋は，頸部に対する頭部の角度を測定しており，体幹の動きを含まない．そのため，屈曲伸展・側屈と回旋では，測定に含まれる体の部位が異なる．また，角度計の目盛りは 2° 刻みで，検者が目視で読み取るため，誤差が生じる可能性がある．さらに，その他の頸部 ROM 計測機器と同様に，CROM 装置は一時点での二次元的な角度しか計測できないという欠点もある．



図 1 Cervical Range of Motion (CROM)装置

めがね状の土台で頭部に固定する装置で，屈曲伸展用の傾斜角度計(直線白丸)と側屈用の傾斜角度計(直線赤丸)が土台に付いている．頸部に巻きつけた磁石(点線黄色枠)による磁場を利用して，土台に付属した方位磁針を用いた角度計(直線黄色丸)で回旋の角度を測定する．

1.3 三次元動作解析装置

三次元動作解析装置を用いると，三次元的運動の連続的かつ詳細な評価が可能である．

VICON (VICON Motion System Ltd, Oxford, U.K., 図 2) は三次元動作解析装置の一つとして世界で広く使用されており，歩行の解析ではその精確性は高く評価されている(27)．計測

区域に設置した複数の赤外線カメラから、被験者の体表に貼り付けた反射マーカの位置情報が 100 Hz の頻度で誤差 1 mm 前後の細かさで取り込まれ、それをもとに身体各部位の動きの速度や加速度などを計算することもできる(28, 29). さらに、人体の各体節（頭部・体幹など）に貼り付けたマーカの位置情報からセグメント（剛体）を構成し、体節間の角度を算出できる. 具体的には、各体節に貼付した 3 つ以上のマーカの位置情報から、立体としてのセグメントの座標を計算し、各セグメントの座標を元にセグメント間の角度を算出する.

体表面のマーカ貼付部位を調整することで、歩行などの大きな動作のみならず、足部の動き(30, 31)や顔面の動き(32)など微細な運動の評価が可能である. 歩行解析など一般的な動作解析では、**Plug-in Gait** マーカ法と呼ばれる全身にマーカを貼付する方法が普及している(33, 34). しかし、この方法では、頸部は第 7 頸椎棘突起上の皮膚にしかマーカを貼付しないため、頸部のセグメントは構築できず、体幹のセグメントと頭部のセグメントから計算される角度、すなわち胸郭と頸部の両者の動きを含む角度のみが計算可能で、頸部の部位ごとの **ROM** 測定はできない. 一方、変形性頸椎症は下部頸椎に生じやすいなど、疾患によって病変部位が頸椎内で偏り、**ROM** 変化も部位ごとに異なる. また、リハビリテーションや手術などの介入による **ROM** の改善・増悪も、頸椎の部位によって異なる可能性がある. そのため、頸部の詳細な評価を行うには、新たなマーカ貼布法による計測法を開発する必要がある. われわれの研究室では、既に **VICON** を用いて、腰部運動の計測が経時的に可能であることを確認している(35). その手法を頸部に応用することで、より詳細に連続的な三次元の頸部運動の測定が可能になると考える.



図 2 VICON

三次元動作解析装置の一つ。計測区域に複数の赤外線カメラを設置・調整し、被験者の体表に反射マーカを貼り付けることで、マーカの位置情報が 100 Hz の頻度で 1 mm 前後の細かさで計測できる。

1.4 頸部の安静姿勢

身体運動を評価する際の開始肢位として、基本的立位姿勢や解剖学的立位姿勢を用いることが多いが、頸部の基本的姿勢や解剖学的姿勢の評価を三次元的に行っている研究は少ない。基本的立位姿勢とは、立位姿勢で顔面を正面に向け、両上肢を体幹に沿って下垂させ（前

腕は橈骨縁が前方を向く), 下肢は並行して足趾が前方を向いた姿勢である. 解剖学的肢位とは, 基本的立位姿勢の前腕を回外位にして, 手掌を前方へ向けた直立位のことである(2).

矢状面の頸椎変形には, 生理的前弯の大きい頸椎前弯症や前弯の少ないストレートネックがあるが, 変形があっても症状を有しないこともあり, 矢状面の正常の安静姿勢の定義は難しい. 一方, 斜頸は, 頸部が斜めに傾き,かつ反対側に頭部が回旋した状態で拘縮または強直した変形の総称で, その姿勢評価には写真(36)や関節角度計(37)が用いられてきた. しかし, 頸部 ROM は軸が取りづらいことから, 関節角度計のみでは安静姿勢のわずかな変化は捉えづらい可能性が高い. 以上から, 頸部の安静姿勢を詳細に評価する試みが行われ, 過去に健常者や頸椎捻挫患者の安静姿勢の評価に CROM 装置(38)や磁気式位置計測システム (FASTRAK) (39-41)などが用いられた.

1.5 随伴動作

運動学ではヒトの動作を個々の関節の単純な一方向への動きに分解して検討をするが, 実際の身体活動では一つの関節を一方向に動かそうとしても, 他軸方向の動きを生じたり, 周囲の関節が動くなど, 随伴動作が生じることがある. 例えば, 手を開いて手掌が地面を向くようにして上肢を水平に前方へ伸ばした状態にして, 手関節を背屈させると, 手指は自然にやや屈曲位を取る. これは上腕・前腕から手関節を越えて手指に付着する指屈筋が, 手関節背屈により伸張されることが一因となる(1). この随伴動作のメカニズムを利用して, 手指の自動運動ができない患者でも手関節の運動により手指を開閉し握り動作が可能となる.

このいわゆるテノデーシスと呼ばれる動作を用いたリハビリテーションは、頸髄損傷患者などで広く用いられている(42)。頸椎を含む脊椎は多軸関節であるため複雑な動きが可能であるが、頸部が単軸の動きをしようとした際他軸の随伴動作（例：側屈時に随伴する屈伸・回旋動作）についての研究はされていない。また、頸部運動により頸部に付着する複数の筋が伸張・短縮するため、一部の筋の短縮や機能不全で通常と異なる随伴動作が起きる可能性がある。

1.6 運動の回転中心

剛体の運動には、剛体が平行移動する並進運動と、任意の点（回転中心）を中心として回る回転運動がある。回転中心の測定は、疾患の発症メカニズムや術後の関節運動を検証する際に用いられてきた。腰椎すべり症では回転中心の移動が力学的破綻を起こすといった報告(43-47)や、健常者と変形性膝関節症患者・人工膝関節術後患者では膝の屈伸運動の回転中心が異なるという報告(48)がある。脊椎運動の回転中心について、屈伸運動では腰椎で多くの研究が行われ(43-46)、頸椎では交通事故による頸椎捻挫の発症メカニズムと関連して研究が行われ(49, 50)、さらに屈伸の頸部運動の回転中心は乳様突起より約 20 mm 後方に位置するという報告(51)があるが、側屈・回旋動作における回転中心の報告は今までにない。脊椎運動の回転中心は、剛体の運動前後の任意の 2 点の位置を用いる Reuleaux 法などを用いて算出される(46, 51, 52)が、計算に用いる 2 点の選び方によって誤差が大きいことが指摘されている(53, 54)。頸椎症性脊髄症患者については、屈伸運動での回転中心の位置について、

健常群と有意差を認めなかったという報告(55)や伸展時に健常者より回転中心が前方にあるという報告(51)がある．頚椎疾患患者群の頚部運動時の回転中心を算出し健常者と比較することで，疾患の発症・進行メカニズムを解明でき，新たな治療法を開発できる可能性がある．

1.7 頚部の疾患

1.7.1 先天性筋性斜頸

頚椎には多くの筋が付着しており，その中で胸鎖乳突筋が先天性に短縮しているのが先天性筋性斜頸である．斜頸を呈する原因には，先天性と後天性のものがああり，前者には筋性斜頸・骨性斜頸（楔状椎・癒合椎・上位頚椎奇形），後者には環軸椎回旋位固定・神経性斜頸・炎症性斜頸・外傷性斜頸・眼性斜頸・耳性斜頸・習慣性斜頸・突発性斜頸などがあげられる（表 5）(56, 57)．

表 5 斜頸の原因

先天性	筋性	胸鎖乳突筋の拘縮
		甲状舌骨筋の拘縮
		片側の胸鎖乳突筋の欠損など
	骨性	楔状椎 癒合椎 上位頸椎奇形 Klippel-Feil 症候群
	皮膚性	先天性皮膚拘縮
後天性	筋性	疼痛 感染症などによる炎症性の胸鎖乳突筋の攣縮
	骨性	環軸椎回旋位固定
		外傷
		腫瘍
	神経性	頸髄腫瘍
		脳腫瘍
		ヒステリー
		痙性麻痺
	皮膚性	熱傷や瘢痕の術後拘縮
	その他	眼性斜頸
		耳性斜頸
		習慣性斜頸
		突発性斜頸

小児における斜頸の原因としては先天性筋性斜頸が多く、全出産の約 0.3-0.5%に発生するといわれており、発生原因としては胚腫異常・阻血・血腫・炎症・分娩時の過伸展損傷など様々な仮説があるがいまだ確定していない(56, 57). 症状としては斜頸の他に頸部から肩痛・肩こりなどを認め、診察では胸鎖乳突筋の腫瘍・頸部の ROM 制限（健側への側屈制限・患側への回旋制限）や、二次的变化である顔面非対称・脊柱側弯などを認める(56, 57). 先

天性筋性斜頸は 90%以上が乳幼児期に自然治癒し、1 歳から 1 歳半まで治癒しなかったものは手術適応とされ(36)、斜頸位や顔面非対称などの二次的变化の改善・予防目的に胸鎖乳突筋の切腱術・筋切り術（徒手・観血的・内視鏡下など）・切除術・延長術などが行われる(57)。

先天性筋性斜頸は幼少期に治療されることが多いが、手術未施行であったり手術後の再発で、成人斜頸に移行することがある(58)。成人筋性斜頸に対する観血的治療については、斜頸位・頸部 ROM 制限・顔面非対称などは術後も残存するという報告が散見され、頭痛・肩こりの改善目的に治療を行う(36, 58, 59)。

1.7.2 頸椎症性脊髄症

変形性頸椎症の症状に加え、脊髄圧迫症状を伴うものを頸椎症性脊髄症という。加齢や運動負荷に伴って、椎間板の退行変性が起き、さらに椎間板腔の狭小化・椎体辺縁骨硬化・骨棘形成・椎間関節狭小化などの変性像を認める。これらの変性により頸椎の ROM 制限・疼痛・肩こりなどの局所症状を呈するのが変形性頸椎症である。この症状に神経根圧迫による神経根症（肩甲部や上肢への放散痛・しびれなど）を呈するものを頸椎症性神経根症、また上肢の巧緻性低下・下肢の筋力低下などの脊髄圧迫症状を伴ったものを頸椎症性脊髄症と診断する(60)。わが国は高齢化に伴い、2014 年には 65 歳以上の人口が総人口の 25.1%に達しており(61)、変形性頸椎症・頸椎症性脊髄症などの加齢に伴う疾患患者の数は増加していると推測する。

頸椎症性脊髄症の症状が保存的治療で改善を認めない場合、患者に対して症状改善・増悪防止目的に、前方アプローチによる前方除圧固定術や後方アプローチによる脊柱管拡大術を行う(60)。前者は神経根症状が優位な患者や二椎間までの圧迫性頸髄症患者に対して行われ、術後の問題点としては①除圧後に移植した骨片の移動や②反回神経麻痺③屈伸方向の ROM 制限などが挙げられる(62-64)。それに対して、後者は根症状のはっきりしない圧迫性脊髄症に対して行われ、単椎間・多椎間の両方の術式が存在する。術後の問題点としては①屈伸・回旋方向の ROM 制限②頸部痛などの軸性疼痛③C5 麻痺と上肢運動麻痺などが挙げられる(62)。

頸椎症性脊髄症やそれに対する手術による頸部 ROM 変化や回転中心の変化は、屈伸動作を中心に研究され、側屈・回旋についての報告は少ない。単純 X 線を用いた屈曲・伸展運動の研究では C6-7 で可動性の低下が報告され(65, 66)、MRI を用いた回旋運動の研究では C2-3 を中心に可動性の低下を確認した(67)。頸部の回転中心の研究の多くは屈曲・伸展動作で行われ(51, 52, 55, 68)、側屈・回旋に注目したものはない。頸椎症性脊髄症患者の ROM や回転中心といった運動学的な評価は、病態や発症メカニズムの検討や重症度・治療効果の判定のためにも検討していく必要がある。

1.8 本研究の目的

研究 1 では、VICON を用いた頸部運動測定のために新規マーカ貼布法を開発し、その計測方法の妥当性・再現性を確認することを目的とした。既に確立している計測法である

CROM 装置と VICON を用いて、健常成人の屈曲伸展・側屈・回旋の頸部 ROM を測定し、VICON の測定結果の妥当性と日間の再現性を確認した。

研究 2 では、研究 1 で開発した計測法の臨床応用を目指して、神経症状の少ない成人先天性筋性斜頸患者 1 人の術前後の頸部運動を評価することを目的とした。

研究 3 では、神経症状が多く高齢者を含む頸椎症性脊髄症患者を対象に、研究 1 で開発した計測法を臨床応用した。頸椎症性脊髄症患者の術前後の頸部運動を比較し、また同年代の健常者の頸部運動と比較することで、頸椎症性脊髄症やそれに対する手術による頸部運動の変化を確認した。

2 研究

2.1 研究1 三次元動作解析装置による頸部運動測定の妥当性・再現性

2.1.1 目的

研究1では三次元動作解析装置 VICON による頸部運動測定の妥当性を見るために、既に計測の精確性が報告されている CROM 装置(7, 8, 23, 25, 69)と VICON を用いて同時に健常者の頸部の ROM を測定し、両測定方法の測定結果を比較した。また、1ヶ月の間隔をあけて2回両測定を行い、同じ測定方法同士の測定結果を比較することで、再現性を比較した。

2.1.2 方法

2.1.2.1 研究参加者

研究参加時に頸部痛がなく、全身性関節炎・全身性骨疾患・神経筋疾患・頸部手術歴を有しない健常成人に参加を呼びかけた。

研究プロトコールは、研究開始前に東京大学大学院医学系研究科・医学部倫理委員会にて承認を受けた（承認番号 3996）。参加者は、研究参加前に医師の診察で頸部運動に異常がないと診断され、口頭と書面で研究内容の説明を受け、研究の参加に同意をした。

2.1.2.2 三次元動作解析装置

本研究では、赤外線を用いた三次元動作解析装置、VICON を用いた。赤外線反射マーカを研究参加者の頭部4箇所（左右側頭部・左右後頭部）、頸胸椎移行部4箇所（第7頸椎・

第 2 胸椎棘突起上および両マーカの間の高さの左右脊柱起立筋上), 体幹 3 箇所 (胸骨頸切痕・胸骨剣状突起・第 10 胸椎棘突起) に貼付した (図 3). マーカ貼付は研究者 A (臨床経験 10 年, VICON 使用経験 2 年) が行った.

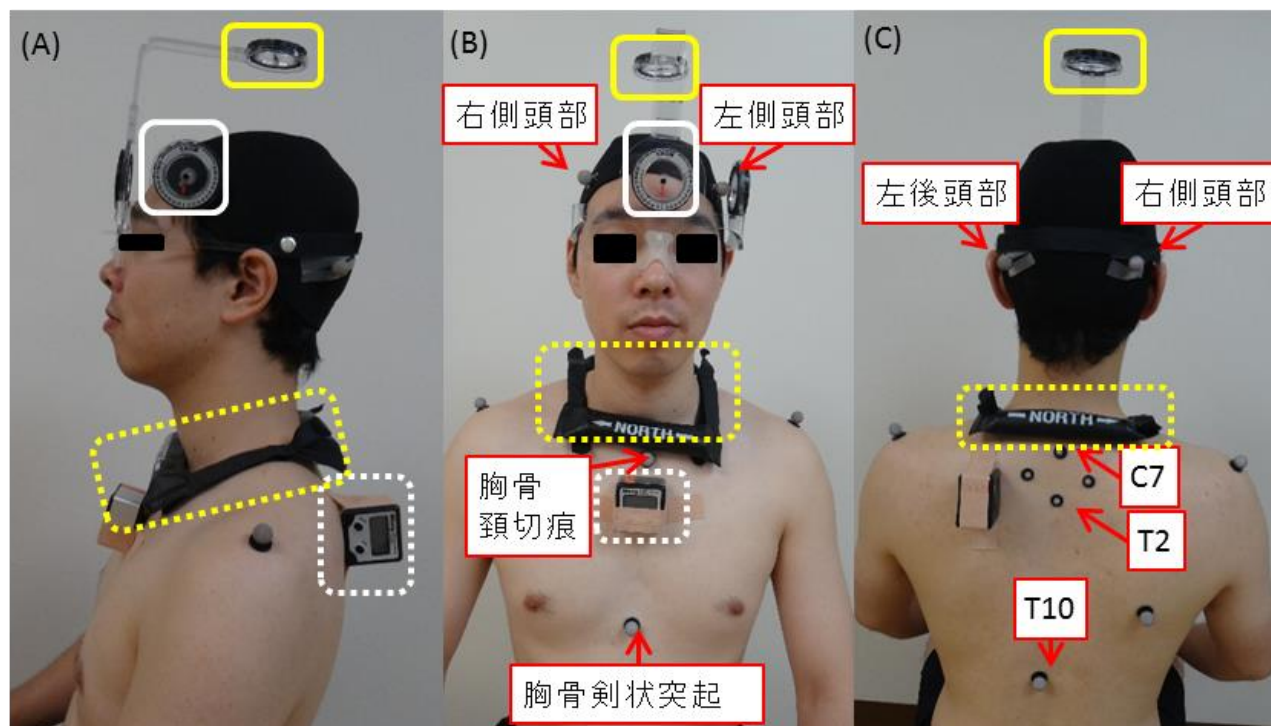


図 3 研究参加者イメージ

(A) 側面像: 屈曲・伸展用の Cervical Range of Motion (CROM) 装置の傾斜角度計 (直線白枠) とデジタル角度計 (点線白枠), (B) 正面像: 側屈用の CROM 装置の傾斜角度計 (直線白枠) とデジタル角度計 (点線白枠), および左右側頭部・胸骨頸切痕・胸骨剣状突起の赤外線反射マーカ貼付位置, (C) 背面像: 左右後頭部と頸胸椎移行部 4 箇所 [第 7 頸椎 (C7)・第 2 胸椎 (T2) 棘突起上および両マーカの間の高さの左右脊柱起立筋上]・第 10 頸椎 (T10) 棘突起上のマーカ貼付位置. (A) (B) (C)ともに頭部上方に CROM 装置の回旋用の角度計 (直線黄色枠), 頸部に回旋用の磁石 (点線黄色枠) が確認できる. 回旋用磁石の矢印は, 計測時に北へ向く方向が示されている. (両肩峰・右肩甲骨下角のマーカは本研究では使用せず.)

9 台の赤外線カメラを用いてマーカの位置データを 100 Hz で収集した。カメラ 3 台は計測区域上部に、3 台は参加者前方に、3 台は参加者後方に設置した [図 4(A・B)]。計測区域中央にある 4 枚の床反力計（本研究では使用せず）の中心を原点とし、床反力計の辺を X 軸・Y 軸、地面に垂直な線を Z 軸とする絶対座標と設定した [図 4(C)]。

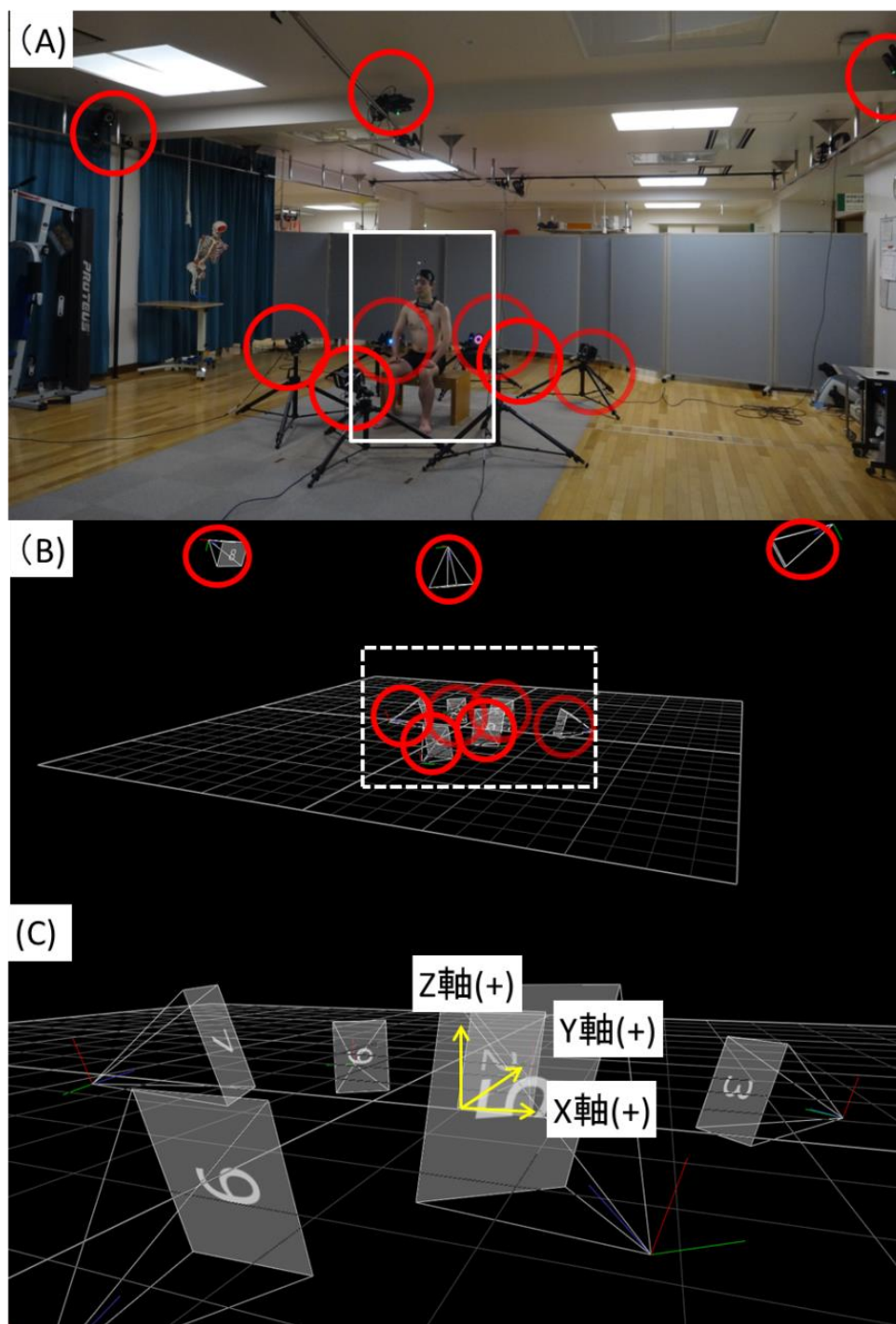


図 4 測定空間イメージ

(A) 写真. 赤外線カメラ 3 台は計測区域上部に, 3 台は参加者前方に, 3 台は参加者後方に設置 (赤丸). 研究参加者は, 計測区域中央に設置した高さ 40 cm の木製プラットフォームに, 両足を地面に付け, 両手を大腿の上に置いてまっすぐ座った (白四角). (B) 三次元動作解析システム VICON NEXUS 上の測定区域. 赤外線カメラ 3 台は計測区域上部に, 3 台は参加者前方に, 3 台は参加者後方に設置 (赤丸). (C) (B)破線部分の拡大図. 計測区域中央にある 4 枚の床反力計 (本研究では使用せず) の中心を原点とし, 床反力計の辺を X 軸・Y 軸, 地面に垂直な線を Z 軸とする絶対座標と設定した.

2.1.2.3 Cervical Range of Motion (CROM)装置

マーカ貼付後，研究参加者の頭部に CROM 装置と付属の回旋用角度計と頸部の磁石を装着した．屈曲・伸展・側屈については，装置の傾斜角度計の示す値を CROM 装置を用いた計測法の体幹頭部角度と定義した．また二つのデジタル角度計 (WixeyTM, Sanibel, FL, U.S.A.. 最小表示 0.1° , 検出精度 $\pm 0.1^{\circ}$) を，頸胸椎移行部のマーカ群と同じ高さの左肩甲骨内側と胸骨上に貼付した．左肩甲骨内側のデジタル角度計で測定した角度を屈曲・伸展の体幹頸部角度，胸骨上のデジタル角度計で測定した角度を側屈の体幹頸部角度と定義した．回旋は，頭部上方の角度計の示す値を CROM 装置を用いた計測法の頸部頭部角度とした (図 3)．

2.1.2.4 実験の流れ

研究参加者が 6 種類の頸部運動（屈曲，伸展，左右側屈，左右回旋）を行う間，CROM 装置と VICON を用いて同時に頸部運動を測定した．計測区域に設置した高さ 40 cm の木製プラットフォームに，研究参加者に両足を地面に付けてまっすぐ座らせ [図 4(A)]，両手を大腿の上に置いた状態で VICON と同期した圧センサー (FlexiForce®, Tekscan Inc., South Boston, MA, U.S.A.) を左手に持たせた．測定開始前に，研究参加者は 6 種類の頸部運動を一度ずつ練習し，動作に慣れてもらった．最初に安静にして正面を向きセンサーを押した後，肩や体幹をできる限り動かさず指示された方向にゆっくり最大限の角度まで頭部を動かしてもらった．研究参加者は，最大限動かした時点（最大姿勢時）に再度センサーを押し，ゆっくりと頭部を安静姿勢に戻した．VICON は，安静姿勢から最大姿勢を取った後安静姿勢

に戻るまでを連続的に測定した。また、屈曲・伸展・側屈動作については、最初の安静姿勢と最大姿勢で研究参加者がセンサーを押したタイミングで、研究者 A が CROM 装置による体幹頭部角度とデジタル角度計による体幹頸部角度を読み取り記録した（図 5）。回旋動作時は、動作開始前の安静姿勢で回旋角度計が 0° になるように調整し、最大姿勢時の CROM 装置による頸部頭部角度を研究者 A が読み取り記録した。1 施行毎に約 1 分間の休憩を挟み、各頸部運動とも 5 施行ずつ計測を行った。

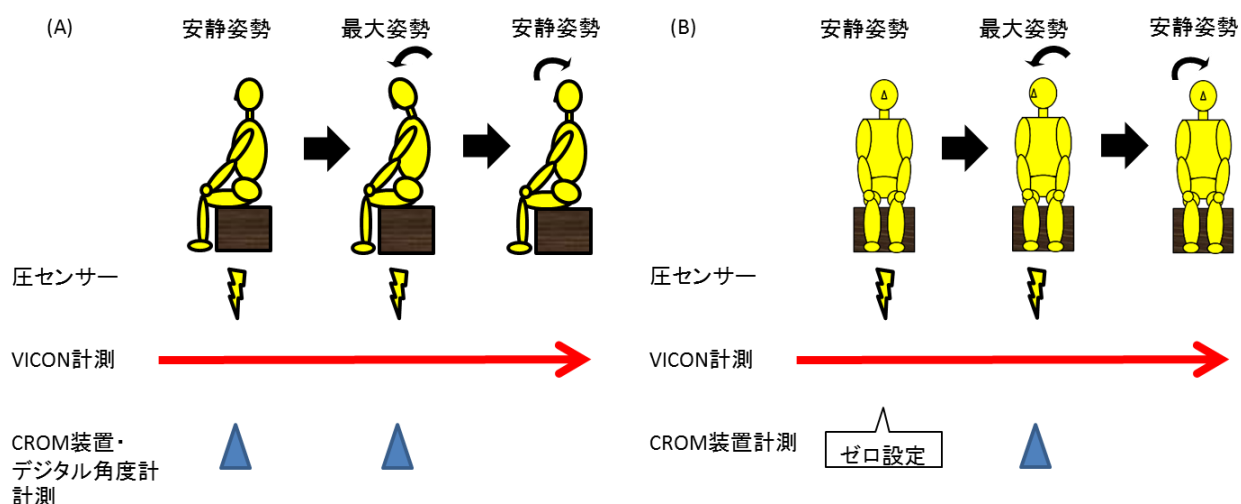


図 5 実験の流れ

(A) 屈曲・伸展・側屈動作時。研究参加者は坐位で安静姿勢を取り、圧センサーを押した後、最大姿勢をとり、再度圧センサーを押し、安静姿勢に戻る。VICON は、安静姿勢から最大姿勢を取った後安静姿勢に戻るまでを連続的に測定した。CROM 装置とデジタル角度計は、最初の安静姿勢と最大姿勢で研究参加者がセンサーを押したタイミングで研究者 A が読み取り記録した。(B) 回旋動作時。CROM 装置は、最初の安静姿勢に角度計が 0° を指していることを確認（ゼロ設定）し、最大姿勢で研究参加者がセンサーを押したタイミングで研究者 A が読み取り記録した。

日間の再現性を確認するため、1 回目の計測（Visit 1）から約 1 ヶ月の間隔を開けて、同様の測定を行った（Visit 2）。

2.1.2.5 解析

VICON による測定結果については，頭部 4 箇所・頸胸椎移行部 4 箇所・体幹 3 箇所のマーカからそれぞれ頭部セグメント・頸部セグメント・体幹セグメントを作り，体幹セグメントと頭部セグメント間の体幹頭部角度 [図 6(A)]，頸部セグメントと頭部セグメント間の頸部頭部角度 [図 6(B)] を，それぞれ VICON BodyBuilder version 3.6 (VICON Motion System Ltd, Oxford, U.K.) を用いて計算した．その際，角度は，絶対座標を基準に，X 軸平面（矢状面）・Y 軸平面（冠状面）・Z 軸平面（横断面）の三方向の角度に分解された．ノイズキャンセレーションには，6 Hz で四次のバターワースフィルタを用いた．

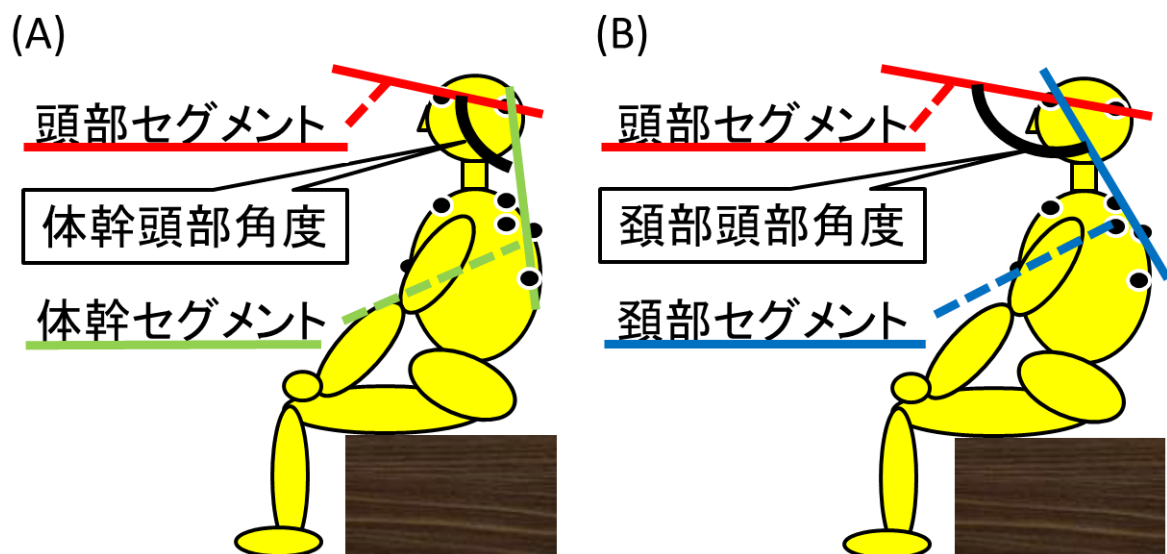


図 6 セグメントの計算方法

(A) 頭部 4 箇所・体幹の 3 箇所のマーカからそれぞれ頭部セグメント・体幹セグメントを作り，その間の角度を体幹頭部角度と定義．(B) 頭部 4 箇所・頸胸椎移行部の 4 箇所のマーカからそれぞれの頭部セグメント・頸部セグメントを作り，その間の角度を頸部頭部角度と定義．（矢状面部分のみ表示．）

屈曲・伸展動作については矢状面の角度を，側屈動作については冠状面の角度を，回旋

動作については横断面の角度を抽出した。そして参加者が安静時と最大姿勢時で押したセンサーの反応を基準に安静時角度と最大姿勢時角度を抽出し、両者の差をとることで、各動作時の体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を計算した。伸展・右側屈・左回旋方向の角度はマイナスの値になるため、絶対値を計算し ROM とした。

CROM 装置の測定結果については、屈曲・伸展・側屈では、安静時と最大姿勢時の体幹頭部角度の差を取り体幹頭部 ROM を計算した。次にデジタル角度計で測定した安静時と最大姿勢時の体幹頸部角度の差を取り体幹頸部 ROM を計算した。そして体幹頭部 ROM から体幹頸部 ROM を引き、頸部頭部 ROM を計算した。回旋については、CROM 装置の角度計の測定結果を頸部頭部 ROM とした。

屈曲・伸展は 5 回の計測で算出した体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM の平均値を、側屈・回旋は左右合計 10 回の平均値を用いて更なる解析を行った。計算には MATLAB (Math Works, Natick, MA, U.S.A.) を用いた。

2.1.2.6 統計

CROM 装置と VICON で測定した体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM の結果を比較し妥当性を確認するため、各研究参加者の visit 1・visit 2 両日のデータを用いて、線形回帰分析と決定係数 (R^2)、Pearson の積率相関係数 (r) を計算した。また両測定法による結果を用いて Bland-Altman Plot(70)を作成し、誤差の傾向を視覚的に確認した。

CROM装置とVICONで測定した体幹頭部ROMと頸部頭部ROMの日間の再現性に関し

ては、それぞれの測定結果の各日の平均を級内相関係数interclass correlation coefficient [以下 ICC (1,2)] を用いて比較した。また測定の標準誤差[standard error of measurement (以下SEM)] の計算には次式を用いた：

$$SEM = SD * \sqrt{1 - ICC} \quad (71) \quad (SD \text{ とは visit 1 と visit 2 の標準偏差の平均}).$$

また95%の信頼区間を有する最小可検変化量 [minimal detectable change (以下 MDC)] は次式で計算した：

$$MDC_{95} = SEM * \sqrt{2} * (z \text{ score})_{95} \quad (72) \quad (z \text{ スコアは95\%信頼区間の場合は1.96}).$$

有意水準は 5%未満とし、ICC の解釈の基準は 0–0.2 (poor), 0.2–0.4 (fair), 0.4–0.6 (moderate), 0.6–0.8 (substantial), and 0.8–1.0 (almost perfect) (73)とした。統計には SPSS Statistics version 21 (IBM, Armonk, NY, U.S.A.) を用いた。

2.1.3 結果

2.1.3.1 参加者背景

1 人の研究参加者は側屈の測定を、3 人の研究参加者は回旋の測定を行わなかったため、屈曲・伸展は 12 人、側屈は 11 人、回旋は 9 人の結果が得られた (表 6)。

表 6 研究参加者の概要

	男性	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	Body mass index (kg/m ²)
屈曲 (n = 12)	8	34.7 (8.9)	166.1 (7.9)	63.3 (10.6)	22.8 (1.9)
伸展 (n = 12)					
側屈 (n = 11)	7	34.6 (9.5)	165.8 (9.3)	63.4 (11.3)	22.8 (2.0)
回旋 (n = 9)	6	35.3 (9.4)	165.4 (9.7)	63.4 (12.1)	23.0 (2.2)

平均(標準偏差).

2.1.3.2 妥当性の確認

表 7 に visit 1 と visit 2 で 2 回測定した両方の結果を含む, 各動作での ROM 測定結果を示す. 体幹頭部 ROM では CROM 装置・VICON の平均差は 1.6° (屈曲) から 7.4° (側屈) と小さく, 両者の決定係数 (R^2) は 0.732-0.937 であり, VICON で測定した ROM の全分散のうち 7 割以上が CROM 装置の測定結果で説明できることを示している. Pearson の積率相関係数 (r) は 0.855-0.968 と高い相関を示した (図 7). 頸部頭部 ROM では CROM 装置・VICON の平均差は 1.0° (屈曲) から 10.9° (回旋) と小さく, 両者の決定係数 (R^2) は 0.607-0.745 であり, VICON で測定した ROM の全分散のうち 6 割以上が CROM 装置の測定結果で説明できることを示している. Pearson の積率相関係数 (r) は 0.779-0.863 と高い相関を示した (図 8).

表 7 体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM 測定結果と CROM 装置と VICON で計測した ROM の相関関係

	体幹頭部 ROM					頸部頭部 ROM				
	CROM 装置	VICON	平均差	決定 係数 (R^2)	Pearson の 積率相関 係数 (r)	CROM 装置	VICON	平均差	決定 係数 (R^2)	Pearson の 積率相関 係数 (r)
屈曲 ($n = 12 * 2$)	61.7° (8.1°)	60.1° (7.3°)	-1.6° (2.1°)	0.937	0.968	49.7° (7.9°)	48.7° (6.0°)	-1.0° (5.0°)	0.607	0.779
伸展 ($n = 12 * 2$)	69.5° (10.4°)	64.5° (10.4°)	-4.9° (4.5°)	0.823	0.907	57.9° (10.9°)	53.0° (10.8°)	-4.9° (5.6°)	0.745	0.863
側屈 ($n = 11 * 2$)	44.2° (6.3°)	36.8° (7.4°)	-7.4° (3.8°)	0.732	0.855	38.0° (6.0°)	35.7° (6.5°)	-2.3° (3.8°)	0.674	0.821
回旋 ($n = 9 * 2$)		62.8° (7.8°)				55.2° (7.9°)	66.1° (7.6°)	10.9° (4.5°)	0.691	0.831

平均(標準偏差). ROM ; range of motion, CROM ; Cervical Range of Motion.

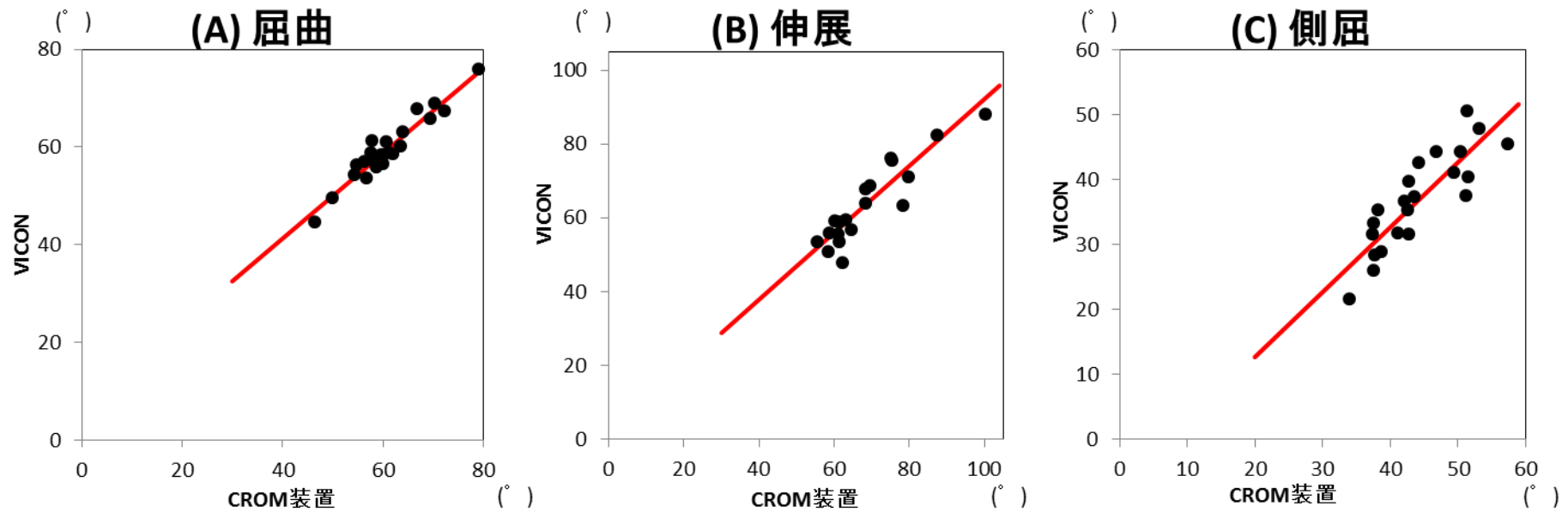


図 7 CROM 装置と VICON で計測した体幹頭部 ROM の散布図

直線は回帰直線を示す. (A) 屈曲では $Y_{VICON} = 0.869 * X_{CROM\ device} + 6.538$, (B) 伸展では $Y_{VICON} = 0.907 * X_{CROM\ device} + 1.506$, (C) 側屈では $Y_{VICON} = 1.001 * X_{CROM\ device} - 7.43$.

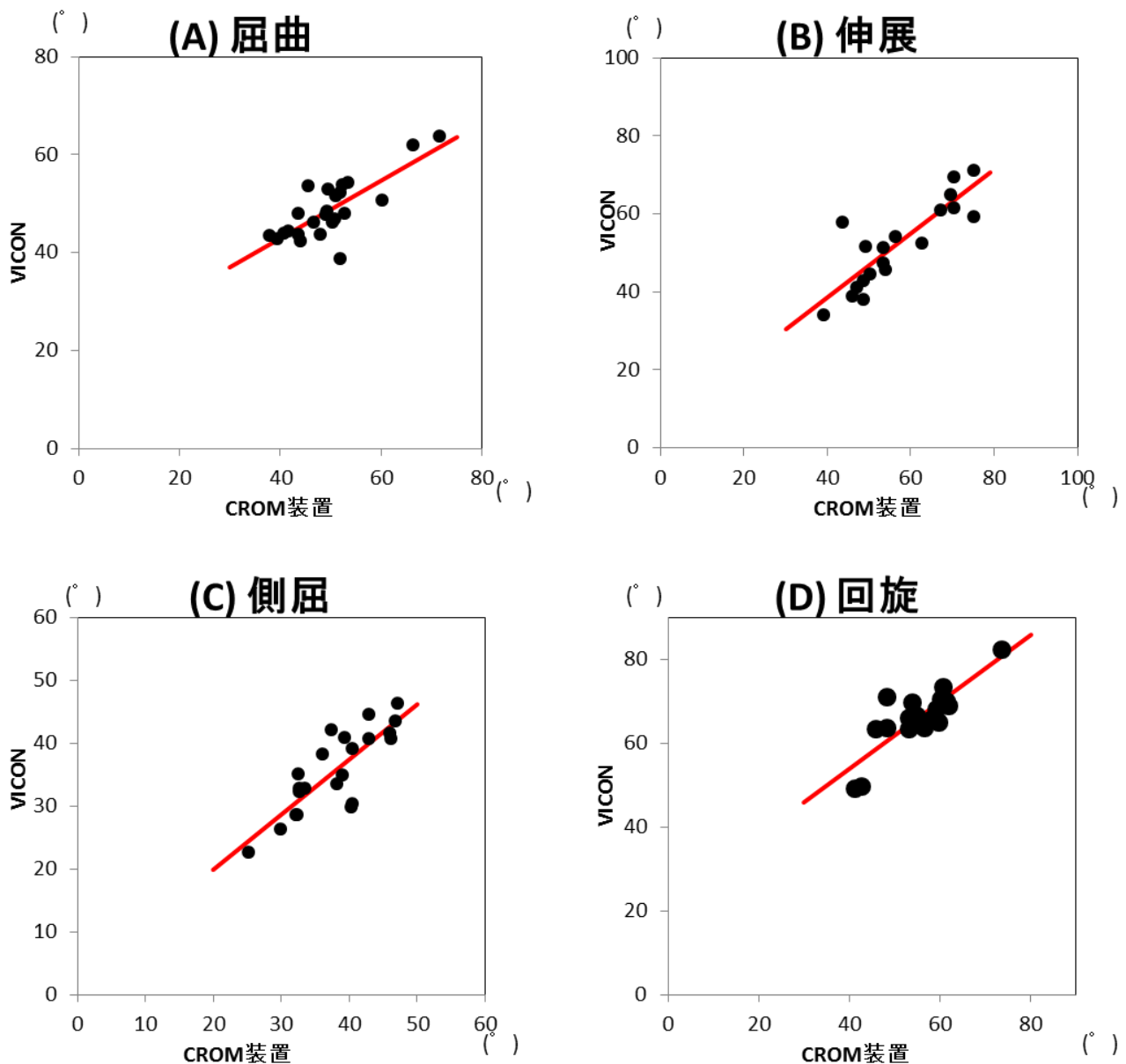


図 8 CROM 装置と VICON で計測した頸部頭部 ROM の散布図

直線は回帰直線を示す．(A) 屈曲では $Y_{\text{VICON}} = 0.592 * X_{\text{CROM device}} + 19.219$, (B) 伸展では $Y_{\text{VICON}} = 0.823 * X_{\text{CROM device}} + 5.673$, (C) 側屈では $Y_{\text{VICON}} = 0.881 * X_{\text{CROM device}} + 2.179$, (D) 回旋では $Y_{\text{VICON}} = 0.801 * X_{\text{CROM device}} + 21.919$.

Bland-Altman Plot は VICON と CROM 装置の測定結果の平均値を横軸に，CROM 装置の測定結果を基準に VICON の測定結果との差を縦軸にとり作成した．体幹頭部 ROM の両測定法の誤差はゼロ付近に分布し，誤差のバラつきは測定値の大きさに関係しなかった（図

9). 頤部頭部 ROM の両測定法の誤差は回旋を除きゼロ付近に分布し、誤差のバラつきは測定値の大きさに関係しなかった。回旋については、誤差のバラつきは他の運動と同様に小さいものの、約 10° の誤差を認め、VICON による測定結果が大きい傾向を認めた (図 10)。

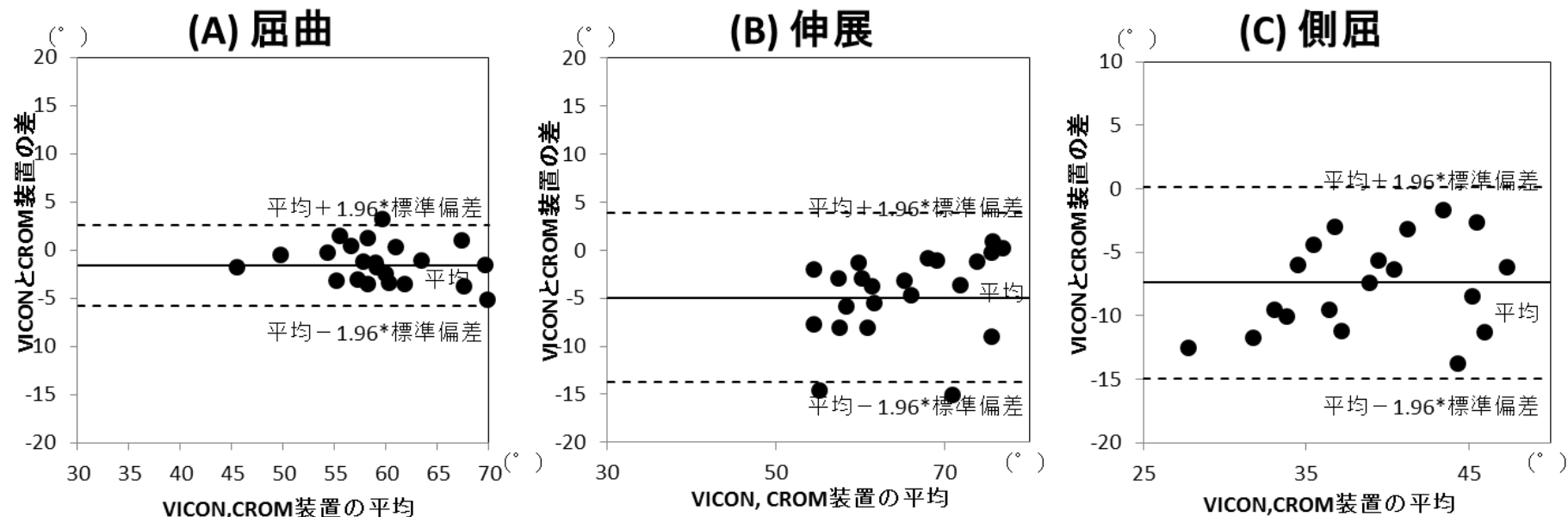


図 9 Bland-Altman Plot による体幹頭部 ROM の測定結果の違い

VICON と CROM 装置の測定結果の平均値を横軸に、CROM 装置の測定結果を基準に VICON の測定結果との差を縦軸にとり、CROM 装置と VICON で計測した体幹頭部 ROM の誤差を視覚的に示す。(A) (B) (C) 両測定法の誤差はゼロ付近に分布し、バラつきは測定値の大きさに関係しなかった。

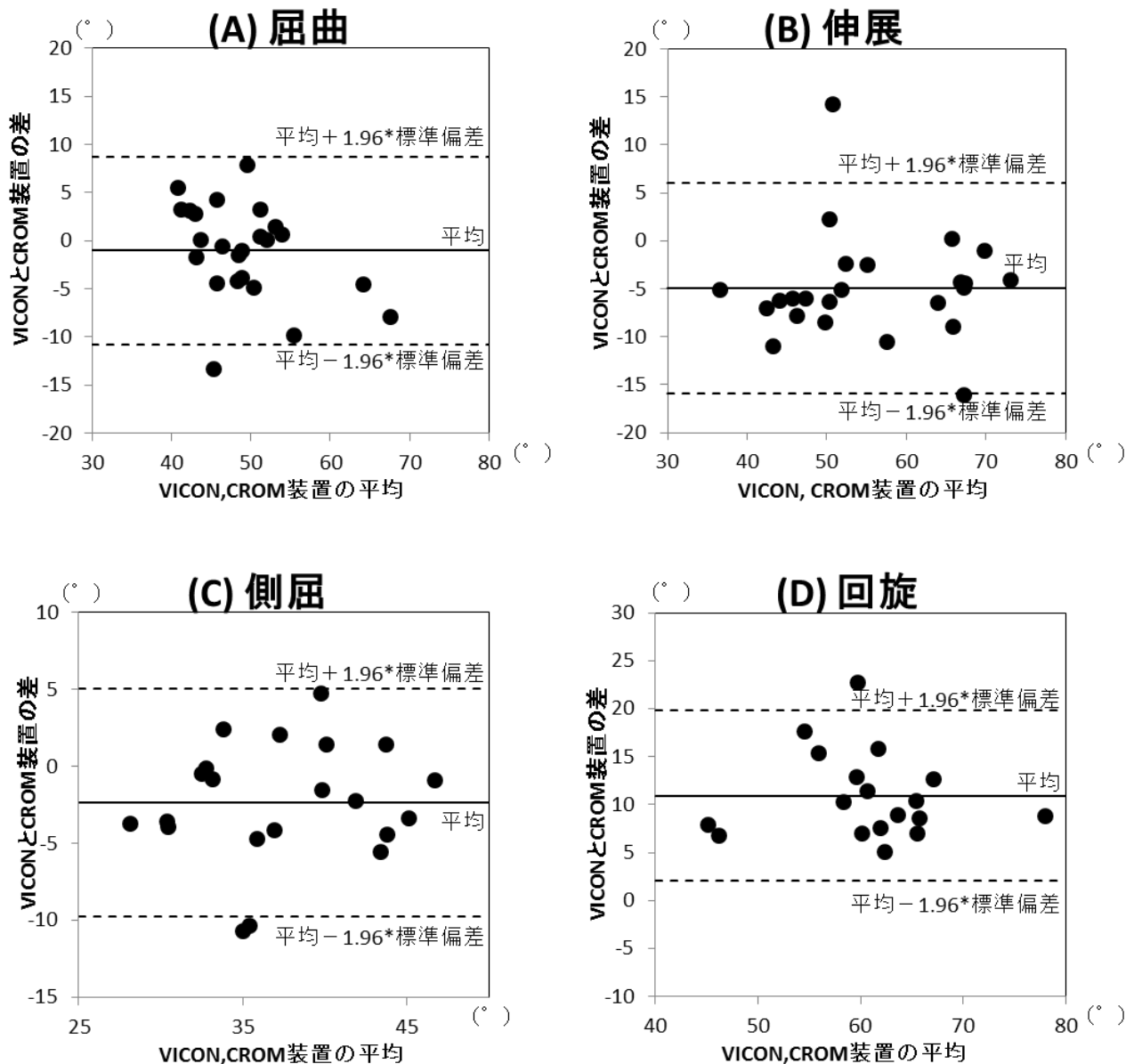


図 10 Bland-Altman Plot による頸部頭部 ROM の測定結果の違い

VICON と CROM 装置の測定結果の平均値を横軸に, CROM 装置の測定結果を基準に VICON の測定結果との差を縦軸にとり, CROM 装置と VICON で計測した頸部頭部 ROM の誤差を視覚的に示す. (A) (B) (C) 両測定法の誤差は回旋以外はゼロ付近に分布し, バラつきは測定値の大きさに関係しなかった. (D) 回旋は両測定法による差が大きく, VICON で測定した頸部頭部 ROM が大きい傾向にあった.

2.1.3.3 再現性の確認

CROM 装置・VICON による体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM の ICC(1,2)は屈曲で

0.578-0.786, 伸展で 0.833-0.950, 側屈で 0.866-0.962, 回旋で 0.822-0.897 であった. CROM 装置で測定した屈曲の体幹頭部 ROM の ICC(1,2)が moderate であったが, それ以外はすべてが substantial から almost perfect の基準に当てはまった. SEM は, CROM 装置では 1.5° (体幹頭部 ROM の側屈) から 5.2° (体幹頭部 ROM の屈曲) まで, VICON では 1.3° (頸部頭部 ROM の側屈) から 4.5° (頸部頭部 ROM の伸展) までと十分小さかった. MDC_{95} は, CROM 装置では 3.6° (体幹頭部 ROM の側屈) から 14.6° (体幹頭部 ROM の屈曲) まで, VICON では 3.6° (頸部頭部 ROM の側屈) から 12.5° (頸部頭部 ROM の伸展) までとおおむね小さかった. ICC(1,2)は頸部頭部 ROM の伸展動作を除き, CROM 装置と比較して VICON が高かった. 動作ごとに ICC(1,2)を比較すると, 側屈で高く, 屈曲で低い傾向があった (表 8, 表 9, 図 11, 図 12).

表 8 CROM 装置と VICON で計測した体幹頭部 ROM の日間の再現性

	CROM 装置					VICON				
	Mean ROM (SD)		ICC(1,2)	SEM	MDC ₉₅	Mean ROM (SD)		ICC(1,2)	SEM	MDC ₉₅
	visit 1	visit 2				visit 1	visit 2			
屈曲	60.0°	63.5°	0.578	5.2°	14.6°	58.4°	61.9°	0.669	4.1°	11.5°
(n = 12)	(8.9°)	(7.3°)	(-0.4 - 0.877)	(2.8°–9.6°)	(7.9°–26.5°)	(7.7°)	(6.7°)	(-0.099 - 0.904)	(2.2°–7.6°)	(6.2°–21.0°)
伸展	69.4°	69.6°	0.849	4.1°	11.4°	64.5°	64.6°	0.879	3.7°	10.3°
(n = 12)	(10.0°)	(11.3°)	(0.499 - 0.956)	(2.2°–7.5°)	(6.2°–20.8°)	(10.2°)	(11.0°)	(0.598 - 0.965)	(2.0°–6.7°)	(5.5°–18.7°)
側屈	44.3°	44.1°	0.944	1.5°	3.6°	36.2°	37.4°	0.948	1.7°	4.0°
(n = 11)	(6.0°)	(7.1°)	(0.803 - 0.985)	(0.8°–2.9°)	(1.9°–6.7°)	(6.8°)	(8.2°)	(0.816 - 0.986)	(0.9°–3.2°)	(2.1°–7.5°)
回旋						60.9°	64.8°	0.838	3.1°	7.1°
(n = 9)						(6.6°)	(8.8°)	(0.335 - 0.963)	(1.5°–6.3°)	(3.4°–14.6°)

ROM ; range of motion, CROM ; Cervical Range of Motion, ICC; intraclass correlation coefficient, SEM; standard error of measurement, MDC; minimal detectable change.

表 9 CROM 装置と VICON で計測した頸部頭部 ROM の日間の再現性

	CROM 装置					VICON				
	Mean ROM (SD)		ICC(1,2)	SEM	MDC ₉₅	Mean ROM (SD)		ICC(1,2)	SEM	MDC ₉₅
	visit 1	visit 2				visit 1	visit 2			
屈曲	48.1°	51.3°	0.736	3.9°	10.7°	48.5°	48.8°	0.786	2.9°	8.1°
(n = 12)	(7.5°)	(8.3°)	(0.122 - 0.923)	(2.1°–7.0°)	(5.7°–19.4°)	(5.6°)	(6.6°)	(0.288 - 0.937)	(1.6°–5.3°)	(4.4°–14.8°)
伸展	57.5°	58.3°	0.950	2.5°	6.9°	53.0°	54.0°	0.833	4.5°	12.5°
(n = 12)	(12.0°)	(10.1°)	(0.834 - 0.985)	(1.4°–4.5°)	(3.8°–12.5°)	(10.4°)	(11.7°)	(0.446 - 0.951)	(2.4°–8.2°)	(6.8°–22.8°)
側屈	39.4°	36.6°	0.866	2.2°	6.1°	35.2°	36.1°	0.962	1.3°	3.6°
(n = 11)	(6.0°)	(6.1°)	(0.526 - 0.963)	(1.2°–4.2°)	(3.2°–11.5°)	(6.0°)	(6.1°)	(0.866 - 0.99)	(0.7°–2.4°)	(1.8°–6.7°)
回旋	53.5°	56.9°	0.822	3.3°	9.3°	64.9°	67.4°	0.897	2.5°	6.9°
(n = 9)	(7.1°)	(8.8°)	(0.269–0.959)	(1.6°–6.8°)	(4.4°–18.8°)	(6.9°)	(8.5°)	(0.576–0.976)	(1.2°–5.0°)	(3.3°–14.0°)

ROM ; range of motion, CROM ; Cervical Range of Motion, ICC; intraclass correlation coefficient, SEM; standard error of measurement, MDC; minimal detectable change.

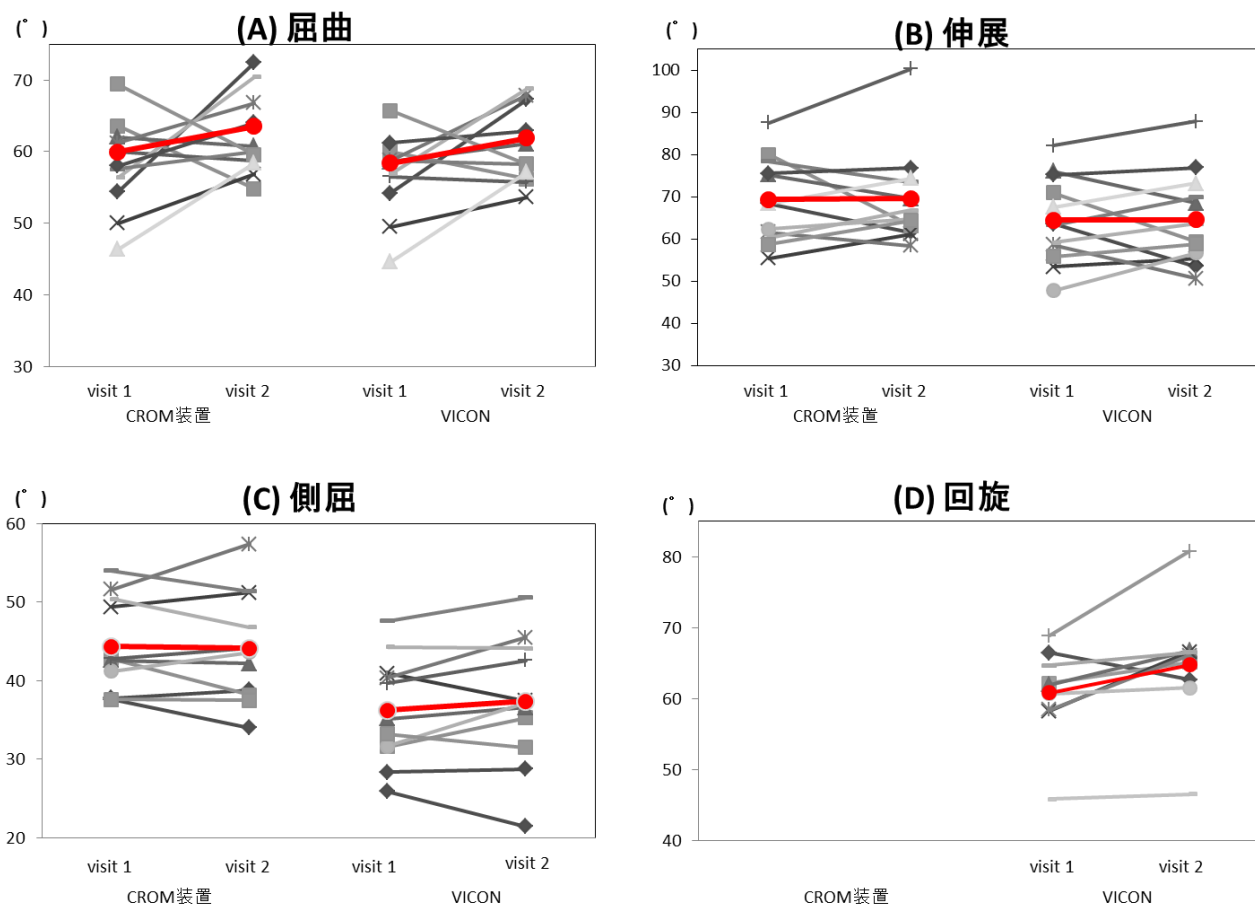


図 11 日間の体幹頭部 ROM の測定結果

CROM 装置・VICON による体幹頭部 ROM の個人の測定結果について、1 回目 (visit 1) と 2 回目 (visit 2) を直線でつないだ。赤線は全参加者の平均値を示す。(D) 回旋については、CROM 装置は頸部を基準とした頭部の角度を計測しているため、体幹頭部 ROM は計測不能。

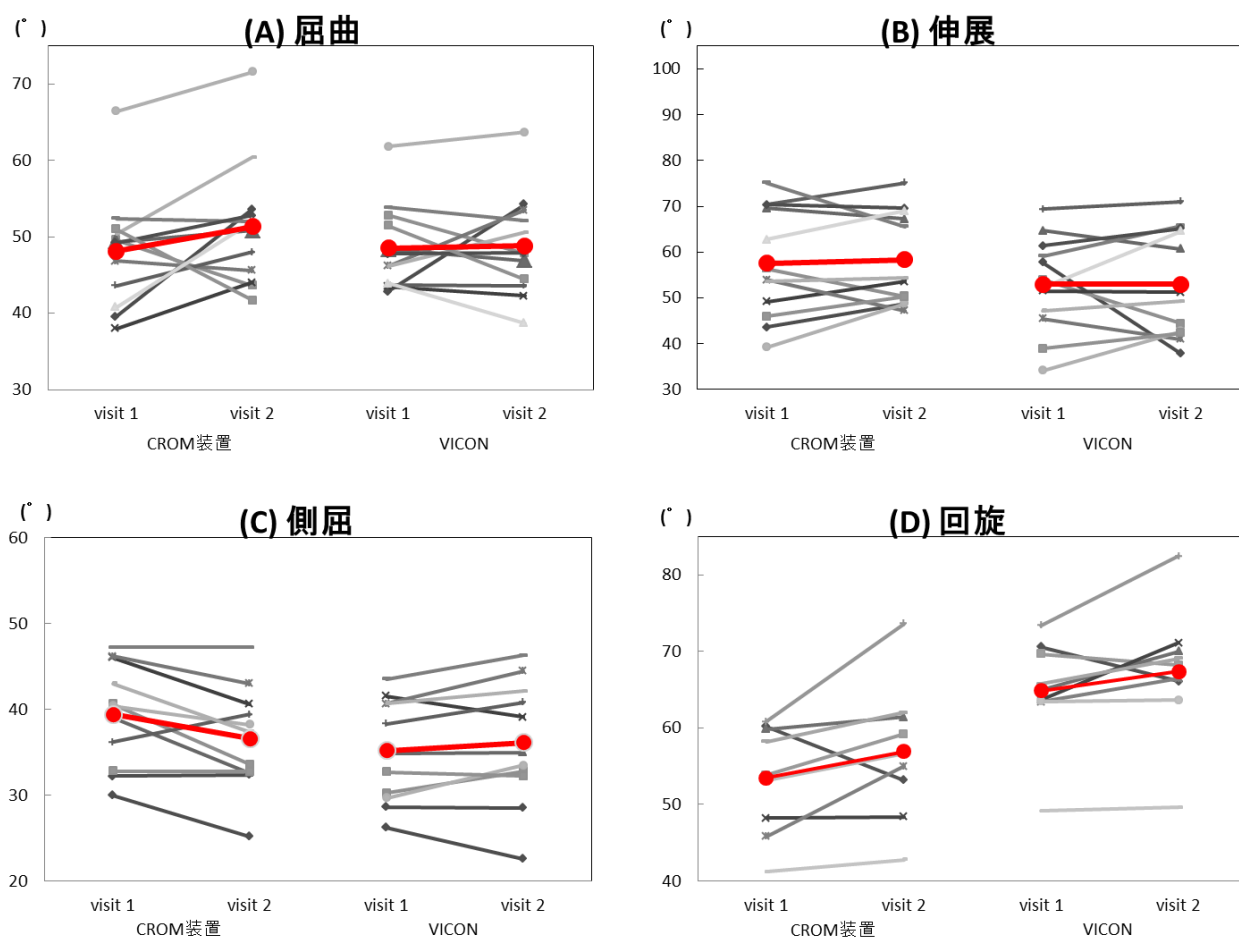


図 12 日間の頸部頭部 ROM の測定結果

CROM 装置・VICON による頸部頭部 ROM の個人の測定結果について、1 回目 (visit 1) と 2 回目 (visit 2) を直線でつないだ。赤線は全参加者の平均値を示す。

2.1.4 考察

本研究において、CROM 装置で計測した結果に対して VICON の測定結果の妥当性が高く、また VICON で計測した体幹頭部 ROM および頸部頭部 ROM は CROM 装置と同様もしくはそれ以上に日間の再現性が高いことから、本研究で開発した赤外線反射マーカの貼付方法および赤外線カメラの設定を用いて三次元動作解析装置 VICON による頸部 ROM が測定可能であることが示された。

本研究の体幹頭部 ROM は過去の研究で示されている健常人の ROM (表 10) と比較し

でも妥当な結果であった。過去の報告で頸部 ROM は、屈曲で $38-69^{\circ}$, 伸展で $49-93^{\circ}$, 側屈で $32-49^{\circ}$, 回旋で $55-91^{\circ}$ あった。過去の研究の多くは体幹の運動を含んだ頸部の ROM であり、本研究の体幹頭部 ROM に当たり、本研究の頸部頭部 ROM は過去の研究結果や本研究で測定した体幹頭部 ROM よりも小さい値となっている。頸椎の ROM は単純 X 線で評価が可能である(7-10)が、被ばくを受けるため連続的な撮影に制限があること、撮影装置内での撮影姿勢をとるため日常生活動作中における頸部の評価が難しいことなどの問題点が挙げられる。本研究で示した VICON による測定法は、低侵襲で連続的かつ三次元の評価も可能であることから、今後臨床的な応用も可能であると考ええる。

表 10 頸部 ROM を各種方法で測定した過去の研究と本研究の結果の比較

著者	測定方法	対象者		ROM			
		数	年齢 (歳)	屈曲	伸展	側屈	回旋
Bennett et al(74)	関節角度計	女性 50 人	18-24	54° (8°)	93° (12°)		
Buck et al(75)	関節角度計	女性 53 人	18-23	69° (10°)	81° (9°)		
		男性 47 人		66° (8°)	73° (9°)		
Ordway et al(10)	傾斜計 (CROM 装置)	女性 11 人,	20-49	48.0° (13.0°)	79.0° (17.9°)		
	単純 X 線	男性 9 人		49.6° (16.8°)	75.3° (18.0°)		
Tousignant et al (8)	傾斜計 (CROM 装置)	女性 21 人,	18-45	54.1° (11.7°)	68.5° (19.9°)		
	単純 X 線	男性 10 人		53.6° (11.8°)	66.7° (20.2°)		
McClure et al(76)	傾斜計 (CROM 装置)	女性 8 人	23-40	57.8° (8.9°)		右 45.1° (5.9°)	
		男性 12 人		60.7° (10.1°)		右 47.4° (6.7°)	
Audette et al(25)	磁気式位置計測システム (FASTRAK)			43.2° (12.9°)	68.1° (14.8°)	左 35.1° (10.2°), 右 33.2° (9.4°)	左 61.4° (10.3°), 右 58.9° (9.8°)
	傾斜計 (CROM 装置)	女性 11 人,	23-71	Day1 37.9° (9.5°)	Day1 69.2° (15.7°)	左 36.3° (9.9°), 右 32.2° (9.2°)	左 60.2° (9.3°), 右 57.9° (10.3°)
		男性 9 人		Day2 40.5° (7.8°)	Day2 68.2° (14.0°)	左 36.9° (9.6°), 右 33.3° (8.8°)	左 60.2° (9.2°), 右 59.8° (8.1°)
						左 47.1° (8.02°), 右 44.9° (8.28°)	左 82.7° (12.12°), 右 76.5° (10.76°)
Jordan et al(18)	磁気式位置計測システム (FASTRAK)	女性 49 人, 男性 23 人	18-57	66.1° (12.76°)	68.5° (12.57°)	左 45.7° (8.4°), 右 44.4° (8.7°)	左 70.9° (11.8°), 右 70.0° (10.7°)
Agarwal et al(77)	角度計 (Spine-T goniometer)	女性 7 人, 男性 23 人	18-65	57.1° (12.1°)	65.3° (18.2°)		
Haynes et al(78)	角度計 (Spine-T goniometer)	女性 8 人, 男性 15 人	21-42	61.12° (7.14°)	82.96° (14.52°)	左 48.7° (9.25°), 右 49.4° (9.38°)	左 79.9° (12.95°), 右 90.9° (17.21°)

Tousignant et al (69)	光学式位置計測システム (OPTOTRAK)	女性 34 人, 男性 21 人	21-85	46.6° (11.1°)	50.4° (14.4°)	左 32.8° (8.6°), 右 30.4° (9.1°)	左 56.1° (11.7°), 右 55.6° (10.3°)
	傾斜計 (CROM 装置)			46.1° (10.8°)	48.8° (14.9°)	左 33.6° (7.3°), 右 32.4° (8.0°)	左 57.1° (10.3°), 右 55.1° (8.9°)
本研究 (体幹頭部 ROM) (79)	傾斜計 (CROM 装置)	女性 4 人, 男性 8 人	22-47	visit 1 60.0° (8.9°)	visit 1 69.4° (10.0°)	visit 1 44.3° (6.0°)	
				visit 2 63.5° (7.3°)	visit 2 69.6° (11.3°)	visit 2 44.1° (7.1°)	
	赤外線式三次元動作解析 装置 (VICON)			visit 1 58.4° (7.7°)	visit 1 64.5° (10.2°)	visit 1 36.2° (6.8°)	visit 1 60.9° (6.6°)
				visit 2 61.9° (6.7°)	visit 2 64.6° (11.0°)	visit 2 37.4° (8.2°)	visit 2 64.8° (8.8°)

平均(標準偏差). ROM ; range of motion.

VICON で測定した体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM は高い妥当性が示された（表 7, 図 7-10）。本研究では、頸部の ROM の基準を、CROM 装置の測定結果および体幹に貼付したデジタル角度計の測定結果とした。臨床的な頸部 ROM 測定には単純 X 線が用いられることが多いが、単純 X 線は VICON と同時には測定できず、また頸部回旋を評価するための特定の撮影体位がなく、屈伸・側屈の ROM しか比較ができない。本研究では、頸部の ROM の基準を、CROM 装置の測定結果および体幹に貼付したデジタル角度計の測定結果とした。CROM 装置を選んだ理由としては、過去に高い妥当性と再現性が報告されており(7, 8, 23, 25, 69), CROM 装置が VICON マーカと重ならず同時に頸部運動を計測できるためであった。CROM 装置は体幹の動きを含む頸部の角度を一時点で測定するのに対し、VICON は連続的な頸部の角度を連続的に測定できるため、より多くの情報を得ることができる。本研究で、回旋の頸部頭部 ROM において、VICON による測定結果が約 10° 大きい傾向を認めた（図 10）。CROM 装置の回旋の計測では、頸部に巻いた磁石の磁場を利用するため(25), 地軸の影響を受けにくいように図 3 で示すように被験者が取る基本姿勢が特定の方角を向くように推奨している。しかし、本研究は VICON 計測区域の絶対座標に患者の体軸を揃えて行ったため、参加者を CROM 装置で推奨される方角に向けて座らせることができず、 10° 前後のずれが生じていた可能性があり、回旋の測定結果の誤差が大きくなったと考える。

CROM 装置と VICON の結果の再現性を比較すると、頸部頭部 ROM の伸展以外

では VICON による測定結果の方が ICC (1,2)が高かった (表 8, 表 9, 図 11, 図 12)。

CROM 装置では 2° 単位を目盛りを検者が読み取るのに対し、VICON では 9 台のカメラで測定したマーカの位置情報を 1 mm 単位で取得し、その情報を用いて角度を計算する(28, 29)。そのため VICON を用いた方が、より詳細で正確な結果が得られたと考える。VICON の問題点として、頸部伸展時に後頸部につけたマーカの一部が後頸部の皮膚により隠れてしまうことがあった。そのため、他の動作と異なり、伸展において VICON で測定した ROM の再現性が CROM 装置で測定した ROM と比し低かったと考える。しかし、頸部に疾患を持つ患者[頸椎捻挫(80-82)・頸椎症性脊髄症(67, 83)]や高齢者(23, 82, 84, 85)では伸展の ROM が低下しているため、マーカが隠れにくい可能性が高く、健常者と比較すると正確な測定ができると思われる。

本研究では、体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM の二つの角度を計算し、両者とも正確に測定できていることが確認できた (表 7-表 9, 図 7-図 12)。頸部の運動は、一般的に胸椎・体幹に対する頭部の運動で表現され、頸椎の分節的な運動が複雑に絡み合っている(1)。屈曲・伸展では後頭下関節 (C0-1) と下位頸椎 (C4-5, C5-6, C6-7) が、側屈では頸椎中央部 (C2-3, C3-4, C4-5) が、回旋では環軸関節 (C1-2) が大きく動くことが知られている (表 3) (1, 2)。本研究の頸部頭部 ROM は頭部と頸胸椎移行部の間の角度と定義しており、下位頸椎の動きが一部しか含まれていない。そのため、下位頸椎が大きく動く屈曲・伸展では頸部頭部 ROM は体幹頭部 ROM より小さい結果となり、上位頸椎が大きく動く側屈・回旋では両者に差が見られなかった。

今後、頸椎の部分的な手術など、局所への治療を受けた患者に対しては、体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM の両者を評価する必要があると考える。

本研究より、VICON を用いた頸部 ROM 測定は高い再現性が見られ(表 8, 表 9, 図 11, 図 12), 臨床や研究での応用が可能と考えられる。CROM 装置を含む他の計測法に関する過去の研究結果と比較しても、同等もしくはそれ以上の再現性を認めた(21, 22, 25, 78, 86, 87)。両測定法で得られた屈曲の ROM は他の動作と比較すると再現性が低かったが、その原因としては頸部屈曲は動作の再現が難しかったためと考える。頸部の屈曲動作には頸部を前に出す頸部屈曲と顎を頸部に引き寄せる頭部屈曲が、頸部の伸展動作には頸部を後方に動かす頸部伸展と顎を前に突き出す頭部伸展が合わせて起きる(88)。頸部屈曲位は嚥下障害患者に対して嚥下時の代償法として広く用いられている(89, 90)が、「頸部屈曲位 (chin-down posture)」という表現が曖昧であるとしてリハビリテーション関連職種の中でも定義の確認の必要性が指摘されている(91)。本研究は、屈曲動作時に研究参加者に対して「可能な範囲で頸部を最大限屈曲する」ように指示をしており、頭部屈曲の有無は指示しなかった。そのため、日間で頭部・頸部屈曲の程度に差が出て、再現性が低くなったと推測する。屈曲姿勢については、研究参加者への指示方法に更なる検討が必要である。

屈曲・伸展の ROM は他動作と比較して標準偏差が大きく、個人差が大きかった(表 7-表 9, 図 7, 図 8, 図 11, 図 12)。安静時の頸部姿勢において、冠状面・横断面については、健常者は正中位を取る事が多いため個人差が少ない。しかし、矢状

面については健常者でも頸椎前弯症や生理的前弯の少ないストレートネック、頸胸椎後彎（円背）などを有し個人差が大きい。過去の研究でも、頸部屈伸の ROM を合算して報告している例は多くあった(9, 18, 21, 22, 86)。屈伸の ROM を比較する場合は、安静姿勢の個人差を考慮する必要性がある。

CROM 装置と比較した VICON による頸部 ROM 測定の利点・欠点を表 101 で示す。CROM 装置は簡便で VICON と比較して安価であり、過去に頸部測定の再現性が高いことが示されている(7, 8, 23, 25, 69)。VICON は連続的な評価が可能で、またマーカが小さいことから違和感なく自然な動作が測定できることが知られている。またマーカの位置情報を元に角度を計算しているため、身体表面に複数のマーカ貼付しておけば頸部 ROM 以外の角度も同時に計測でき、さらには角度以外の運動速度や回転中心などの多角的な運動学的データ解析が可能である。また、マーカの位置情報が PC に蓄積されているため、計測を複数回行って途中に生じた疑問点やアイディアに基づき、後方視的にデータを解析することができる。さらに本研究でそれらの利点を活かしつつ、VICON で頸部測定の再現性が高いことを示すことができた。CROM 装置の欠点としては、装着による違和感に加え、回旋の ROM 測定で磁場に合わせた方向を向かなくてはならないという姿勢の制限があり、これが CROM 装置と VICON の回旋の測定結果のバイアスになったと考える。VICON の欠点として、測定・解析に時間がかかり、装置が高価であることが知られており、さらに頸部運動測定においては伸展で頸部頭部 ROM が測定しにくいことが分かった。また両測定法共通の欠点である

屈曲の ROM 測定での低い再現性は、本研究の屈曲動作時に頭部屈曲・頸部屈曲の複合動作を測っていたため、測定ごとに両者の割合が異なっていたことが理由として考えられる。

表 11 CROM 装置と VICON による頸部 ROM 測定の利点・欠点

	CROM 装置	VICON
利 点	・ 簡便	・ 連続的な評価が可能
	・ 安価	・ 自然な動作の測定が可能
	・ 頸部 ROM 測定の再現性が高い	・ 多種のデータを収集可能
		・ 後方視的にデータ解析が可能
		・ 頸部測定の再現性が高い
欠 点	・ 装着による違和感がある	・ 測定・解析に時間がかかる
	・ 回旋の ROM 測定時に、開始姿勢の方向が限定される	・ 高価
		・ 伸展で頸部頭部 ROM が測定しにくい
		・ 屈曲の頸部 ROM 測定の再現性が低い

本研究の問題点として、VICON による測定結果のうち、安静時と最大姿勢時のみの角度を用いて解析しており、連続的な評価の再現性・妥当性は確認できていない。これは比較に用いた CROM 装置が一時的な角度しか測定できず、妥当性の評価が困難であったためである。本研究で ROM 計測の精確性は確認できているが、連続的な運動の評価を行う場合は VICON と同様に連続的に計測のできる機器を用いた精確性の評価が必要と考える。また本研究では、健常者 9 人の ROM を測定したのみで、性別・年齢による ROM の変化は検討していない。一般的に ROM は性別・年齢の影響が大きいことが知られており(5)、健常者の平均値とするにはより多くの参加者のデータを集める必要がある。最後に、VICON 使用経験のある一人の検者（研究者 A）が

マーカ貼付などの計測を行っており、経験の少ない検者が計測できるかの確認はできていない。本研究を行う前に、VICON を用いた計測で得られた頸部頭部 ROM の検者間の信頼性が高いことは確認したが [ICC(2,1)は屈曲で 0.961 で、伸展で 0.883, 側屈で 0.986, 回旋で 0.978 と、fair から almost perfect の基準に当てはまった], 両検者とも VICON 使用経験が 2 年以上あった。臨床応用するためには、経験の少ない検者でも計測が可能か評価する必要がある。

2.1.5 研究 1 のまとめ

研究 1 より、三次元動作解析装置 VICON と CROM 装置で頸部 ROM を測定した結果、いずれの動作でも高い妥当性と再現性を得ることができ、VICON で頸部 ROM を精確に測定できることが立証できた。VICON は侵襲が少なく、自然な動作中に詳細な三次元の運動評価ができる。本研究は若年健常者を対象としたが、今後高齢者や頸部疾患を有する患者を対象に治療介入の評価などにも用いることができると考えた。

2.2 研究2 先天性筋性斜頸患者の手術前後の頸部運動評価

2.2.1 目的

研究1で開発したVICONを用いた頸部運動の計測が臨床応用できるかを確認するために、初期研究として運動制限の少ない成人の先天性筋性斜頸患者の頸部運動評価を実施した。

先天性筋性斜頸は自然経過で改善することが多く(36)、残存した場合も小児期に治療を受けるため、成人してから治療を受ける患者は少ない。今回われわれは成人期に観血的治療を行った先天性筋性斜頸患者1人を経験したため、研究1で開発した三次元動作解析装置を用いた頸部運動の測定法を用いて、手術による頸部運動の変化を確認した。また、先天性筋性斜頸の頸部運動への影響を確認するために、健常群9人の測定結果と比較した。本研究では、安静姿勢・頸部運動時のROM・随伴動作のROMについて検討した。

2.2.2 方法

2.2.2.1 患者情報

21歳，女性。

主訴：斜頸位，右頸部から肩の痛み。

家族歴・既往歴：特記すべきことなし。

現病歴：生後1週間頃より右胸鎖乳突筋に腫瘍があり，近医にて経過をみていたが，

1 歳半頃に受診中断。以後，成長に伴い斜頸位が強くなり，右頸部-肩痛出現。20 歳時，学校健診で斜頸位を指摘され，当院受診。

初診時所見：右胸鎖乳突筋の緊張あり。右肩がやや挙上，頸部右側屈・左回旋の斜頸位あり。顔面非対称性あり [図 13(A・B)]。頸部 ROM（右/左）側屈 60° / 35° ，回旋 65° / 80° 。

経過：単純 X 線像やその他の身体所見から筋性斜頸の診断を受け，21 歳時に右胸鎖乳突筋切離術（胸骨枝 Z 延長術）を施行。術後 4 日で退院し，術後 5 週間のポリエチレン製頸椎カラー装着を行い，その後術後半年まで自身で痛みのない範囲で自動運動での頸部 ROM 訓練を実施し，術後定期的な外来通院を継続。術後 1 年受診時，安静時の右側屈はやや改善 [図 13(C)]。頸部 ROM（右/左）側屈 45° / 35° ，回旋 70° / 70° 。その他の経過も順調である。

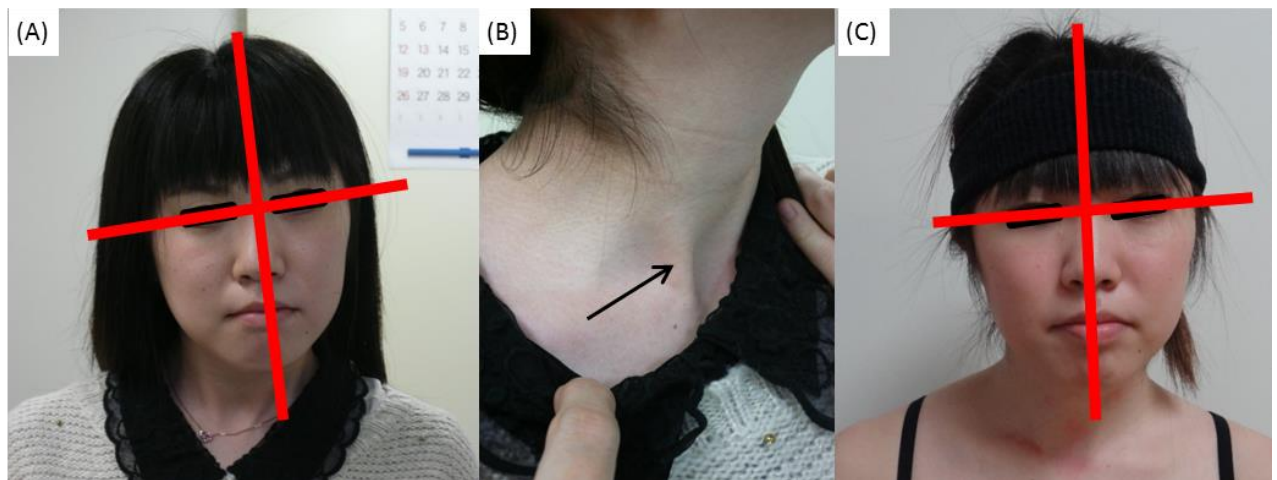


図 13 外観所見

(A) 初診時正面像：右胸鎖乳突筋の緊張あり．右肩がやや挙上，頸部右側屈・左回旋の斜頸位あり．顔面非対称性あり．(B) 初診時の右頸部拡大写真：右胸鎖乳突筋の緊張あり（黒矢印）．(C) 術後 1 年受診時正面像：右肩がやや挙上，頸部右側屈は術前と比較し改善．

研究プロトコルは，研究開始前に東京大学大学院医学系研究科・医学部倫理委員会にて承認を受けた（承認番号 10648）．患者は研究参加前に，医師より口頭と書面で研究内容の説明を受け，研究参加に同意した．

2.2.2.2 三次元動作解析装置

術前・術後 6 ヶ月・術後 1 年の外来受診時に，研究 1 で開発した VICON を用いた頸部運動計測法を使用して頸部運動を測定した．赤外線反射マーカを患者の頭部 4 箇所（左右側頭部・左右後頭部），頸胸椎移行部 4 箇所（第 7 頸椎・第 2 胸椎棘突起上および両マーカの間の高さの左右脊柱起立筋上），体幹 3 箇所（胸骨頸切痕・胸骨剣状突起・第 10 胸椎棘突起）に貼付した．マーカ貼付は，研究 1 と同様に，研究者 A（臨床経験 10 年，VICON 使用経験 2 年）が行った．9 台の赤外線カメラを用い

てマーカの位置データを 100 Hz で収集した.

2.2.2.3 実験の流れ

患者が 6 種類の頸部運動（屈曲，伸展，左右側屈，左右回旋）を行っている時に，VICON を用いた測定を行った．計測区域に設置した高さ 40 cm の木製プラットフォームに，患者に両足を地面に付けてまっすぐ座らせ，両手を大腿の上に置かせた．測定開始前に，患者は 6 種類の頸部運動を一度ずつ練習し，動作に慣れてもらった．最初に正面を向いて安静姿勢を取った後，肩や体幹をできる限り動かさないようにして指示された方向にゆっくり最大限の角度まで頭部を動かしてもらった．最大姿勢でしばらく静止し，その後ゆっくりと頭部を安静姿勢に戻した．動作開始前から終了前まで VICON を用いて連続的に頸部運動を測定した．1 施行毎に約 1 分間の休憩を挟み，各頸部運動とも 5 施行ずつ計測を行った．

2.2.2.4 解析

研究 1 に参加した研究参加者のうち，全動作の計測を行った 9 人のデータを参考値（健常群）として使用した．

研究 1 と同様に，頭部 4 箇所，頸胸椎移行部の 4 箇所，体幹の 3 箇所のマーカからそれぞれのセグメントを作り，体幹セグメントと頭部セグメント間の体幹頭部角度，頸部セグメントと頭部セグメント間の頸部頭部角度を，それぞれ VICON BodyBuilder

version 3.6 (VICON Motion System Ltd, Oxford, U.K.) を用いて計算した。

全 30 施行の動作開始前の安静姿勢について、矢状面・冠状面・横断面の体幹頭部角度・頸部頭部角度を算出し、平均を計算した。

安静時と最大姿勢時の体幹頭部角度と頸部頭部角度を、矢状面・冠状面・横断面で抽出し、両者の差をとることで、各動作時の体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を計算した。屈曲・伸展動作については矢状面の運動を主動作とし、冠状面・横断面の運動を随伴動作とした。同様に、側屈動作については冠状面の運動を主動作、矢状面・横断面の運動を随伴動作とし、回旋動作については横断面の運動を主動作、矢状面・冠状面の運動を随伴動作とした。主動作・随伴動作それぞれの体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を計算した。伸展・右側屈・左回旋方向の角度はマイナスの値になるため、主動作の ROM は絶対値を計算した。冠状面と横断面については、主動作の ROM の左右差を比較した。

計算には MATLAB (Math Works, Natick, MA, U.S.A.) を用いた。

2.2.2.5 統計

患者の術前後の主動作・随伴動作のROMの比較および側屈・回旋の左右差の比較には各動作5回分のROMを用いて対応のないt検定を用いた。健常群の左右差については、健常者ごとの5回分の平均を対応のあるt検定を用いて比較した。有意水準は5%未満とした。統計にはSPSS Statistics version 21 (IBM, Armonk, NY, U.S.A.)を用いた。

2.2.3 結果

2.2.3.1 患者および健常群の背景

患者の初回計測時の概要と健常群の概要を表 12 に示す.

表 12 研究参加者の概要

	女性	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	Body mass index (kg/m ²)
健常群 (n = 9)	3	35.3 (9.4)	165.4 (9.7)	63.4 (12.1)	23.0 (2.2)
患者 (n = 1)*	1	21	158	45	17.9

健常群：平均(標準偏差). *：初回計測時.

2.2.3.2 安静姿勢の評価

安静姿勢の体幹頭部角度・頸部頭部角度の矢状面成分は、健常群でばらつきが大きい
ため、健常群と患者の測定結果の比較は冠状面・横断面のみで行った.

体幹頭部角度について、健常群の安静姿勢と比較して、患者の安静姿勢は右側
屈・左回旋位であった. 患者の安静時の屈曲姿勢は、術後 1 年で伸展方向に変化した.
右側屈位は、術後 6 ヶ月と比較すると術後 1 年でより強くなるなど、明らかな改善は
見られなかった. 左回旋位は術後にわずかな改善を認めた (表 13, 図 14).

頸部頭部角度について、健常群の安静姿勢と比較して、術前の患者の安静姿勢は
右側屈で、左回旋は術前は認めなかった. 患者の安静姿勢は、術後 6 ヶ月で屈曲方向
に変化し、1 年後には伸展方向に変化した. 右側屈位は術後 6 ヶ月・1 年と改善した

が，術後に左回旋位を認めた（表 14，図 15）.

表 13 安静姿勢の体幹頭部角度

	矢状面	冠状面	横断面
健常群 (n = 9)	-12.8° (13.3°)	-0.7° (2.6°)	1.8° (3.8°)
患者 術前	-16.5° (1.6°)	-7.3° (1.0°)	-3.9° (1.2°)
術後 6 ヶ月	-16.0° (2.7°)	-7.0° (1.5°)	-2.2° (2.1°)*
術後 1 年	-28.1° (2.8°)*†	-7.7° (1.2°)†	-2.7° (1.2°)*

平均(標準偏差). 矢状面は屈曲，冠状面は左側屈，横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$, †: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

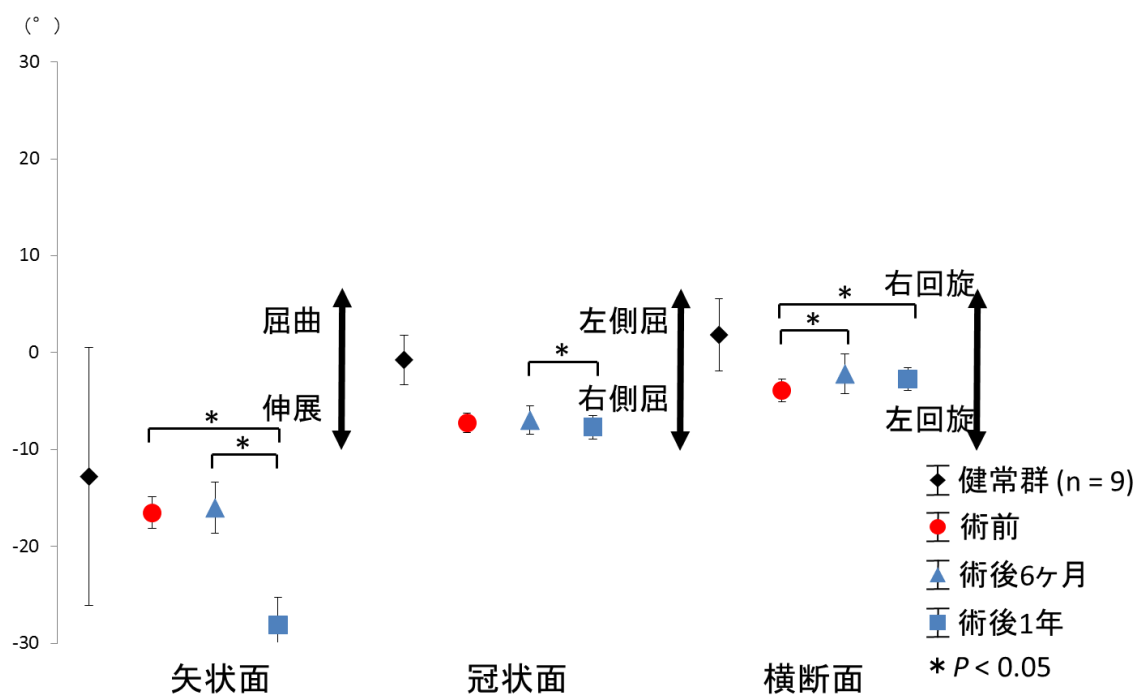


図 14 安静姿勢の体幹頭部角度

健常群の安静姿勢と比較して，患者の安静姿勢は伸展・右側屈・左回旋位であった．患者の安静時の屈曲姿勢は，術後 1 年で伸展方向に変化した．術後，右側屈位は明らかな改善は認めず，左回旋位はわずかな改善を認めた．

表 14 安静姿勢の頸部頭部角度

	矢状面	冠状面	横断面
健常群 (n = 9)	-36.1° (13.6°)	-0.7° (1.4°)	3.0° (4.0°)
患者 術前	-51.4° (1.8°)	-15.5° (0.8°)	4.8° (1.3°)
術後 6 ヶ月	-20.3° (2.2°)*	-9.2° (1.5°)*	-1.7° (1.5°)*
術後 1 年	-35.5° (2.3°)*†	-6.2° (1.3°)*†	-2.4° (1.6°)*

平均(標準偏差). 矢状面は屈曲, 冠状面は左側屈, 横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$, †: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

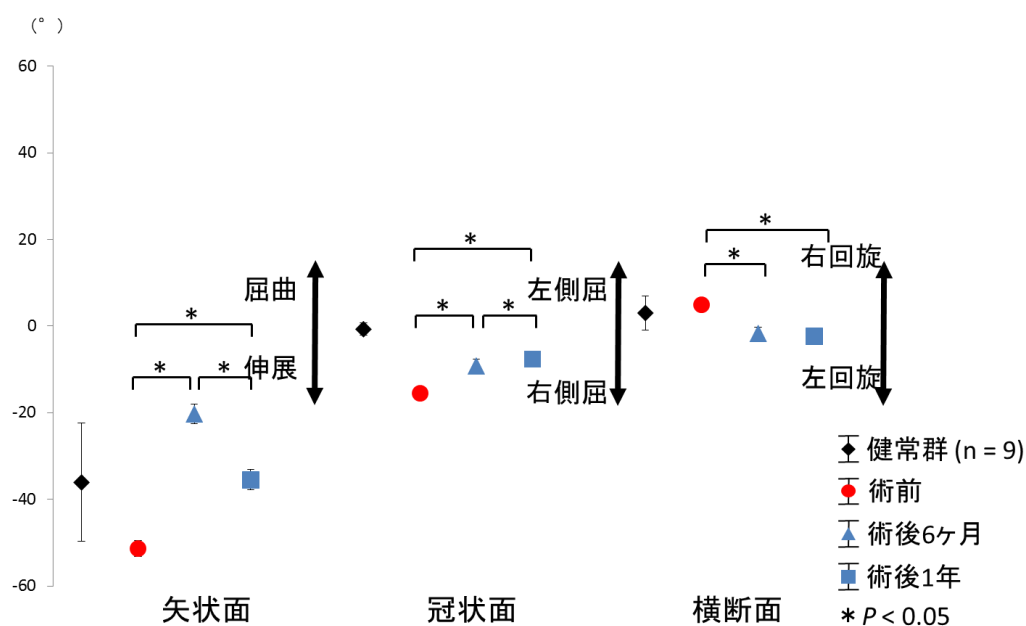


図 15 安静姿勢の頸部頭部角度

健常群の安静姿勢と比較して, 術前の患者の安静姿勢は右側屈で, 左回旋は術前は認めなかった. 患者の安静姿勢は, 術後 6 ヶ月で屈曲方向に変化し, 1 年後には伸展方向に変化した. 右側屈位は術後 6 ヶ月・1 年と改善したが, 術後に左回旋位を認めた.

2.2.3.3 各動作の主動作の ROM

体幹頭部 ROM は, 術前と比較すると, 術後 6 ヶ月では伸展・左側屈・左右回旋で拡大した. 術後 6 ヶ月と比較して, 1 年では左側屈・左右回旋が改善した. 左側屈は右側屈と比較すると術前・術後 6 ヶ月で有意に制限され, 右回旋は左回旋と比較し

て術前・術後 6 ヶ月・1 年で有意に制限された。健常群では側屈の左右差は認めなかったが、回旋では有意な左右差があった（表 15, 図 16）。

頸部頭部 ROM は、健常群と比較して、術前は左側屈・左右回旋で制限を認めた。

術前と比較すると、術後 6 ヶ月では伸展・左右側屈・左右回旋 ROM が拡大した。術後 6 ヶ月と比較して、1 年では左側屈・左右回旋が改善した。左側屈は右側屈と比較すると術前・術後 6 ヶ月で有意に制限され、右回旋は左回旋と比較して術前・術後 6 ヶ月・1 年で有意に制限された。健常群では側屈の左右差は認めなかったが、回旋では有意な左右差があった（表 16, 図 17）。

表 15 各動作での主動作の体幹頭部 ROM

	屈曲	伸展	右側屈	左側屈	右回旋	左回旋
健常群 (n = 9)	59.8° (8.2°)	64.5° (10.6°)	36.1° (7.6°)	38.7° (6.8°)	63.2° (7.5°)	71.5° (8.3°)§
患者 術前	55.8° (1.5°)	61.9° (2.5°)	38.2° (1.7°)	34.5° (2.1°)‡	57.5° (4.0°)	67.8° (2.6°)§
術後 6 ヶ月	56.1° (2.5°)	72.8° (2.0°)*	40.5° (1.2°)	38.7° (1.0°)*‡	67.6° (3.2°)*	74.5° (3.6°)*§
術後 1 年	57.7° (1.1°)*	75.3° (2.2°)*	40.4° (1.9°)	43.1° (2.0°)*†	73.1° (1.5°)*†	79.5° (0.6°)*†§

平均(標準偏差). *: 術前と比較して $P < 0.05$, †: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$, ‡: 右側屈と比較して $P < 0.05$, §: 右回旋と比較して $P < 0.05$.

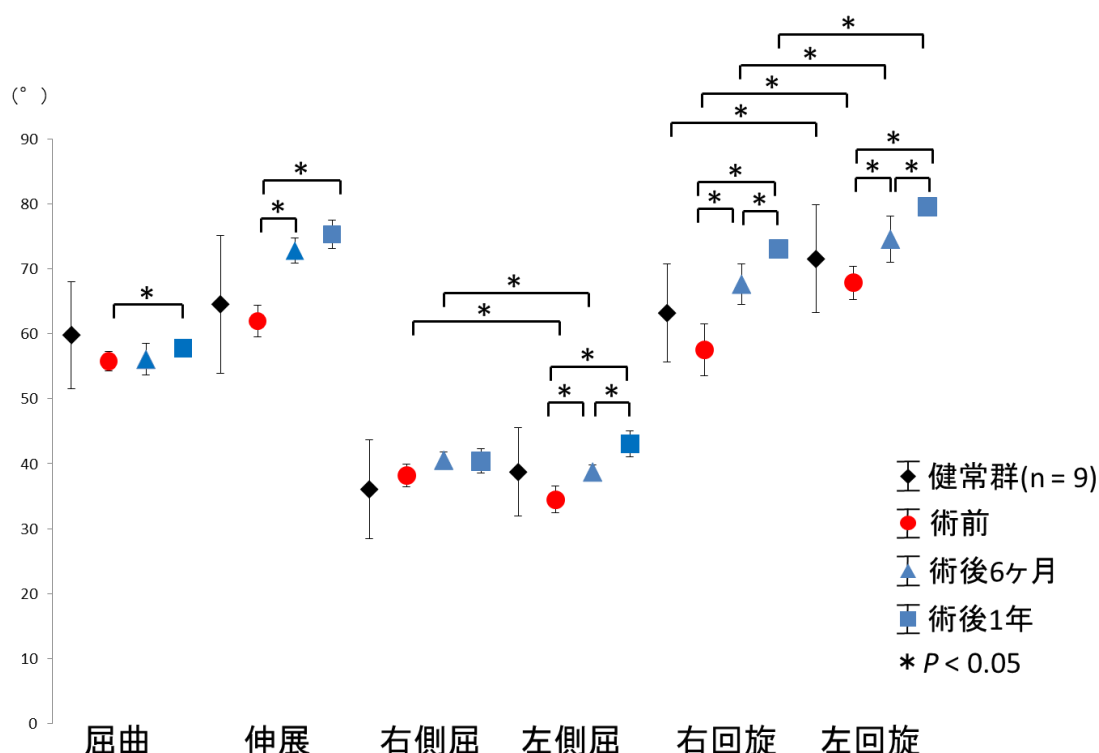


図 16 各動作での主動作の体幹頭部 ROM

術前と比較すると、術後 6 ヶ月では伸展・左側屈・左右回旋で拡大した。術後 6 ヶ月と比較して、1 年では左側屈・左右回旋が改善した。左側屈は右側屈と比較すると術前・術後 6 ヶ月で有意に制限され、右回旋は左回旋と比較して術前・術後 6 ヶ月・1 年で有意に制限された。健常群では側屈の左右差は認めなかったが、回旋では有意な左右差があった。

表 16 各動作での主動作の頸部頭部 ROM

	屈曲	伸展	右側屈	左側屈	右回旋	左回旋
健常群 (n = 9)	49.7° (5.9°)	51.3° (11.2°)	35.0° (7.0°)	36.6° (7.0°)	61.0° (6.9°)	68.8° (8.2°)§
患者 術前	44.1° (6.1°)	48.2° (2.5°)	32.2° (1.6°)	28.9° (2.3°)‡	45.9° (2.5°)	58.8° (0.5°)§
術後 6 ヶ月	46.1° (1.9°)	65.4° (10.7°)*	38.2° (1.2°)*	35.5° (1.1°)*‡	67.0° (2.7°)*	73.4° (3.2°)*§
術後 1 年	45.8° (0.7°)	59.8° (2.2°)*	38.9° (2.0°)*	40.6° (2.1°)*†	69.9° (0.9°)*†	78.9° (1.2°)*†§

平均(標準偏差). *: 術前と比較して $P < 0.05$, †: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$, ‡: 右側屈と比較して $P < 0.05$, §: 右回旋と比較して $P < 0.05$.

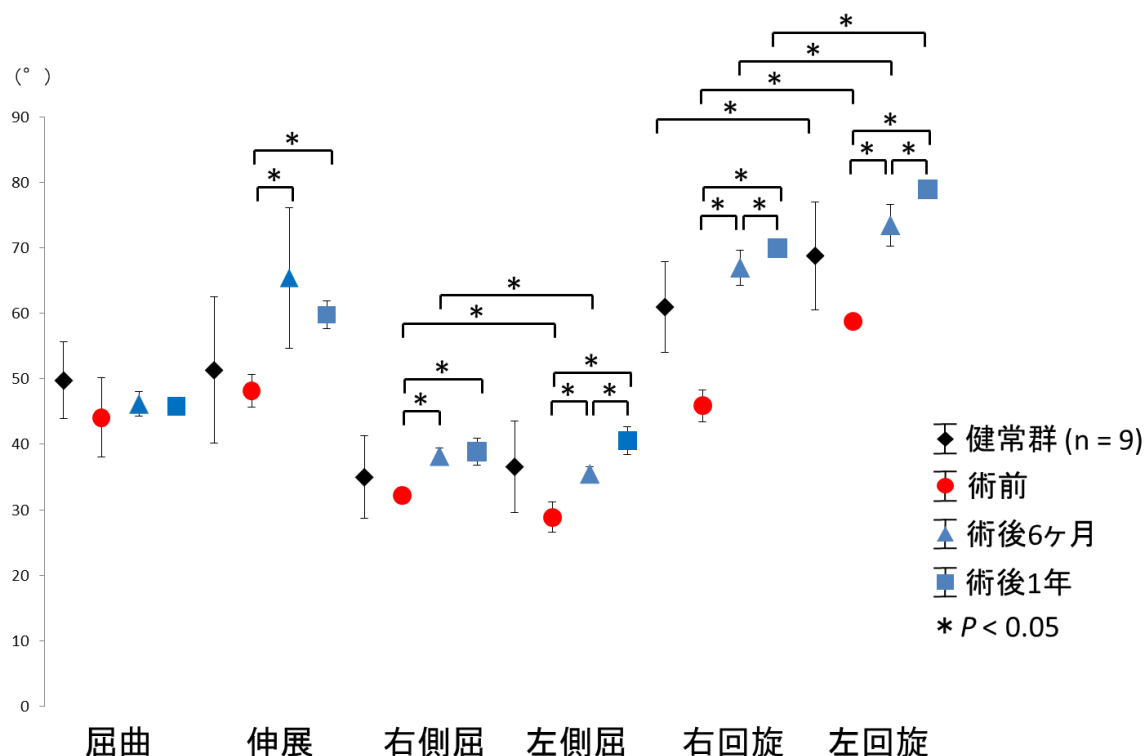


図 17 各動作での主動作の頸部頭部 ROM

健常群と比較して、術前は左側屈・左右回旋で制限を認めた。術前と比較すると、術後6ヶ月では伸展・左右側屈・左右回旋 ROM が拡大した。術後6ヶ月と比較して、1年では左側屈・左右回旋が改善した。左側屈は右側屈と比較すると術前・術後6ヶ月で有意に制限され、右回旋は左回旋と比較して術前・術後6ヶ月・1年で有意に制限された。健常群では側屈の左右差は認めなかったが、回旋では有意な左右差があった。

2.2.3.4 随伴動作の変化

屈曲・伸展・側屈・回旋動作時に生じる随伴動作（例：屈曲動作時に意図せず生じる側屈・回旋運動）を、体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を用いて解析した。

2.2.3.4.1 屈伸動作での随伴動作

体幹頭部 ROM において、屈曲時、健常群と比較して斜頸患者では大きな左側屈・左回旋が生じた。術後1年で、左側屈は有意に大きくなり、左回旋は有意に減少した。

伸展時は、健常群と比較して斜頸患者は術前に大きな右側屈・右回旋が生じた。術後は左側屈を認めるようになり、右回旋は術後 1 年で増加した（表 17, 図 18）。

頸部頭部 ROM において、屈曲時、健常群と比較して斜頸患者では大きな左側屈・左回旋が生じた。術後に左回旋は減少し、左側屈も術後 1 年で減少した。伸展時、健常群と比較して斜頸患者は、大きな左側屈・右回旋を生じ、左側屈は術後 1 年で減少した（表 18, 図 19）。

表 17 屈伸動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

	冠状面		横断面	
	屈曲	伸展	屈曲	伸展
健常群 (n = 9)	0.6° (3.9°)	-0.6° (3.8°)	0.1° (3.9°)	1.7° (4.3°)
患者 術前	1.7° (0.9°)	-1.9° (0.7°)	-6.1° (1.0°)	6.3° (1.2°)
術後 6 ヶ月	2.2° (1.0°)	1.9° (0.4°)*	-7.5° (1.8°)	7.9° (1.3°)
術後 1 年	3.2° (0.7°)*	6.2° (1.3°)*†	-4.4° (0.4°)*†	9.0° (1.7°)*

平均(標準偏差). 冠状面は左側屈, 横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$,
†: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

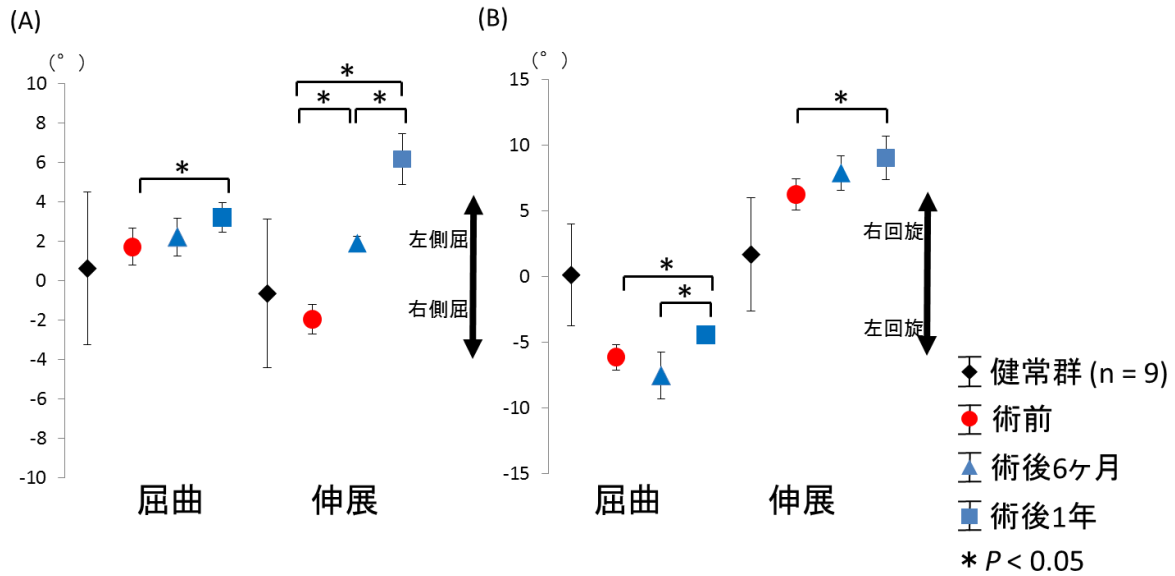


図 18 屈伸動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

屈曲時, 健常群と比較して斜頸患者では大きな左側屈・左回旋が生じた. 術後 1 年で, 左側屈は有意に大きくなり, 左回旋は有意に減少した. 伸展時は, 健常群と比較して斜頸患者は術前に大きな右側屈・右回旋が生じた. 術後は左側屈を認めるようになり, 右回旋は術後 1 年で増加した.

表 18 屈伸動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

	冠状面		横断面	
	屈曲	伸展	屈曲	伸展
健常群 (n = 9)	-0.3° (3.5°)	0.5° (3.9°)	-2.0° (3.9°)	0.1° (4.6°)
患者 術前	7.0° (7.4°)	9.1° (1.0°)	-13.1° (2.0°)	7.1° (1.6°)
術後 6 ヶ月	10.4° (0.6°)	9.5° (0.6°)	-9.5° (1.2°)*	9.7° (1.9°)
術後 1 年	6.1° (2.3°)†	7.2° (1.6°)*†	-6.0° (0.5°)*†	8.2° (1.2°)

平均(標準偏差). 冠状面は左側屈, 横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$,

†: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

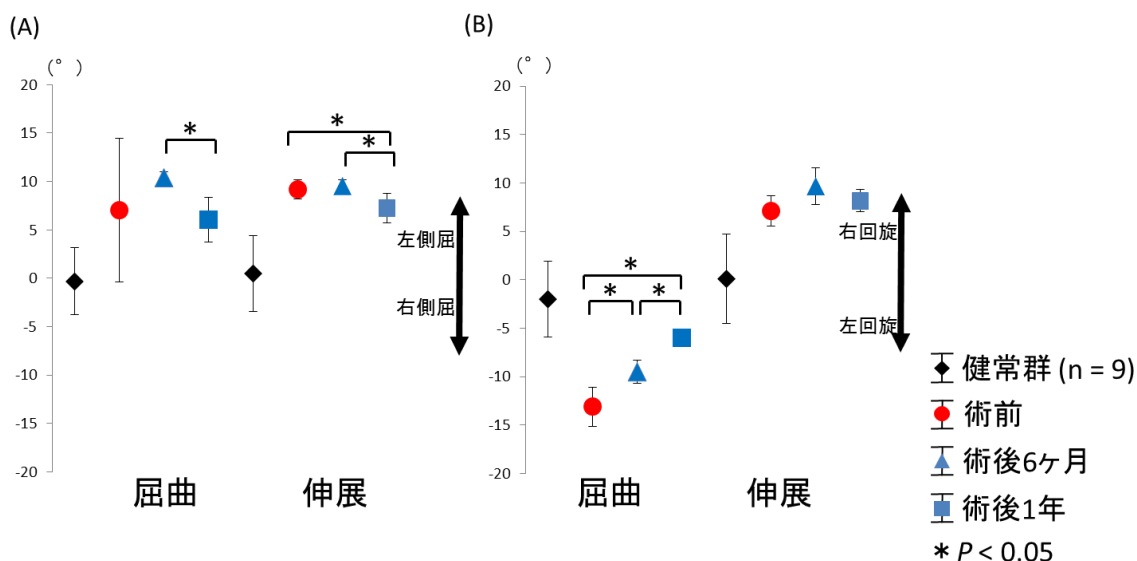


図 19 屈伸動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

屈曲時，健常群と比較して斜頸患者では大きな左側屈・左回旋が生じた．術後に左回旋は減少し，左側屈も術後 1 年で減少した．伸展時，健常群と比較して斜頸患者は，大きな左側屈・右回旋を生じ，左側屈は術後 1 年で減少した．

2.2.3.4.2側屈動作での随伴動作

体幹頭部 ROM において，右側屈時，健常群と比較して斜頸患者では大きな伸展が生じ，健常群と同様に右回旋を生じた．斜頸患者の右側屈時の右回旋は，術後 6 ヶ月で有意に減少したが，術後 1 年で増加した．左側屈時は，健常群と比較して斜頸患者では大きな屈曲と小さな左回旋が生じた．斜頸患者の左側屈時の左回旋は，術後 6 ヶ月で一時的に有意に減少した（表 19，図 20）．

頸部頭部 ROM において，右側屈時，健常群と比較して斜頸患者では大きな伸展が生じ，健常群と同様に右回旋を生じた．斜頸患者の右側屈時の右回旋は，術後 6 ヶ月で有意に減少したが，術後 1 年で増加した．左側屈時は，健常群と比較して斜頸患者は術前と術後 6 ヶ月では大きな屈曲を生じ，左回旋は健常群より小さかった．斜頸

患者の左側屈時の左回旋は、術後 6 ヶ月で一時的に有意に減少した（表 20, 図 21）.

表 19 側屈動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

	矢状面		横断面	
	右側屈	左側屈	右側屈	左側屈
健常群 (n = 9)	-6.5° (6.0°)	-4.3° (7.3°)	19.9° (8.0°)	-21.2° (6.8°)
患者 術前	-18.3° (1.7°)	2.9° (1.3°)	19.5° (2.1°)	-13.9° (1.7°)
術後 6 ヶ月	-16.9° (3.1°)	3.9° (3.5°)	12.8° (1.2°)*	-6.0° (3.1°)*
術後 1 年	-20.3° (5.9°)	3.7° (1.6°)	31.8° (2.3°)*†	-14.6° (4.3°)†

平均(標準偏差). 矢状面は屈曲, 横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$,
†: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

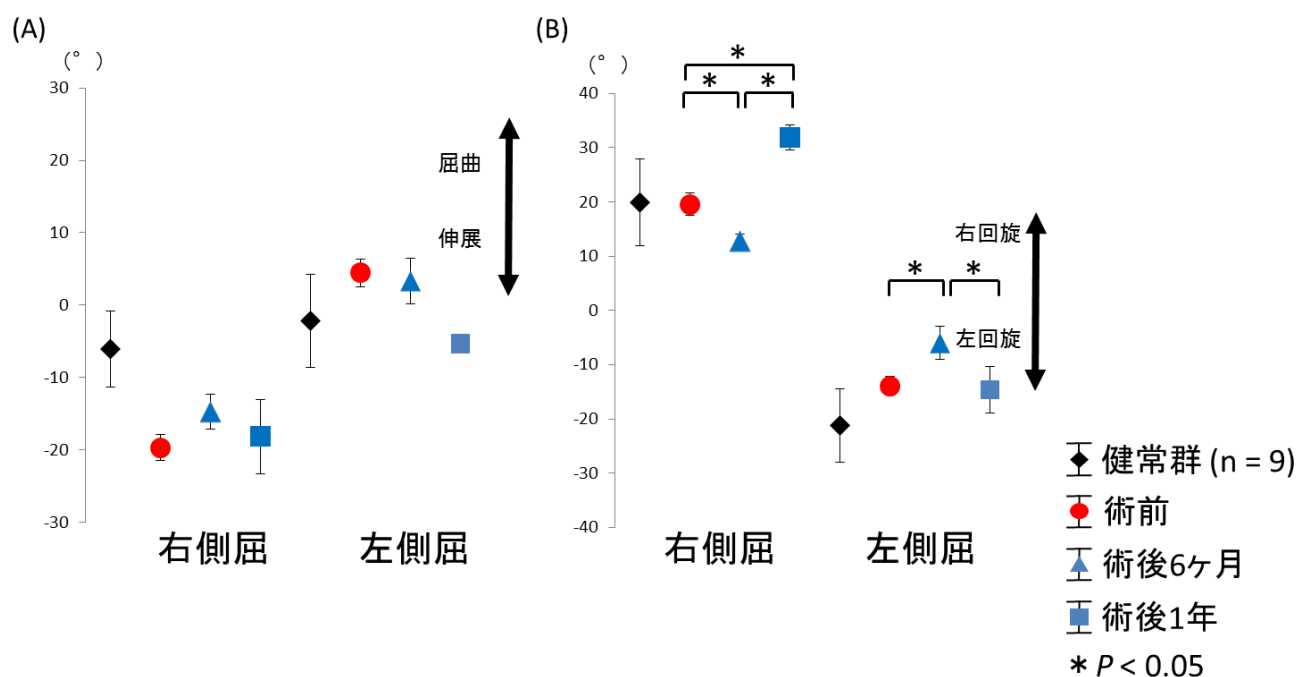


図 20 側屈動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

右側屈時、健常群と比較して斜頸患者では大きな伸展が生じ、健常群と同様に右回旋を生じた。斜頸患者の右側屈時の右回旋は、術後 6 ヶ月で有意に減少したが、術後 1 年で増加した。左側屈時は、健常群と比較して斜頸患者では大きな屈曲と小さな左回旋が生じた。斜頸患者の左側屈時の左回旋は、術後 6 ヶ月で一時的に有意に減少した。

表 20 側屈動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

	矢状面		横断面	
	右側屈	左側屈	右側屈	左側屈
健常群 (n = 9)	-6.1° (5.3°)	-2.2° (6.4°)	14.9° (10.3°)	-15.8° (6.6°)
患者 術前	-19.7° (1.8°)	4.4° (1.9°)	16.1° (2.1°)	-11.3° (1.2°)
術後 6 ヶ月	-14.8° (2.4°)*	3.3° (3.2°)	9.8° (0.9°)*	-4.6° (2.5°)*
術後 1 年	-18.2° (5.1°)	-5.3° (1.1°)*†	25.8° (1.9°)*†	-13.1° (4.1°)†

平均(標準偏差). 矢状面は屈曲, 横断面は右回旋が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$,
†: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

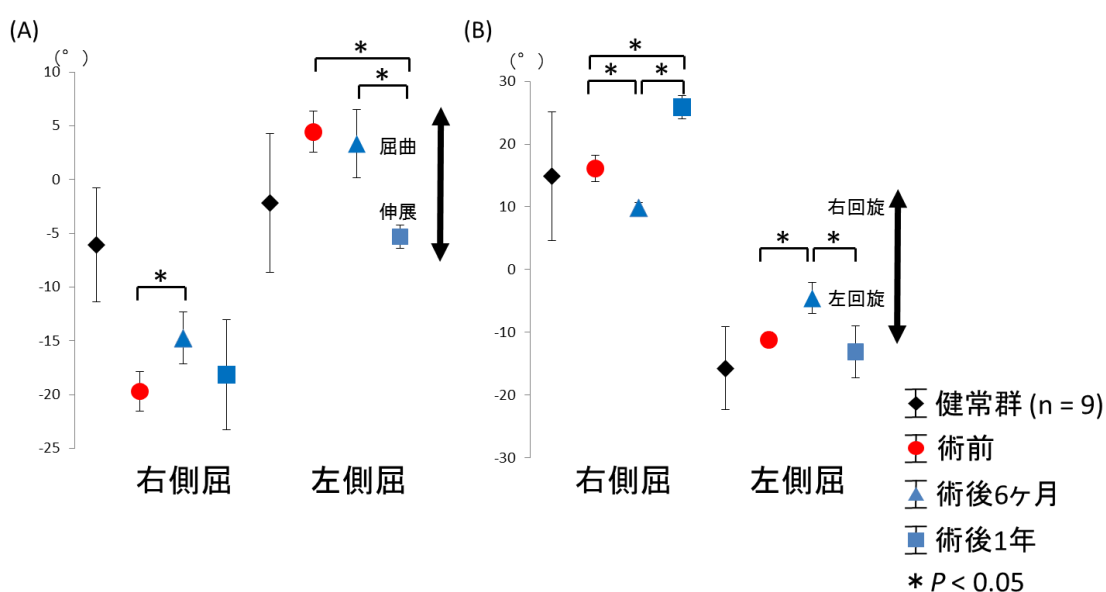


図 21 側屈動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

右側屈時, 健常群と比較して斜頸患者では大きな伸展が生じ, 健常群と同様に右回旋を生じた. 斜頸患者の右側屈時の右回旋は, 術後 6 ヶ月で有意に減少したが, 術後 1 年で増加した. 左側屈時は, 健常群と比較して斜頸患者は術前と術後 6 ヶ月では大きな屈曲を生じ, 左回旋は健常群より小さかった. 斜頸患者の左側屈時の左回旋は, 術後 6 ヶ月で一時的に有意に減少した.

2.2.3.4.3 回旋動作での随伴動作

体幹頭部 ROM において, 右回旋時, 健常群と比較して斜頸患者は大きな伸展が生じた. 術前と比較して術後に有意に大きな伸展が生じ, 術後 6 ヶ月が最も伸展が大

きかった。健常群も斜頸患者も右回旋時に左側屈を生じた。斜頸患者の左側屈は、術後 6 ヶ月で有意に減少したが、術後 1 年で増加した。左回旋時は、健常群・斜頸患者ともに右側屈を生じ、患者の術後 6 ヶ月以外は屈曲を生じた。斜頸患者の右側屈は、術後 6 ヶ月で有意に減少した（表 21，図 22）。

頸部頭部 ROM において、右回旋時、健常群と比較して斜頸患者は大きな伸展が生じた。術前と比較して術後に有意に大きな伸展が生じ、術後 6 ヶ月が最も伸展が大きかった。健常群も斜頸患者も右回旋時に左側屈を生じた。斜頸患者の左側屈は、術後 6 ヶ月で有意に減少したが、術後 1 年で増加した。左回旋時は、健常群・斜頸患者ともに右側屈を生じ、患者の術後 6 ヶ月以外は屈曲を生じた。斜頸患者の右側屈は、術後 6 ヶ月で有意に減少した（表 22，図 23）。

表 21 回旋動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

	矢状面		冠状面	
	右回旋	左回旋	右回旋	左回旋
健常群 (n = 9)	8.7° (7.3°)	9.3° (7.2°)	14.1° (7.2°)	-15.0° (7.0°)
患者 術前	-5.0° (2.0°)	14.1° (1.2°)	23.7° (1.8°)	-18.1° (1.1°)
術後 6 ヶ月	-14.6° (2.1°)*	-7.2° (2.1°)*	17.0° (2.1°)*	-6.3° (1.1°)*
術後 1 年	-7.8° (1.6°)*†	13.1° (2.4°)†	32.5° (0.7°)*†	-16.7° (0.8°)*†

平均(標準偏差). 矢状面は屈曲，冠状面は左側屈が正. *: 術前と比較して $P < 0.05$,
†: 術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$.

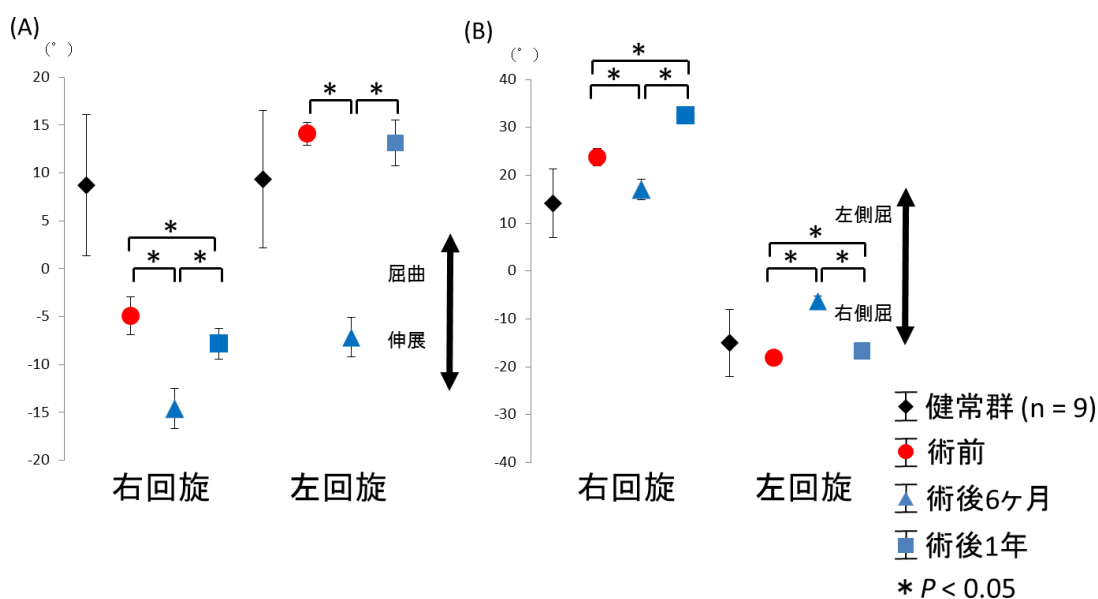


図 22 回旋動作での随伴動作の体幹頭部 ROM

右回旋時，健常群と比較して斜頸患者は大きな伸展が生じた．術前と比較して術後に有意に大きな伸展が生じ，術後 6 ヶ月が最も伸展が大きかった．健常群も斜頸患者も右回旋時に左側屈を生じた．斜頸患者の左側屈は，術後 6 ヶ月で有意に減少したが，術後 1 年で増加した．左回旋時は，健常群・斜頸患者ともに右側屈を生じ，患者の術後 6 ヶ月以外は屈曲を生じた．斜頸患者の右側屈は，術後 6 ヶ月で有意に減少した．

表 22 回旋動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

	矢状面		冠状面	
	右回旋	左回旋	右回旋	左回旋
健常群 (n = 9)	5.7° (6.7°)	6.8° (8.6°)	12.2° (6.0°)	-12.8° (6.4°)
患者 術前	-5.7° (2.5°)	11.1° (1.8°)	20.3° (2.2°)	-18.5° (0.5°)
術後 6 ヶ月	-16.7° (2.4°)*	-7.7° (2.5°)*	15.7° (1.9°)*	-6.7° (1.3°)*
術後 1 年	-9.7° (1.7°)*†	11.5° (2.3°)†	31.8° (1.1°)†	-17.8° (1.2°)†

平均(標準偏差)．矢状面は屈曲，冠状面は左側屈が正．*：術前と比較して $P < 0.05$ ， \dagger ：術後 6 ヶ月と比較して $P < 0.05$ ．

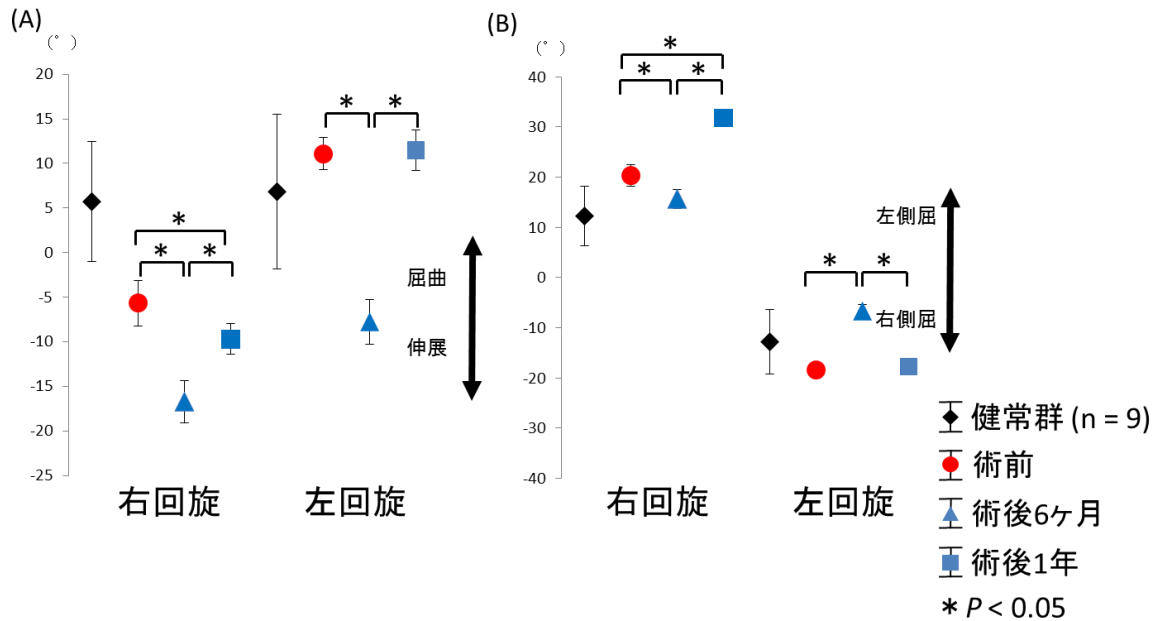


図 23 回旋動作での随伴動作の頸部頭部 ROM

右回旋時，健常群と比較して斜頸患者は大きな伸展が生じた．術前と比較して術後に有意に大きな伸展が生じ，術後 6 ヶ月が最も伸展が大きかった．健常群も斜頸患者も右回旋時に左側屈を生じた．斜頸患者の左側屈は，術後 6 ヶ月で有意に減少したが，術後 1 年で増加した．左回旋時は，健常群・斜頸患者ともに右側屈を生じ，患者の術後 6 ヶ月以外は屈曲を生じた．斜頸患者の右側屈は，術後 6 ヶ月で有意に減少した．

2.2.4 考察

本研究において，斜頸患者の頸部運動を測定し，安静姿勢，屈曲・伸展・側屈・回旋の ROM，および随伴動作の評価を行い，健常者との違いおよび術前後での変化を確認した．

本患者は，安静時に体幹を基準とした体幹頭部角度ではわずかに右側屈・左回旋位をとり，手術による右側屈位の明らかな改善はなかったが，左回旋位はわずかではあるが有意な改善を認めた（表 13，図 14）．一方，頸部頭部角度はわずかに術前に右側屈位をとり左回旋位は認めず，術後に右側屈位は改善した（表 14，図 15）．胸

鎖乳突筋は側頭骨乳様突起と胸骨柄上縁および鎖骨を結ぶため、先天性筋性斜頸で片側の胸鎖乳突筋が短縮すると、患側の側頭部と体幹正中部の距離が短縮し、患側への側屈および健側への回旋が生じる。成長終了後でも、筋性斜頸による側屈位は手術で一部改善するという報告がある(92, 93)。本研究の患者の安静姿勢の変化は、体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM で異なる傾向を示したことから、疾患や治療により頸部全体が同方向に偏位するのではなく、頸部の部位によって異なる変化を示すと考える。写真(36)や関節角度計(37)を用いて行われる一般的な斜頸位の評価では、体幹を基準にした頭部の角度を計算するため、本研究でも体幹頭部角度を中心に考察する。本患者の術後安静時の屈曲位・左回旋位の改善は、胸鎖乳突筋が延長した結果、より伸展・右回旋が可能となったためと考える。しかし、右側屈位は、診察上では改善したが、本研究による測定では明らかな改善は認めなかった。一般的に、診察時の姿勢評価では、患者は正面を向くように指示を受け、より意識付けした状態で安静姿勢を評価される。それに対して本研究の計測時は、一連の動作の合間で安静姿勢を評価しているため、運動へ注意が向けられており、正面を向くことへの注意は下がっている。そのため、本研究での計測は、より自然な状態の安静姿勢を評価できた可能性がある。健康者の安静姿勢での頸部側屈位に関する評価は過去に行われていないが、頸部回旋位は 5° 以内と報告されており(94)、本患者の回旋位は最大で 3.9° と小さかった。さらに、本研究で見られた安静姿勢の変化は 1° 前後というわずかな差で、本研究の VICON のように詳細な評価が可能な測定法でのみ検出可能であり、今後参加者数を

増やすなど更なる評価が必要である。

術前、本患者は、健常群による参考値と比較して頸部頭部 ROM で左側屈・左右回旋が制限された（表 16, 図 17）。筋性斜頸患者で生じる非患側への側屈・患側への回旋制限(36, 56, 59)は患側の胸鎖乳突筋の短縮で説明できる。日常生活動作時に頸部は大きな動きを伴い、階段を下りる・靴下を履く・靴ひもを結ぶでは屈曲 20° , スクワットでは伸展 30° , 髭剃り・洗面では側屈 25° , 駐車のため後方確認では回旋 90° を必要とする(95, 96)。本患者は、屈伸・側屈と比較して左右回旋が制限されており、後方確認などに支障があった可能性があるが、幼少期からの ROM 制限であるため全身・体幹で代償をしていたと思われる。

本患者は、術後に伸展・左右側屈・左右回旋 ROM が拡大した（表 15, 表 16, 図 16, 図 17）。筋性斜頸は、成人期の手術でも非患側への側屈・患側への回旋の制限が改善することが知られている(36, 56, 59, 97-99)。筋性斜頸手術を行う際、ROM の左右差を減らすことが目標され、側屈 20° 未満(100)・回旋制限 30° 未満(101)などと提唱され、本患者は術前から目標に達していた。本患者では手術による胸鎖乳突筋の延長によると考えられる伸展・非患側への側屈・患側への回旋制限の改善に加え、患側への側屈・非患側への回旋制限も改善した。後者の理由としては、手術による頸部痛の改善に伴う頸部筋緊張の低下と、術後に実施した頸部 ROM 訓練の結果と考える。

本患者は、回旋運動で体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM の傾向に差が見られた（表 15, 表 16, 図 16, 図 17）。体幹頭部 ROM では術前の回旋制限が健常群と比較して

小さかったのに対し、頸部頭部 ROM では術前の制限が大きかった。本来回旋では環軸関節 (C1-2) が大きく動く(1-3)が、本患者では胸鎖乳突筋の短縮により頭部と胸骨・鎖骨間の動きが制限され頸部頭部 ROM が低下したのに対し、制限部位よりも下部を含む体幹頭部 ROM では制限が小さかったと考える。

本患者は、頸部運動時に健常者と異なる随伴動作を生じた（表 16-表 22, 図 18-図 23）。健常者では屈伸時には側屈・回旋の随伴動作はほとんど見られず、側屈時にわずかな伸展と同側への回旋が生じ、回旋時にわずかな屈曲と反対側への側屈がみられる。それに対して、本患者では、屈曲時に左側屈・左回旋がおきた。その要因としては、通常右側の胸鎖乳突筋が緊張して斜頸位（右側屈・左回旋）を取っているが、屈曲により胸鎖乳突筋の緊張が緩んだため、左側屈が起きたと思われる。術後に屈曲時の左側屈は大きくなっており、手術で緩んだ右胸鎖乳突筋の分、屈曲時に生じる右側屈の斜頸位からの戻りが増加したと思われる。本患者で見られた屈曲時の左回旋については、胸鎖乳突筋の短縮・延長では説明できず、更なる評価が必要である。伸展時、本患者では術前に右側屈・右回旋を認め、術後に左側屈・右回旋を認めた。術前は、伸展により胸鎖乳突筋が伸張され、右側の短縮した胸鎖乳突筋に引っ張られて右側屈が起き、術後は右胸鎖乳突筋が手術で緩んだため右側屈から左側屈へ変化したと思われるが、術前後の右回旋の随伴動作は胸鎖乳突以外の影響があると思われる（表 17, 表 18, 図 18, 図 19）。健常者の側屈・回旋時の随伴動作は左右対称であったのに対し、本患者では対称ではなかった。右側屈時に頸部伸展が見られたのは、患側へ

の側屈で患側の胸鎖乳突筋の緊張が落ち頸部伸展が可能となったためと思われる。反対に左側屈時は、患側の胸鎖乳突筋の緊張が上がるため、屈曲が起きる(表 19, 表 20, 図 20, 図 21)。回旋時の矢状面・冠状面の随伴動作は、屈伸・側屈運動時の回旋の随伴動作と同様、患側の胸鎖乳突筋長の変化だけでは説明できず、回旋動作には個人差がある可能性がある(表 21, 表 22, 図 22, 図 23)。側屈・回旋などの単純な主動作は術後 6 ヶ月で変化を認めることがあるのに対し、随伴動作については術後 1 年で健常者に近づく変化が見られることがあるため、長期的な経過観察および詳細な評価が必要であると考ええる。

本患者は手術治療により、胸鎖乳突筋の延長で起きる以外の頸部症状・安静姿勢・ROM の変化が生じ、術後長期間経過してからも一部症状の改善を認めた。成人患者は手術により、顔面非対称などは改善しない(36, 92)が、頸部痛は改善する(36, 99)ことが報告されており、本患者も同様の結果が得られた。ROM については、患側の胸鎖乳突筋の延長で説明できる斜頸位や伸展・非患側への側屈・患側への回旋の ROM の改善以外にも、患側への側屈・非患側への回旋の ROM の改善が見られた。筋性斜頸患者は、胸鎖乳突筋の短縮により頸部に左右不均等な負担がかかり、頸部痛を生じる(99)。そのため、頸部筋全体に過剰な緊張が起きている可能性があり、手術による左右胸鎖乳突筋のバランスの改善により、頸部痛と頸部筋の過剰な緊張が改善され、全般的な ROM の改善につながったと考える。安静姿勢・ROM・随伴動作は術後 6 ヶ月から 1 年の間にも変化が見られた。先天性筋性斜頸患者について、術後の斜頸再発

についての報告がある(102, 103)が、長期間で症状が改善したという報告はない。本患者では、術後早期に頸部 ROM 訓練の自主トレーニングの実施を勧めたが、継続的なリハビリテーション介入は実施していなかった。長期的な変化の原因としては、前述の疼痛改善による筋緊張の低下に加え、斜頸位やその改善に伴うボディイメージの変化が緩徐に見られた可能性がある。一般的に筋性斜頸の手術治療目的は、小児では斜頸・左右差のある ROM 制限・顔面非対称や側彎などの二次的変化の予防であり(57, 100, 101)、年長者から成人では頸部－肩痛の改善(36, 58, 59)で、ROM の左右差改善は二次的なゴールといわれている。長期的な頸部姿勢・運動の変化については、更なる検討が必要と考える。

本研究は、筋性斜頸患者 1 人に行った詳細な頸部運動評価をまとめたもので、筋性斜頸成人治療例全般に言えるかは不明である。また、比較をしている健常群も 9 人の頸部運動測定結果であり、疾患による変化を精確に評価するためには、年齢・性別を揃えた複数名の健常者データと比較が必要と思われる。今後、患者数・対照者数を増やし評価を行っていく必要がある。また、本研究では、筋活動に関する運動力学的（キネティック）データは測定していないため、運動学的（キネマティック）データから筋の活動を推測しているに過ぎない。今後、筋活動の評価を追加することで、疾患や治療による微細な変化を見つけられる可能性がある。本研究の計測方法は頸部の不随意運動や痙性斜頸の評価にも応用でき、内服や局所治療の判定に使用できる可能性がある。

2.2.5 研究2のまとめ

三次元動作解析装置 VICON を用いて、成人筋性斜頸患者 1 人の治療前後の頸部運動を詳細に測定した結果、術前の安静時の斜頸位が術後に一部改善することを確認できた。ROM については、術前に伸展・左右側屈・左右回旋の制限を認め、術後に改善していた。ROM と随伴動作の変化の多くは胸鎖乳突筋の短縮とその改善で説明できるが、一部の ROM や随伴動作の変化は説明しきれないため、他患者の評価および筋電図を用いた運動力学的評価が有用と考える。

2.3 研究3 頸椎症性脊髄症患者の手術前後の頸部運動評価

2.3.1 目的

われわれが開発した VICON を用いた頸部運動の計測が、臨床評価で応用できることを研究2で明らかにしたため、本研究ではより大きな運動制限を持つ頸椎症性脊髄症患者を対象に頸部運動評価を行った。

頸椎症性脊髄症患者は脊髄の圧迫で神経症状を生じ、前方固定術・脊柱管拡大術などの手術を受ける。術前に有する頸部屈伸・回旋の ROM 制限が術後に悪化することが知られている(65-67)が、側屈についての報告はされていない。回旋中心は腰椎すべり症や頸椎捻挫などで発症のメカニズムや疾患の重症度との関連について研究されてきた(43-46, 49, 50)が、頸椎症性脊髄症患者の頸部運動の回旋中心についての研究は少なく(51, 55)、回旋中心を健常群と比較することで発症メカニズムを解明できる可能性がある。今回われわれは頸椎症性脊髄症に対し外科的治療を行った患者に対して、研究1で開発した VICON を用いた頸部運動の測定法により、術前後の頸部 ROM および回旋中心の変化を確認した。また、頸椎症性脊髄症の頸部運動への影響を確認するために、年齢と性別を揃えた健常対照者の測定結果と比較した。

2.3.2 方法

2.3.2.1 研究参加者

2014年12月から2015年3月までの間に、頸椎症性脊髄症の手術目的に東京大学

医学部附属病院整形外科・脊椎外科に入院した患者に研究参加を呼びかけ、術前と術後に計測の同意を得られた患者を対象とした。呼びかけ前に、整形外科・脊椎外科主治医に計測で行う頸部運動を伝え、支障がないことを確認した。身体機能低下により計測区域内での移動が困難な患者・全身性の骨疾患を有する患者は対象から除外した。対照群として、患者と性別・年齢（年齢差が3歳以内）がマッチし、頸部治療歴・リクルート時の頸部症状（頸部痛・上肢のしびれや感覚障害・手指巧緻性低下・歩行障害）のない健常者に参加を呼びかけた。既往に頸椎捻挫がある健常者は、計測時に症状がないことを確認した。参加の承諾を得た健常者については、医師の診察で頸部運動に異常がないことを事前に確認した。

研究プロトコールは、研究開始前に東京大学大学院医学系研究科・医学部倫理委員会にて承認を受けた（承認番号 3996・10648）。参加者は研究参加前に、医師より口頭と書面で研究内容の説明を受け、研究参加に同意した。

2.3.2.2 実験の流れ

患者群は術前と術後6ヶ月の外来受診時の合計2回、健常群は任意の日に1回、研究2と同様の方法でVICONを用いて6種類の頸部運動（屈曲、伸展、左右側屈、左右回旋）を評価した。

2.3.2.3 解析

研究 1 と同様に、体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を計算した。側屈・回旋については、参加者ごとに左右の ROM を比較して、体幹頭部 ROM の小さい側を制限側、大きい側を非制限側とした。個々の患者の術前後で、全動作の ROM を各動作 5 回分のデータを用いて比較した。またグループの比較として、全患者の術前後と対照群の全動作の ROM と回転中心を、各動作 5 回の平均を用いて比較した。側屈・回旋については、制限側・非制限側の ROM それぞれ 5 回分の平均の差を計算し、全患者の術前後と対照群で大きさを比較した。

頸部屈曲・伸展・左右側屈・左右回旋における回転中心を求めるため、Reuleaux 法を用いた。Reuleaux 法とは、物体上に任意の異なる 2 点を定め、運動前後のそれぞれの点の位置より回転中心の位置を算出する方法で、過去の脊椎運動の回転中心に関する研究でも用いられている(46, 51, 52)。図 24(A)に示すように、運動前の異なる任意の 2 点 A・B が、運動後に A'・B'に移動したとする時に、線分 AA'・BB'のそれぞれの垂直二等分線の交点を回転中心と定める方法である。本研究では、安静時を運動前・最大姿勢時を運動後と定義し、胸骨剣状突起を原点として、屈曲・伸展は左側頭部・左後頭部の座標を、側屈・回旋は左右側頭部の座標を任意の 2 点と定め、Reuleaux 法に従い、屈曲・伸展動作時は矢状面の回転中心の座標を、側屈動作時は冠状面の回転中心の座標を、回旋動作時は横断面の回転中心の座標を求めた [図 24(B)]。マーカおよび回転中心の座標は個人の体格の影響を補正(55)するために、胸骨剣状突起の

座標を原点とし，安静姿勢時の左後頭部の座標を(100, 100, 100)として正規化した．更なる解析には，屈曲・伸展・左右側屈・左右回旋それぞれ 5 回の正規化した回転中心の平均値を用いて行った．回転中心の位置を検討するために，全参加者（患者術前後および対照群）の正規化した安静姿勢時の左側頭部・おとがい・甲状軟骨下縁・胸骨・頸切痕・第 7 頸椎・左肩峰の座標を算出し，平均を計算した．

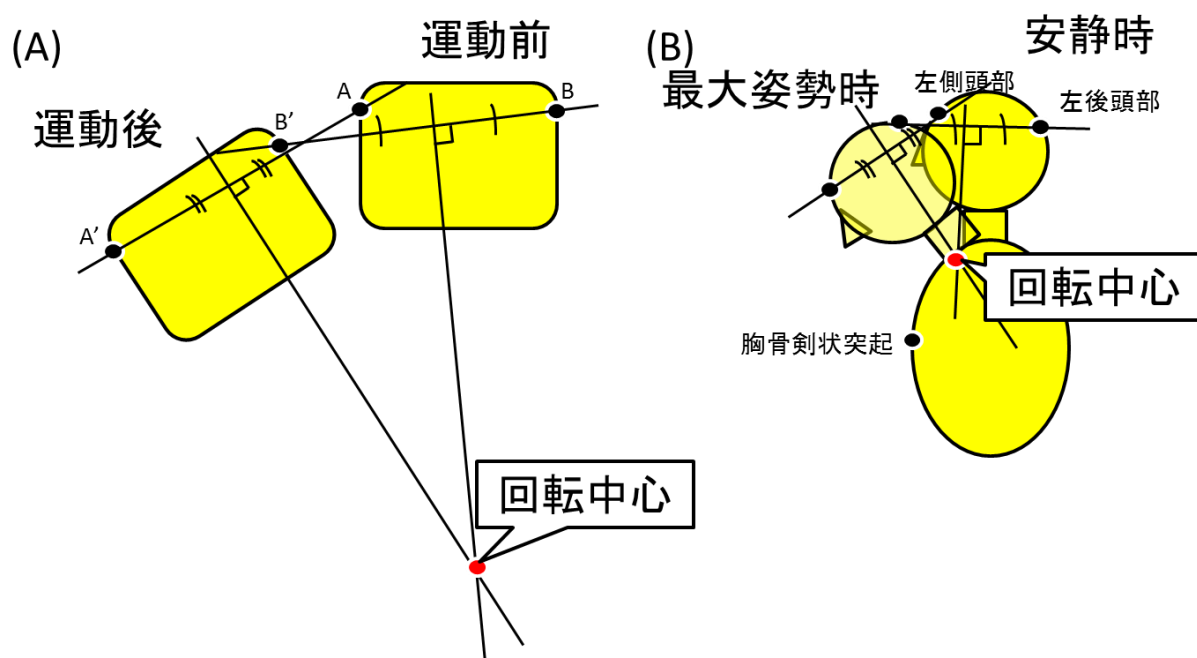


図 24 回転中心の計算方法

(A) Reuleaux 法．運動前の異なる任意の 2 点 A・B が，運動後に A'・B'に移動したとする時に，線分 AA'・BB'のそれぞれの垂直二等分線の交点を回転中心と定める．(B) 屈曲動作での例．安静時を運動前・最大姿勢時を運動後と定義し，胸骨剣状突起を原点とした左側頭部・左後頭部の座標を任意の 2 点と定め，矢状面の回転中心の座標を求めた．

2.3.2.4 統計

個々の患者の術前と術後の各動作5回分のROMの比較には対応のない検定を用

いた．患者群全体の術前と術後および対照群とのROMの平均および制限側・非制限側ROMの平均の差の比較には対応のあるt検定を用いた．回転中心の群間の差および動作による差の比較にはWilcoxonの符号付順位検定を用いた．また術式（広範囲の脊柱管拡大術・局所椎弓切除術・前方固定術）によるROM変化の比較には一元配置分散分析法（One-way ANOVA）を，回転中心の変化の比較にはKruskal-Wallis testを用いた．有意水準は5%未満とした．統計にはSPSS Statistics version 21（IBM, Armonk, NY, U.S.A.）を用いた．

2.3.3 結果

2.3.3.1 参加者背景

頚椎症手術で入院した対象患者 16 人中 9 人が研究に参加した（表 23）．除外理由は移動能力低下 2 人，全身性骨疾患 1 人，参加拒否 1 人，手術中止 2 人，術後他院通院予定 1 人であった．術式は C3-6 拡大術 2 人，C3-7 拡大術 2 人，C5 椎弓切除術・C4・6 ドーム形成術 1 人，C6 椎弓切除術・C5・7 ドーム形成術 1 人，C3/4 前方除圧固定術 1 人，C4/5 前方除圧固定術 1 人，C6/7・C7/T1 前方除圧固定術 1 人であり，後方手術が 6 人，前方手術が 3 人であった．術後，離床は 2-3 日以内に行い，前方固定術後の患者や頸部痛や不安定感などの自覚症状がある患者はソフトカラーを装着し，症状に合わせて主治医の判断でカラー装着を終了していた．全患者に PT によるリハビリテーション介入が行われ，術前は身体機能評価や術後の日常生活動作の指導を行

い、術後は歩行訓練や日常生活動作訓練、頸部以外の ROM 訓練・筋力増強訓練を行った。頸部の ROM 訓練は積極的には指導せず、痛み・症状のない範囲で日常生活の動作の中で頸部運動を行うように指導していた。

患者の初回計測時の概要と対照群の概要を表 23 に示す。各項目について、患者群と対照群に差はなかった。

表 23 研究参加者の概要

	対照群 (n = 9)	患者群 (n = 9)*	P
男性	8	8	
年齢 (歳)	61.0 (14.2)	62.0 (15.4)	0.172
身長 (cm)	165.9 (12.4)	164.3 (10.8)	0.703
体重 (kg)	66.3 (8.6)	65.9 (12.3)	0.892
Body mass index (kg/m ²)	24.2 (2.5)	24.4 (3.9)	0.868

平均(標準偏差). *: 術前計測時.

2.3.3.2 患者ごとの比較

2.3.3.2.1 症例 1 : 79 歳女性, 頸髄症に対し C3-6 拡大術施行 (図 25)

体幹頭部 ROM について、術前と比較して術後に伸展以外のすべての動作の ROM が制限された (表 24)。頸部頭部 ROM について、術前と比較して術後に制限側の回旋以外のすべての動作の ROM が制限された (表 25)。

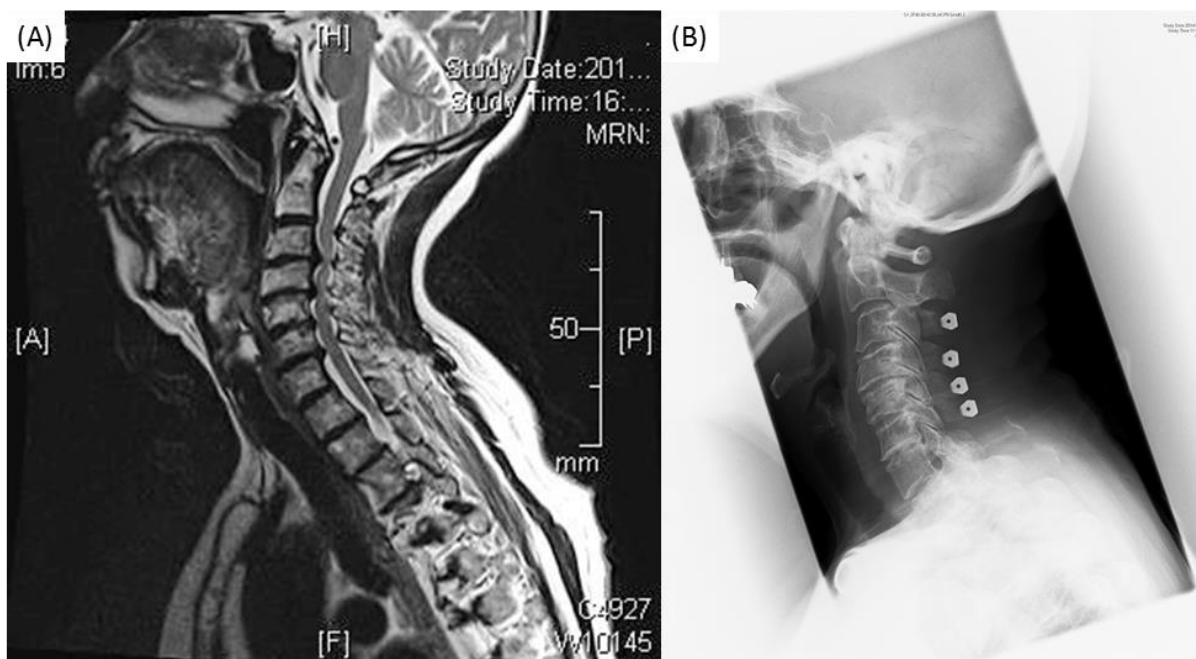


図 25 症例 1 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-6 で脊髓腔が狭小化し, 特に C3/4・4/5 で強い狭瘡を認めた. (B) 術後単純 X 線. C3-6 拡大術施行.

表 24 症例 1 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	48.3° (4.1°)	34.5° (2.2°)*
伸展	29.5° (1.6°)	27.7° (1.3°)
側屈 制限側	11.6° (0.9°)	9.0° (0.6°)*
側屈 非制限側	20.5° (2.1°)	15.7° (2.1°)*
回旋 制限側	54.2° (1.8°)	44.2° (1.7°)*
回旋 非制限側	55.9° (3.6°)	51.7° (1.5°)*

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 25 症例 1 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	41.3° (5.8°)	32.5° (2.1°)*
伸展	28.6° (1.4°)	25.7° (1.7°)*
側屈 制限側	10.9° (1.2°)	7.9° (0.3°)*
側屈 非制限側	18.9° (2.7°)	14.4° (1.4°)*
回旋 制限側	51.8° (2.2°)	48.0° (8.6°)
回旋 非制限側	58.9° (3.2°)	53.8° (1.8°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.2 症例 2 : 76 歳男性, 頸髄症に対し C3-6 拡大術施行 (図 26)

体幹頭部 ROM について, 術前と比較して術後に伸展・非制限側の側屈・制限側の回旋・非制限側の回旋の ROM が改善した (表 26). 頸部頭部 ROM について, 術前と比較して術後に屈曲・伸展・制限側の回旋・非制限側の回旋の ROM が改善した (表 27).

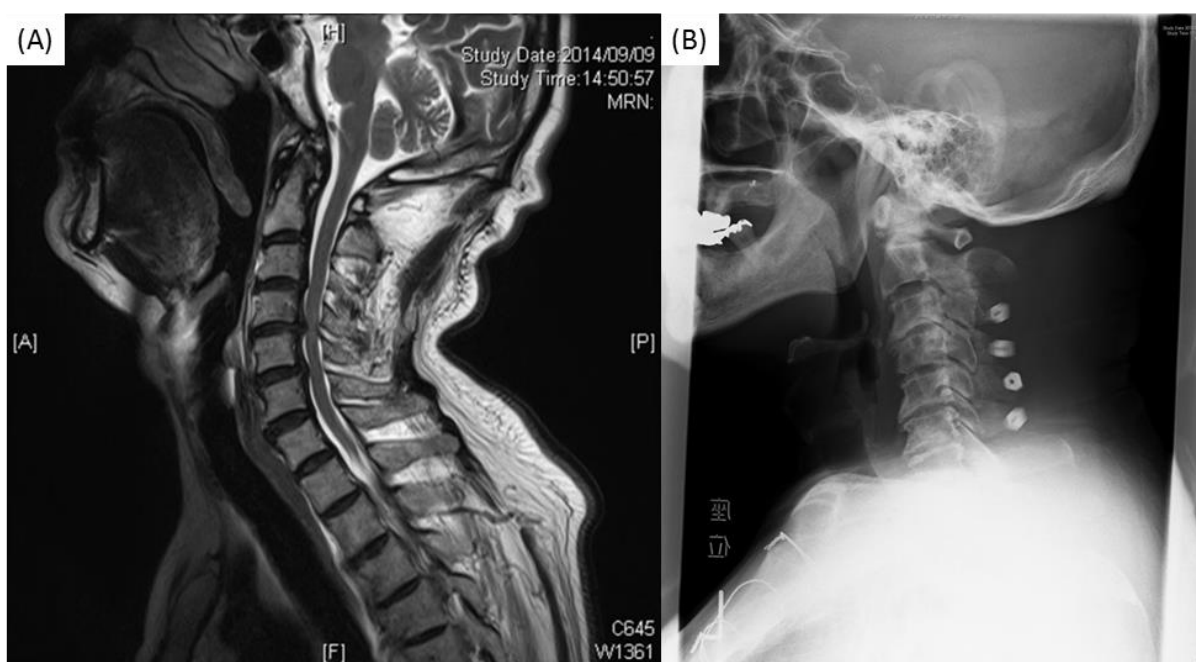


図 26 症例 2 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-6 で脊髓腔が狭小化し, 特に C4/5 で強い狭窄を認めた.
 (B) 術後単純 X 線. C3-6 拡大術施行.

表 26 症例 2 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	50.3° (6.8°)	52.1° (2.7°)
伸展	19.3° (2.2°)	27.9° (2.3°)*
側屈 制限側	7.9° (2.3°)	10.2° (2.4°)
側屈 非制限側	7.9° (1.7°)	11.7° (2.1°)*
回旋 制限側	39.6° (6.7°)	50.8° (2.4°)*
回旋 非制限側	40.3° (1.8°)	55.5° (1.8°)*

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 27 症例 2 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	37.9° (3.8°)	45.1° (2.6°)*
伸展	10.9° (2.0°)	22.7° (2.0°)*
側屈 制限側	13.3° (2.8°)	15.1° (2.6°)
側屈 非制限側	13.3° (2.3°)	16.3° (1.9°)
回旋 制限側	36.2° (6.5°)	45.8° (3.6°)*
回旋 非制限側	40.3° (1.6°)	55.1° (1.5°)*

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.3 症例 3 : 74 歳男性, 頸髄症に対し C3-7 拡大術施行 (図 27)

体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM とも, 術前と比較して術後にすべての動作で ROM が制限された (表 28・表 29) .

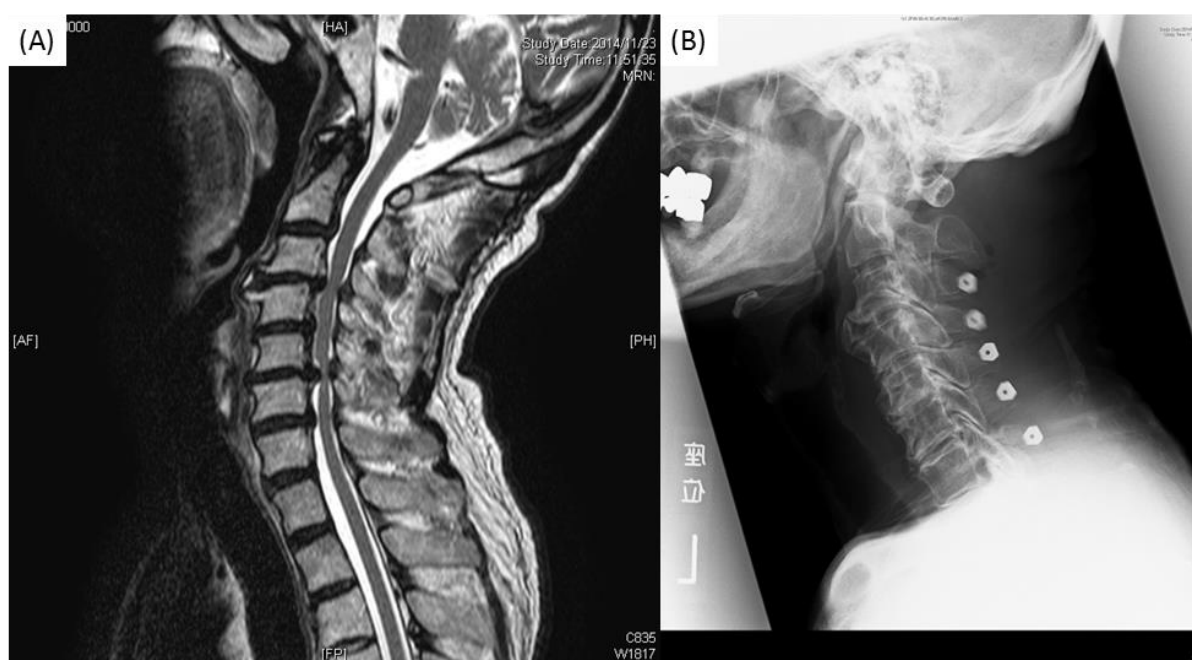


図 27 症例 3 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-7 で脊髓腔が狭小化し, 特に C5/6 で強い狭窄を認めた.
(B) 術後単純 X 線. C3-7 拡大術施行.

表 28 症例 3 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	57.4° (2.4°)	34.1° (2.6°)*
伸展	34.8° (1.8°)	28.4° (3.7°)*
側屈 制限側	17.6° (0.3°)	13.4° (1.1°)*
側屈 非制限側	22.3° (1.5°)	15.8° (1.4°)*
回旋 制限側	41.9° (1.8°)	34.7° (2.7°)*
回旋 非制限側	50.5° (3.1°)	35.2° (1.3°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

表 29 症例 3 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	52.5° (2.5°)	33.9° (2.3°)*
伸展	33.5° (2.1°)	28.3° (4.3°)*
側屈 制限側	17.8° (0.7°)	13.4° (1.0°)*
側屈 非制限側	22.8° (1.4°)	16.6° (1.6°)*
回旋 制限側	40.2° (2.9°)	35.1° (3.0°)*
回旋 非制限側	49.2° (3.7°)	35.7° (1.3°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.4 症例 4 : 61 歳男性, 頸髄症に対し C3-7 拡大術施行 (図 28)

体幹頭部 ROM について, 術前と比較して術後に非制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限された (表 30). 頸部頭部 ROM について, 術前と比較して術後に, 伸展の ROM が改善し, 非制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限された (表 31).

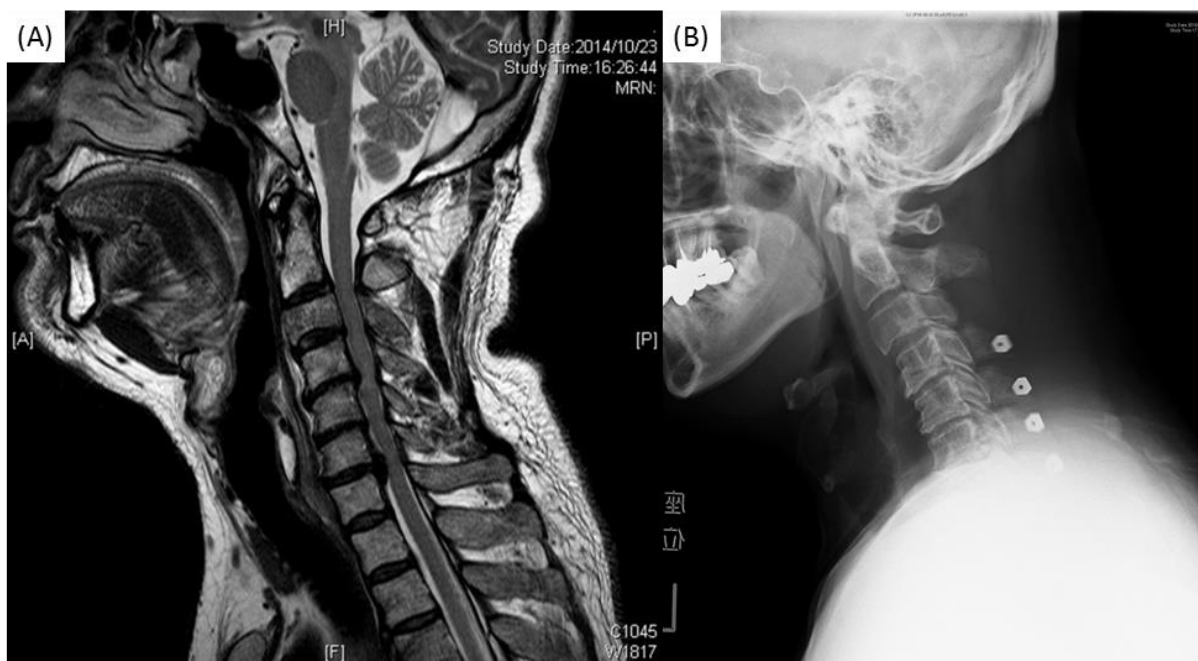


図 28 症例 4 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-7 で脊髓腔が狭小化し, 特に C4/5 で強い狭窄を認めた.
(B) 術後単純 X 線. C3-7 拡大術施行.

表 30 症例 4 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	54.1° (2.4°)	56.5° (2.0°)
伸展	41.1° (2.5°)	42.9° (2.6°)
側屈 制限側	16.8° (2.0°)	14.6° (1.8°)
側屈 非制限側	27.3° (1.3°)	22.9° (2.8°)*
回旋 制限側	54.4° (2.7°)	55.4° (2.5°)
回旋 非制限側	64.1° (2.3°)	55.8° (3.3°)*

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 31 症例 4 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	46.1° (2.1°)	48.2° (1.7°)
伸展	30.7° (1.9°)	39.1° (2.9°)*
側屈 制限側	17.7° (1.7°)	16.5° (0.9°)
側屈 非制限側	27.2° (1.6°)	23.9° (2.6°)*
回旋 制限側	50.4° (2.0°)	52.2° (2.8°)
回旋 非制限側	59.4° (2.2°)	54.8° (3.6°)*

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.5 症例 5 : 78 歳男性, 頸髄症に対して C5 椎弓切除術・C4・6

ドーム形成術施行 (図 29)

体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM とも, 術前と比較して術後に屈曲を除くすべての動作の ROM が制限された (表 32・表 33).

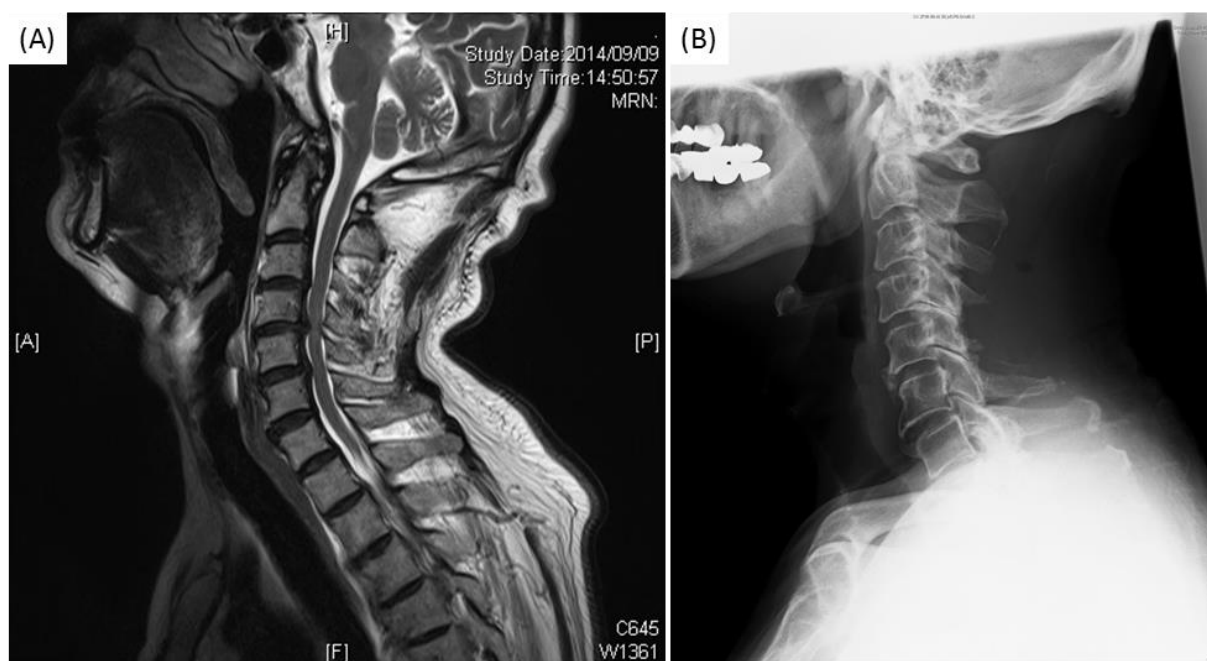


図 29 症例 5 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-6 で脊髓腔が狭小化し, 特に C4/5 で強い狭瘡を認めた.
(B) 術後単純 X 線. C5 椎弓切除術施行.

表 32 症例 5 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	54.1° (2.4°)	54.8° (4.8°)
伸展	44.8° (4.2°)	32.7° (5.3°)*
側屈 制限側	12.4° (1.0°)	2.7° (2.3°)*
側屈 非制限側	13.3° (2.3°)	7.1° (1.2°)*
回旋 制限側	55.9° (1.9°)	49.4° (1.7°)*
回旋 非制限側	57.2° (0.6°)	52.2° (1.3°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

表 33 症例 5 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	46.7° (1.5°)	50.5° (3.7°)
伸展	38.5° (4.1°)	29.5° (3.5°)*
側屈 制限側	12.9° (1.4°)	3.0° (2.8°)*
側屈 非制限側	15.3° (2.4°)	7.9° (0.8°)*
回旋 制限側	54.7° (1.9°)	50.0° (2.1°)*
回旋 非制限側	55.3° (0.5°)	52.6° (1.5°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.6 症例 6 : 50 歳男性, 頸髄症に対して C6 椎弓切除術・C5・7

ドーム形成術施行 (図 30)

体幹頭部 ROM について, 術前と比較して術後に屈曲・非制限側の側屈の ROM が改善した (表 34). 頸部頭部 ROM について, 術前と比較して術後に, 屈曲・非制限側の側屈の ROM が改善し, 制限側の回旋・非制限側の回旋の ROM が制限された (表 35) .

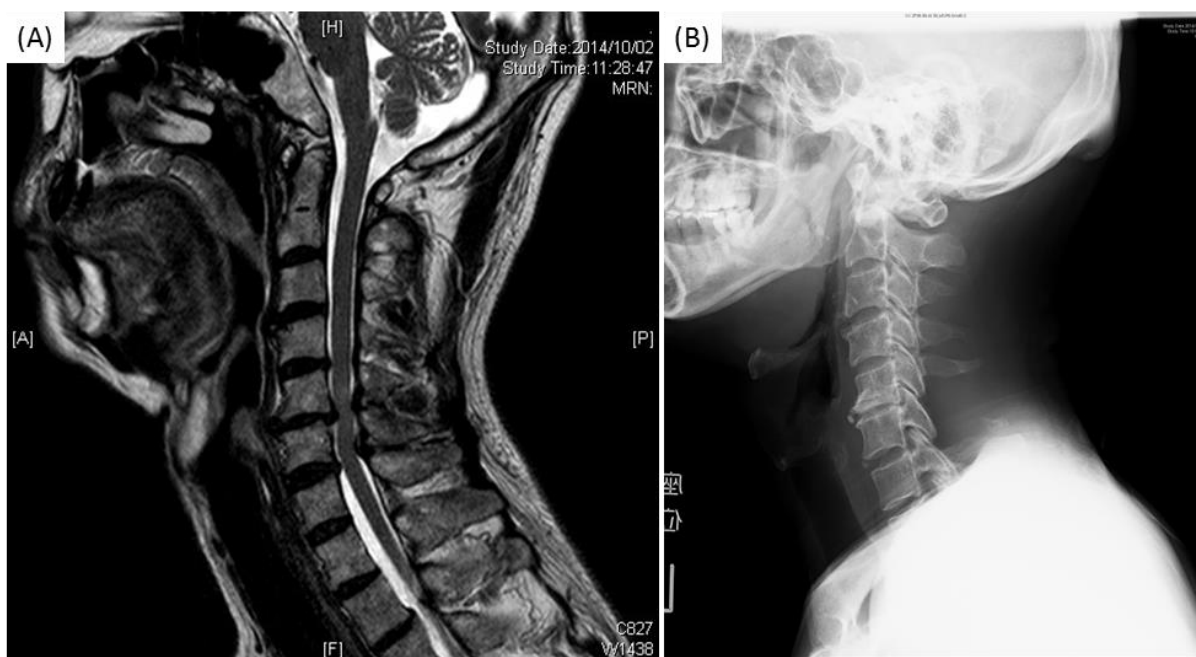


図 30 症例 6 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C5-7 で脊髓腔が狭小化し, 特に C5/6 で強い狭瘻を認めた.
 (B) 術後単純 X 線. C6 椎弓形成術施行.

表 34 症例 6 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	47.5° (11.5°)	75.8° (13.0°)*
伸展	42.9° (3.8°)	44.9° (5.6°)
側屈 制限側	30.5° (3.7°)	35.8° (4.2°)
側屈 非制限側	36.9° (1.1°)	45.0° (5.5°)*
回旋 制限側	69.1° (1.1°)	67.6° (6.9°)
回旋 非制限側	74.7° (3.0°)	78.7° (2.7°)

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 35 症例 6 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	39.0° (10.0°)	64.0° (8.4°)*
伸展	34.3° (4.3°)	38.4° (4.9°)
側屈 制限側	40.5° (4.5°)	47.0° (6.6°)
側屈 非制限側	45.9° (1.7°)	54.6° (7.1°)*
回旋 制限側	69.3° (1.4°)	59.9° (2.9°)*
回旋 非制限側	77.7° (2.3°)	69.6° (1.4°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.7 症例 7 : 47 歳男性, 頸髄症に対して C3/4 前方除圧固定術施行 (図 31)

体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM とも, 術前と比較して術後に屈曲以外のすべての動作の ROM が制限された (表 36・表 37) .

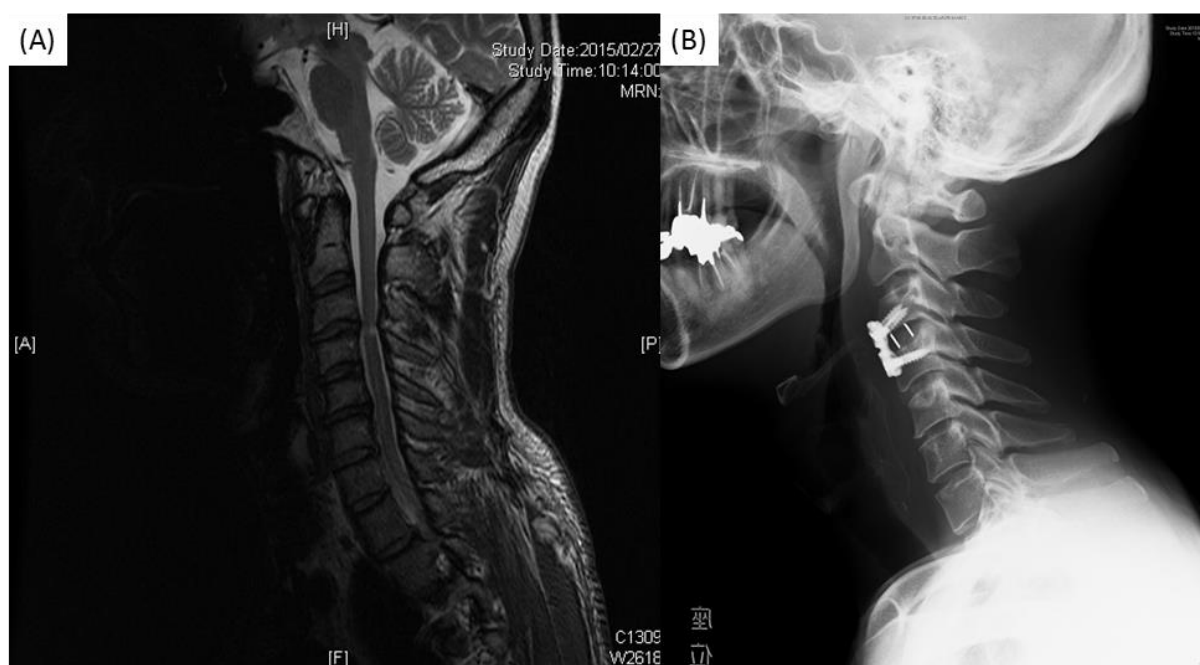


図 31 症例 7 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3/4 で脊髓腔の狭小化を認めた. (B) 術後単純 X 線. C3/4 前方除圧固定術施行.

表 36 症例 7 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	71.4° (1.4°)	74.0° (2.7°)
伸展	73.3° (4.5°)	63.4° (3.4°)*
側屈 制限側	40.1° (0.7°)	31.8° (2.3°)*
側屈 非制限側	48.5° (1.7°)	40.5° (1.5°)*
回旋 制限側	72.7° (1.7°)	60.9° (5.0°)*
回旋 非制限側	78.4° (1.1°)	72.0° (2.1°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

表 37 症例 7 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	58.8° (1.5°)	61.4° (2.6°)
伸展	59.4° (4.1°)	53.5° (3.3°)*
側屈 制限側	39.7° (0.5°)	29.8° (2.0°)*
側屈 非制限側	48.5° (1.7°)	41.5° (1.8°)*
回旋 制限側	69.2° (1.9°)	58.0° (4.6°)*
回旋 非制限側	75.4° (1.1°)	70.5° (1.5°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.8 症例 8 : 36 歳男性, 頸髄症に対して C4/5 前方除圧固定術施

行 (図 32)

体幹頭部 ROM について, 術前と比較して術後に屈曲・非制限側の側屈の ROM が制限された (表 38). 頸部頭部 ROM について, 術前と比較して術後は, 屈曲・非制限側の側屈の ROM が制限され, 伸展・非制限側の回旋の ROM が改善した (表 39).

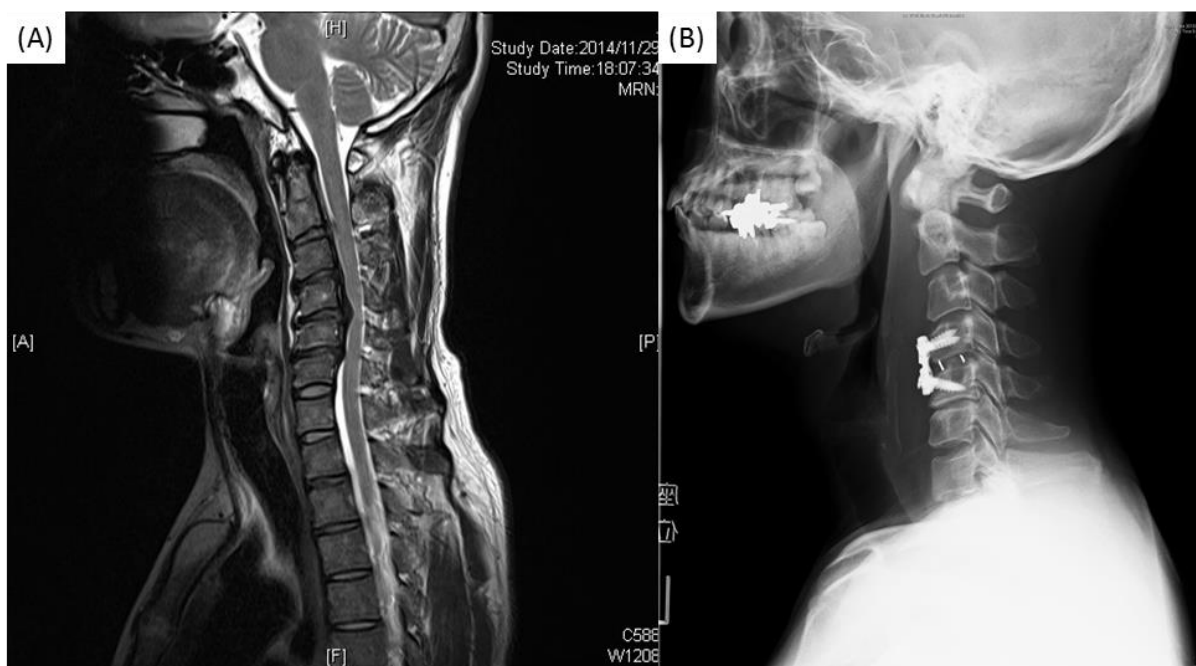


図 32 症例 8 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C4/5 で狭窄を認めた. (B) 術後単純 X 線. C4/5 前方除圧固定術施行.

表 38 症例 8 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	75.1° (1.6°)	58.8° (2.8°)*
伸展	35.2° (4.6°)	36.1° (2.9°)
側屈 制限側	22.3° (2.1°)	19.6° (1.6°)
側屈 非制限側	25.5° (1.2°)	22.3° (0.9°)*
回旋 制限側	59.0° (3.6°)	58.6° (1.8°)
回旋 非制限側	61.4° (1.4°)	61.4° (5.2°)

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 39 症例 8 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	56.4° (1.9°)	51.2° (2.6°)*
伸展	25.1° (5.2°)	34.8° (2.2°)*
側屈 制限側	26.3° (2.6°)	23.5° (1.1°)
側屈 非制限側	27.1° (1.3°)	19.8° (1.9°)*
回旋 制限側	56.2° (2.6°)	58.7° (2.1°)
回旋 非制限側	56.0° (2.2°)	61.4° (4.3°)*

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.2.9 症例 9 : 55 歳男性, 頸髄症に対して C6/7・C7/T1 前方除圧固

定術施行 (図 33)

体幹頭部 ROM について, 術前と比較して術後に非制限側の側屈の ROM が改善した (表 40). 頸部頭部 ROM について, 術前と比較して術後に屈曲・制限側の側屈・非制限側の側屈の ROM が改善した (表 41).

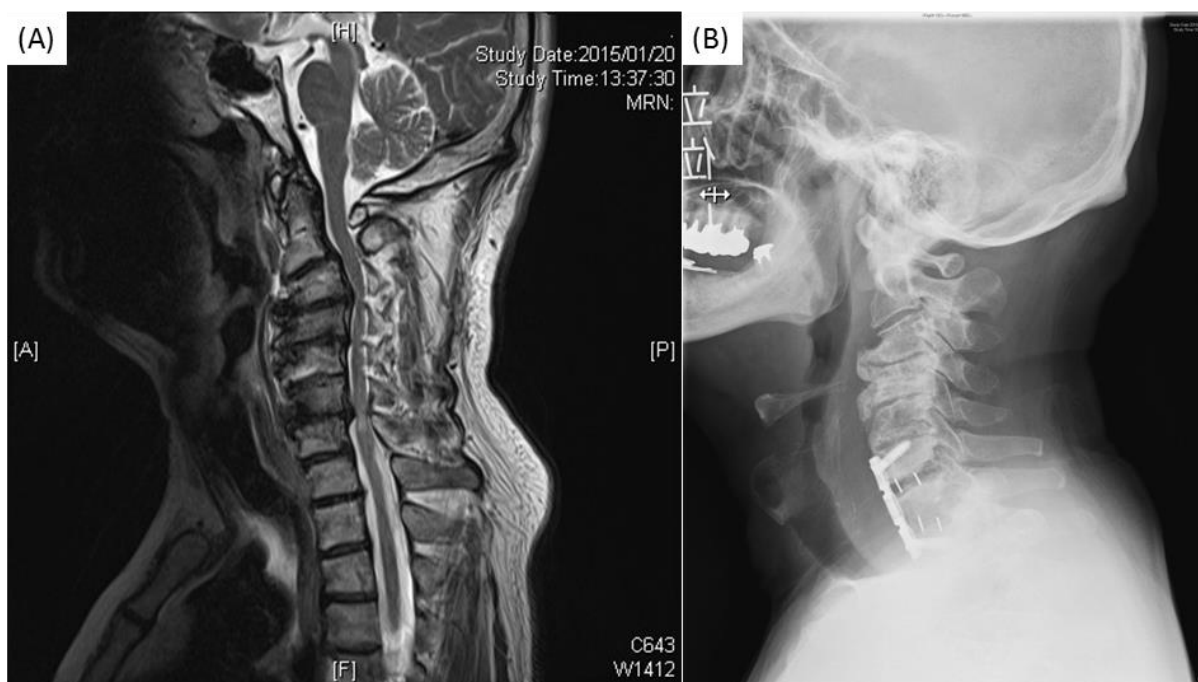


図 33 症例 9 画像所見

(A) 術前 MRI T2 画像. C3-T1 で脊髓腔が狭小化し, 特に C6/7 で強い狭瘡を認めた.
 (B) 術後単純 X 線. C6/7, C7/T1 前方除圧固定術施行.

表 40 症例 9 体幹頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	43.2° (4.4°)	47.1° (1.9°)
伸展	33.5° (4.9°)	30.1° (2.4°)
側屈 制限側	22.1° (2.1°)	23.5° (0.7°)
側屈 非制限側	23.0° (3.2°)	27.2° (0.9°)*
回旋 制限側	43.7° (3.9°)	49.0° (4.6°)
回旋 非制限側	47.3° (2.2°)	52.4° (4.4°)

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

表 41 症例 9 頸部頭部 ROM

	術前	術後
屈曲	27.8° (2.0°)	30.2° (0.8°)*
伸展	26.6° (3.4°)	24.2° (1.9°)
側屈 制限側	21.5° (2.4°)	25.0° (0.9°)*
側屈 非制限側	22.3° (3.2°)	27.6° (1.0°)*
回旋 制限側	42.0° (3.8°)	44.9° (3.9°)
回旋 非制限側	45.5° (2.5°)	49.0° (3.2°)

平均(標準偏差). * : 術前と比較し $P < 0.05$.

2.3.3.4 全対象者の各動作の ROM

体幹頭部 ROM について対照群と比較して患者群は, 術前は伸展・制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が, 術後は伸展・制限側の側屈・非制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限されていた. 術前後で ROM に有意な差は認めなかった(表 42, 図 34).

頸部頭部 ROM について対照群と比較して患者群は, 術前は有意な ROM 制限を認めなかったが, 術後は伸展・制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限されていた. 術前後で ROM に有意な差は認めなかった (表 43, 図 35).

表 42 全対象者の体幹頭部 ROM

	対照群 (n = 9)	患者群 (n = 9)	
		術前	術後
屈曲	54.7° (9.4°)	48.2° (10.2°)	54.2° (14.7°)
伸展	50.3° (11.2°)	33.9° (13.9°)*	37.1° (11.7°)*
側屈 制限側	31.3° (9.7°)	21.2° (9.4°)*	17.9° (10.9°)*
側屈 非制限側	34.4° (7.4°)	25.7° (11.2°)	23.1° (12.7°)*
回旋 制限側	62.3° (9.5°)	52.8° (11.6°)	52.3° (9.7°)
回旋 非制限側	69.5° (8.3°)	57.2° (11.8°)*	57.2° (12.6°)*

平均(標準偏差). *: 対照群と比較し $P < 0.05$.

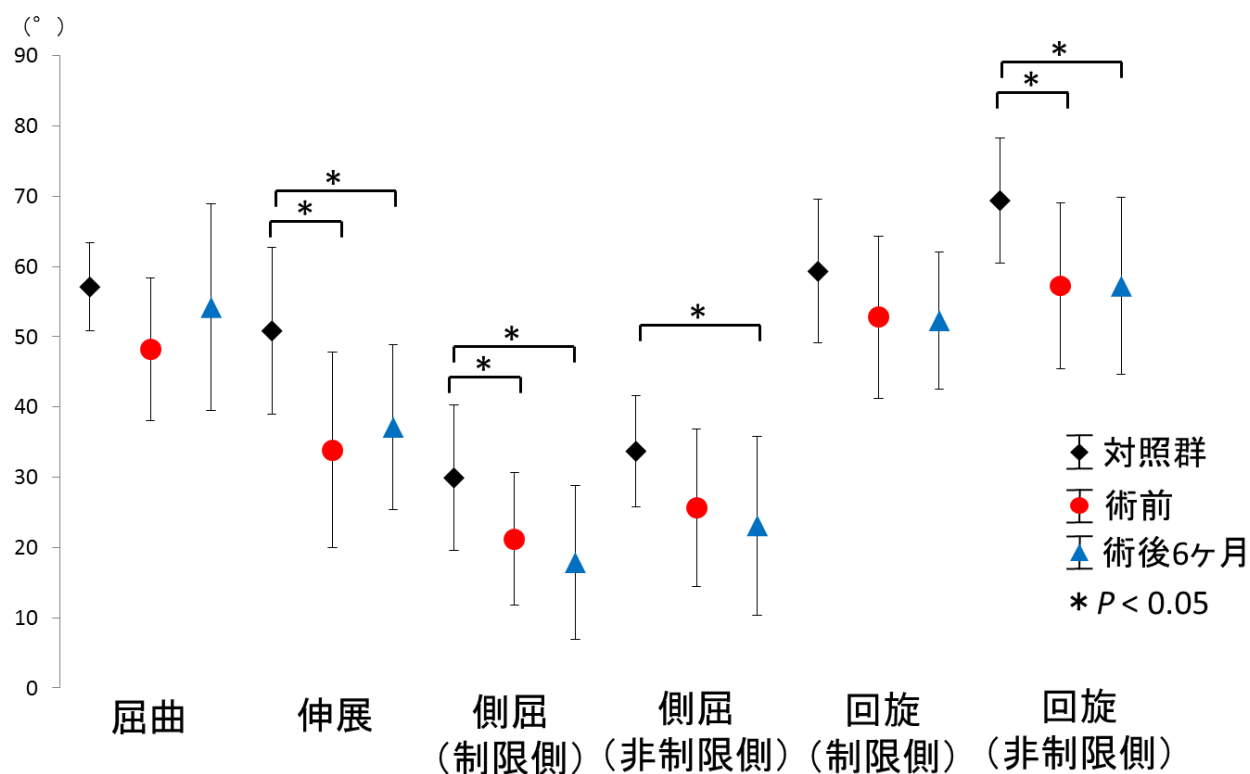


図 34 全対象者の体幹頭部 ROM

対照群と比較して患者群は、術前は伸展・制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が、術後は伸展・制限側の側屈・非制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限されていた。術前後で ROM に有意な差は認めなかった。

表 43 全対象者の頸部頭部 ROM

	対照群 (n = 9)	患者群 (n = 9)	
		術前	術後
屈曲	46.0° (9.0°)	45.2° (9.9°)	46.3° (12.2°)
伸展	43.2° (11.3°)	32.0° (12.9°)	32.9° (9.7°)*
側屈 制限側	31.2° (9.3°)	22.3° (11.1°)	19.7° (13.0°)*
側屈 非制限側	33.7° (7.7°)	26.8° (12.5°)	25.1° (14.7°)
回旋 制限側	60.1° (9.3°)	52.2° (11.8°)	50.3° (8.0°)
回旋 非制限側	66.9° (8.0°)	57.6° (12.5°)	55.8° (10.6°)*

平均(標準偏差). *: 対照群と比較し $P < 0.05$.

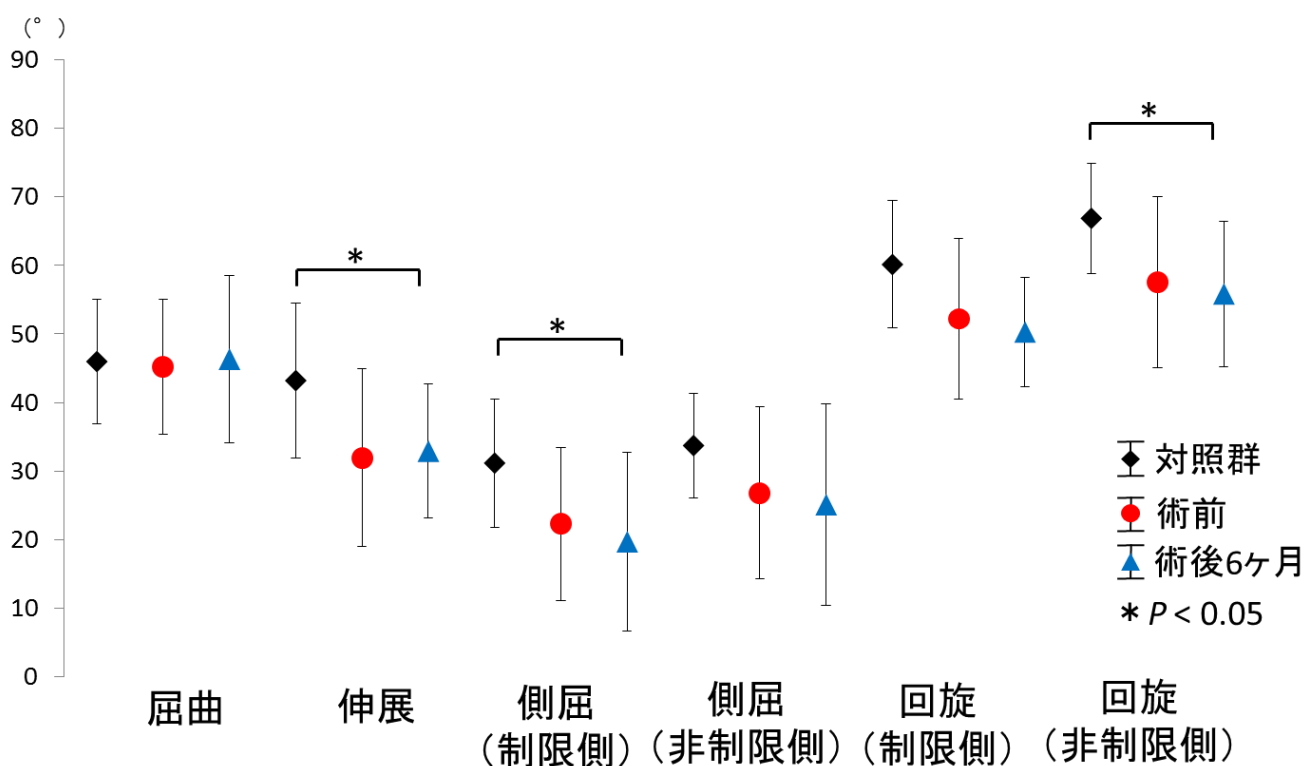


図 35 全対象者の頸部頭部 ROM

対照群と比較して患者群は、術前は有意な ROM 制限を認めなかったが、術後は伸展・制限側の側屈・非制限側の回旋の ROM が制限されていた。術前後で ROM に有意な差は認めなかった。

2.3.3.4 各動作の ROM の術式による比較

術式ごとに各動作の術前と術後の体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM を比較し、広範

図の脊柱管拡大術の制限側・非制限側の側屈の体幹頭部 ROM は術後有意に減少していたが（表 44，図 36），それ以外の群で術前の ROM と術後の ROM に有意差は認めなかった（表 44-表 49，図 36-図 41）。

表 44 広範囲の脊柱管拡大術施行患者の体幹頭部 ROM

		患者群 (n=4)	
		術前	術後
屈曲		47.4° (8.0°)	44.3° (11.7°)
伸展		26.5° (10.6°)	31.7° (7.4°)
側屈	制限側	15.1° (3.1°)	11.8° (2.6°)*
側屈	非制限側	20.8° (5.7°)	16.5° (4.6°)*
回旋	制限側	45.7° (8.1°)	46.3° (9.0°)
回旋	非制限側	51.5° (8.3°)	48.6° (9.7°)

平均(標準偏差). *: 術前と比較し $P < 0.05$.

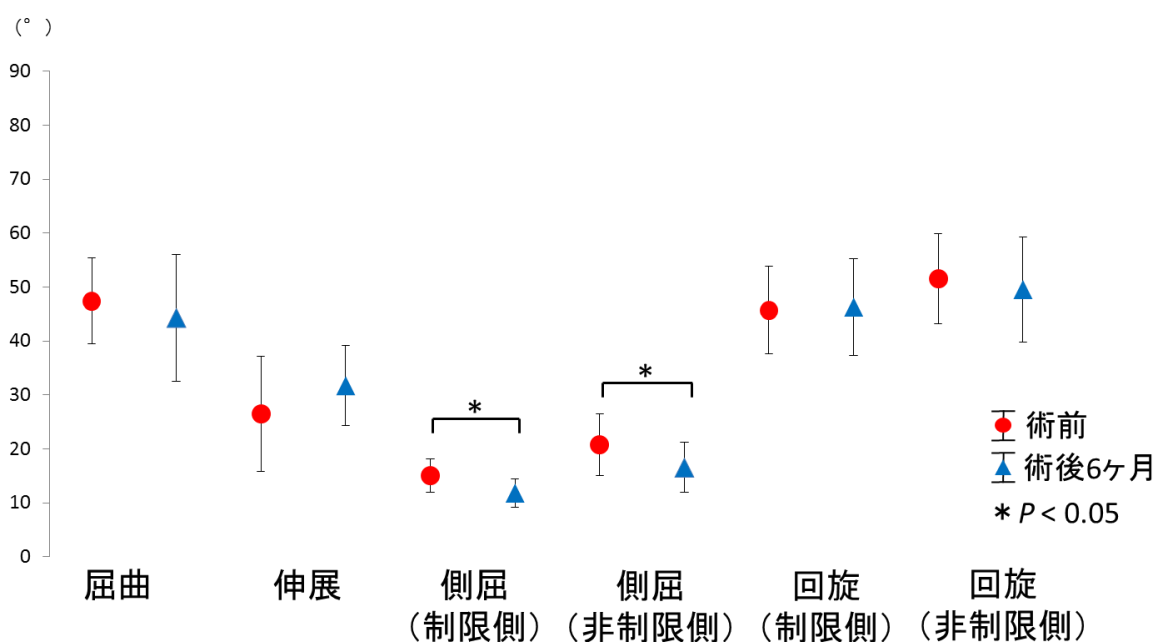


図 36 広範囲の脊柱管拡大術施行患者の体幹頭部 ROM

術前後で制限側・非制限側の側屈の ROM が有意に減少した。

表 45 広範囲の脊柱管拡大術施行患者の頸部頭部 ROM

患者群 (n = 4)		
	術前	術後
屈曲	44.5° (6.3°)	39.9° (7.9°)
伸展	25.9° (10.2°)	29.0° (7.1°)
側屈 制限側	14.9° (3.4°)	13.2° (3.8°)
側屈 非制限側	13.2° (3.8°)	20.5° (5.9°)
回旋 制限側	44.6° (7.7°)	45.3° (7.3°)
回旋 非制限側	52.0° (9.0°)	49.9° (9.4°)

平均(標準偏差).

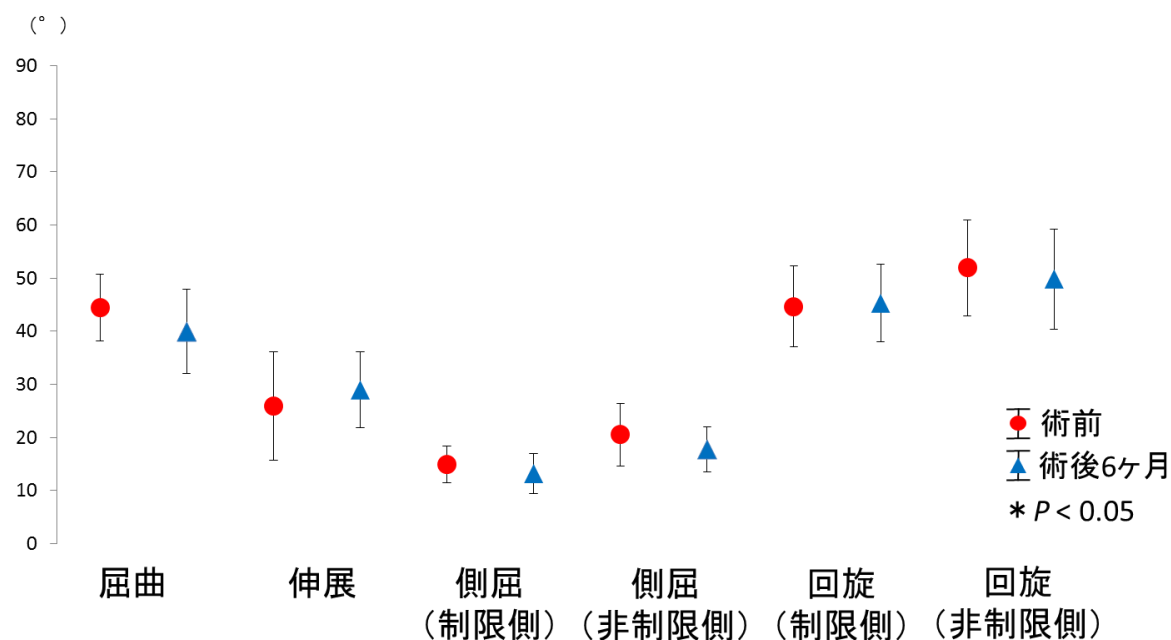


図 37 広範囲の脊柱管拡大術施行患者の頸部頭部 ROM

術前後で ROM に有意な差は認めなかった.

表 46 局所椎弓切除術施行患者の体幹頭部 ROM

患者群 (n = 2)		
	術前	術後
屈曲	57.6° (1.7°)	66.4° (10.8°)
伸展	42.2° (24.3°)	49.8° (19.3°)
側屈 制限側	33.0° (9.5°)	25.7° (8.6°)
側屈 非制限側	37.8° (15.1°)	31.4° (12.9°)
回旋 制限側	62.6° (9.3°)	59.7° (1.6°)
回旋 非制限側	65.8° (13.6°)	66.7° (7.5°)

平均(標準偏差).

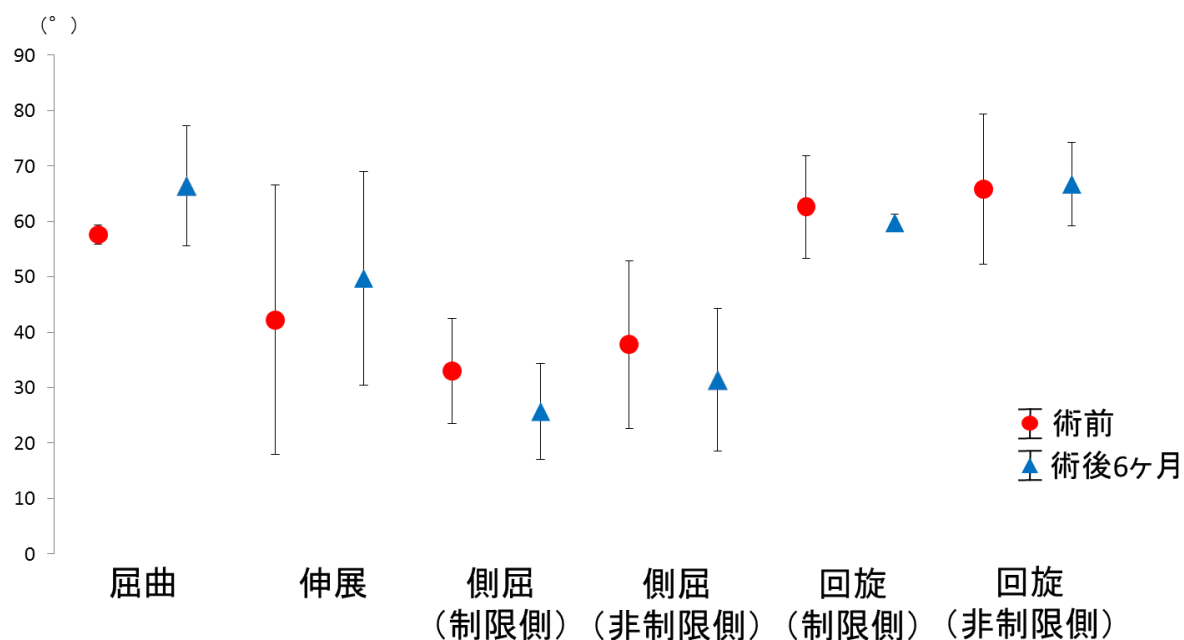


図 38 局所椎弓切除術施行患者の体幹頭部 ROM

術前後で ROM に有意な差は認めなかった.

表 47 局所椎弓切除術施行患者の頸部頭部 ROM

患者群 (n = 2)		
	術前	術後
屈曲	57.6° (1.7°)	56.3° (7.2°)
伸展	42.2° (24.3°)	44.2° (13.2°)
側屈 制限側	33.0° (9.5°)	24.8° (7.1°)
側屈 非制限側	37.8° (15.1°)	32.5° (12.8°)
回旋 制限側	62.6° (9.3°)	58.4° (0.5°)
回旋 非制限側	65.8° (13.6°)	66.0° (6.4°)

平均(標準偏差).

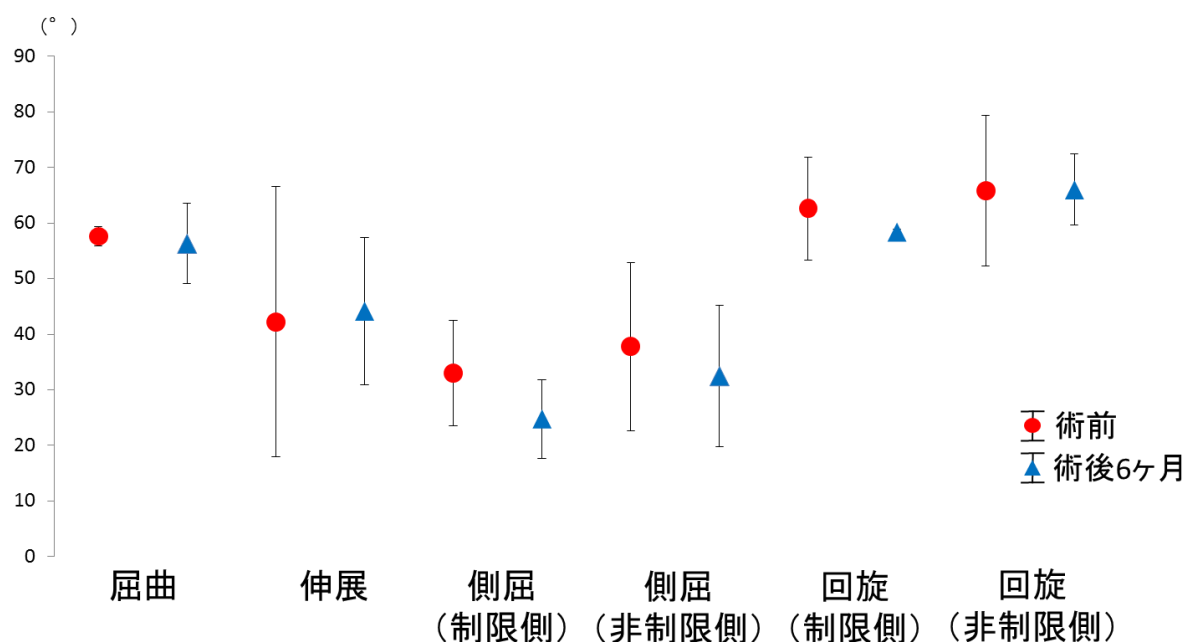


図 39 局所椎弓切除術施行患者の頸部頭部 ROM

術前後で ROM に有意な差は認めなかった.

表 48 前方固定術施行患者の体幹頭部 ROM

患者群 (n = 3)		
	術前	術後
屈曲	43.1° (13.7°)	59.2° (14.9°)
伸展	38.1° (10.0°)	35.9° (7.9°)
側屈 制限側	21.5° (9.1°)	20.7° (16.7°)
側屈 非制限側	24.2° (11.9°)	26.4° (19.0°)
回旋 制限側	55.7° (13.5°)	55.3° (10.6°)
回旋 非制限側	59.1° (14.7°)	61.1° (15.3°)

平均(標準偏差).

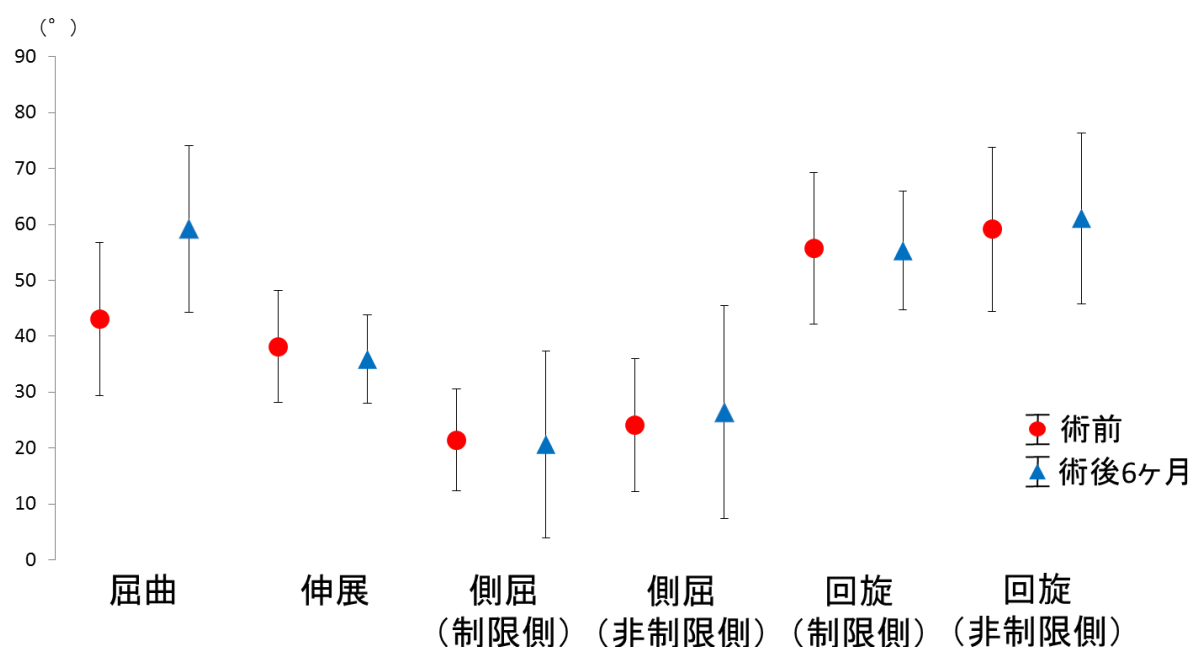


図 40 前方固定術施行患者の体幹頭部 ROM

術前後で ROM に有意な差は認めなかった.

表 49 前方固定術施行患者の頸部頭部 ROM

		患者群 (n = 3)	
		術前	術後
屈曲		37.9° (9.5°)	48.2° (17.0°)
伸展		33.1° (6.0°)	30.7° (7.2°)
側屈	制限側	25.0° (14.1°)	25.0° (22.0°)
側屈	非制限側	27.9° (16.0°)	30.0° (23.5°)
回旋	制限側	55.3° (13.6°)	51.6° (7.6°)
回旋	非制限側	59.5° (16.5°)	57.1° (11.0°)

平均(標準偏差).

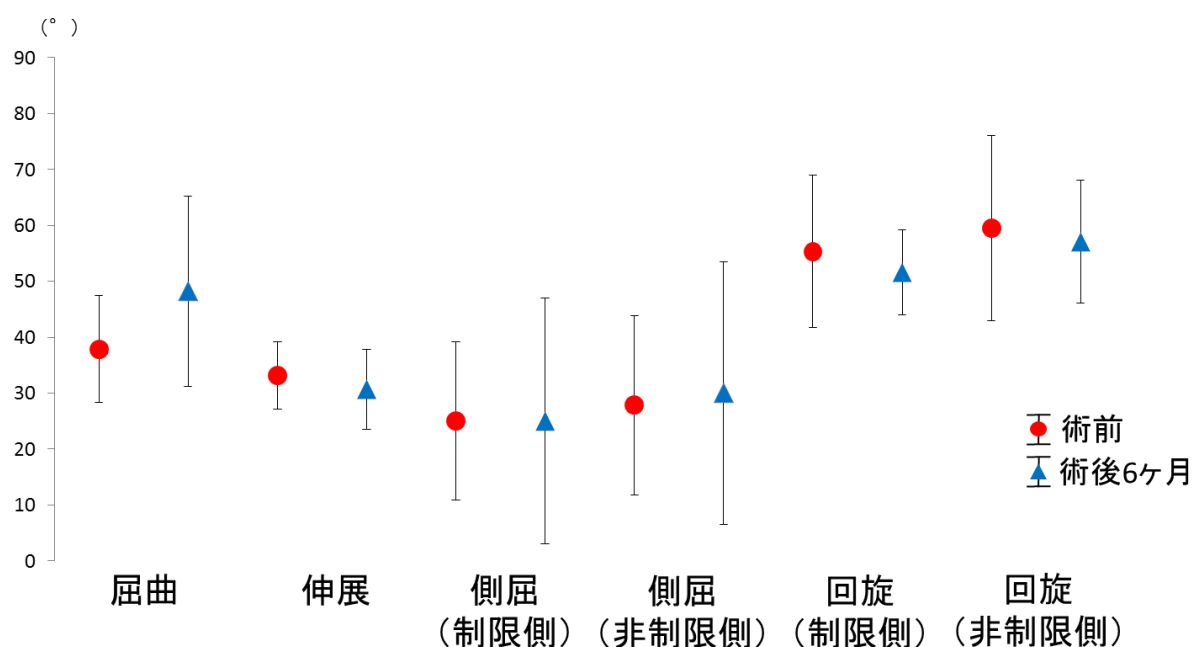


図 41 前方固定術施行患者の頸部頭部 ROM

術前後で ROM に有意な差は認めなかった.

また、各動作の術前後の ROM の差は、体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM とも、術式により違いが見られなかった (表 50, 表 51, 図 42, 図 43).

表 50 術前後の体幹頭部 ROM 変化の術式による比較

	広範囲脊柱管拡大術 施行患者 (n = 4)	局所椎弓切除術 施行患者 (n = 2)	前方固定術 施行患者 (n = 3)
屈曲	3.1° (18.3°)	-8.8° (9.0°)	-16.1° (14.1°)
伸展	-5.3° (11.2°)	-7.5° (5.0°)	2.2° (8.6°)
側屈 制限側	3.3° (0.7°)	7.2° (0.9°)	0.7° (7.8°)
側屈 非制限側	4.3° (2.0°)	6.4° (2.2°)	-2.3° (7.5°)
回旋 制限側	-0.6° (11.4°)	2.8° (7.7°)	0.4° (6.8°)
回旋 非制限側	2.0° (12.6°)	-0.9° (6.1°)	-2.0° (6.2°)

平均(標準偏差). 術前を基準とした, 術後の角度変化.

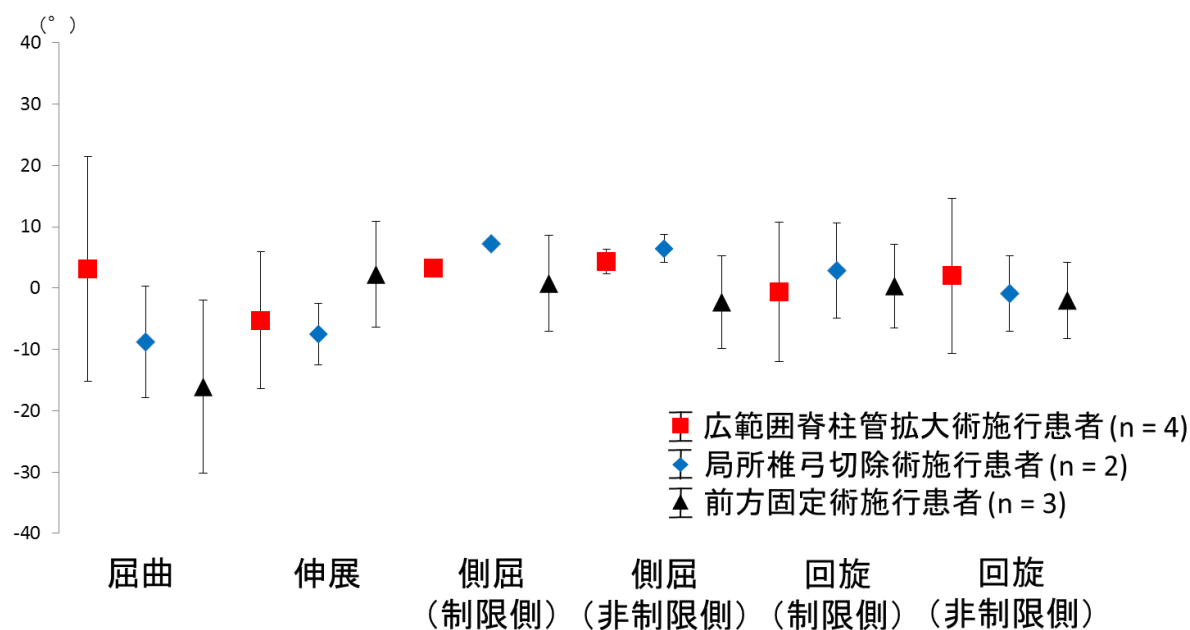


図 42 術前後の体幹頭部 ROM 変化の術式による比較

各動作の術前後の ROM の差は術式による違いが見られなかった.

表 51 術前後の頸部頭部 ROM 変化の術式による比較

	広範囲脊柱管拡大術 施行患者 (n = 4)	局所椎弓切除術 施行患者 (n = 2)	前方固定術 施行患者 (n = 3)
屈曲	4.5° (11.5°)	1.3° (5.5°)	-10.4° (12.6°)
伸展	-3.0° (8.4°)	-1.9° (11.1°)	2.4° (6.5°)
側屈 制限側	1.7° (2.7°)	8.2° (2.4°)	-0.0° (8.7°)
側屈 非制限側	2.8° (4.0°)	5.3° (2.3°)	-2.2° (8.5°)
回旋 制限側	-0.6° (6.7°)	4.2° (9.8°)	3.7° (6.2°)
回旋 非制限側	2.1° (12.0°)	-0.1° (7.2°)	2.4° (5.8°)

平均(標準偏差). 術前を基準とした, 術後の角度変化.

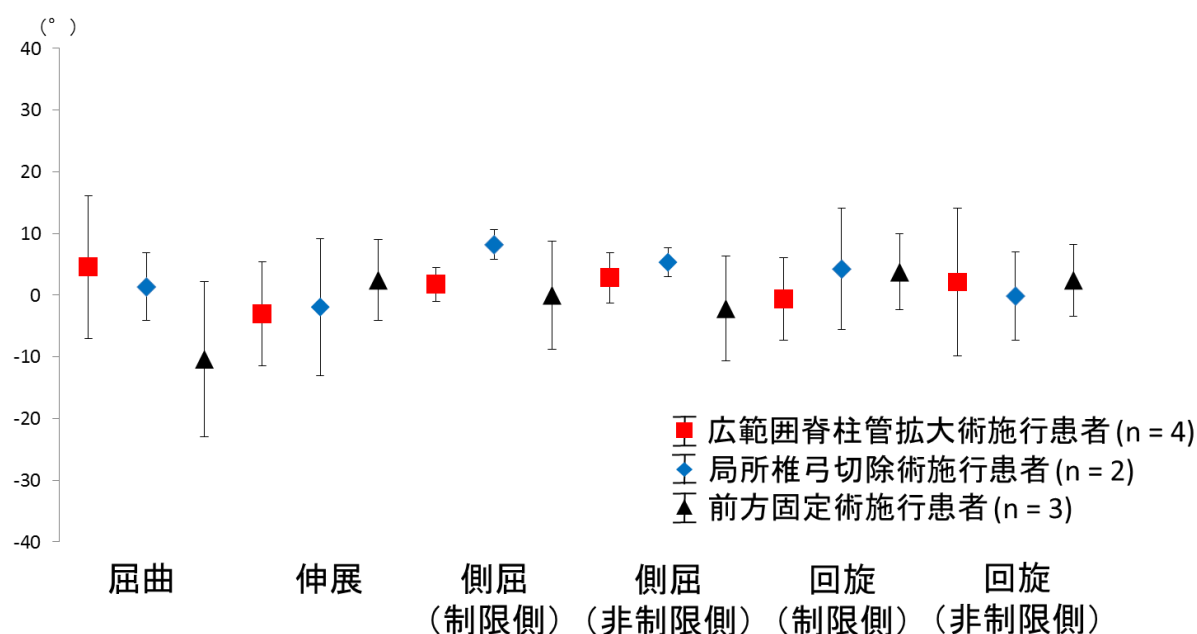


図 43 術前後の頸部頭部 ROM 変化の術式による比較

各動作の術前後の ROM の差は術式による違いが見られなかった.

2.3.3.5 ROM の左右差

体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM について, 側屈・回旋の制限側と非制限側の ROM

の差の大きさについて, 対照群・術前・術後に有意差はなかった (表 52, 図 44).

表 52 全対象者の側屈・回旋時の ROM の左右差

		対照群 (n = 9)	患者群 (n = 9)	
			術前	術後
体幹頭部 ROM	側屈	3.1° (3.0°)	4.5° (4.0°)	5.3° (3.0°)
	回旋	7.1° (4.4°)	4.5° (3.2°)	4.9° (4.1°)
頸部頭部 ROM	側屈	2.6° (2.5°)	4.5° (3.7°)	5.4° (3.2°)
	回旋	6.7° (4.5°)	5.4° (3.4°)	5.5° (4.1°)

平均(標準偏差).

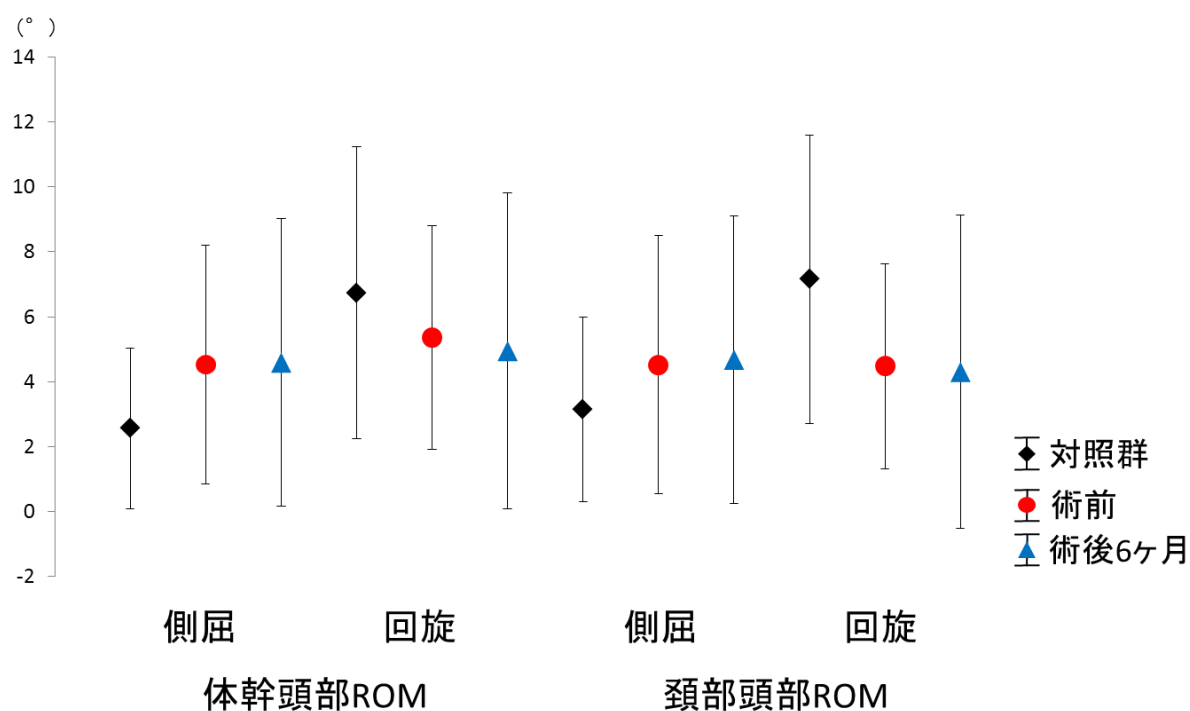


図 44 全対象者の側屈・回旋時の ROM の左右差

側屈・回旋の制限側と非制限側の ROM の差の大きさについて、対照群・術前・術後に有意差はなかった。

2.3.3.6 回転中心

回転中心は、屈曲時は前頸部のおとがいと甲状軟骨下縁の間の高さに存在した。

伸展時は後頸部のおとがいと甲状軟骨下縁の間の高さに存在した。右側屈時はやや右

寄りの甲状軟骨下縁近くの高さに存在した。左側屈時はやや左寄りの甲状軟骨下縁近

くの高さに存在した。右回旋時は前頸部やや右寄りに存在した。左回旋時は前頸部やや左寄りに存在した。屈曲・伸展・左右側屈・左右回旋において、回転中心の位置は対照群・術前・術後とで明らかな差を認めなかった。回転中心は、屈曲と比較し伸展で後方に、右回旋と比較して左回旋では左方にあり、左右側屈では左右差はなかった。術後では右側屈と比較して左側屈で上方にあった（表 53, 表 54, 図 45）。

各動作の術前後の回転中心の位置の変化は、術式により差が見られなかった。

表 53 全対象者の回転中心の位置

			患者群 (n = 9)	
			術前	術後
屈曲	Y	51.8 (38.1–57.9)	38.5 (-45.4–75.2)	45.7 (-19.9–53.6)
	Z	65.3 (58.3–73.7)	68.0 (54.5–84.3)	67.8 (63.1–86.7)
伸展	Y	67.6 (54.1–83.7)*	71.0 (38.6–114.4)*	59.2 (49.6–98.3)*
	Z	65.7 (57.3–75.4)	65.3 (54.8–87.8)	69.7 (57.6–87.0)
右側屈	X	-11.7 (-51.9–20.4)	-9.3 (-103.6–13.5)	-21.5 (-98.8–19.3)
	Z	59.2 (50.9–78.1)	57.5 (31.8–64.5)	57.5 (34.4–71.4)
左側屈	X	19.1 (-34.1–58.2)	17.1 (-119.3–62.6)	12.9 (-74.2–57.3)
	Z	59.1 (49.2–75.3)	59.8 (25.5–67.8)	57.7 (36.6–75.3)†
右回旋	X	-9.1 (-82.3–10.0)	-8.9 (-129.8–10.9)	-3.7 (-113.3–16.4)
	Y	60.0 (41.4–91.2)	49.4 (-108.1–104.2)	52.6 (14.3–71.9)
左回旋	X	14.7 (-0.5–52.3)‡	21.8 (-44.4–64.9)‡	19.2 (-5.0–46.2)‡
	Y	54.5 (35.7–77.7)	40.4 (-118.7–102.7)	54.5 (27.5–81.0)

中央値(最小値–最大値). 胸骨剣状突起を(0, 0, 0)・左後頭部を(100, 100, 100)として, 回転中心の座標を正規化した. *: 屈曲と比較して $P < 0.05$, †: 右側屈と比較して $P < 0.05$, ‡: 右回旋と比較して $P < 0.05$.

表 54 全対象者の安静時のマーカーの位置

胸骨剣状突起	0 (0), 0 (0), 0 (0)
左後頭部	100 (0), 100 (0), 100 (0)
左側頭部	113.3 (21.8), -31.4 (63.2), 115.9 (6.1)
おとがい	-4.7 (31.4), -46.9 (61.4), 72.3 (5.1)
甲状軟骨下縁	-1.2 (21.6), 14.0 (28.4), 57.9 (4.3)
胸骨頸切痕	-0.4 (14.2), 14.0 (19.0), 47.2 (4.7)
第7頸椎	-0.4 (23.1), 123.1 (21.9), 66.9 (6.2)
左肩峰	323.6 (83.0), 60.0 (12.9), 57.8 (7.6)

n = 27. 平均(標準偏差). 胸骨剣状突起を(0, 0, 0)・左後頭部を(100, 100, 100)として, 座標を正規化.

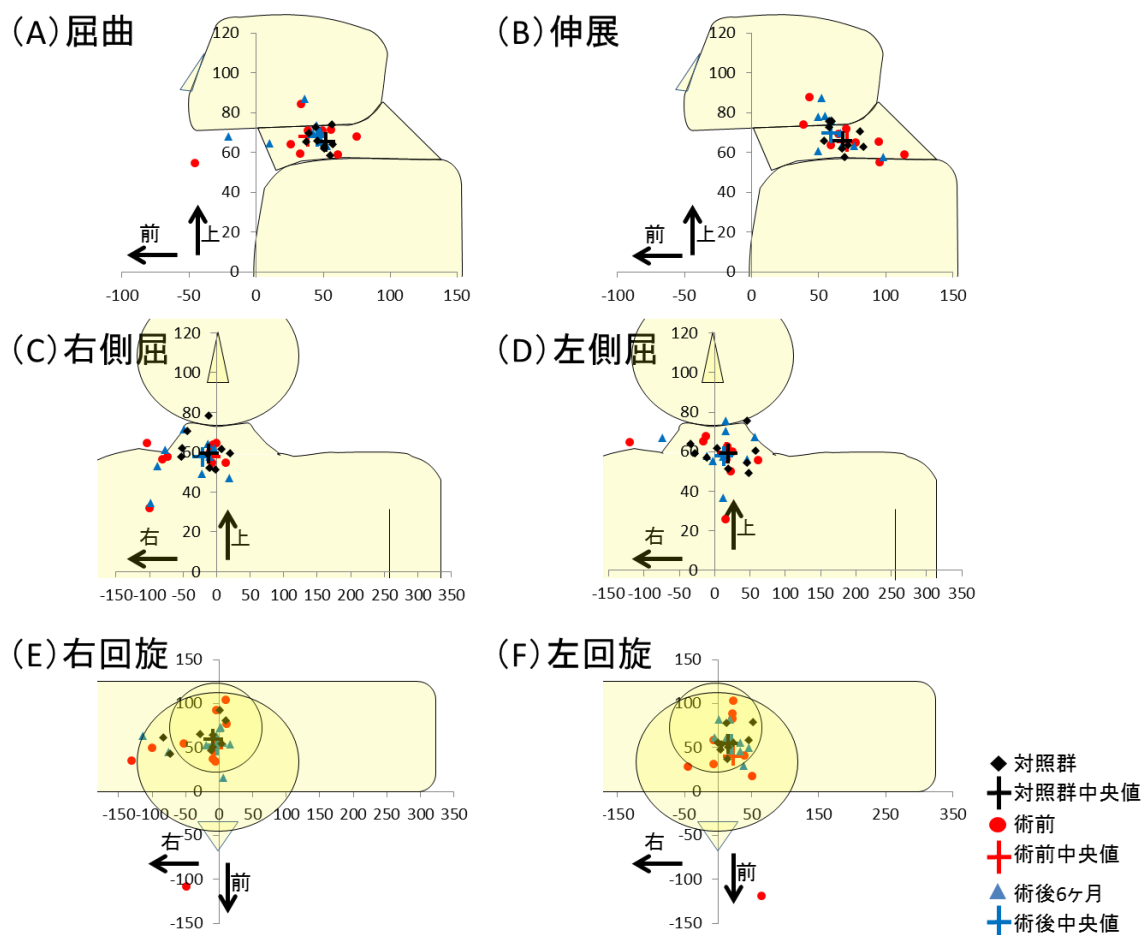


図 45 全対象者の回転中心の位置

個人の体格の影響を補正するために、胸骨剣状突起を原点・左後頭部を(100, 100, 100)として、回転中心の座標を正規化した。全対象者の安静時のマーカ位置から身体の様式図的に示す。(A) 屈曲時は前頸部のおとがいと甲状軟骨下縁の間の高さに存在した。(B) 伸展時は後頸部のおとがいと甲状軟骨下縁の間の高さに存在した。(C) 右側屈時は、やや右寄りの甲状軟骨下縁近くの高さに存在した。(D) 左側屈時は、やや左寄りの甲状軟骨下縁近くの高さに存在した。(E) 右回旋時は前頸部やや右寄りに存在した。(F) 左回旋時は、前頸部やや左寄りに存在した。屈曲・伸展・左右側屈・左右回旋において、回転中心の位置は対照群・術前・術後とで明らかな有意差を認めなかった。回転中心は、屈曲と比較し伸展で後方に、右回旋と比較して左回旋では左方にあり、術後では右側屈と比較して左側屈で上方にあった。対照群・術前後で回転中心の位置に有意な差は認めなかった。屈曲と比較し伸展で後方に、右回旋と比較して左回旋では左方にあり、左右側屈では左右差はなかった。術後では右側屈と比較して左側屈で上方にあった。

2.3.4 考察

本研究の頸椎症性脊髄症患者 9 人の結果から、頸椎症性脊髄症とそれに対する手術による屈曲・伸展・側屈・回旋の ROM の変化、および回転中心の変化を確認した。

本研究の頸椎症性脊髄症患者群では健常者と比べて伸展・側屈・回旋で ROM 制限が見られた（表 42，表 43，図 34，図 35）。変形性頸椎症は、加齢により生じる頸椎疾患の多くを占め、椎間板や椎間関節の変性が生じる(104)。椎間板や椎間関節は、椎骨を連結し、頸椎の可動性に大きく関わっている。変形性頸椎症患者の頸部運動について、X 線を用いた屈曲・伸展運動の研究が多く行われており(65, 66, 105)、特に C6-7 で可動性が低下することが知られている(65, 66)。日常生活において、髭剃り・洗面では側屈 25°，駐車のための後方確認では回旋 90° を必要とする(95, 96)ため、側屈や回旋の ROM を保つことは重要であるが、変形性頸椎症患者の側屈・回旋の ROM に関する研究は少ない。過去に MRI を用いて頸椎症性脊髄症患者で回旋の ROM が低下していた(67)という報告があるが、対照が若年健常者であるため、回旋の ROM の低下の原因に加齢の影響が含まれた可能性がある。本研究では性別・年齢をマッチさせた対照群と比較を行い、頸椎症性脊髄症による側屈・回旋の ROM 低下が確認できた。今後より多くの患者を評価することで、頸部 ROM 測定が診断や重症度判定に役立つ可能性がある。

本研究の頸椎症性脊髄症患者群は、術前後で頸部 ROM に差は認められなかったが、広域の脊柱管拡大術後の患者は術前と比較して制限側・非制限側の側屈の体幹頭

部 ROM が有意に減少していた。(表 42, 表 43, 図 34, 図 35). 頤椎症性脊髄症の手術の目的は神経症状改善・増悪予防であり, ROM の変化は二次的なものであるが, 前述のように頤部 ROM は日常生活動作に関与し, 日常生活動作の障害は患者の生活の質 (quality of life, QOL) の低下につながるおそれがある. 椎弓形成術後に, 単純 X 線を用いた評価で頤部の屈伸の ROM が術前の 25-70%に低下し(106-108), CT を用いた研究で回旋の ROM が低下する傾向がある(109)と過去に報告されている. 前方固定術後にも, 屈伸の ROM が低下することが知られている(110). 術後の屈伸の ROM 制限は安静期間の短縮化・積極的なリハビリテーションで改善するという報告があり(108, 111), 本研究の患者群に対しても術前からのリハビリテーション介入が行われており, その結果, 屈伸のみならず全方向の ROM 制限が手術後に少なかったと考える. 一方, 術前後の ROM の差に術式による違いはなかったものの(表 50, 表 51, 図 42, 図 43), 広域の脊柱管拡大術を行った患者の側屈の体幹頭部 ROM が術後に低下しており(表 44, 図 36), 治療範囲の広さが ROM 低下に関連している可能性がある. 本研究では, 患者数が少なく, また病変部位・治療範囲も様々であるため, 今後患者数を増やし検討していく必要があると考える.

本研究では頤部 ROM として, 体幹を基準にして頭部の移動角度を計算した体幹頭部 ROM と, 頤胸椎移行部を基準にして頭部の移動角度を計算した頤部頭部 ROM を算出したが, 疾患・手術による影響は両者で異なった(表 42-表 45, 図 34-図 37). 加齢に伴う頤椎の変化は, C5-6・C6-7 と下部頤椎で起きやすく(65), 変形性頤椎症の

好発部位は C4-5・C5-6・C6-7 である(62). 過去に, 変形性頸椎症の屈伸動作では C6-7 の ROM が低下し(65, 66), 回旋動作では C5-6・C6-7 の ROM が低下した(67)という報告がある. VICON を用いた運動の評価では, ヒトの体節を変形しないセグメント(剛体)と仮定し, 全身の運動を関節を挟んで骨格系で連結されたセグメントの動きとして計算する, 「剛体モデル」の考えを用いている(2). 本研究では, 頸胸椎移行部 4 箇所(C7・T2 棘突起上および両マーカの間の高さの左右脊柱起立筋上)をセグメントとして考え, このセグメントと頭部皮膚上 4 箇所からなる頭部セグメントとの角度を頸部頭部 ROM の計算に用いている. そのため, 頸部頭部 ROM には変形性頸椎症で影響を受ける下部頸椎の動きは含まれておらず, 術前の患者群と健常群との間で差が出なかったと考える. 広範囲の脊柱管拡大術後前後の側屈動作で, 体幹頭部 ROM のみに有意差があったことは, 更なる検討が必要である. 頸椎の部位によって影響が異なる可能性のある疾患や治療法の評価を行う際は, 体幹頭部 ROM と頸部頭部 ROM の両者を測定することが有用である.

本研究では, 健常群・患者術前・術後とも側屈・回旋の体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM で左右差を認めた(表 42, 表 43, 表 52, 図 34, 図 35, 図 44). 過去に慢性頸部痛を有する患者の回旋動作の左右差についての報告はある(112)が, 側屈・回旋の左右差に関する報告はほとんど認めない. 頸部痛のある患者の後頸部筋に非対称の萎縮があることが知られており(113), 頸部痛などの頸部症状があると ROM の左右差が生じやすい可能性がある. しかし本研究では, 健常群でも側屈・回旋の ROM の左

右差を認めたことから、左右非対称な動きを含む運動や余暇活動などの影響を受ける可能性もある。今後 VICON を用いた詳細な頸部運動評価で、頸部疾患患者のみならず健常者・高齢者の側屈・回旋の左右差を測定し、左右差に影響する因子を調査していくことが重要と考える。

本研究において、体幹頭部 ROM・頸部頭部 ROM のいずれも個人差が大きかった。患者ごとにみると、術前に比べて術後で ROM が低下していることが多かったが、症例 2 のように術後にほとんどの動作の ROM が改善している患者（表 26, 表 27）や症例 4（表 30, 表 31）・6（表 34, 表 35）・8（表 38, 表 39）・9（表 40, 表 41）のように動作によって ROM が改善している患者がいた。頸椎症性脊髄症術後の ROM は一般的に低下することが知られ(108, 109), 原因としては創部の結合組織の癒着や癒着などが考えられる。しかし、安静期間の短縮化・積極的なリハビリテーション介入の増加で、術後の ROM 低下が抑えられ、歴史的にも ROM の低下は少なくなってきた(108, 109)。一方、神経根症状を有する患者の場合、頸部運動や姿勢で痛みやしびれが誘発されるため(60), 術前に頸部運動が制限されていた可能性がある。症例 2 では、手術により神経根症状が改善し痛みやしびれなく頸部運動が可能となり、術前より ROM が増加したと考える。また、手術治療が局所に限定されている場合は、頸部運動時の可動性の大きい部位[屈曲・伸展では後頭下関節(C0-1)と下位頸椎(C4-5, C5-6, C6-7), 側屈では頸椎中央部(C2-3, C3-4, C4-5), 回旋では環軸関節(C1-2) (1-3)]の動きが保たれている可能性がある。今後、症例を増やすことで、ROM 制限をきた

しやすい変形性頸椎症・手術の種類を明らかにできると考える。

頸部運動の回転中心は、頸椎症性脊髄症患者と健常者とで大きく変わらず、術前後でも大きな変化は認めなかった（表 53, 図 45）ことから、頸椎症性脊髄症およびその手術は運動パターンの変化をきたすのではなく、運動範囲のみに影響を与える可能性があるという推測する。脊椎運動の回転中心については、腰椎で多くの研究が行われ(43-46), 頸椎では交通事故による頸椎捻挫の発症メカニズムと関連して研究が行われてきた(49, 50)。腰椎すべり症において、回転中心の位置の変化の大きさと疾患の重症度の関連が指摘されており(43-46), 運動パターンの変化は疾患発症・増悪のメカニズムと重要な関連がある。頸部屈曲・伸展などの一般的な頸部運動時の回転中心の研究の多くは *in vitro*(114)や死体を用いて(115)行われ、*in vivo* では単純 X 線を用いて行われている(52, 68)。回転中心算出時の問題点として、個々の椎間や細かい角度変化に注目すると誤差が大きくなってしまう(53, 54)。そのため、頸椎では、個々の椎体ではなく頸部全体に着目し、動作開始時・終了時から回転中心を計算する手法がとられている(51)。頸椎症性脊髄症患者については、安静・屈曲・伸展の単純 X 線から回転中心を計算し、健常群と有意差を認めなかったという報告(55)や伸展時に健常者より回転中心が前方にあるという報告(51)がある。本研究では、回転中心の位置が三群で差がなかったことから、変形性頸椎症患者およびその手術は頸部の運動パターンではなく、運動範囲の変化と関連がある可能性があるという仮説が考えられる。なお、本研究では個人の体格の影響を補正するために、胸骨剣状突起・左後頭部の座標を基準に、回転

中心などの座標を正規化した。しかし、安静時の姿勢には個人差があり、正規化の際に生じた個人差の影響で、回転中心の位置にばらつきが生じた可能性もある。今後、位置座標の補正について、検討を続ける必要がある。また、本研究では個々の動作中に回転中心が変化しないという前提で回転中心を算出しているが、本研究の屈曲伸展・左右回旋の回転中心が異なることから、回転中心は動作中に連続的に移動している可能性があり、今後の更なる解析が必要である。

本研究は、頸椎症性脊髄症患者 9 人の術前後と対照群 9 人の頸部運動評価をまとめたもので、頸椎症性脊髄症患者の病変部位・治療方法は多様であった。そのため、本研究の結果が頸椎症性脊髄症患者全体に一般化できるか、今後患者数を増やして検討する必要がある。また、患者数を増やし病変部位や治療方法ごとの群間比較を行っていくことで、治療選択や術前の患者への説明などに対して臨床的な提言ができると考える。また、術前後の患者の症状と本研究の運動学的データを比較することで、ROM 訓練などのリハビリテーション内容に新たな提言を加えられるかもしれない。

2.3.5 研究 3 のまとめ

三次元動作解析装置 VICON を用いて、頸椎症性脊髄症患者の術前後の頸部運動を詳細に測定した結果、ROM については、健常群より伸展・側屈・回旋で制限が見られ、術前後では差が見られなかった。回転中心の位置は健常群と有意差がなかった。変形性頸椎症およびその手術は、運動パターンの変化ではなく、運動範囲と関連があ

るという仮説をたてられる可能性があると推測する.

3 総合考察

本研究で、われわれが開発した三次元動作解析装置 VICON を用いた頸部運動の測定方法は、高い妥当性・再現性を持ち、若年者や神経症状の少ない疾患の患者のみでなく、高齢者や神経症状を有する疾患患者にも用いることができ、臨床的に有用であることが確認できた。研究 1 で、VICON と CROM 装置で頸部 ROM を測定した結果、屈曲・伸展・側屈・回旋のいずれの動作でも高い妥当性と再現性を得ることができ、VICON で頸部運動を精確に測定できることを立証した。研究 2 で、成人筋性斜頸患者の頸部運動を測定し、手術による安静時斜頸位・ROM 制限の改善と随伴動作の変化を確認した。研究 3 では、頸椎症性脊髄症患者の頸部運動を測定し、疾患や治療により ROM 制限を認めることと運動の回転中心が健常群・手術前後で変化がないことを確認した。頸部は、情報収集・発信機能を持つ頭部と、物質操作を行う上肢・移動を担う下肢を連結している体幹の間をつないでいる。そのため、日常生活で多方向からの外部情報を収集・処理しながら場に即した運動を行うために、頸部の ROM を保つことは重要である。しかし、頸部は、ROM 測定のための軸が取りづらく、複合的な動きをとるため、既存の計測方法では自然な動作の精確な評価が困難であった。本研究で開発した測定方法は、マーカを貼付すれば測定空間内での頸部運動を侵襲なく測定できるため、日常生活での複雑な頸部の動きを評価したり、視覚的刺激と組み合わせるなどの情報処理を行いながらの頸部運動の評価が可能であると考えらる。

VICON による頸部運動計測は、他の計測方法と異なる利点・欠点を有するため、

特性を加味して用いることで臨床的意義を高めることができると考える。頸部運動評価には単純 X 線が広く用いられる(7-10)が、被ばくを伴うため連続撮影などを検討する際は評価時間が制限され、また撮影装置内での限定された姿勢のみを評価している。また、単純 X 線を用いた頸部 ROM 測定では、頸部回旋を評価するための特定の撮影体位がなく、屈伸・側屈の ROM のみが評価されることが多かった。VICON を用いると、被ばくのリスクなく、撮影装置の環境に制限されない自由な動作で、回旋動作を含めた ROM を三次元的に評価できることが本研究でわかった。さらに複数のマーカの位置情報が詳細かつ連続的に集積されるため、安静姿勢のような微細な姿勢変化を捉えたり、回転中心のように運動学的な解析も可能である。本法の欠点として、一つ目に計測区域の設定がある。VICON はカメラで捕捉したマーカの位置情報を有線で PC に送っているため、カメラおよび PC がある空間（本研究では東京大学医学部附属病院リハビリテーション部運動療法室内）でのみ計測が可能である。そのため、研究参加者は計測のために来院する必要がある。二つ目に、参加者は計測区域での移動が自立し、検者からの指示を理解し実行できなくてはならない。VICON システムではカメラから照射しマーカで反射した赤外線を利用してマーカの位置情報を捕捉するため、介助者や介助物がカメラと参加者の間に入ると、マーカが隠れてしまいその部分の測定ができない。また、本研究では、より詳細なデータをとるために、参加者が座る台に近接してカメラを設置しており、車いすなどを横付けすることが困難で、参加者自身が歩行で台まで移動する必要がある。さらに、指示動作の遂行など、検者か

らの指示を参加者が理解し実行できる必要があるため、重度の認知症を有する患者や乳幼児は本研究で用いた測定方法は実施困難である。今後、頸部疾患や全身疾患を有する患者の計測を進めて行く場合、移動能力や認知機能の低い患者が対象となる可能性もあり、その際はカメラ位置の再設定や動作指示を簡略化などを検討する必要がある。三つ目に、参加者の計測時の負担も考慮する必要がある。VICON の計測時、洋服 - 皮膚間のずれを少なくするために被験者はマーカ貼付部位の皮膚を露出する必要がある。また、身体のランドマークを触診しマーカを貼付するため、時間がかかり、参加者に接触による精神的ストレスがかかる可能性がある。さらに、計測動作時に転倒や頸部症状を誘発する可能性は否定できない。本研究では、計測空間を衝立やカーテンを用いて遮閉し、外部から計測空間が見えないようにした。また、貼付マーカ数を最小限にすることで患者ストレスを減らすとともに、女性参加者についてはマーカの貼り付けは女性検者が行った。さらに、複数の検者で計測を実施し、計測動作時の異常時に即座に対応できるようにした。最後に、マーカの位置情報は 100 Hz の頻度で 1 mm の細かさで取り込まれるため、それを数値化し角度計算するなどの解析に時間を要する。そのため、計測直後に計測結果を活かした説明や治療などが困難であるため、臨床応用の場が限られる。参加者を慎重に選択し、即時的な対応が必要な患者には簡易な測定法を併用することで、臨床場面での対応を考慮しつつ有意義なデータをとることができると思う。

本研究で開発した測定方法を利用することで、今後更なる研究が可能と考える。

まず、本測定方法では、複合的な運動の測定が三次元的に可能であるため、屈曲・伸展・側屈・回旋という単純な運動のみでなく、日常生活動作中などの複雑な頸部運動も評価できる。第二に、微細な変化も捕捉できることから、頸部疾患の手術やリハビリテーションなどの介入による治療効果の評価に用いることができると考える。第三に、頸部疾患のみならず全身性疾患の患者の頸部運動を評価することで、日常生活動作や頸部以外の身体機能との関連を評価できる可能性がある。例えば、頸部運動障害を有する患者に、本研究を用いた頸部運動評価を行い、同時に日常生活動作の困難感を調査することで、両者の関連を確認できると考える。また、頸部 ROM 訓練は嚥下障害患者のリハビリテーションとして推奨されている(89)が、その有効性やメカニズムは確認されていないため、本研究で開発した測定方法による詳細な評価が役立つ可能性がある。最後に、本研究で開発した三次元動作解析法による頸部運動評価に筋電図を用いた頸部筋群の活動評価を追加することで、運動力学的な分析が可能となり、複数の筋が関わっている頸部運動のメカニズムをより精確に評価できると考える。

4 引用文献

1. Ortis C, editor. オーチスのキネシオロジー 身体運動の力学と病態力学.山崎 敦, 佐藤 俊輔, 白星 伸一, 藤川 孝満 訳. 329-331, 480-545. 2012.
2. 中村 隆一,齋藤 宏,長崎 浩.基礎運動学. 18, 29-33, 261-274. 2003.
3. White AA 3rd, Panjabi MM. The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. Spine (Phila Pa 1976). 3(1):12-20. 1978.
4. 米本 恭三,石神 重信,石田 暉,岩谷 力,西村 尚志,宮野 佐年 編. リハビリテーションにおける評価 Ver.2. 57-68. 2006.
5. 千野 直一 編. 現代リハビリテーション医学.132. 2004.
6. 米本 恭三,石神 重信,近藤 徹. 関節可動域表示ならびに測定法. リハビリテーション医学. 32(4):207-17. 1995.
7. Tousignant M, Duclos E, Lafleche S, Mayer A, Tousignant-Laflamme Y, Brosseau L, O'Sullivan JP. Validity study for the cervical range of motion device used for lateral flexion in patients with neck pain. Spine (Phila Pa 1976). 27(8):812-7. 2002.

8. Tousignant M, de Bellefeuille L, O'Donoghue S, Grahovac S. Criterion validity of the cervical range of motion (CROM) goniometer for cervical flexion and extension. *Spine (Phila Pa 1976)*. 25(3):324-30. 2002.
9. Strimpakos N, Sakellari V, Gioftsos G, Papathanasiou M, Brountzos E, Kelekis D, Kapreli E, Oldham J. Cervical spine ROM measurements: Optimizing the testing protocol by using a 3D ultrasound-based motion analysis system. *Cephalalgia*. 25(12):1133-45. 2005.
10. Ordway NR, Seymour R, Donelson RG, Hojnowski L, Lee E, Edwards WT. Cervical sagittal range-of-motion analysis using three methods. cervical range-of-motion device, 3space, and radiography. *Spine (Phila Pa 1976)*. 22(5):501-8. 1997.
11. Youdas JW, Carey JR, Garrett TR. Reliability of measurements of cervical spine range of motion--comparison of three methods. *Phys Ther*. 71(2):98-106. 1991.
12. Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther*. 33(2):138-55. 2010.
13. Petersen CM, Johnson RD, Schuit D. Reliability of cervical range of motion using the OSI CA 6000 spine motion analyser on asymptomatic and symptomatic subjects. *Man Ther*. 5(2):82-8. 2000.

14. Lantz CA, Chen J, Buch D. Clinical validity and stability of active and passive cervical range of motion with regard to total and unilateral uniplanar motion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 24(11):1082-9. 1999.
15. Tousignant M, Boucher N, Bourbonnais J, Gravelle T, Quesnel M, Brosseau L. Intratester and intertester reliability of the cybex electronic digital inclinometer (EDI-320) for measurement of active neck flexion and extension in healthy subjects. *Man Ther*. 6(4):235-41. 2001.
16. Hoving JL, Pool JJ, van Mameren H, Deville WJ, Assendelft WJ, de Vet HC, de Winter AF, Koes BW, Bouter LM. Reproducibility of cervical range of motion in patients with neck pain. *BMC Musculoskelet Disord*. 6:59. 2005.
17. Amiri M, Jull G, Bullock-Saxton J. Measuring range of active cervical rotation in a position of full head flexion using the 3D fastrak measurement system: An intra-tester reliability study. *Man Ther*. 8(3):176-9. 2003.
18. Jordan K, Dziedzic K, Jones PW, Ong BN, Dawes PT. The reliability of the three-dimensional FASTRAK measurement system in measuring cervical spine and shoulder range of motion in healthy subjects. *Rheumatology (Oxford)*. 39(4):382-8. 2000.

19. Jordan K, Haywood KL, Dziedzic K, Garratt AM, Jones PW, Ong BN, Dawes PT.

Assessment of the 3-dimensional fastrak measurement system in measuring range of motion in ankylosing spondylitis. *J Rheumatol.* 31(11):2207-15. 2004.

20. Morphett AL, Crawford CM, Lee D. The use of electromagnetic tracking technology for measurement of passive cervical range of motion: A pilot study. *J Manipulative Physiol Ther.* 26(3):152-9. 2003.

21. Assink N, Bergman GJ, Knoester B, Winters JC, Dijkstra PU, Postema K. Interobserver reliability of neck-mobility measurement by means of the flock-of-birds electromagnetic tracking system. *J Manipulative Physiol Ther.* 28(6):408-13. 2005.

22. Cagnie B, Cools A, De Loose V, Cambier D, Danneels L. Reliability and normative database of the zebris cervical range-of-motion system in healthy controls with preliminary validation in a group of patients with neck pain. *J Manipulative Physiol Ther.* 30(6):450-5. 2007.

23. Youdas JW, Garrett TR, Suman VJ, Bogard CL, Hallman HO, Carey JR. Normal range of motion of the cervical spine: An initial goniometric study. *Phys Ther.* 72(11):770-80. 1992.

24. Wibault J, Vaillant J, Vuillerme N, Dederling A, Peolsson A. Using the cervical range of motion (CROM) device to assess head repositioning accuracy in individuals with cervical radiculopathy in comparison to neck- healthy individuals. *Man Ther.* 18(5):403-9. 2013.
25. Audette I, Dumas JP, Cote JN, De Serres SJ. Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device. *J Orthop Sports Phys Ther.* 40(5):318-23. 2010.
26. Hole DE, Cook JM, Bolton JE. Reliability and concurrent validity of two instruments for measuring cervical range of motion: Effects of age and gender. *Man Ther.* 1(1):36-42. 1995.
27. Ferrari A, Benedetti MG, Pavan E, Frigo C, Bettinelli D, Rabuffetti M, Crenna P, Leardini A. Quantitative comparison of five current protocols in gait analysis. *Gait Posture.* 28(2):207-16. 2008.
28. 江原 義弘. 使いたい VICON. *バイオメカニズム学会誌.* 32(2):107-11. 2008.
29. Chiari L, Della Croce U, Leardini A, Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. part 2: Instrumental errors. *Gait Posture.* 21(2):197-211. 2005.
30. Wright CJ, Arnold BL, Coffey TG, Pidcoe PE. Repeatability of the modified oxford foot model during gait in healthy adults. *Gait Posture.* 33(1):108-12. 2011.

31. Curtis DJ, Bencke J, Stebbins JA, Stansfield B. Intra-rater repeatability of the oxford foot model in healthy children in different stages of the foot roll over process during gait. *Gait Posture*. 30(1):118-21. 2009.
32. Frey M, Jenny A, Giovanoli P, Stussi E. Development of a new documentation system for facial movements as a basis for the international registry for neuromuscular reconstruction in the face. *Plast Reconstr Surg*. 93(7):1334-49. 1994.
33. Gutierrez-Farewik EM, Bartonek A, Saraste H. Comparison and evaluation of two common methods to measure center of mass displacement in three dimensions during gait. *Hum Mov Sci*. 25(2):238-56. 2006.
34. Orendurff MS, Segal AD, Klute GK, Berge JS, Rohr ES, Kadel NJ. The effect of walking speed on center of mass displacement. *J Rehabil Res Dev*. 41(6A):829-34. 2004.
35. Tojima M, Ogata N, Yozu A, Sumitani M, Haga N. Novel 3-dimensional motion analysis method for measuring the lumbar spine range of motion: Repeatability and reliability compared with an electrogoniometer. *Spine (Phila Pa 1976)*. 38(21):E1327-33. 2013.
36. 星川 健, 国分 正一, 相澤 俊峰, 田中 靖久, 北 純. 【斜頸治療の検証と展望】
筋性斜頸成長終了例と胸鎖乳突筋筋腹切離術. *整形・災害外科*. 48(3):233-9. 2005.

37. Lee JY, Koh SE, Lee IS, Jung H, Lee J, Kang JI, Bang H. The cervical range of motion as a factor affecting outcome in patients with congenital muscular torticollis. *Ann Rehabil Med.* 37(2):183-90. 2013.
38. Loudon JK, Ruhl M, Field E. Ability to reproduce head position after whiplash injury. *Spine (Phila Pa 1976).* 15;22(8):865-8. 1997.
39. Armstrong BS, McNair PJ, Williams M. Head and neck position sense in whiplash patients and healthy individuals and the effect of the cranio-cervical flexion action. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 20(7):675-84. 2005.
40. Treleaven J, Jull G, Sterling M. Dizziness and unsteadiness following whiplash injury: Characteristic features and relationship with cervical joint position error. *J Rehabil Med.* 35(1):36-43. 2003.
41. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, Kenardy J, Darnell R. Development of motor system dysfunction following whiplash injury. *Pain.* 103(1-2):65-73. 2003.
42. Mateo S, Roby-Brami A, Reilly KT, Rossetti Y, Collet C, Rode G. Upper limb kinematics after cervical spinal cord injury: A review. *J Neuroeng Rehabil.*;12:9. 2015.
43. Pearcy MJ, Bogduk N. Instantaneous axes of rotation of the lumbar intervertebral joints. *Spine (Phila Pa 1976).* 13(9):1033-41. 1988.

44. Sakamaki T, Katoh S, Sairyo K. Normal and spondylolytic pediatric spine movements with reference to instantaneous axis of rotation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 27(2):141-5. 2002.
45. Haer TR, Bergman M, O'Brien M, Felmly WT, Choueka J, Welin D, Chow G, Vassiliou A. The effect of the three columns of the spine on the instantaneous axis of rotation in flexion and extension. *Spine (Phila Pa 1976)*. 16(8 Suppl):S312-8. 1991.
46. 渡部 貴大, 榊原 紀彦, 王 卓, 笠井 裕一, 吉川 高正, 加藤 貴也, 稲葉 忠司. 回旋運動による機能的脊椎単位の回転中心の変化. *臨床バイオメカニクス*. 11;34:47-52. 2013.
47. Sairyo K, Goel VK, Masuda A, Vishnubhotla S, Faizan A, Biyani A, Ebraheim N, Yonekura D, Murakami R, Terai T. Three dimensional finite element analysis of the pediatric lumbar spine. part II: Biomechanical change as the initiating factor for pediatric isthmic spondylolisthesis at the growth plate. *Eur Spine J*. 15(6):930-5. 2006.
48. Koga Y. Three-dimensional motion analysis and its application in total knee arthroplasty: What we know, and what we should analyze. *J Orthop Sci*. 20(2):239-49. 2015.
49. Bogduk N, Yoganandan N. Biomechanics of the cervical spine part 3: Minor injuries. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 16(4):267-75. 2001.

50. Kaneoka K, Ono K, Inami S, Hayashi K. Motion analysis of cervical vertebrae during whiplash loading. *Spine (Phila Pa 1976)*.;24(8):763-770. 1999.
51. Lee SW, Draper ER, Hughes SP. Instantaneous center of rotation and instability of the cervical spine. A clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 22(6):641-8. 1997.
52. Amevo B, Aprill C, Bogduk N. Abnormal instantaneous axes of rotation in patients with neck pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 17(7):748-56. 1992.
53. Panjabi MM. Point of view. *Spine*. 22(6):647-8. 1997.
54. Fuss FK. Sagittal kinematics of the cervical spine--how constant are the motor axes? *Acta Anat (Basel)*. 141(1):93-6. 1991.
55. Bechara BP, Bell KM, Hartman RA, Lee JY, Kang JD, Donaldson WF. In vivo analysis of cervical range of motion after 4- and 5-level subaxial cervical spine fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 37(1):E23-9. 2012.
56. 遠藤 裕介, 三谷 茂. 【小児の整形外科疾患】 頸部・脊柱 先天性筋性斜頸および斜頸位を呈する疾患. *小児科診療*. 69(9):1319-25. 2006.
57. 越智 隆 編. 小児整形外科<NEW MOOK 整形外科 No.15>. 34-41. 2004.

58. 中田 いづみ, 大塚 稔, 林 宏, 新堀 浩志, 松谷 暁, 松岡 理恵, 吉本 誠吾. 成人斜頸の治療経験の 1 例. 整形外科. 63(13):1347-9. 2012.
59. 稲田 充. 【斜頸の診断および治療法 最新の考え方】 成人筋性斜頸の観血的治療の経験. 骨・関節・靱帯. 18(1):33-6. 2005.
60. 中村 耕三 監修. 肩こり・頸部痛クニカルプラクティス. 8-13, 104-111. 2011.
61. 内閣府 平成 26 年度版高齢社会白書. 高齢化の現状と将来像 Available from URL: http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2014/zenbun/s1_1_1.html (2015 年 11 月 11 日引用).
62. 岩崎 幹季 著. 脊椎脊髓病学. 123－145. 2010.
63. Turel MK, Sarkar S, Prabhu K, Daniel RT, Jacob KS, Chacko AG. Reduction in range of cervical motion on serial long-term follow-up in patients undergoing oblique corpectomy for cervical spondylotic myelopathy. Eur Spine J. 22(7):1509-16. 2013.
64. Vedantam A, Revanappa KK, Rajshekhar V. Changes in the range of motion of the cervical spine and adjacent segments at ≥ 24 months after uninstrumented corpectomy for cervical spondylotic myelopathy. Acta Neurochir (Wien). 153(5):995-1001. 2011.

65. Dvorak J, Panjabi MM, Grob D, Novotny JE, Antinnes JA. Clinical validation of functional flexion/extension radiographs of the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 18(1):120-7. 1993.
66. Cheng JS, Liu F, Komistek RD, Mahfouz MR, Sharma A, Glaser D. Comparison of cervical spine kinematics using a fluoroscopic model for adjacent segment degeneration. invited submission from the joint section on disorders of the spine and peripheral nerves, march 2007. *J Neurosurg Spine*. 7(5):509-13. 2007.
67. Nagamoto Y, Ishii T, Sakaura H, Iwasaki M, Moritomo H, Kashii M, Hattori T, Yoshikawa H, Sugamoto K. In vivo three-dimensional kinematics of the cervical spine during head rotation in patients with cervical spondylosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 36(10):778-83. 2011.
68. Rong X, Gong Q, Liu H, Hong Y, Lou J, Wu W, Meng Y, Chen H, Song Y. The effect of deviated center of rotation on flexion-extension range of motion after single-level cervical arthroplasty: An in vivo study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 39(26 Spec No.):B12-8. 2014.
69. Tousignant M, de Bellefeuille L, O'Donoghue S, Grahovac S. Criterion validity of the cervical range of motion (CROM) goniometer for cervical flexion and extension. *Spine (Phila Pa 1976)*. 25(3):324-30. 2000.

70. Bland JM, Altman DG. Agreed statistics: Measurement method comparison. *Anesthesiology*. 116(1):182-5. 2012.
71. Stratford PW, Goldsmith CH. Use of the standard error as a reliability index of interest: An applied example using elbow flexor strength data. *Phys Ther*. 77(7):745-50. 1997.
72. Beaton DE, Bombardier C, Katz JN, Wright JG. A taxonomy for responsiveness. *J Clin Epidemiol*. 54(12):1204-17. 2001.
73. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33(1):159-74. 1977.
74. Bennett JG, Bergmanis LE, Carpenter JK, Skowlund HV. Range of motion of the neck. *J Am Phys Ther Assoc*. 43:45-7. 1963.
75. Buck CA, Dameron FB, Dow MJ, Skowlund HV. Study of normal range of motion in the neck utilizing a bubble goniometer. *Arch Phys Med Rehabil*. 40:390-2. 1959.
76. McClure P, Siegler S, Nobilini R. Three-dimensional flexibility characteristics of the human cervical spine in vivo. *Spine (Phila Pa 1976)*. 23(2):216-23. 1998.

77. Agarwal S, Allison GT, Singer KP. Reliability of the spin-T cervical goniometer in measuring cervical range of motion in an asymptomatic indian population. *J Manipulative Physiol Ther.* 28(7):487-92. 2005.
78. Haynes MJ, Edmondston S. Accuracy and reliability of a new, protractor-based neck goniometer. *J Manipulative Physiol Ther.* 25(9):579-86. 2002.
79. Inokuchi H, Tojima M, Mano H, Ishikawa Y, Ogata N, Haga N. Neck range of motion measurements using a new three-dimensional motion analysis system: Validity and repeatability. *Eur Spine J.* 2015 Apr 7
80. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, Kenardy J. Characterization of acute whiplash-associated disorders. *Spine (Phila Pa 1976).* 29(2):182-8. 2004.
81. Kasch H, Bach FW, Jensen TS. Handicap after acute whiplash injury: A 1-year prospective study of risk factors. *Neurology.* 56(12):1637-43. 2001.
82. Dvorak J, Antinnes JA, Panjabi M, Loustalot D, Bonomo M. Age and gender related normal motion of the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 17(10 Suppl):S393-8. 1992.
83. Miyazaki M, Hong SW, Yoon SH, Zou J, Tow B, Alanay A, Abitbol JJ, Wang JC. Kinematic analysis of the relationship between the grade of disc degeneration and motion unit of the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 33(2):187-93. 2008.

84. Lind B, Sihlbom H, Nordwall A, Malchau H. Normal range of motion of the cervical spine. *Arch Phys Med Rehabil.* 70(9):692-5. 1989.
85. Kuhlman KA. Cervical range of motion in the elderly. *Arch Phys Med Rehabil.* 74(10):1071-9. 1993.
86. Malmstrom EM, Karlberg M, Melander A, Magnusson M. Zebris versus myrin: A comparative study between a three-dimensional ultrasound movement analysis and an inclinometer/compass method: Intradevice reliability, concurrent validity, intertester comparison, intratester reliability, and intraindividual variability. *Spine (Phila Pa 1976).* 28(21):E433-40. 2003.
87. Mannion AF, Klein GN, Dvorak J, Lanz C. Range of global motion of the cervical spine: Intraindividual reliability and the influence of measurement device. *Eur Spine J.* 9(5):379-85. 2000.
88. Hislop, H, Montgomery, J 著. 新・徒手筋力検査法. 第8版. 津山 直一, 中村 耕三 訳. 25-33. 2008.
89. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 訓練法のまとめ（改訂2010）. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌. 14(3):644-63. 2010.

90. Lewin JS, Hebert TM, Putnam JB Jr, DuBrow RA. Experience with the chin tuck maneuver in postesophagectomy aspirators. *Dysphagia*. 16(3):216-9. 2001.
91. Okada S, Saitoh E, Palmer JB, Matsuo K, Yokoyama M, Shigeta R, Baba M. What is the chin-down posture? A questionnaire survey of speech language pathologists in Japan and the united states. *Dysphagia*. 22(3):204-9. 2007.
92. Ippolito E, Tudisco C. Idiopathic muscular torticollis in adults. results of open sternocleidomastoid tenotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 105(1):49-54. 1986.
93. 南谷 和仁, 井上 明生, 三宮 貴彦. 放置された筋性斜頸. 日本小児整形外科学会雑誌. 8(2):170-4. 1999.
94. Armstrong B, McNair P, Taylor D. Head and neck position sense. *Sports Med*. 38(2):101-17. 2008.
95. Bennett SE, Schenk RJ, Simmons ED. Active range of motion utilized in the cervical spine to perform daily functional tasks. *J Spinal Disord Tech*. 15(4):307-11. 2002.
96. Bible JE, Biswas D, Miller CP, Whang PG, Grauer JN. Normal functional range of motion of the cervical spine during 15 activities of daily living. *J Spinal Disord Tech*. 23(1):15-21. 2010.

97. Yuan B, Qu F, Zhao G, Wang J, Shen X, Liu Y. Arthroscopic surgical treatment for neglected congenital muscular torticollis in adults. *J Craniofac Surg.* 26(2):512-5. 2015.
98. Cheng JC, Tang SP. Outcome of surgical treatment of congenital muscular torticollis. *Clin Orthop Relat Res.* (362):190-200. 1999.
99. Lim KS, Shim JS, Lee YS. Is sternocleidomastoid muscle release effective in adults with neglected congenital muscular torticollis? *Clin Orthop Relat Res.* 472(4):1271-8. 2014.
100. Ippolito E, Tudisco C, Massobrio M. Long-term results of open sternocleidomastoid tenotomy for idiopathic muscular torticollis. *J Bone Joint Surg Am.* 67(1):30-8. 1985.
101. Canale ST, Griffin DW, Hubbard CN. Congenital muscular torticollis. A long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 64(6):810-6. 1982.
102. Sonmez K, Turkyilmaz Z, Demirogullari B, Ozen IO, Karabulut R, Bagbanci B, Basaklar AC, Kale N. Congenital muscular torticollis in children. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 67(6):344-7. 2005.
103. Chen CE, Ko JY. Surgical treatment of muscular torticollis for patients above 6 years of age. *Arch Orthop Trauma Surg.* 120(3-4):149-51. 2000.

104. Shedid D, Benzel EC. Cervical spondylosis anatomy: Pathophysiology and biomechanics. *Neurosurgery*. 60(1 Suppl 1):S7-13. 2007.
105. Holmes A, Wang C, Han ZH, Dang GT. The range and nature of flexion-extension motion in the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 19(22):2505-10. 1994.
106. Kawaguchi Y, Kanamori M, Ishihara H, Ohmori K, Nakamura H, Kimura T. Minimum 10-year followup after en bloc cervical laminoplasty. *Clin Orthop Relat Res*. (411):129-39. 2003.
107. Hyun SJ, Rhim SC, Roh SW, Kang SH, Riew KD. The time course of range of motion loss after cervical laminoplasty: A prospective study with minimum two-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 34(11):1134-9. 2009.
108. Machino M, Yukawa Y, Hida T, Ito K, Nakashima H, Kanbara S, Morita D, Kato F. Cervical alignment and range of motion after laminoplasty: Radiographic data from over 500 cases with cervical spondylotic myelopathy and a review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 37(20):E1243-50. 2012.
109. Nagamoto Y, Iwasaki M, Sugiura T, Fujimori T, Matsuo Y, Kashii M, Sakaura H, Ishii T, Murase T, Yoshikawa H, Sugamoto K. In vivo 3D kinematic changes in the cervical spine

after laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg Spine*. 21(3):417-24.

2014.

110. Liu F, Cheng J, Komistek RD, Mahfouz MR, Sharma A. In vivo evaluation of dynamic characteristics of the normal, fused, and disc replacement cervical spines. *Spine (Phila Pa 1976)*. 32(23):2578-84. 2007.

111. Hase H, Watanabe T, Hirasawa Y, Hashimoto H, Miyamoto T, Chatani K, Kageyama N, Mikami Y. Bilateral open laminoplasty using ceramic laminas for cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 16(11):1269-76. 1991.

112. Lee H, Nicholson LL, Adams RD. Cervical range of motion associations with subclinical neck pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 29(1):33-40. 2004.

113. Rezasoltani A, Ahmadipoor A, Khademi-Kalantari K, Javanshir K. The sign of unilateral neck semispinalis capitis muscle atrophy in patients with chronic non-specific neck pain. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 25(1):67-72. 2012.

114. McDonald CP, Bachison CC, Chang V, Bartol SW, Bey MJ. Three-dimensional dynamic in vivo motion of the cervical spine: Assessment of measurement accuracy and preliminary findings. *Spine J*. 10(6):497-504. 2010.

115. Subramanian N, Reitman CA, Nguyen L, Hipp JA. Radiographic assessment and

quantitative motion analysis of the cervical spine after serial sectioning of the anterior ligamentous structures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 32(5):518-26. 2007.

5 謝辞

本研究に当たり、最後まで親身にご指導いただきました東京大学大学院医学系研究科外科学専攻感覚・運動機能医学講座リハビリテーション医学分野 芳賀信彦教授に深く感謝の意を表します。

また、研究立案から論文執筆にいたるまで、帝京大学教授にご栄転された後もご指導いただきました東京大学リハビリテーション部 緒方直史前講師に感謝申し上げます。また、対象者のリクルートのご協力や臨床の立場からの指導をくださいました東京大学リハビリテーション部 篠田裕介講師に感謝申し上げます。

常に建設的にご意見をくださいました東京大学大学院医学系研究科外科学専攻感覚・運動機能医学講座リハビリテーション医学分野の大学院生の皆様、東京大学医学部附属病院リハビリテーション部の先生方・皆様、整形外科・脊椎外科の先生方、そして計測にご協力いただきました患者さん・被験者の方々に心より御礼申し上げます。