



北海道公立大学法人  
**札幌医科大学**  
Sapporo Medical University

*SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPOSITORY*

Title 論文題目	未固定ヒト遺体を用いた棘上筋腱深層線維の伸び率計測： 肩甲骨面挙上角度が及ぼす影響
Author(s) 著者	宮本, 浩樹
Degree number 学位記番号 ※	甲第42号
Degree name 学位の種類	博士 (理学療法学)
Issue Date 学位取得年月日	2020-03-31
Original Article 原著論文	
Doc URL ※	
DOI ※	
Resource Version ※	

未固定ヒト遺体を用いた  
棘上筋腱深層線維の伸び率計測：  
肩甲骨面挙上角度が及ぼす影響

**Strain Measurement of the Deep Layer of the  
Supraspinatus Tendon using fresh cadaver:  
The Influence of Shoulder Elevation**

2019 年度

札幌医科大学大学院 保健医療学研究科 博士課程後期  
理学療法学・作業療法学 専攻  
生体工学・スポーツ整形外科学 分野

宮本 浩樹 Hiroki Miyamoto

## 目次

I. 緒言	1
1. はじめに	1
2. 研究目的	2
3. 仮説	2
4. 研究の意義	2
5. 未固定ヒト遺体を用いたバイオメカニクス研究の意義について	2
6. キーワード	3
II. 文献検討	3
1. 棘上筋にかかわる基礎研究と情報	
1.1. 肩関節外転時の腱板のモーメントアーム	3
1.2. 棘上筋にかかる張力計算	3
1.3. 肩関節外転時の上腕骨頭回転軸	4
1.4. 棘上筋と三角筋の筋電図学的検討	4
1.5. 腱組織の伸張状態	4
2. 棘上筋に関わる臨床研究と情報	
2.1. 肩峰下インピンジメントとの発生機序	4
2.2. 臨床における腱板損傷の検討	5
2.3. 肩峰下インピンジメントに対する 腱板の遠心性収縮トレーニングの効果	5
3. 棘上筋の生体工学研究について	
3.1. 棘上筋腱の伸び率	5
3.2. 棘上筋腱の牽引力と肩甲骨面挙上角度を規定した 棘上筋腱表層線維の伸び率	6
3.3. 棘上筋腱の材料学的および病理組織学的特性	6
3.4. 肩関節内転トルクに釣り合う棘上筋腱の牽引力	7
3.5. 未固定ヒト遺体の肩甲上腕関節における上腕骨の支持	7
3.6. 未固定ヒト遺体の腱板伸び率測定の際に棘上筋腱への加える負荷量	7

用語の定義	7
III. 研究方法	8
1. 研究デザインの種類	8
2. 選定対象と選定基準	8
3. データ収集の方法	
3.1. 準備	8
3.2. 実験装置	9
3.3. 測定肢位	9
3.4. 棘上筋腱の最大牽引力の設定	10
4. 使用する方法の妥当性と信頼性	
4.1. 変位計測器	10
4.2. デジタルプッシュプルゲージ	10
4.3. 三次元磁気式位置計測システム	11
4.4. PC レコーダーソフトと PC の同期	11
5. データ分析と正規化	
5.1. $L_0$ の規定	11
5.2. 伸び率の規定	12
5.3. 統計解析	12
6. 倫理的配慮	12
IV. 結果	13
1. 棘上筋腱深層線維の伸び率	13
V. 考察	14
1. 各層の伸び率特性について先行研究との比較検討	14
2. 棘上筋腱損傷との関係について	15
3. 臨床への応用	15
VI. 研究の限界	16

VII. 結論 ..... 17

謝辞 ..... 17

引用文献 ..... 18

図1 棘上筋腱の損傷分類

図2 伸び率の規定

図3 準備（未固定ヒト遺体）

図4 デジタルプッシュプルゲージ（RZ-50、アイコーエンジニアリング社、東京）

図5 変位計測器（パルスコーダー、Levex 社、京都）変位計測器

図6 変位計測器の設置

図7 三次元磁気式位置計測システム（3SPACE FASTRAK、Polhemus 社、Colchester）

図8 棘上筋腱深層線維の伸び率

表1 棘上筋腱の伸び率に関する過去の研究との比較

表2 棘上筋腱深層線維の伸び率

資料

- ・ 献体の利用に関する指針
- ・ 研究実施計画判定通知書
- ・ 研究実施計画変更判定通知書

## 第 I 章

### I. 緒言

#### 1. はじめに

超高齢社会に突入した我が国では、肩関節の機能障害に対する理学療法を経験することが多い。肩関節の運動療法において、棘上筋に着目して実施することは多く、その機能特性を理解することは重要である。

棘上筋腱の大結節停止部、いわゆる critical portion は、血行が少なく腱の変性が進行する部位であり損傷頻度が高い<sup>1,2)</sup>。さらに血行が少なく、過剰な機械的応力刺激が加わることで機能障害のリスクが高まることが知られている。

棘上筋腱の停止部は表層線維と深層線維の2層に分けられ、それぞれの組織学的特徴について報告されている<sup>3-8)</sup>。また、棘上筋腱の表層線維と深層線維の力学的特性が異なることが報告されている<sup>9-14)</sup>。しかし肩甲骨腕関節角度や負荷量を規定した棘上筋腱深層線維の生体工学的特性について計測した報告はなかった。

著者らは以前、未固定ヒト遺体を用いて棘上筋腱の生体工学的特性について報告した<sup>15)</sup>。棘上筋の等尺性収縮に伴う腱板の緊張を定量的に再現し、肩甲骨面挙上 $-10^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$ では $10\sim 30^{\circ}$ と比べて棘上筋腱表層線維の伸び率は有意に増加することを報告した。さらに著者らはこの報告の中で、肩甲骨面挙上角度の増加に伴い、肩甲骨腕関節内転トルクに釣り合う棘上筋腱の牽引力が有意に増加することを報告した。肩甲骨面挙上 $30^{\circ}$ よりも小さな棘上筋腱の牽引力を負荷した肩甲骨面挙上 $-10^{\circ}$ において、棘上筋腱表層線維の伸び率が大きくなったことから、肩甲骨面挙上 $-10\sim 0^{\circ}$ においては棘上筋腱の牽引力が棘上筋腱表層線維に負荷されることがわかった。一方、肩甲骨面挙上 $10\sim 30^{\circ}$ では、 $-10\sim 0^{\circ}$ に比べて大きな棘上筋腱の牽引力であったにも関わらず、棘上筋腱表層線維の伸び率は小さい値となった。このことから、肩甲骨面挙上角度によって、棘上筋腱の牽引力が負荷される層が異なることが推測された。

臨床における棘上筋腱の損傷や変性について、表層、深層で分けて報告されているものがみられる<sup>16-22)</sup>。そこで、著者らは先行研究で、棘上筋腱表層線維の変性や損傷がある際には、棘上筋腱の牽引力が表層に負荷されにくい肩甲骨面挙上 $10^{\circ}$ 以上で運動療法を行う必要があることを提案した<sup>15)</sup>。一方、この先行研究では棘上筋腱深層線維の生体工学的特性については実測しておらず、棘上筋腱深層線維を考慮した棘上筋腱の牽引力や関節角度

は規定できていない。そのため、安全で有効な肩の理学療法のためにはこの部位の生体工学的特性を知る必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、未固定ヒト遺体を用いて、肩甲骨面挙上角度による棘上筋腱深層線維の伸び率を計測することである。本研究では、生体に近い状態である未固定ヒト遺体を用いる必要がある。さらに、未固定ヒト遺体を使うことで、筋収縮を伴わずに棘上筋腱のみの生体工学的特性を計測することができる。

## 3. 仮説

肩甲骨面挙上角度の増加に伴い、棘上筋腱深層線維の伸び率は増加する。また、棘上筋腱の牽引力の増加に伴い、棘上筋腱深層線維の伸び率は増加する。

## 4. 研究の意義

本研究では、運動療法で行う肩甲骨面挙上角度で棘上筋腱深層線維の伸び率を計測する。本研究により得られる知見は、棘上筋トレーニングにおける肢位と負荷量の安全性を考える際の基礎データとなる。また、棘上筋腱の障害の部位による運動療法プログラムの立案に繋がるものと考えられる。

## 5. 未固定ヒト遺体を用いた生体工学研究の意義について

整形外科領域の生体工学研究は実験動物を用いても可能である。しかし、現代社会のニーズに適応したさまざまな活動に合致した骨・関節機能の評価を行うためには、ヒトの運動器を用いてそれぞれの身体部分の力学特性を細かく計測する必要がある。

ヒトを用いて生体工学研究を行う場合、未固定ヒト遺体の保存状態により運動器の力学特性が大きく異なってくる。ホルマリンまたは石灰酸を用いる伝統的死体保存の場合、腐敗による未固定ヒト遺体の破壊と細菌・ウイルスによる感染症の伝播を防止することができる。しかし、これらの薬剤による長時間の固定では筋肉、関節包、靭帯、腱は一様に硬化し、本来の運動器としての柔軟で繊細な動態を示さず、生体工学的な評価が困難となる。

近年、ホルマリン固定や Thiel 法固定、飽和食塩溶液 (SSS : Saturated Salt Solution) 法固定など様々な遺体の固定方法がある<sup>23)</sup>。しかし薬剤により固定された遺体では関節周

围の軟部組織の組成や生体工学的特性が生体とは異なる。

そこで、各運動器支持組織の生理的状态が温存されている未固定ヒト遺体による生体工学研究が行われる。未固定ヒト遺体の多くは、腐敗を防止するため死後まもなく脳・心臓・肺を含めた内蔵が分離され、頭蓋、脊椎および四肢として実験準備が整うまで冷凍保存される。その際に、生前の病歴と検査歴より肝炎ウイルスおよび細菌感染症の認めないものを選択して使用する。

スポーツにおけるパフォーマンスや高齢者の機能を回復させるための基礎研究に、未固定ヒト遺体を用いた生体工学研究が重要な位置を占める。高齢者のケアを行う場合、低下した身体機能を少しでも回復させ、かつ長期間維持することが、社会的にも経済的にも、もたらす臨床医学的効果が大きいと考えられる。未固定ヒト遺体を用いた生体工学研究からは歴史的にも臨床応用の要となる情報もたらされており、今後も重要な研究分野である。

## 6. キーワード

棘上筋腱、深層線維、伸び率、肩甲骨面挙上角度、未固定ヒト遺体

## 第Ⅱ章

### Ⅱ. 文献検討

#### 1. 棘上筋にかかわる基礎研究と情報

##### 1.1. 肩関節外転時の腱板のモーメントアーム

Ackland ら<sup>24)</sup> は肩甲骨面挙上 0~30° における棘上筋腱のモーメントアームは前方線維で約 20mm、後方線維で約 20-25mm であると報告した。肩甲下筋腱のモーメントアームは上部線維で約 5mm、中部線維は約 0mm、下部線維は 0-5mm であった。棘下筋腱のモーメントアームは、上部線維で 10-15mm、下部線維は 5-10mm、小円筋腱は 15-20mm であった。

##### 1.2. 棘上筋にかかる張力計算

Victor ら<sup>25)</sup> は上肢質量を 0.05 body weight、上肢質量による肩関節内転トルクのモーメントアームを 0.3m として計算している。つまり体重 60kg の健常人であれば、上肢自重



による  $30^\circ$  外転位での肩関節内転モーメントは  $29.4 \text{ N} \times \text{モーメントアーム } 0.3\text{m} \times \sin 30^\circ$  で  $4.41 \text{ Nm}$  と想定される。

### 1.3. 肩関節外転時の上腕骨頭回転軸

Veeger<sup>26)</sup> は肩関節屈曲や外転運動時の上腕骨頭の瞬間回転中心はほとんど動かないと報告している。

### 1.4. 棘上筋と三角筋の筋電図学的検討

鈴木ら<sup>27)</sup> の生体による筋電図学的検討によると、肩甲骨面  $45^\circ$  挙上位で手に無負荷から  $3\text{kg}$  まで負荷した際は上肢挙上時の三角筋と棘上筋の活動割合は三角筋：棘上筋 =  $1:2$  と一定であるとしている。埜口ら<sup>28)</sup> は生体における外転の等尺性収縮運動で、 $0 \sim 30^\circ$  で  $0 \sim 4\text{Nm}$  の内転トルクを負荷した際に棘上筋の収縮活動は三角筋の約  $2$  倍であると報告している。朝長ら<sup>29)</sup> は生体における肩甲骨面挙上運動で、 $0 \sim 30^\circ$  で無負荷の際に棘上筋の収縮活動は三角筋の約  $2$  倍と報告している。

### 1.5. 腱組織の伸張状態

軟部組織の組織学的分類について、靭帯と腱は組織学的にはほぼ同じ分類とされ、その構造や性質は類似しているとされている<sup>30)</sup>。Darlene ら<sup>31)</sup> は腱や靭帯の機械的性質を stress-strain curve を用いて説明しており、toe-region が伸び率  $1.2 \sim 2\%$ 、linear-region が  $2 \sim 6\%$ 、Yield point が  $6\%$  付近、region of major failure が  $6 \sim 12\%$ 、region of complete rupture が  $12 \sim 15\%$  と述べている。つまり各肩甲骨面挙上角度において膠原線維の進行性損傷が始まる linear-region となる棘上筋腱の牽引力を負荷すると棘上筋腱深層線維に損傷を起こす可能性が考えられる。

## 2. 棘上筋にかかわる臨床研究と情報

### 2.1. 肩峰下インピンジメントの発生機序

棘上筋は肩甲骨棘上窩から起始し、烏口肩峰アーチの下を走行し、上腕骨大結節前方部に停止する<sup>32)</sup>。棘上筋腱は烏口肩峰アーチに衝突し、インピンジメントにより損傷することがある。肩峰下インピンジメントの機能的原因として腱板筋の作動バランスの不均衡、肩峰下滑液包の炎症による腫脹や変性に伴う肥厚などがある<sup>16,17)</sup>。構造的な原因として肩峰

の形状や骨棘の形成、烏口肩峰靭帯の変性や肥厚、肩峰骨端核癒合不全、関節唇の断裂などがある<sup>33,34)</sup>。これらにより上腕骨大結節が烏口肩峰アーチに衝突して棘上筋腱のインピンジメントが発生する<sup>35)</sup>。

## 2.2. 臨床における腱板損傷の検討

老化に伴う棘上筋腱の変性に関する報告は多い<sup>36-41)</sup>。Panni ら<sup>39)</sup>は烏口肩峰アーチ下の腱板の退行性変化と腱板の関節包側損傷は関連性が小さいが、腱板の滑液包側または完全損傷との関連は大きいことを報告している。塩崎ら<sup>40)</sup>は、腱板の加齢による変性頻度について、無症候性の腱板完全断裂は50歳代で27.5%、60歳代で36.7%、70歳以上で42.9%であると報告している。また、症候側と反対側の無症候側にも完全断裂を認めたものは46.6%であった。Yamamoto ら<sup>41)</sup>は腱板断裂の有病率について、30歳代では2.5%、40歳代では6.7%、50歳代では12.8%、60歳代では25.6%、70歳代では45.8%、80歳代では50.0%であったと報告している。

腱板損傷の分類は、全層断裂や不全断裂（関節面断裂、腱内断裂、滑液包面断裂）に分けられる<sup>18-22)</sup>。一般的な腱板損傷形態の分類を図1に示した。

## 2.3. 肩峰下インピンジメントに対する腱板の遠心性収縮トレーニングの効果

Bernhardsson ら<sup>42)</sup>の報告によれば、生体において肩峰下インピンジメントに対する腱板の遠心性収縮運動が有効とされている。まず、ウォーミオングアップとして前腕回外位にて肩甲帯を後退させる。運動負荷量は側臥位で1kgのバーベルを把持して、90度外転位から下降する自動遠心性運動を15回3セットとし、介入期間を12週間とした。疼痛は軽減し、肩の機能も向上した。この報告ではアキレス腱炎に対する遠心性筋収縮が腱の治癒を促進するという知見を引用し、腱板においても遠心性筋収縮運動により、腱の変性が改善される可能性を指摘している。

## 3. 棘上筋の生体工学研究について

### 3.1. 棘上筋腱の伸び率

Kim ら<sup>9)</sup>は生体において、肩関節下垂位(0°)で棘上筋の等尺性収縮を行った際に、棘上筋腱の表層線維が17.0%、深層線維が3.42%の伸び率があることを報告した。未固定ヒト遺体を用いた研究では、Andarawis-Puri ら<sup>10)</sup>が、棘上筋腱に90Nを負荷した際に腱全体の

伸び率が 0° で 7.0%、外転 30° で 5.0%であることを報告している。また Bey ら<sup>14)</sup>は、棘上筋腱に 31N を負荷した際に、棘上筋腱表層線維の伸び率が 15° 外転位で 1.4%、30° 外転位で 1.5%、深層線維が 15° で 0.5%、30° で 0.6%であったと報告している。さらに Nakajima ら<sup>14)</sup>は、棘上筋腱の組織学・生体工学的特性について、yield point での棘上筋腱の伸び率は表層線維で 15%、深層線維が 7%であったと報告している。

### 3.2. 棘上筋腱の牽引力と肩甲骨面挙上角度を規定した棘上筋腱表層線維の伸び率

著者らは先行研究で、未固定ヒト遺体を用いて棘上筋の等尺性収縮を再現し、棘上筋腱表層線維の伸び率について報告した<sup>15)</sup>。肩甲上腕関節へ内転トルクを負荷し、釣り合うよう棘上筋腱に牽引力を負荷した。計測角度は肩甲上腕リズムが起こりにくいとされている肩甲骨面挙上-10~30° の範囲で行った。肩甲上腕関節内転トルクの最大値は、肩甲骨面挙上 30° での上肢自重による内転トルクと、三角筋と棘上筋の筋活動を加味した想定値である 2.94 Nm とした。

その報告の中で、一定の肩甲骨面挙上角度内において、棘上筋腱の牽引力の増加に伴い、棘上筋腱表層線維の伸び率は有意に増加した。また、一定の肩甲上腕関節内転トルクにおいて、肩甲骨面挙上角度の増加に伴い、棘上筋腱表層線維の伸び率は有意に減少した。肩甲上腕関節内転トルクの最大値である 2.94 Nm を負荷した際の棘上筋腱表層線維の伸び率は、肩甲上腕関節-10° で 12.9%、0° で 9.78%、10° で 3.16%、20° で 2.02%、30° で 1.95%であった。

### 3.3. 棘上筋腱の材料学のおよび病理組織学的特性

中島ら<sup>3)</sup>は、棘上筋腱は表層と深層に分けられ、異なる受傷機転により断裂する可能性があり、組織学的断裂は表層では腱近位部で起こり、深層では骨付着部付近で生じると報告している。棘上筋腱の腱線維は深層より表層で太く、深層では骨付着部に近づくに従って先端が細くなると報告している。また、Nakajima ら<sup>14)</sup>によると引っ張り試験での破断応力は深層より表層が 2 倍の  $6.3 \pm 1.1 \text{ N/mm}^2$  と大きく、弾性率は表層で小さく伸びやすい。表層において腱部は最大の伸張率を示したが、深層は各部位で平均的に伸張すると報告している。

山本ら<sup>43)</sup>の未固定ヒト遺体を使った研究によると、棘上筋には 140N(14.3kg)~200N(20.4kg)の力が日常生活動作を行うだけで伝達されているとしている。

Itoi ら<sup>44)</sup> は、未固定ヒト遺体を使った実験で棘上筋の破断張力は 600N(61.2kg)～800N(81.6kg)と報告している。

### 3.4. 肩関節内転トルクに釣り合う棘上筋腱の牽引力

著者らは先行研究で、未固定ヒト遺体を用いて肩甲骨上腕関節における棘上筋の等尺性収縮を再現した<sup>15)</sup>。肩甲骨面挙上角度の増加に伴い、肩甲骨上腕関節内転トルクに釣り合う棘上筋腱の牽引力は有意に増加することがわかった。肩甲骨上腕関節内転トルクの最大値は、座位や立位の肩甲骨面挙上 30° における上肢自重による値を想定し、2.94 Nm と設定した。各肩甲骨面挙上角度における 2.94 Nm に釣り合う棘上筋腱の牽引力は、-10° で 81.4 N、0° で 89.2 N、10° で 97.4 N、20° で 105 N、30° で 110 N であった。

### 3.5. 未固定ヒト遺体の肩甲骨上腕関節における上腕骨の支持

未固定ヒト遺体を用いて生体工学的研究を行う場合、肩甲骨内側縁を地面に対し垂直に配置すると筋緊張が低く、上肢を下垂すると肩甲骨上腕関節の安定性が失われ、上腕骨頭は下方に亜脱臼する。そのため、Muraki ら<sup>45,46)</sup> は棘下筋と肩甲下筋の停止部中央にアンカーを挿入し、アンカーに取り付けた糸を用いて筋の線維方向に沿って各 11N ずつ牽引し、上腕骨頭を肩甲骨関節窩にひきつけ安定化させた。一方、Bey ら<sup>11,47)</sup> は、未固定ヒト遺体における上腕骨頭を肩甲骨関節窩に安定させるために、肩甲下筋、棘上筋、棘下筋に 4.5N ずつ牽引をかけ上腕骨骨頭を支持した。Izumi ら<sup>48,49)</sup> によると、未固定ヒト遺体における上腕骨頭の亜脱臼を防ぐ最小の関節圧迫力は 19.6N であった。

### 3.6. 未固定ヒト遺体の腱板伸び率測定の際に棘上筋腱への加える負荷量

Bey ら<sup>11,47)</sup> は棘上筋腱停止部の伸び率を測定する際に、4.5N から開始して 31N までの負荷をかけている。Andarawis-Puri ら<sup>10)</sup> は 5N、30N、60N、90N の負荷を棘上筋腱にかけている。

### 用語の定義

- ・棘上筋腱の伸び率：基準長  $L_0$  に対して棘上筋腱に牽引負荷をした際に棘上筋腱深層線維の長さ ( $L$ ) とし、伸びた長さ ( $L-L_0$ ) が  $L_0$  に対する割合を百分率で表すものとした。伸び率は  $(L-L_0) / L_0 \times 100 (\%)$  で計算した (図 2)。

- ・ 上腕骨軸：内側上顆と外側上顆の midpoint と肩甲上腕関節回転中心を結ぶ線とした<sup>50)</sup>
- ・ 肩甲骨面挙上角度：肩甲骨面<sup>50-53)</sup>（肩甲三角、下角の最尾側点、肩峰の最外側背部点を含む面）を運動面とし、上腕骨軸が床と垂直となる角度を 0° とする。上腕骨軸を運動面上で変化させた角度を肩甲骨面挙上角度と規定した。

### 第Ⅲ章

#### Ⅲ．研究方法

##### 1. 研究デザインの種類

Controlled laboratory study

##### 2. 選定対象と選定基準

対象は未固定ヒト遺体 10 体 10 肩（左 5 肩、右 5 肩、男性 4 肩、女性 6 肩、死亡時平均年齢 88.7 歳）で、同一の未固定ヒト遺体から左右のデータは計測しないものとした。肩甲上腕関節およびその周囲組織に損傷や変形があるものは除外した。

本研究における対象数の設定について、検定力分析ソフト『G POWER 3.1.9.2』にて、F test の ANOVA: Repeated measures, within factors を選択し、Effect size: 0.4、 $\alpha$ : 0.05、Power: 0.8 に設定した。Total sample size は 10 であった。

ご献体は死後 24 時間以内に本学医学部解剖学講座に搬入され、本人の生前の同意と死亡後の家族の同意が得られているものである。搬入後の血液検査で感染リスクが疑われたものは除外した。

##### 3. データ収集の方法

###### 3.1. 準備（図 3）

実験前に冷凍庫から取り出し、22°C の室温で 12 時間かけて解凍した。解凍後に肩甲胸郭関節、肩鎖関節、肘関節で離断する。肩関節周囲は皮膚・皮下組織を全て除去し、腱板以外の肩甲骨・上腕骨付着筋（前鋸筋、広背筋、大円筋、僧帽筋、菱形筋、肩甲挙筋、大胸筋、小胸筋、烏口腕筋、上腕筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋）を全て切除した。棘上筋、棘下筋、肩甲下筋、小円筋は筋線維を除去して、各筋の停止部を温存して筋内腱を

割出した。

### 3.2. 実験装置 (図 4)

四角柱の木製ジグを床面と垂直に実験台に固定した。肩甲骨面<sup>50-53)</sup>(肩甲三角、下角の最尾側点、肩峰の最外側背部点を含む面)をジグと平行、肩甲骨内側縁を床と垂直となるように肩甲骨をジグに固定し、生体における上肢の安静下垂位を再現した。未固定ヒト遺体では肩甲骨内側縁を地面に対し垂直に配置すると筋緊張が低く、上肢を下垂すると肩甲上腕関節の安定性が失われ、上腕骨頭は下方に垂脱臼した。そのためこの垂脱臼を避けるために過去の報告では筋に牽引力をかけ肩関節を安定化させている(前述)<sup>11,45-49)</sup>。以前の著者らの報告<sup>15)</sup>では、上腕骨頭を求心位に保つため肩甲上腕関節が中間位を保つ方向に肩甲下筋 9.8 N、棘下筋と小円筋に各 4.9 N の緊張負荷を加え、十分に安定した。本研究でも同様の負荷を加えるものとした。

棘上筋腱の筋内腱には縫合糸を用いてデジタルプッシュプルゲージ(RZ-50、アイコーエンジニアリング社、東京)を接続した。肩甲上腕関節の角度を変えた位置で上腕骨遠位端をジグに固定して棘上筋腱の等尺性収縮を再現する。さらに変位計測器(パルスコーダー、Levex社、京都)を用いて腱の骨停止部(critical portion)での棘上筋腱深層線維の伸び率を測定した。

肩甲骨面挙上角度は、三次元磁気式位置計測システム(3SPACE FASTRAK、Polhemus社、Colchester)を用いて計測した。三次元磁気式位置計測システムの磁気マーカーを上腕骨遠位部に添付し、マーカーの回旋角度で計測した。

### 3.3. 測定肢位

測定肢位は、生体において肩甲上腕リズムにおける肩甲骨が可動しない肩甲上腕関節挙上 30° までとし、肩甲骨面挙上-10°、0°、10°、20°、30°で行った。著者らの先行研究では、棘上筋腱の牽引力に対する肩甲上腕関節内外旋トルクも計測したが、有意差は認められなかったため、本研究では肩甲上腕関節内外旋中間位とした肩甲骨面挙上のみを計測した。

International Society of Biomechanics (ISB) は 2005 年に上肢の joint coordinate systems (JCS) について標準化し<sup>50)</sup>、本研究では ISB 規定に基づいて関節軸を設定した。ジグに固定した肩甲骨の肩甲骨面(肩甲三角、下角の最尾側点、肩峰の最外側背部点を含

む面) に対して上腕骨(肩甲骨上腕関節回転中心、外側上顆の最尾側点、内側上顆を含む面) を肩甲骨面で挙上し、それぞれの角度で上腕骨もジグに固定した。

#### 3.4. 棘上筋腱の最大牽引力の設定

著者らは先行研究<sup>15)</sup>で、上肢の自重に対する棘上筋の牽引力が肩甲骨面挙上 30° の状態で約 110N であることを報告した。そこで本研究では肩甲骨面挙上-10°、0°、10°、20°、30° のそれぞれで、0~120 Nを 20 秒間かけて連続的に負荷することとする。1つの肢位で3回計測し、平均値をとった。棘上筋腱の牽引力は、棘上筋腱が棘上窩に停止する方向に負荷した。

### 4. 使用する方法の妥当性と信頼性

#### 4.1. 変位計測器(図5, 6)

棘上筋の筋線維を除去して剖出した筋内腱を近位側から反転し、深層側の表面に変位計測器(パルスコーダー、Levex社、京都)の2本の針を刺入することで棘上筋腱の critical portion の深層線維に設置した。このパルスコーダーはコイルからなるセンサーと金属パイプで構成されている。コイルに流れた交流で発生した磁界に金属パイプを被せて渦電流を発生させて、金属パイプの変位によって増減した渦電流の電圧波形勾配の変化を検出し、ALIED CONTROL社製デジタルスケーリングメータに表示されるものを読み取る。パルスコーダーは計測可能範囲が3mm~14mmであり、直線性誤差が1%未満、分解能が0.5μm、繰り返し精度が2.5μmであり、測定周期は20Hzとした。Digital caliperを用いた際のパルスコーダーの正確性は0.1 mm root mean square(RMS: 二乗平均平方根)であった<sup>15)</sup>。設置する針は直径0.05mmで、腱の厚さと比較して非常に小さい。パルスコーダーが肩甲骨に衝突しないよう配慮した。

#### 4.2. デジタルプッシュプルゲージ(図4)

棘上筋腱に縫合した糸にデジタルプッシュプルゲージ(RZ-50、アイコーエンジニアリング社、東京)を連結し、定量的に棘上筋腱を牽引して測定した。測定周期は20Hzとし<sup>15)</sup>、デジタルプッシュプルゲージをPCに接続し、測定した数値をエクセルデータに記録した。デジタルプッシュプルゲージ RZ-50 の計測可能範囲は±50.00kg(±110.21b、±500.0N)であり、最小表示は0.1Nである。計測精度は±0.2% f.sであった。

#### 4.3. 三次元磁気式位置計測システム (図 7)

肩甲骨面挙上角度の測定は、三次元磁気式位置計測システム (3SPACE FASTRAK、Polhemus 社、Colchester) を用いて行った。このシステムは 1 つのトランスミッターと 1 つのセンサーを用いて、6 軸 (三次元での絶対座標、3 軸での回旋角度) での計測が可能である。トランスミッターは低周波の電磁気領域を発生させて 3 次元座標軸を構成し、センサーが電磁気領域を感知してトランスミッターに対するセンサーの位置と方向を 3 次的に測定する。本研究においては一つのセンサーを上腕骨に設置した。上腕骨に添付することで肩甲骨面挙上角度がリアルタイムに表示され、各計測角度で上腕骨をジグに固定することが正確にできた。

また、このシステムでは電磁気領域に金属が存在すると磁界が歪むため金属の使用を避ける必要があった。肩甲骨の固定に使用する螺子等の金属もそれに相当するが、質量が小さいため磁場に与える影響がほとんどないことを予備実験で確認した。Hidaka ら<sup>54)</sup>は、この機器の正確性は 750mm の計測範囲内で距離 RMS が 0.8 mm で角度 RMS が 0.5° であると報告している。

#### 4.4. PC レコーダーソフトと PC の同期

針間距離データの収集：変位計測装置パルスコーダーによる針間距離を継続的に記録するために PC レコーダーソフト (エム・システム技研社、MSR16H) を用いて CSV 出力し、Microsoft Excel 2016 表計算ソフトを用いて記録した信号を数値化した。

棘上筋筋力データの収集：デジタルプッシュプルタイプ・ハンディ荷重計測機による棘上筋の張力を継続的に記録するため PC レコーダーソフト (アイコーエンジニアリング社、RZ-3000) を用いて、信号を数値化した。

針間距離データと棘上筋筋力データの収集用 PC にレーザーマウスを接続した。前者をメインマウス、後者をサブマウスとし、二つのマウスを光デジタルケーブルで接続し、メインマウスをクリックすると 2 台の PC を同時にクリックできるように設定して、2 台の PC の測定開始・終了時期を同期した<sup>15)</sup>。

### 5. データ分析と正規化

#### 5.1. $L_0$ の規定

本研究の計測対象である棘上筋腱は非収縮性組織であり、関節角度や棘上筋腱にかかる



負荷によっては腱板に緩みが存在した。そこで、棘上筋腱の critical portion の伸張を定量的に計測するため、緩みの無くなる肢位での測定値を基準長 ( $L_0$ ) と規定して、そこを起点とした伸び率計測を行う必要があった<sup>16, 44, 45)</sup>。計測する棘上筋腱の牽引力と棘上筋腱深層線維の伸び率から stress-strain curve を作成した。stress-strain curve は laxity-region、transition-region、linear-region に分けられ、組織の伸び率特性から今回は laxity-region と transition-region の移行部を棘上筋腱深層線維の  $L_0$  と規定した。

## 5.2. 伸び率の規定 (図 2)

棘上筋腱の伸び率は変位計測器パルスコーダーの針間距離 ( $L$ ) について以下の式で計算した。

$$(L-L_0)/L_0 \times 100 (\%)$$

各肢位で各 3 回計測し、得られた値を平均値と標準偏差で示した。

## 5.3. 統計解析

統計解析は測定されたデータをエクセルシートに記録した。棘上筋腱深層線維の伸び率について、肩甲骨面挙上角度と棘上筋腱の牽引力の主効果、及び二つの交互作用を検定するため、統計処理には統計解析ソフト (SPSS Statistics Ver., 25.0 J for Windows, IBM 社, アメリカ) を用いて反復測定二元配置分散分析と Bonferroni の多重比較検定を行い、有意水準は 5% とした。交互作用がみられた場合は、反復測定一元配置分散分析と Bonferroni の多重比較検定を行った。また、3 回の繰り返し計測の信頼性を検証するために級内相関係数 (intraclass correlation coefficient : 以下 ICC を算出した。ICC の値による計測の信頼性判定は、0.0~0.20 を slight、0.21~0.40 を fair、0.41~0.60 を moderate、0.61~0.80 を substantial、0.81~1.00 を almost perfect とした。

## 6. 倫理的配慮

医学・医療の進歩のためにご献体していただいた方の意志を尊重し、尊厳に十分配慮して研究を行うものとする。研究は本学に所属し、解剖・実験を十分理解した研究者で行う。また、その研究者は研究を実施する前に、本学整形外科学講座で定めた「Fresh Cadaver を用いた実験を行う際の遵守事項」の説明を受けた。研究者は予防接種や実験中の感染防止対策を徹底した。

研究では使用するご献体および遺族のプライバシー保護に十分配慮した。献体情報は本学医学部解剖学第二講座が管理し、ご献体は番号で管理し、他の研究者はアクセスできない。

本研究は本学倫理委員会が制定した献体の未固定標本利用に関する指針に基づき、本学倫理委員会の承認を受けた（承認番号：29-2-30）。

## 第IV章

### IV. 結果

#### 1. 棘上筋腱深層線維の伸び率（図8、表2）

反復測定二元配置分散分析の結果、肩甲骨面挙上角度と棘上筋腱の牽引力の交互作用が認められたため、肩甲骨面挙上角度と棘上筋腱深層線維の伸び率、および棘上筋腱の牽引力と棘上筋腱深層線維の伸び率についてそれぞれ反復測定一元配置分散分析とBonferroniの多重比較検定を用いて肩甲骨面挙上角度と棘上筋腱の牽引力の効果を検定した。

肩甲骨面挙上角度内における棘上筋腱深層線維の伸び率を反復測定一元配置分散分析で解析した結果、全ての肩甲骨面挙上角度において、棘上筋腱の牽引力の増加に伴い、棘上筋腱深層線維の伸び率は有意に増加した( $p < 0.05$ )。

肩甲骨面挙上角度の増加に伴い、棘上筋腱深層線維の伸び率は有意に増加した( $p < 0.05$ )。Bonferroniの多重比較検定を行った結果、肩甲骨面挙上 $30^\circ$ では棘上筋腱の牽引力が40Nを超えると肩甲骨面挙上 $-10^\circ$ と有意差が認められ( $p < 0.05$ )、50Nを超えると肩甲骨面挙上 $0^\circ$ と有意差が認められた( $p < 0.05$ )、さらに100Nを超えると肩甲骨面挙上 $10^\circ$ と有意差が認められた( $p < 0.05$ )。また、肩甲骨面挙上 $20^\circ$ では棘上筋腱の牽引力が70Nを超えると肩甲骨面挙上 $-10^\circ$ と有意差が認められ( $p < 0.05$ )、80Nを超えると肩甲骨面挙上 $0^\circ$ と有意差が認められた( $p < 0.05$ )。棘上筋腱に最大120Nを負荷した場合の棘上筋腱深層線維の伸び率は、肩甲骨面挙上 $30^\circ$ で $2.82 \pm 1.51\%$ 、 $20^\circ$ で $1.86 \pm 1.54\%$ 、 $10^\circ$ で $1.47 \pm 1.64\%$ 、 $0^\circ$ で $1.21 \pm 1.45\%$ 、および $-10^\circ$ で $0.49 \pm 0.87\%$ であった。

ICC(1, 1)は単一計測値が10肩における平均が0.82、ICC(1, 3)平均測定値が10肩における平均が0.81であったため、信頼性判定はalmost perfectであった。

## 第V章

### V. 考察

#### 1. 各層の伸び率特性について先行研究との比較検討

棘上筋腱の伸び率については、いくつかの研究が報告されている(表 1)。本研究は、棘上筋腱深層の伸び率を複数の肢位で、負荷を連続的に変化させて計測した初めての研究である。過去に著者らは、本研究と同様の方法を用いて棘上筋腱表層線維の伸び率を計測した研究を行った<sup>15)</sup>。その結果、肩甲骨面挙上 $-10^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  での表層線維の伸び率は、肩甲骨面挙上  $10^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  よりも有意に大きくなっていった<sup>15)</sup>。棘上筋腱の牽引力は肩甲骨面挙上角度が大きくなるとともに 81N から 112N へ増加したものの、伸び率は逆に小さくなっていった。このことから、肩甲骨面挙上  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  では棘上筋腱の牽引力は棘上筋腱深層線維に伝達されている可能性を推測した。本研究では、肩甲骨面挙上  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  における棘上筋腱深層線維の伸び率は、 $-10^{\circ}$  から  $10^{\circ}$  の肢位よりも有意に大きいことが示され、予想通りの結果となった。以上のことから、肩甲骨面挙上  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  においては棘上筋腱の牽引力が棘上筋腱深層線維に負荷されていると考えた。

肢位による棘上筋腱の伸び率の違いについては、表層線維に関する報告がある<sup>10)</sup>。この研究でも、肩甲骨面挙上  $0^{\circ}$  における表層線維の伸び率は、 $30^{\circ}$  の肢位よりも大きかった。このような現象(表層線維は肩甲骨挙上角度が増えると伸び率が減少、深層線維は挙上角度が増えると伸び率が増加)が生じる理由として、以下のことが考えられる。解剖学的に棘上筋腱の停止部は大結節上面の前外側まで前方に伸びて停止している<sup>32)</sup>。このような解剖学的特徴によって、肩甲骨面挙上角度の小さい $-10^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  では、棘上筋腱が上腕骨頭と大結節に沿って彎曲することで棘上筋腱表層線維がより伸張され、棘上筋腱の牽引力が棘上筋腱表層線維に伝達される。一方、肩甲骨面挙上  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  では棘上筋腱が上腕骨頭に沿う彎曲が減少し、直線的に走行することで棘上筋腱表層線維と深層線維はほぼ一体となって棘上筋腱の牽引力が伝達されていると推察した。棘上筋腱表層線維と深層線維の伸び率を同じ肢位で比較した研究では、肩甲骨面挙上面  $0^{\circ}$  という挙上角度が小さい肢位において、表層線維の伸び率が大きく深層線維における値と大きな差があった<sup>9,14)</sup>。これらの結果も、上記推察を支持するものであると考えられた。

中島ら<sup>14)</sup>は棘上筋腱の Modulus of elasticity について、表層線維が  $7.2 \pm 0.3 (\times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \cdot \text{strain})$ 、深層線維が  $8.2 \pm 0.2 (\times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \cdot \text{strain})$  であったと報告している。本研究では腱断面積を計測していないため、弾性率を算出することはで

きなかったが、腱の伸張特性としては先行研究と一致したと考えられる。

## 2. 棘上筋腱損傷との関係について

腱板損傷の発生要因として、加齢による腱板変性、炎症、肩峰下インピンジメント、骨棘などが挙げられる。Itoi ら<sup>20)</sup> は棘上筋腱の断裂分類について、完全断裂と部分断裂に分け、部分断裂を表層断裂と深層断裂、腱内断裂に分けて説明した。このような表層線維と深層線維単独の断裂が生じることについて、本研究を含めた腱牽引による表層・深層の腱伸び率の知見から、肩関節肢位がその発生にかかわっている可能性が考えられる。また、腱板断端が表層と深層に分かれたものを層間剝離 (delamination) と呼ぶ<sup>55,56)</sup>。この層間剝離の発生機序についても、著者らの以前の研究<sup>15)</sup> と本研究結果から説明できると考えられる。すなわち、表層と深層の伸び率の違いが大きい肩甲骨面挙上 $-10^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  では、その差が小さい  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  よりも層間剝離が生じやすい可能性がある。腱板修復術では、層間剝離があると表層と深層それぞれの修復が必要となる場合がある<sup>57-59)</sup>。表層と深層線維の伸び率の違いは、このような断裂形態の発生機序や術後のリハビリテーションの立案においても重要な情報になると考えられた。

## 3. 臨床への応用

棘上筋腱の部分断裂症例の治療として、投薬や関節注射、手術療法などが行われるが、理学療法、特に運動療法は重要な治療法である。腱板断裂の有病率については、Yamamoto ら<sup>41)</sup> が 30 歳代では 2.5%、40 歳代では 6.7%、50 歳代では 12.8%、60 歳代では 25.6%、70 歳代では 45.8%、80 歳代では 50.0%であったと報告している。腱断裂に至らなくても、腱の変性によって症状をきたしている例も存在する。このように、理学療法の対象となる腱板断裂・変性症例は多い。本研究結果は、棘上筋トレーニングにおける肢位と負荷量の安全性を考える際の基礎データとなる可能性がある。運動療法を実施する際には、MRI<sup>60)</sup> や超音波エコー<sup>41)</sup> によってその断裂サイズや障害部位を特定し、関節角度や負荷量を設定することが必要になるだろう。棘上筋腱の損傷、または変性などの障害部位が表層にある症例は肩甲骨面挙上 $-10^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  を避け、障害部位が深層にある症例は肩甲骨面挙上  $20^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  での運動療法は避けるべきと考えられる。肩甲骨面挙上  $10^{\circ}$  では棘上筋腱表層・深層線維が偏って伸張ストレスが受けられないものと考えられ、この肢位での抵抗運動が少ないリスクで行えるものと考えられる。

棘上筋腱に損傷が疑われる際には、肩甲上腕関節の外転や肩甲骨面挙上などの棘上筋が収縮しやすい肢位での積極的な運動は避け、棘下筋横走線維や肩甲下筋上部による外転作用の代償を強化することが望ましい。また、上肢挙上における棘上筋作用の代償として、僧帽筋や前鋸筋など肩甲骨を固定する筋や上腕二頭筋などの上肢挙上の主動作筋の筋力強化を行うべきだと考えられる。

## 第VI章

### VI. 研究の限界

本研究にはいくつかの限界が存在する。1 つ目は、今回の計測に用いた未固定ヒト遺体は死亡時 70 歳以上と高齢であることが挙げられる。若年者と比較して高齢者の腱板は変性しており、その違いが棘上筋腱の伸び率に影響を与える可能性がある<sup>61,62)</sup>。2 つ目は、肩甲上腕関節を安定化させる条件が生体とは異なる可能性のあることである。生体における肩関節の運動では、腱板を構成する棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋が協調して収縮するが、本研究では棘上筋のみの特性を検証するため、棘上筋以外の腱板である棘下筋、小円筋、肩甲下筋には上腕骨骨頭を関節窩に安定化する最小限の負荷を加えた。3 つ目は、肩甲骨面挙上角度の制限についてである。本研究では、肩甲上腕リズムが起こりにくいとされている肩甲骨面挙上 30° までの範囲<sup>63)</sup>で計測しており、この可動域を超える肩関節挙上肢位では、三角筋の収縮が加わり、棘上筋の単独収縮を想定した本実験の条件より逸脱した。4 つ目は、ストレインゲージの針は非常に小さいものの、針が腱を貫通するとき腱線維を傷つけた可能性があることである。しかし、この方法については Aoki ら<sup>64)</sup> が尺骨神経の伸び率計測、Hidaka ら<sup>54)</sup> が股関節前方の靭帯の伸び率計測、Izumi ら<sup>48)</sup> が肩関節後方関節包の伸び率計測、Muraki ら<sup>45)</sup> が棘上筋腱の伸び率、Takasaki ら<sup>65)</sup> と Shirato ら<sup>66)</sup> が橈側手根伸筋起始部の伸び率計測を行うなど多くの研究で用いられており、結果に大きな影響はないと考えている。

## 第VII章

### VII. 結論

本研究は未固定ヒト遺体を用いて肩甲上腕関節における等尺性収縮を再現し、棘上筋腱

の牽引力による腱の伸び率が肢位に影響を受けることを証明した。さらに、この腱の伸び特性は腱の表層と深層で異なる可能性がある。棘上筋腱深層線維の伸び率は、肩甲骨面挙上 30° から 20° で 10° から -10° よりも有意に大きくなった。

等尺性運動に関しては、棘上筋腱の表層と深層の伸び率が肩甲骨面挙上角度によって異なることを考慮して、回旋腱板にかかる負荷を慎重に検討する必要がある。

## 謝辞

本研究で使用いたしました未固定ヒト遺体を提供していただいた方々、またご遺族に心より御礼を申し上げます。また、未固定ヒト遺体を提供していただきました本学解剖学第二講座の教授藤宮峯子先生をはじめ、スタッフの方々に感謝申し上げます。

理学療法士として未固定ヒト遺体を使用したバイオメカニクス研究を行える本学の環境を維持して下さっている教授渡邊耕太先生、講師寺本篤史先生をはじめ、本学整形外科学講座の先生方に、感謝申し上げます。

指導教員である理学療法学第二講座の教授渡邊耕太先生には、データ解析の解釈や論文の執筆、学会抄録やスライドの詳細に至るまで、たくさんの丁寧かつ熱心なご指導を頂きました。医療従事者としての倫理観のみならず、研究者としてのあり方、教育研究者としての心構えまで、貴重なご指導をいただきました。心より御礼を申し上げます。

実験機器の調整や複雑なデータ解析についてご指導いただきました本学生体工学・運動器治療開発講座の訪問研究員鈴木大輔先生、統計解析についてご指導いただきました教養教育研究部門の准教授高橋義信先生に感謝申し上げます。

大学院生として実験に協力いただきました飯田尚哉氏、谷口達也氏、廣田健斗氏、根岸奎輔氏には、長時間の実験に何度も協力して頂きました。深く感謝致します。

最後に、講義やミーティングで多くのアドバイスをくださった理学療法学第二講座の皆様、心より感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) Rathbun JB, Macnab I.: The microvascular pattern of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Br 52: 540-553, 1970

- 2) Lewis JS: Rotator cuff tendinopathy: a model for the continuum of pathology and related management. Br J Sports Med 44: 918-923, 2010
- 3) 中島知隆, 六馬信之, 浜田一寿, 他: 腱板断裂に対する棘上筋腱の材料学のおよび病理組織学的特性の影響. 肩関節 16: 103-108, 1992
- 4) 中島知隆, 福田宏明: 棘上筋腱の線維移行形態. 肩関節 18: 19-25, 1994
- 5) 吉村英哉, 望月智之, 新井隆三, 他: 棘上筋から棘下筋に向かう表層線維の研究. 肩関節 32: 501-503, 2008
- 6) 前田和彦, 菅谷啓之, 新井隆三, 他: 棘上筋停止部に関する解剖学的検討. 肩関節 31: 209-211, 2007
- 7) 二村昭元, 宗田大, 望月智之, 他: 棘上筋と棘下筋の上腕骨停止部について — Footprint の計測 —. 肩関節 32: 229-232, 2008
- 8) 望月智之, 山口久美子, 秋田恵一, 他: 棘上筋と棘下筋の上腕骨停止部について — 組織学的検討 —. 肩関節 32: 493-496, 2008
- 9) Kim YS, Kim JM, Bigliani LU, et al.: In Vivo Strain Analysis of the Intact Supraspinatus Tendon by Ultrasound Speckles Tracking Imaging. J Orthop Res 2: 1931-1937, 2011
- 10) Andarawis-Puri N, Kuntz AF, Ramsey ML, et al.: Effect of Glenohumeral Abduction Angle on the Mechanical Interaction between the Supraspinatus and Infraspinatus Tendons for the Intact, Partial-Thickness Torn, and Repaired Supraspinatus Tendon Conditions. J Orthop Res 28: 846-851, 2010
- 11) Bey MJ, Ramsey ML, Soslowsky LJ: Intratendinous strain fields of the supraspinatus tendon: Effect of a surgically created articular-surface rotator cuff tear. J Shoulder Elbow Surg 11: 562-569, 2002
- 12) Huang CY, Wang VM, Pawluk RJ, et al.: Inhomogeneous mechanical behavior of the human supraspinatus tendon under uniaxial loading. J Orthop Res 23: 924-930, 2005
- 13) Reilly P, Amis AA, Wallace AL, et al.: Mechanical factors in the initiation and propagation of tears of the rotator cuff. Quantification of strains of the supraspinatus tendon in vitro. J Bone Joint Surg Br 85: 594-599, 2003
- 14) Nakajima T, Rokuuma N, Hamada K, et al.: Histologic and biomechanical

- characteristics of the supraspinatus tendon: Reference to rotator cuff tearing. J Shoulder Elbow Surg 3: 9-87, 1994
- 15) Miyamoto H, Aoki M, Hidaka E, et al.: Measurement of strain and tensile force of the supraspinatus tendon under conditions that simulates low angle isometric elevation of the gleno-humeral joint: Influence of adduction torque and joint positioning. Clin Biomech 50: 92-98, 2017
  - 16) 高橋晃, 松本里沙, 齋藤知行: 腱板断裂に対する肩峰下滑液包内ステロイド注射の効果と画像所見. : 肩関節 32: 613-7, 2008
  - 17) 黒田重史, 石毛徳之: 【腱板断裂手術 基礎研究と最新の治療法】腱板断裂の自然経過. 整・災外 48: 115-120, 2005
  - 18) 吉田篤, 小川清久: 腱板断裂の疫学—断裂が存在する頻度・断裂の経過—, 症状の発生と治療の目的. MB Orthop 18: 9-14, 2005
  - 19) 山中芳: 棘上筋腱の病理組織学的研究. 日整会誌 62: 1121-1138, 1988
  - 20) Itoi E, Tabata S: Incomplete rotator cuff tears. Results of operative treatment. Clin Orthop 284: 128-135, 1992
  - 21) Fukuda H, Hamada K, Nakajima T: Partial-thickness tears of the rotator cuff. A clinicopathological review based on 66 surgically verified cases. Int Orthop 20: 257-265, 1996
  - 22) Yamanaka K, Matsumoto T: The joint side tear of the rotator cuff. A follow-up study by arthrography. Clin Orthop 304: 68-73, 1994
  - 23) Hayashi S, Homma H, Naito M, et al.: Saturated salt solution method: a useful cadaver embalming for surgical skills training. Medicine 93: e196, 2014
  - 24) Ackland DC, Pak P, Richardson M, et al.: Moment arms of the muscles crossing the anatomical shoulder. J Anat 213: 383-390, 2008
  - 25) Victor H: Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. 3rd ed. MARGARETA NORDIN, New York, 2001, p319-339
  - 26) Veeger HEJ: The position of the rotation center of the glenohumeral joint. J Biomech 33: 1711-1715, 2000
  - 27) 鈴木一秀, 山本龍二, 三原研一, 他: 肩関節周囲筋の筋電図学的検討. 肩関節 20: 77-80, 1996



- 28) 埜口博司, 落合直之: 肩等速性外転及び外旋運動時の肩周囲筋の筋活動—筋電図を用いた評価—. 肩関節 29:247-252, 2005
- 29) 朝長匡: 肩関節挙上運動の筋電図学的検索. 日整会誌 62: 617-626, 1988
- 30) Joseph A, Buckwalter, Tomas A, et al.: Orthopaedic Basic Science. Biology and Biomechanics of the Musculoskeletal System. 2nd ed. Chapter 24. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, 2000, p581-616
- 31) Darlene H, Randolph M, Kessler: Management of Common Musculoskeletal Disorders. 4th Edition, PART I, LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, Philadelphia, 2006, p3-13
- 32) Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, et al.: Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Am 90: 962-969, 2008
- 33) Kibler WB: The role of the scapula in athletic shoulder function. Am J Sports Med 26: 325-337, 1998
- 34) Lukasiewicz AM, McClure P, Michener L, et al.: Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. J Orthop Sports Phys Ther 29: 574-586, 1999
- 35) 鳥巢岳彦, 国分正一, 松野丈夫, 他: 標準整形外科学 第9版, 東京, 医学書院, 2005, p360-379
- 36) Brewer: Aging of the rotator cuff. Am J Sports Med 7: 102-110, 1979
- 37) Sano H, Ishii H, Yeadon A, et al.: Degeneration at the insertion weakens the tensile strength of the supraspinatus tendon: a comparative mechanical and histologic study of the bone-tendon complex. J Orthop Res 15: 719-726, 1997
- 38) Sano H, Uthoff HK, Backman DS, et al.: Structural disorders at the insertion of the supraspinatus tendon. J Bone Joint Surg Br 80: 720-725, 1998
- 39) Panni AS, Milano G, Lucania L, et al.: Histological analysis of the coracoacromial arch: correlation between age-related changes and rotator cuff tears. Arthroscopy 12: 531-540, 1996
- 40) 塩崎浩之, 近良明: 無症候性腱板完全断裂の頻度. 整外最小侵襲術誌 44: 15-18, 2007

- 41) Yamamoto A, Takagishi K, Osawa T, et al.: Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg* 19: 116-120, 2010
- 42) Bernhardsson S, Klintberg IH, Wendt GK: Evaluation of an exercise concept focusing on eccentric strength training of the rotator cuff for patients with subacromial impingement syndrome. *Clin Rehabil* 25: 69-78, 2011
- 43) 山本宜幸, 皆川洋至, 井樋栄二: 腱板の機能解剖. *MB Orthop* 18: 1-7, 2005
- 44) Itoi E, Berglund LJ, Grabowski JJ, et al.: Tensile properties of the supraspinatus tendon. *J Orthop Res* 13: 578-584, 1995
- 45) Muraki T, Aoki M, Uchiyama E, et al.: Strain on the repaired supraspinatus tendon during manual traction and translational glide mobilization on the glenohumeral joint: A cadaveric biomechanics study. *Manual Ther* 12: 231-239, 2007
- 46) Muraki T, Aoki M, Uchiyama E, et al.: The effect of arm position on stretching of the supraspinatus, infraspinatus, and posterior portion of deltoid muscles: A cadaveric study. *Clin Biomech* 21:474-480, 2006
- 47) Bey MJ, Song HK, Wehrli FW, et al.: Intratendinous strain fields of the supraspinatus tendon: the effect of glenohumeral joint position and tendon region. *J Orthop Res* 20: 869-874, 2002
- 48) Izumi T, Aoki M, Muraki T, et al.: Stretching Positions for the Posterior Capsule of the Glenohumeral Joint: Strain Measurement Using Cadaver Specimens. *Am J Sports Med* 36: 2014-2022, 2008
- 49) 泉水朝貴, 青木光広, 村木孝行, 他: 未固定標本による肩関節後方関節包の伸張肢位の検討. *理学療法学* 35: 331-338, 2008
- 50) Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, et al.: ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion - Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech* 38: 981-992, 2005
- 51) Freedman L, Munro RR: Abduction of the arm in the scapular plane: scapular and glenohumeral movements a roentgenographic study. *J Bone Joint Surg Am* 48:

1503-1510, 1966

- 52) Poppen NK, Walker PS: Normal and abnormal motion of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am* 58: 195-201, 1976
- 53) Culham E, Peat M: Functional anatomy of the shoulder complex. *JOSPT* 18: 342-350, 1993
- 54) Hidaka E, Aoki M, Izumi T, et al.: Ligament strain on the iliofemoral, pubofemoral, and ischiofemoral ligaments in cadaver specimens: biomechanical measurement and anatomical observation. *Clin Anat* 27: 1068-1075, 2014
- 55) Sonnabend DH, Yu Y, Howlett CR, et al.: Laminated tears of the human rotator cuff: a histologic and immunochemical study. *J Shoulder Elbow Surg* 10: 109-115, 2001
- 56) Han Y, Shin JH, Seok CW et al.: Is posterior delamination in arthroscopic rotator cuff repair hidden to the posterior viewing portal?. *Arthroscopy* 29: 1740-1747, 2013
- 57) Hepp P, Engel T, Osterhoff G, et al.: Knotless anatomic double-layer double-row rotator cuff repair: a novel technique re-establishing footprint and shape of full-thickness tears. *Arch Orthop Trauma Surg* 129: 1031-1036, 2009
- 58) Kim YS, Lee HJ, Jin HK, et al.: Conventional En Masse Repair Versus Separate Double-Layer Double-Row Repair for the Treatment of Delaminated Rotator Cuff Tears. *Am J Sports Med* 44: 1146-1152, 2016
- 59) Mochizuki T, Nimura A, Miyamoto T, et al.: Repair of Rotator Cuff Tear With Delamination: Independent Repairs of the Infraspinatus and Articular Capsule. *Arthrosc Tech* 5: 1129-1134, 2016
- 60) Kim YS, Kim SE, Bae SH, et al.: Tear progression of symptomatic full-thickness and partial-thickness rotator cuff tears as measured by repeated MRI. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25: 2073-2080, 2017
- 61) Noyes FR, Grood ES: The strength of the anterior cruciate ligament in humans and rhesus monkeys. Aged-related and species-related changes. *J Bone Joint Surg Am* 58: 1074-1082, 1976
- 62) Yamada, H.: Ratios for age changes in the mechanical properties of human

- organs and tissues. In: Evans FG, ed. Strength of biological materials, Williams and Wilkins, Maryland, 1970, p255-280.
- 63) Scibek JS, Carcia CR: Assessment of scapulohumeral rhythm for scapular plane shoulder elevation using a modified digital inclinometer. World J Orthop 3: 87-94, 2012
- 64) Aoki M, Takasaki H, Muraki T, Uchiyama E, et al.: Strain of the ulnar nerve at the elbow and wrist during throwing motion. J Bone Joint Surg Am 87: 2508-2514, 2005
- 65) Takasaki H, Aoki M, Ohshiro S, et al.: Strain reduction of the extensor carpi radialis brevis tendon proximal origin following the application of a forearm support band. J Orthop Sports Phys Ther 38: 257-261, 2008
- 66) Shirato R, Aoki M, Iba K, et al.: Effect of wrist and finger flexion in relation to strain on the tendon origin of the extensor carpi radialis brevis: A cadaveric study simulating stretching exercises. Clin Biomech 49: 1-17, 2017

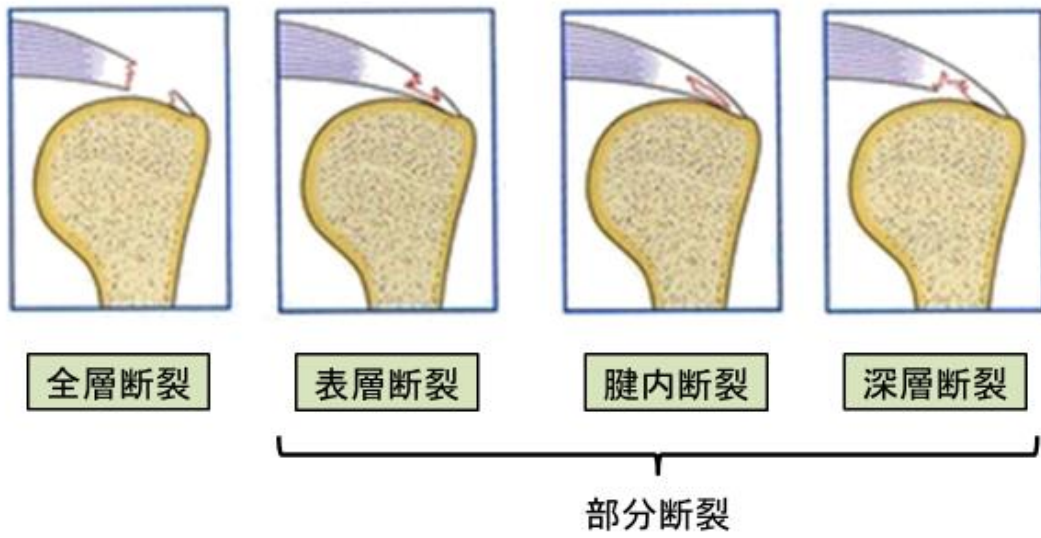


図1 棘上筋腱の損傷分類

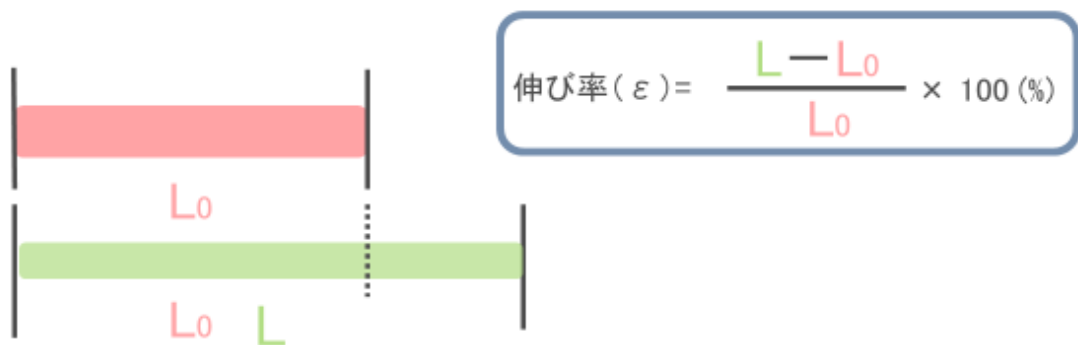


図2 伸び率の規定

$L_0$ : 棘上筋腱深層線維の基準長

$L$ : 棘上筋腱に牽引負荷をした際の棘上筋腱深層線維の長さ

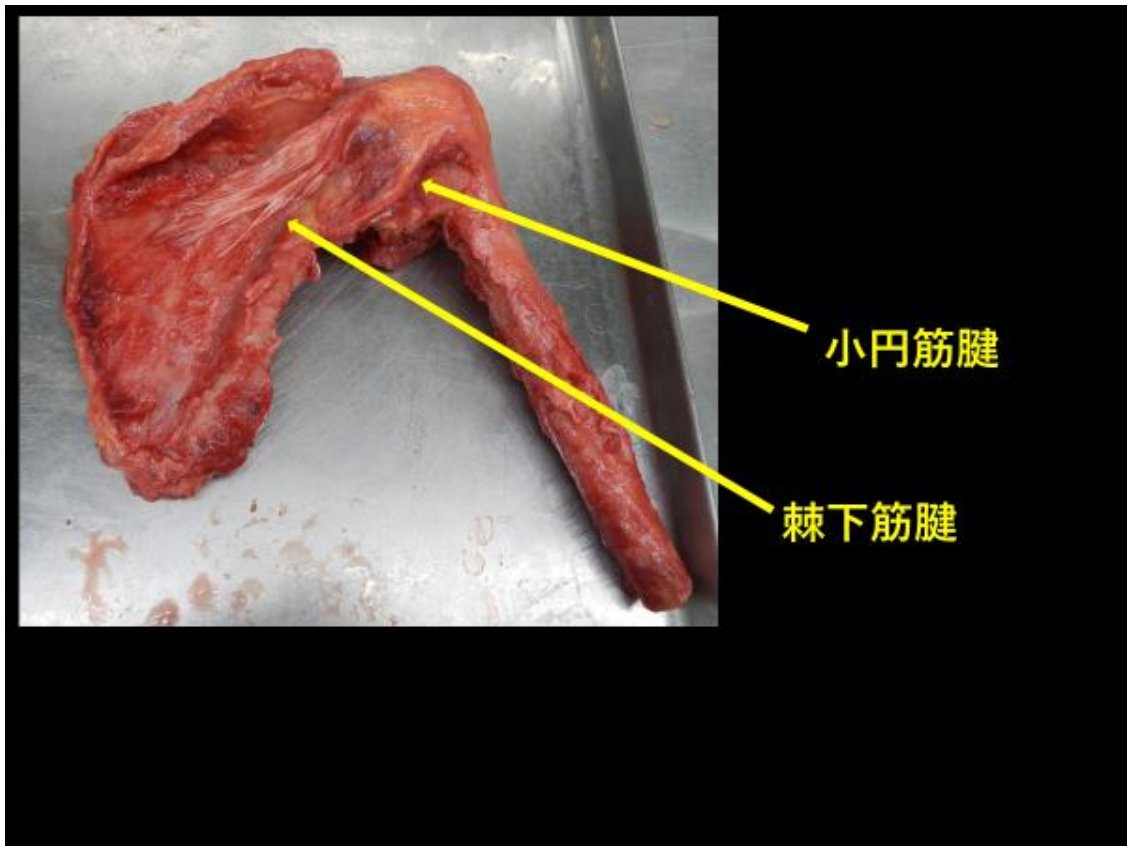


図3 標本準備（未固定ヒト遺体）

右肩を後方から観察した図である。肩甲骨、上腕骨付着筋は腱板を除いて全て切除した。腱板を構成する4筋（棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋）は筋線維を除去し、筋内腱を剖出した。棘上筋腱に変位計測器を設置するため、肩峰を肩甲棘基部で切除し、棘上筋腱の視野を広げた。

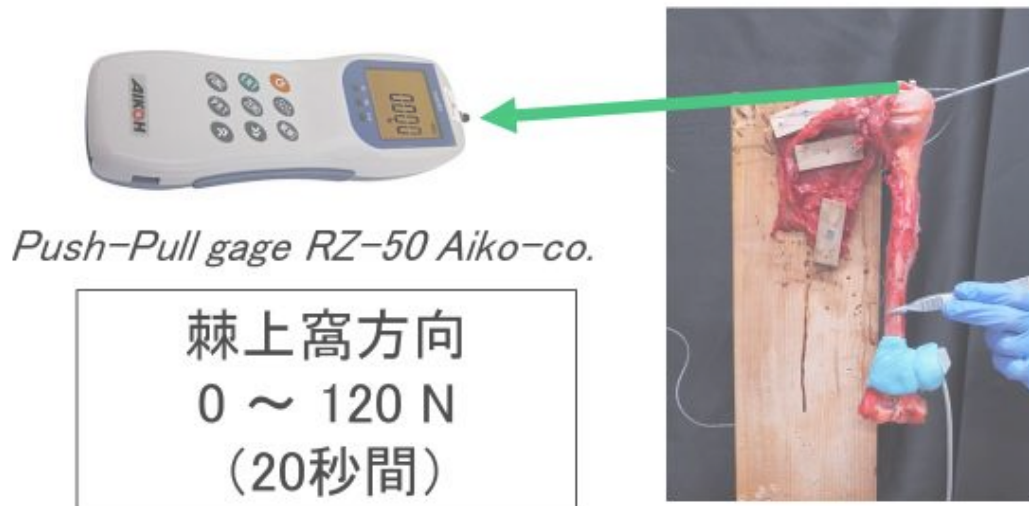


図4 デジタルプッシュプルゲージ  
(RZ-50、アイコーエンジニアリング社、東京)

肩甲骨を木製ジグに固定した。棘上筋腱に縫合した糸にデジタルプッシュプルゲージを連結し、定量的に棘上筋腱を牽引した（緑色の矢印）。デジタルプッシュプルゲージで牽引力を連続的に0~120Nまで負荷した。



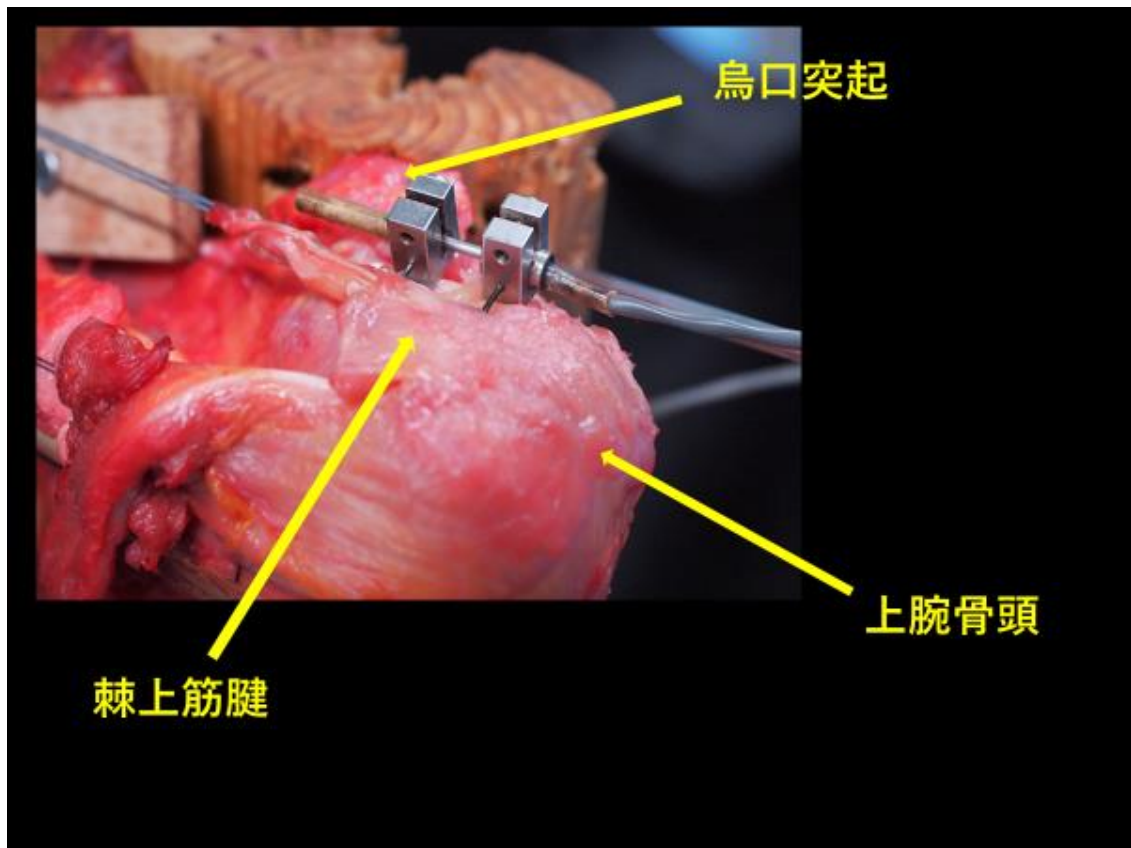


図5 変位計測器 (パルスコーダー、Levex社、京都)

右肩を上外側から観察した図である。棘上筋腱の筋内腱を全て除去し、剖出した棘上筋の筋内腱を反転して変位計測器を棘上筋腱深層線維に設置した。変位計測器の針は木製ジグや烏口突起等に当たらないよう設置した。

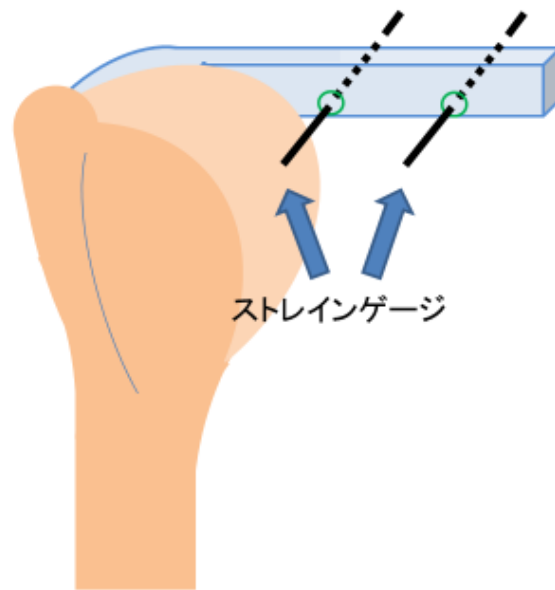


図 6 変位計測器の設置

変位計測器の 2 本の針を棘上筋腱深層線維に設置した。

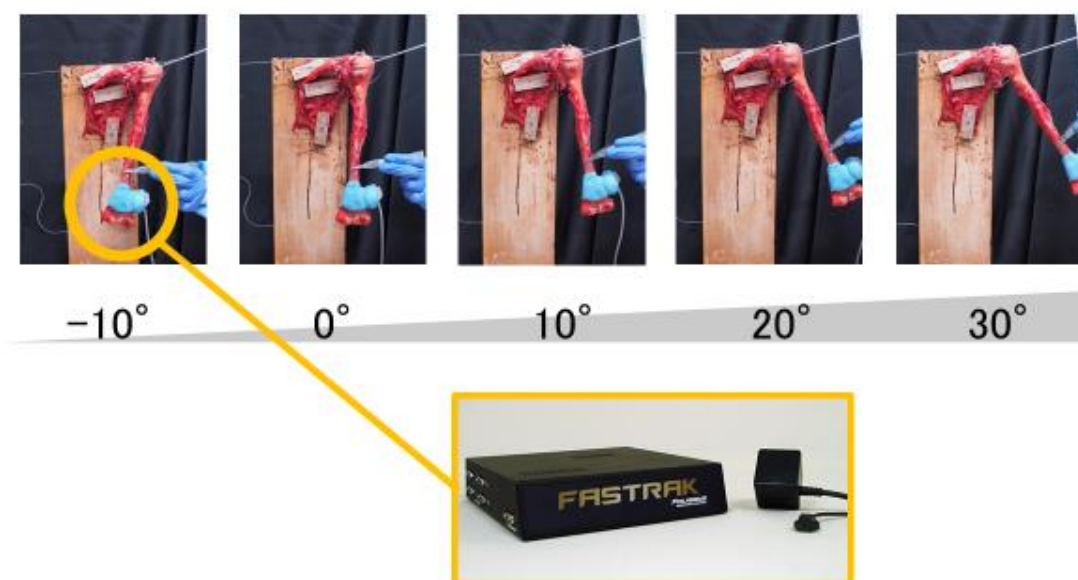


図7 三次元磁気式位置計測システム  
(3SPACE FASTRAK、Polhemus 社、Colchester)

三次元磁気式位置計測システムの磁気マーカーを上腕骨遠位部に添付して、肩甲骨面挙上角度をリアルタイムで計測した。肩甲骨面挙上角度は $-10^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$ 、 $10^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$  でそれぞれ固定した。

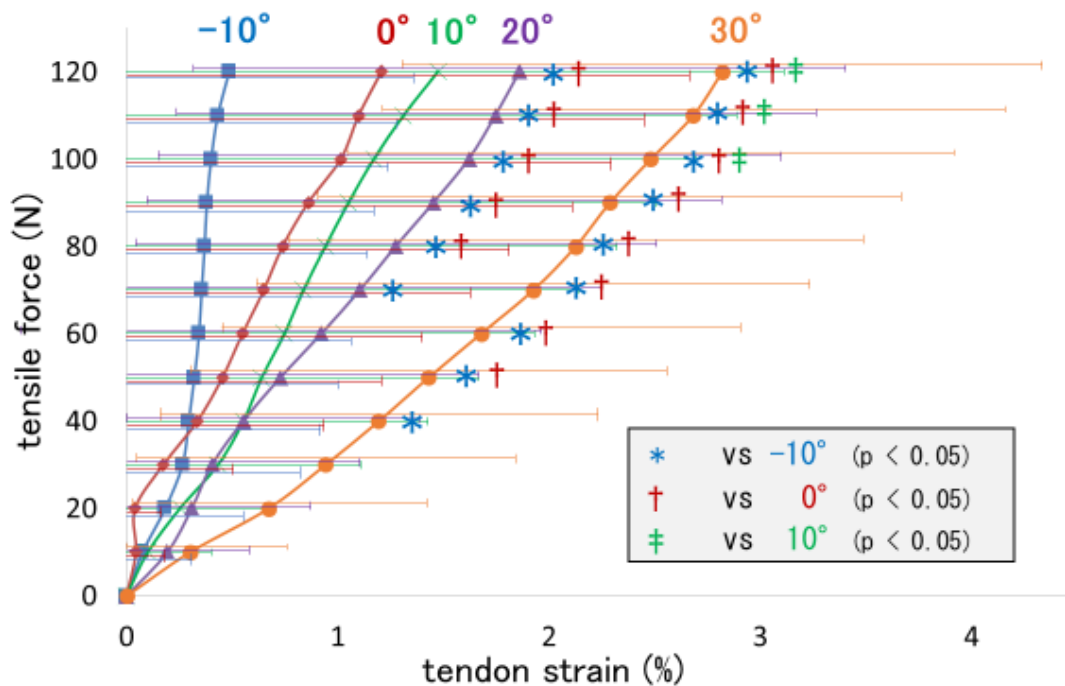


図8 棘上筋腱深層線維の伸び率

- \* Bonferroni の多重比較検定を行った結果、肩甲骨面挙上 30° では棘上筋腱の牽引力が 40N を超えると肩甲骨面挙上-10° と有意差が認められ(p < 0.05)、肩甲骨面挙上 20° では棘上筋腱の牽引力が 70N を超えると肩甲骨面挙上-10° と有意差が認められた(p < 0.05)。
- † 肩甲骨面挙上 30° では棘上筋腱の牽引力が 50N を超えると肩甲骨面挙上 0° と有意差が認められ(p < 0.05)、肩甲骨面挙上 20° では棘上筋腱の牽引力が 80N を超えると肩甲骨面挙上 0° と有意差が認められた。
- ‡ 肩甲骨面挙上 30° では棘上筋腱の牽引力が 100N を超えると肩甲骨面挙上 10° と有意差が認められた(p < 0.05)。

表 1 棘上筋腱の伸び率に関する過去の研究との比較

	報告者 (年)	対象	牽引力 (N)	伸び率 (%)			
				肩甲骨面 挙上 -10°	肩甲骨面 挙上 0°	肩甲骨面 挙上 10°	肩甲骨面 挙上 15-30°
表層 のみ	Andrawis <sup>10)</sup> (2010)	未固定	90		7.0		5.0
	Reilly <sup>13)</sup> (2003)	未固定	100		1.3		
表層 深層	Kim <sup>9)</sup> (2011)	生体			17.0 <b>3.42</b>		
	Haug <sup>12)</sup> (2005)	未固定					1.3 <b>7.4</b>
	Bay <sup>11)</sup> (2002)	未固定	31				1.4 <b>0.5</b>
	Nakajima <sup>14)</sup> (1994)	未固定	降伏点		15.0 <b>7.0</b>		
	Miyamoto <sup>15)</sup> (2017)	未固定	81-112	<b>13.0</b>	<b>10.0</b>	<b>3.0</b>	<b>1-2</b>
	<b>本研究</b>	未固定	120	<b>0.5</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9-2.8</b>

表 2 棘上筋腱深層線維の伸び率 (%)

牽引力	肩甲骨面挙上角度				
	-10°	0°	10°	20°	30°
0	0	0	0	0	0
10N	0.08 ± 0.23	0.04 ± 0.13	0.10 ± 0.30	0.19 ± 0.38	0.30 ± 0.46
20N	0.18 ± 0.37	0.04 ± 0.12	0.25 ± 0.45	0.31 ± 0.56	0.67 ± 0.75
30N	0.27 ± 0.56	0.17 ± 0.33	0.43 ± 0.68	0.40 ± 0.70	0.94 ± 0.90
40N	0.30 ± 0.62	0.34 ± 0.60	0.55 ± 0.87	0.55 ± 0.83	1.19 ± 1.04
50N	0.32 ± 0.68	0.45 ± 0.75	0.64 ± 1.03	0.73 ± 0.94	1.43 ± 1.13
60N	0.34 ± 0.72	0.55 ± 0.85	0.75 ± 1.18	0.92 ± 1.04	1.68 ± 1.23
70N	0.36 ± 0.74	0.65 ± 0.98	0.84 ± 1.30	1.11 ± 1.14	1.92 ± 1.31
80N	0.37 ± 0.77	0.74 ± 1.07	0.94 ± 1.38	1.27 ± 1.23	2.12 ± 1.36
90N	0.38 ± 0.79	0.86 ± 1.25	1.05 ± 1.45	1.45 ± 1.36	2.29 ± 1.38
100N	0.40 ± 0.83	1.01 ± 1.28	1.17 ± 1.53	1.62 ± 1.47	2.48 ± 1.43
110N	0.43 ± 1.84	1.10 ± 1.35	1.31 ± 1.58	1.75 ± 1.51	2.68 ± 1.47
120N	0.49 ± 0.87	1.21 ± 1.45	1.47 ± 1.64	1.86 ± 1.54	2.82 ± 1.51

(mean ± 1SD)

## 献体の利用に関する指針

平成22年3月 1日 札幌医科大学倫理委員会制定（献体の未固定標本利用に関する指針）

平成30年6月20日 札幌医科大学倫理委員会全面改正

### 1. 概要

近年、医療安全への社会的な関心が高まり、医療技術・手術手技の修練に関して、OJT (on the job training) による臨床経験を積んだ上で、さらに模型や動物等を使用して十分な練習を行うことが求められている。しかし、より先進的で高度な手術手技はOJTの機会が少なく、人体との解剖学的差異から模型や動物等を用いることが難しい場合もある。そこで、海外では手術手技向上のための遺体使用 (cadaver training) が幅広く行われる傾向にある。

本学では、1999年より献体を用いた臨床研究や医療技術研修を実施してきた。献体には、ホルマリン固定遺体、Thiel法固定遺体、ならびに未固定凍結遺体が含まれる。献体の未固定標本の臨床研究や医療技術研修への利用に関しては、2005年に札幌医科大学白菊会の生存会員全員に対して生前同意を取り、また献体時に遺族の同意を得た上で利用してきた。また、2006年2月に「未固定凍結人体標本を用いた卒後研修目的の解剖セミナー開催に関する指針」という課題で本学倫理委員会に申請し、承認を得ている。さらに、2010年3月に、札幌医科大学倫理委員会において「献体の未固定標本利用に関する指針」<sup>(1)</sup>が制定され、これに従い、白菊会の生存会員全員に対して医療技術の研修や研究開発に献体を用いるための生前同意を再度取り直し、また献体時に遺族の同意を得た上で利用してきた。

国内では、2008年度厚生労働科学研究「外科系医療技術修練の在り方に関する研究」<sup>(2)</sup>、ならびに2009年度厚生労働科学研究「サージカルトレーニングのあり方に関する研究」<sup>(3)</sup>において、外科系学会に対して手術手技研修の実態調査が行われ、「複雑な解剖の知識が求められる部位」や「動物と人体で大きく異なる部位」に対しては、遺体を使用した手術手技研修 (cadaver training) が有用であり、広く遺体を用いた医療手技研修のニーズがあることが示された。これを受けて、遺体を用いた医療手技研修の実施における法的・倫理的な問題を解決する目的で、2010年度厚生労働科学研究「サージカルトレーニングのあり方に関する研究」<sup>(4)</sup>にてまとめられたガイドライン案を基盤とし、2012年に日本外科学会と日本解剖学会により、現行法での遺体による手術手技研修等の実施要項となる「臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン」が公表された<sup>(5) (6) (7)</sup>。さらに、2018年に従前の内容に利益相反等に関する事項を明記するなどの改訂が行われ、このほど改訂版のガイドライン<sup>(8)</sup>が公開された。

本学においては、今後さらに、医療技術・手術手技についての医師の卒後教育や生涯教育、新規の手術手技、医療機器等の研究開発を行うことを目的に、献体を用いたサージカルトレーニングセンターを設置する。本学の倫理委員会において、研修や研究の内容を十分に検討し、承認を得るとともに、上記ガイドライン<sup>(8)</sup>で規定される専門委員会として「サージカルトレーニングセンター運営委員会」を設置し、研修内容（運営経費と利益相反状態）、参加者からの参加費の徴収の有無、金額、事業者から研修の実施について協力を受けた場合にはその協力の内容（機器の貸し出し、運営経費の補助、説明者の派遣等の有無）を審査し、透明性及び公明性を担保する。

本指針は、本学における献体の利用に関する現時点での方針を示すものであるが、今後日本解剖学会および外科系学会の見解や、全国の流れを踏まえて、適宜改正していくものとする。

### 2. 献体の利用目的

- 1) 基本的な医療技術の習得や、これに必要な解剖学的知識の教育を目的とした遺体使用
- 2) 難度が高く高度な技術を要する医療技術の習得を目的とした遺体使用
- 3) 臨床医学の研究開発（医療技術、医療機器等）、解剖学的研究、組織学的研究、ゲノム研究、プロテオミクス研究における使用

### 3. 利用する献体

- 1) ホルマリン固定遺体
- 2) Thiel法等固定遺体
- 3) 未固定凍結遺体

利用目的に応じて、最も適切な方法で処理された献体を利用する。

### 4. 献体の利用者

札幌医科大学医学部および保健医療学部関係者が利用できる。学外の利用者は、本学の定める研究生や訪問研究員などの身分を得た上で利用するものとする。ただし、医療技術研修やセミナーの参加者に関しては、本学の教員が主催または共催する場合にはこの限りではない。

### 5. 臨床医学の教育・技術研修・研究開発における献体使用の実施条件

- 1) 医療安全の向上をはかり、国民福祉への貢献を目的とする、臨床医学の教育・技術研修・研究開発であること。
- 2) 本学の解剖実習室、あるいはサージカルトレーニングセンター運営委員会が規定する特定の解剖室において、死体解剖保存法<sup>(9)</sup>、献体法<sup>(10)</sup>の範疇で実施すること。
- 3) 使用する献体は、以下を満たすものであること。
  - ① 死亡した献体登録者が生前に、自己の身体が学生に対する正常解剖学実習に加えて、医師（歯科医師を含む）による医療手技研修等の臨床医学の教育・技術研修・研究開発に使用されることについての書面による同意をしていること。
  - ② 家族がいる場合には、家族からも書面で承諾を得られていること。
- 4) 実施にあたり、札幌医科大学倫理委員会一般研究倫理審査専門委員会、ヒトゲノム・遺伝子解析研究審査委員会等に諮り、実施内容を十分に検討し承認を得ていること。

### 6. 白菊会会員に対する説明と同意書の取得

「臨床医学の教育・研究開発・医療技術研修には、正常解剖実習とは別の同意書が必要である」とのガイドライン<sup>(8)</sup>に従う。

白菊会会員に対し、以下の①会員用説明書「献体を用いた医学教育、および臨床医学の教育・技術研修・研究開発へのご理解とご協力をお願い」、②会員用同意書「献体の利用に関する同意書」を送付し、書面による生前同意を取得する。また、会員が死亡し献体された際には、あらかじめ遺族に以下の④遺族用説明書「献体を用いた医学教育、および臨床医学の教育・技術研修・研究開発へのご理解とご協力をお願い」、⑤遺族用承諾書「献体の利用に関する遺族の承諾書」を送付し、書面による同意を取得する。本書面は、白菊会の生存会員全員、ならびに新規入会希望者に送付し、同意が得られた場合にのみ献体を使用するものとする。

なお、同意書取得後において同意の撤回を希望される場合は、文書（以下の③会員用同意撤回書および⑥遺族用同意撤回書）によりこれを撤回することができる。



献体を用いた医学教育、および臨床医学の教育・技術研修・研究開発へのご理解とご協力をお願い

札幌医科大学 学長 塚本泰司  
解剖学第一講座 教授 辰巳治之  
解剖学第二講座 教授 藤宮峯子

このたびは献体登録をご検討いただき、誠にありがとうございます。

札幌医科大学では、ご献体いただいたご遺体を、

- 1) 「医学教育」における正常解剖実習、
  - 2) 「臨床医学の教育・技術研修・研究開発」、
- に使用させていただきます。

#### 1) より良い医師・医療者の育成のために

医師・医療者になる学生が、ご献体いただいたご遺体によって正常解剖を学ぶことにより、解剖学の知識の習得と同時に、献体者に対する感謝の気持ちと、その期待に応える責任と自覚を持つという点で、何ものにも代え難い人間教育を受けています。

#### 2) 高度かつ安心・安全な医療のために

手術手技などの医療技術や病気の新しい治療法の進歩は目覚ましく、ご遺体を用いた臨床医学の教育や技術研修、研究開発の必要性が強く求められています。日本ではこのような教育、研修、研究を実施できる施設はわずかしかなく、今後の医学・医療の発展のために、施設の整備や取り組みの強化が求められています。

##### 2-1) 臨床医学の教育・技術研修・研究開発とは

近年、高度な医療や医療安全への社会的な関心が高まり、手術手技等の教育や研修には、臨床経験に加えて模型やトレーニング機器等を使用して、十分な修練を行うことが求められています。しかし、より先進的で高度な手術手技は研修の機会が少なく、また複雑な人体構造を有する部分の医療技術のトレーニングや関連する医療機器の研究開発は、人体との解剖学的差異から模型や人工的な機器で実施するのは難しい場合があります。そこで、ご献体を用いた臨床医学の教育・研修・研究（ゲノム・遺伝子解析やタンパク・プロテオミクス解析等を含む）がとても有用で、意義が高いと考えられています。

##### 2-2) 献体の利用法についての今後の展望

篤志献体は、従来「医学教育」における正常解剖実習に使用させていただく目的で始まりまし

た。その後の医学の発展に伴い、札幌医科大学では、生前にご同意をいただいた白菊会会員の皆様のご献体を用いて、すでに1999年より献体を用いた臨床研究や医療技術研修を実施してきました。2010年には、札幌医科大学倫理委員会が、ご献体の利用に対する新たな指針を制定したことに伴い、「生体機能を明らかにするための研究」、「医療技術向上のための研究や研修」、「先端医療・先端医学のための研究」にご献体を利用させていただくための生前同意を白菊会全員の皆様から再度いただき、ご献体を利用してきました。札幌医科大学では、今後、サージカルトレーニングセンターを設置し、実際の臨床で使用する手術器具・内視鏡・カテーテルなどを用いて実践的医療手技の研修、新しい手術方法・医療技術や医療機器の開発を行います。これには研修室の整備、手術器具・医療機器の購入や賃貸などのために多額の費用が必要です。そこで医師会、北海道、札幌市などの自治体、病院、企業、個人などからの寄付や参加する医師からの自己負担をいただき、サージカルトレーニングセンターでの研修・研究・開発に役立てる予定です。

サージカルトレーニングセンターの設置・開設に伴い、ご献体を従来の「医学教育における正常解剖実習」にとどまらず、これらの臨床医学の教育・研修・研究の目的で使用させていただく機会が増えます。ご献体を使用して行うサージカルトレーニング等これら臨床医学の教育・研修・研究については、本学に所属する職員だけでなく、他大学、他機関に所属する医師なども参加することがありますので、ご承知おき願います。他大学等の参加者については、本学の訪問研究員となっていただく等、本学の責任・管理下に行うこととしております。ご献体のこれらの目的における利用については、札幌医科大学倫理委員会の厳正な審査と承認を得て行うことといたします。

#### 2-3) ご献体の受け入れ体制・管理方法につきまして

臨床医学の教育・技術研修・研究開発に利用させて頂くご献体について、ご遺体のお預かり方法や大学における管理方法は、これまで通り解剖学教室の責任下において行われますので、医学教育を目的としたご献体と何ら変わりはありません。

#### 2-4) 献体ができない場合

以下の場合につきましては、献体登録および献体の受入れができない場合がありますので、あらかじめご了承ください。

- ① 重篤な感染症（B型肝炎、C型肝炎、HIV（エイズ）感染、結核等。既往を含む）がある場合
- ② 不慮の事故等で亡くなられてご遺体の損傷が激しい場合（交通事故死、水死、焼死、災害死、自殺等）
- ③ 死亡後、長時間経過している場合（通夜、告別式等の場合を除く）
- ④ 病理解剖や法医解剖によりご遺体が解剖される場合
- ⑤ 死亡後、臓器提供をされる場合（臓器提供の登録と献体登録を重複しておこなうことはできません。）

札幌医科大学の医師・医療者・研究者は、「医学及び歯学の教育のための献体に関する法律（昭和58年5月25日、法律第56号）」<sup>\*1</sup>、「臨床医学の教育及び研究における遺体使用の実施条件（臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン、2018年改訂）」<sup>\*2</sup>、ならびに「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」（平成13年文部科学省、厚生労働省、経済産業省制定）<sup>\*3</sup>

を遵守いたしますので、ご理解とご協力をお願い申し上げます。尚、これらの法律や書類の詳細な内容は、以下のインターネットのサイトで閲覧することが可能です。書面での閲覧をご希望される場合には、白菊会事務局までお申し付けください。あらためてお送りさせていただきます。

\*1:[http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_housei.nsf/html/houritsu/09819830525056.htm](http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/houritsu/09819830525056.htm)

\*2:<http://www.anatomy.or.jp/>

\*3:<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10600000-Daijinkanboukouseikagakuka/0000153405.pdf>

以上の内容をご理解いただいた上で、別添同意書の項目に○をつけ、署名・捺印の上、ご返送ください。ご同意は、いつでも文書により撤回することもできます。

お問い合わせ先；札幌医科大学解剖学第二講座 教授 藤宮 峯子

Tel 011-611-2111（内線 26400）

## 入 会 申 込 書

札幌医科大学白菊会殿

貴会の趣旨に賛同し、入会の申込みをします。

入会にあたり、私の遺体を医学教育（正常解剖実習）のために使用することに同意します。

入会申込日                    年      月      日

ふりがな -----  
氏      名      \_\_\_\_\_印

生 年 月 日 明治・大正・昭和 \_\_\_\_\_年      月      日

住      所 〒 \_\_\_\_\_

電 話 番 号 (      )      - \_\_\_\_\_

既往歴・手術歴 \_\_\_\_\_

## 同意書

入会申込者が貴会の趣旨に賛同して札幌医科大学に献体することに同意し、かつ、その意志を実行することを約束いたします。

(1 親等の親族からは必ず同意を得てください)

	同意者氏名	印	続柄	住 所
親族 代表	----- 年 月 日生			〒
親族	----- 年 月 日生			〒
親族	----- 年 月 日生			〒
親族	----- 年 月 日生			〒

※ 場合によっては、献体登録および献体の受入れをお断りする場合があります。詳細は、会員用説明書の項目2-4)「献体ができない場合」の内容をご確認ください。

## 献体の利用に関する同意書

札幌医科大学学長 塚本泰司 様

私の遺体を、

臨床医学の教育・技術研修・研究開発に使用することに、

同意します       同意しません

\_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

氏 名 \_\_\_\_\_印

住 所 〒 \_\_\_\_\_

③ 会員用同意撤回書

(会員用同意撤回書)

同 意 撤 回 書

札幌医科大学学長 塚本泰司 様

私は、 \_\_\_\_年\_\_月\_\_日に献体の医学教育（正常解剖実習）、あるいは臨床医学の教育・技術  
研修・研究開発への利用に同意しましたが、都合により同意を撤回いたします。

撤回内容；

臨床医学の教育・技術研修・研究開発に使用することを、撤回します。

同意撤回日： \_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

白菊会会員番号 \_\_\_\_\_

氏 名 \_\_\_\_\_印

住 所 〒 \_\_\_\_\_

## ご遺族の皆様へ

札幌医科大学 学長 塚本泰司  
解剖学第一講座 教授 辰巳治之  
解剖学第二講座 教授 藤宮峯子

### 献体を用いた医学教育、および臨床医学の教育・技術研修・研究開発へのご理解とご協力をお願い

このたびは、故人のご意志を理解しご献体いただきまして、誠にありがとうございました。

札幌医科大学では、ご献体いただいたご遺体を、

- 1) 「医学教育」における正常解剖実習、
  - 2) 「臨床医学の教育・技術研修・研究開発」、
- に使用させていただきます。

生前にご本人様からの同意をいただいておりますが、あらためてご遺族様のご同意をいただきたく存じます。

#### 1) より良い医師・医療者の育成のために

医師・医療者になる学生が、ご献体いただいたご遺体によって正常解剖を学ぶことにより、解剖学の知識の習得と同時に、献体者に対する感謝の気持ちと、その期待に応える責任と自覚を持つという点で、何ものに代え難い人間教育を受けています。

#### 2) 高度かつ安心・安全な医療のために

手術手技などの医療技術や病気の新しい治療法の進歩は目覚ましく、ご遺体を用いた臨床医学の教育や技術研修、研究開発の必要性が強く求められています。日本ではこのような教育、研修、研究を実施できる施設はわずかしかなく、今後の医学・医療の発展のために、施設の整備や取り組みの強化が求められています。

##### 2-1) 臨床医学の教育・技術研修・研究開発とは

近年、高度な医療や医療安全への社会的な関心が高まり、手術手技等の教育や研修には、臨床経験に加えて模型やトレーニング機器等を使用して、十分な修練を行うことが求められています。しかし、より先進的で高度な手術手技は研修の機会が少なく、また、複雑な人体構造を有する部分の医療技術のトレーニングや関連する医療機器の研究開発は、人体との解剖学的差異から模型や人工的な機器で実施するのは難しい場合があります。そこで、ご献体を用いた臨床医学の教育・研修・研究(ゲノム・遺伝子解析やタンパク・プロテオミクス解析等を含む)がとても有用で、意義が高いと考えられています。

##### 2-2) ご献体の利用法についての今後の展望

篤志献体は、従来「医学教育」における正常解剖実習に使用させていただく目的で始められました。その後の医学の発展に伴い、札幌医科大学では、生前にご同意をいただいた白菊会会員の皆様のご献体を用いて、すでに1999年より献体を用いた臨床研究や医療技術研修を実施してきました。2010年には、札幌医科大学倫理委員会が、ご献体の利用に対する新たな指針を制定した



ことに伴い、「生体機能を明らかにするための研究」、「医療技術向上のための研究や研修」、「先端医療・先端医学のための研究」にご献体を利用させていただくための生前同意を白菊会全員の皆様から再度いただき、ご献体を利用してきました。札幌医科大学では、今後、サージカルトレーニングセンターを設置し、実際の臨床で使用する手術器具・内視鏡・カテーテルなどを用いて実践的医療手技の研修、新しい手術方法・医療技術や医療機器の開発を行います。これには研修室の整備、手術器具・医療機器の購入や賃貸などのために多額の費用が必要です。そこで医師会、北海道、札幌市などの自治体、病院、企業、個人などからの寄付や参加する医師からの自己負担をいただき、サージカルトレーニングセンターでの研修・研究・開発に役立てる予定です。

サージカルトレーニングセンターの設置・開設に伴い、ご献体いただいたご遺体を従来の「医学教育における正常解剖実習」にとどまらず、臨床医学の教育・研修・研究の目的で使用させていただく機会が増えます。ご献体を使用して行うサージカルトレーニング等これら臨床医学の教育・研修・研究については、本学に所属する職員だけでなく、他大学、他機関に所属する医師なども参加することがありますので、ご承知おき願います。他大学等の参加者については、本学の訪問研究員となつていただく等、本学の責任・管理下に行うこととしております。ご献体のこれらの目的における利用については、札幌医科大学倫理委員会の厳正な審査と承認を得て行うことといたします。

### 2-3) ご献体の管理方法につきまして

臨床医学の教育・技術研修・研究開発に利用させて頂くご献体について、ご遺体の大学における管理方法は、これまで通り解剖学教室の責任下において行われますので、医学教育を目的としたご献体と何ら変わりありません。

札幌医科大学の医師・医療者・研究者は、「医学及び歯学の教育のための献体に関する法律（昭和58年5月25日、法律第56号）」<sup>\*1</sup>、「臨床医学の教育及び研究における遺体使用の実施条件（臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン、2018年改訂）」<sup>\*2</sup>、ならびに「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」（平成13年文部科学省、厚生労働省、経済産業省制定）<sup>\*3</sup>を遵守いたしますので、ご理解とご協力をお願い申し上げます。尚、これらの法律や書類の詳細な内容は、以下のインターネットのサイトで閲覧することが可能です。書面での閲覧をご希望される場合には、白菊会事務局までお申し付けください。あらためてお送りさせていただきます。

\*1:[http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_housei.nsf/html/houritsu/09819830525056.htm](http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_housei.nsf/html/houritsu/09819830525056.htm)

\*2: <http://www.anatomy.or.jp/>

\*3: <http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10600000-Daijinkanboukouseikagakuka/0000153405.pdf>

大変お手数ですが、以上の内容をご理解いただいた上で、別添同意書の項目に○をつけ、署名・捺印の上、ご返送いただきたくお願い申し上げます。

なお、ご同意はいつでも文書により撤回することもできます。ただし、撤回の時点ですでにご遺体を使用している場合は、その限りではありません。

お問い合わせ先；札幌医科大学 解剖学第二講座 教授 藤宮 峯子  
Tel 011-611-2111（内線 26400）

### 献体の利用に関する遺族の承諾書

札幌医科大学学長 塚本泰司 様

1 故人の住所 〒 \_\_\_\_\_

氏名 \_\_\_\_\_

2 死亡年月日 \_\_\_\_年\_\_月\_\_日 午前・午後 時 分

3 死亡の場所 \_\_\_\_\_

死体解剖保存法の規定に基づいて解剖され、またその必要部分が保存されることについて、異存ありません。

また、献体を臨床医学の教育・技術研修・研究開発に使用することに

同意します       同意しません

\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

遺族（代表）氏名 \_\_\_\_\_ 印 続柄 \_\_\_\_\_

住 所 〒 \_\_\_\_\_

電話番号 \_\_\_\_\_

⑥ 遺族用同意撤回書

(遺族用同意撤回書)

同 意 撤 回 書

札幌医科大学学長 塚本 泰司 様

故 \_\_\_\_\_ の遺族は、 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日に、献体者の生前同意に基づいて遺体を使用することに同意しましたが、都合により同意を撤回いたします。

同意撤回日： \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

遺族（代表）氏名 \_\_\_\_\_ 印 続柄 \_\_\_\_\_

住 所 〒 \_\_\_\_\_

電話番号 \_\_\_\_\_

## 7. 臨床医学の教育・技術研修への利用

- 1) 臨床医学の教育ならびに医療技術研修を目的とした献体の利用は、卒後教育、生涯教育の一環として行うものとする。これらを行おうとする者は、申請書（研修課題、主催者および共催者（このどちらかが本学教員でなければならない）、目的、方法、必要とする献体数、予想される結果、献体でなければならない理由、等を記入したもの）を本学倫理委員会ならびにサージカルトレーニングセンター運営委員会に提出し、承認を得なければならない。
- 2) 医療技術研修（サージカルトレーニング、セミナー等）を開催する場合には、本学の解剖実習室、あるいはサージカルトレーニングセンター運営委員会が規定する特定の解剖室において実施する。医療技術研修の実施者は、研修内容（運営経費と利益相反状態）、参加者からの参加費の徴収の有無、金額、事業者から研修の実施について協力を受けた場合にはその協力の内容（機器の貸し出し、運営経費の補助、説明者の派遣等の有無）を倫理委員会ならびにサージカルトレーニングセンター運営委員会に報告し、透明性及び公明性を担保する。
- 3) 臨床医学の教育ならびに医療技術研修において、利用可能な遺体数、遺体管理、または安全性などの面から不都合のある場合は、サージカルトレーニングセンター運営委員会はこれらを中止させることができる。

## 8. 臨床医学の研究開発、解剖学的研究、組織学的研究、ゲノム研究、プロテオミクス研究への利用

献体時、遺族から死体解剖保存法<sup>⑨</sup>第7条の規定による承諾を文書で受けている。また、死体解剖保存法<sup>⑧</sup>第18条の規定により、「死体の解剖をすることができる者は、医学の教育又は研究のため特に必要があるときは、解剖をした後その死体の一部を標本として保存することができる」とされている。従って、献体の固定方法にかかわらず、献体を医学研究に用いることは法的に認められている。

- 1) 献体標本を用いたゲノム研究、プロテオミクス研究等が含まれる。これらの研究は、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針（平成13年文部科学省、厚生労働省、経済産業省制定）<sup>(11)</sup>」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成26年文部科学省、厚生労働省制定）<sup>(12)</sup>」等を遵守して行う。
- 2) 個々の研究課題に関しては、研究計画書（研究課題、研究責任者（捺印）、共同研究者、研究期間、研究目的、方法、必要とする遺体数、予想される結果、献体でなければならない理由、等を記入したもの）をヒトゲノム・遺伝子解析研究審査委員会、札幌医科大学倫理委員会一般研究倫理審査専門委員会等に提出し、承認を得なければならない。
- 3) 研究成果は、原則として学術雑誌や学会等で公表するものとする。成果公表の際には、ヒトゲノム・遺伝子解析研究審査委員会、札幌医科大学倫理委員会一般研究倫理審査専門委員会等の下で行ったことを明記する。
- 4) 実施された課題については、研究期間終了後に実施報告書を提出する。献体の利用や管理、また遺伝子情報の取り扱いなどの面で不都合がある場合は、ヒトゲノム・遺伝子解析研究審査委員会、札幌医科大学倫理委員会一般研究倫理審査専門委員会等は研究を中止させることができる。
- 5) 研究課題の終了時に、研究責任者は、献体標本を適切に処理したことをヒトゲノム・遺伝子解析研究審査委員会、札幌医科大学倫理委員会一般研究倫理審査専門委員会等に報告しなければならない。また、遺族から献体標本の返却を求められた場合には、これに適切に応じなければならない。

## 9. 感染症対策

### 1) 感染症の有無の検査と遺体の処置

臨床医学の教育・技術研修・研究開発への利用に関しての同意を得ている献体は、未固定凍結保存、あるいはThiel 法等の固定を行う可能性があるため、遺体到着後、遺体から採血し、肝炎ウイルス（B型、C型）とHIVウイルスの感染の有無を調べる。さらに病歴や診断書等から活動性結核やその他の感染症がないかどうかを可能な限り調べる。

感染症が否定できる遺体のみを未固定凍結保存して利用する。Thiel法等による固定では、感染の可能性は少ないが、固定不十分な遺体からの感染が起こる事態を否定できたいため、上記の感染防止対策を行う。感染症が否定できない遺体は、通常ホルマリン固定を行うものとする。

未固定凍結遺体は、遺族の面会希望や遺体の返還を求められる場合を考慮して、死亡後少なくとも30日間は凍結保管して使用を控え、必要に応じて遺族との面会を許可するが、原則として、30日を

経過した後もしくは解剖を開始した後は遺族との面会は行わないこととする。

遺体からの血液や細胞・試料の採取、遺体の凍結保存（-20℃保管）は、札幌医科大学解剖処置室および実習室において実施する。

#### 2) 献体利用者の感染対策

献体利用者は、つねに个人防护具を身につけ遺体からの感染リスクを防護しなければならない。

医療技術研修においては、研修参加者に通常手術と同様の感染対策を義務づける。

未固定標本の利用者は、定期的に血液検査を受け、HBV抗体陰性の者に対してはワクチン投与を義務づけるものとする。

#### 3) 事故への対応

遺体からの採血時の針刺し事故に関しては、本学関係者は総務課主査（労務管理）で取り扱う。他大学の研究者や研修者については、費用を自己負担させるものとする。

#### 4) 未知の感染症およびプリオン病などへの対応、未固定標本利用に関する感染防止や安全性に関して全学規模で管理することとする

### 10. 献体および標本の管理

個々の献体に関する個人情報、ならびに標本・試料の利用に関する情報は、解剖学講座教授が管理責任を負うものとする。

献体から採取した標本・試料の利用にあたっては、個人情報保護のため、匿名化した上で研究に用いる。氏名等の個人情報は一切公表しない。献体から採取した標本・試料は、遺体毎にデータベース化し、各研究者が所属する研究室で管理・保管をおこなう。研究課題の終了時には、各課題の研究実施責任者が責任をもって標本・試料を破棄するものとする。

献体の利用後は、札幌医科大学が責任をもって火葬し、献体から原則として3年以内に遺族に遺骨を返還するものとする。遺骨返還式は、通常固定の遺体に準じて行う。

### 参考文献

- (1) 「献体の未固定標本利用に関する指針」（平成22（2012）年3月1日 札幌医科大学倫理委員会制定）
- (2) 平成20（2008）年度 厚生労働科学研究費補助金 地域医療基盤開発推進研究「外科系医療技術修練の在り方に関する研究」主任研究者 近藤哲
- (3) 平成21（2009）年度 厚生労働科学研究費補助金 地域医療基盤開発推進研究「サージカルトレーニングのあり方に関する研究」主任研究者 近藤哲
- (4) 平成22（2010）年度 厚生労働科学研究費補助金 地域医療基盤開発推進研究「サージカルトレーニングのあり方に関する研究」主任研究者 七戸俊明
- (5) 「臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン」解剖誌 87：21-23（2012）
- (6) 「臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン」に対する解剖学会の見解、解剖誌 87：25-26（2012）
- (7) 従来解剖学教室における臨床解剖学教育・研究といわゆるガイドライン（臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン）における外科手術手技研修の相違点について、解剖誌 88：69-70（2013）
- (8) 「臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン」（2018改訂）
- (9) 死体解剖保存法（昭和24年 法律第204号）
- (10) 献体法、「医学及び歯学の教育のための献体に関する法律」（昭和58年5月25日、法律第56号）の略号
- (11) 「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」（平成13年文部科学省、厚生労働省、経済産業省制定）
- (12) 「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」（平成26年12月22日文部科学省、厚生労働省）

別記第2号様式

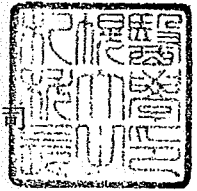
研究実施計画判定通知書

承認番号 29-2-30

平成29年 8月22日

申請者 所属 保健医療学部理学療法学第二講座  
職・氏名 教授 渡邊耕太 様

札幌医科大学  
学長 塚本 泰



課題 肩関節周囲組織の生体工学的特性の検証 -健常人と未固定凍結人体標本を用いた研究-

平成29年7月31日 付けで申請のあった上記課題に係る実施計画について、「倫理委員会」の答申に基づき次のとおり判定したので通知します。

記

1 判定

- 承認する（研究が終了したときは、終了後3ヶ月以内に別紙研究結果報告書により報告すること）
- 条件付きで承認する（条件： ）
- 修正した上で承認する（倫理委員会の意見に回答の上書類を再提出すること）
- 保留（倫理委員会での審査を継続）する
- 承認しない

研究実施計画変更判定通知書

平成30年10月 1日

申請者 所 属 保健医療学部理学療法学第二講座  
職・氏名 教授 渡邊 耕太 様

札幌医科大学  
学長 塚本 泰司



課題 肩関節周囲組織の生体工学的特性の検証 -健常人と未固定凍結人体標本を用いた研究-

平成30年8月21日付けで申請のあった上記課題に係る実施計画の変更について、「倫理委員会」の答申に基づき次のとおり判定したので通知します。

記

1 判 定

- 承認する（研究終了後3ヶ月以内に別紙研究結果報告書により報告すること）
- 条件付きで承認する（条件： ）
- 修正した上で承認する（倫理委員会の意見に回答の上書類を再提出すること）
- 保留（倫理委員会での審査を継続）する
- 承認しない
- 停止する（研究の継続には更なる説明を要する）
- 中止する（研究の継続は適当ではない）

研究実施計画変更判定通知書

令和 元年 9月30日

申請者 所 属 保健医療学部理学療法学第二講座  
職・氏名 教授 渡邊 耕太 様

札幌医科大学  
学長 塚本 泰司



課題 肩関節周囲組織の生体工学的特徴の検証ー健常人と未固定凍結人体標本を用いた研究ー

令和元年9月12日付けで申請のあった上記課題に係る実施計画の変更について、「倫理委員会」の答申に基づき次のとおり判定したので通知します。

記

1 判 定

- 承認する（研究終了後3ヶ月以内に別紙研究結果報告書により報告すること）
- 条件付きで承認する（条件： ）
- 修正した上で承認する（倫理委員会の意見に回答の上書類を再提出すること）
- 保留（倫理委員会での審査を継続）する
- 承認しない
- 停止する（研究の継続には更なる説明を要する）
- 中止する（研究の継続は適当ではない）