

厚生労働科学研究費補助金  
障害保健福祉総合研究事業

## 関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発

平成14年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 赤居 正美

平成15(2003)年4月

## 目 次

I. 総括研究報告	
関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発	1
赤居正美	
(資料1)	
(資料2)	
II. 分担研究報告	
1. 関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発	
－拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握－	5
薄葉真理子	
2. 関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発	
－拘縮の程度の計測システムの確立－	6
白崎芳夫	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	7
IV. 研究成果の刊行物・別刷	9

関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発

（主任）研究者 赤居正美 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所部長

研究要旨

手指用の関節拘縮治療機器の開発を目的に、1) 昨年度の計測装置に加え小関節に応用可能な固定用ジグ類や動物標本のアタッチメントシステム、ジグを追加作製した。2) ラット膝関節モデルにて角度測定と力学試験による拘縮の定量的計測を行い、各群の関節角度の経時的推移を得た。動物から摘出した拘縮膝関節モデルでの力学計測を行っている。3) 昨年度試作した作動部分と連結し、種々の力学的負荷の加えられる空気圧で動く駆動装置（アクチュエータ）を試作した。動物用機器も創外固定式で実験する予定であり、現在、特許申請を準備中。

分担研究者

薄葉真理子

（筑波技術短大理学療法学科助教授）,

白崎芳夫

（独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学主任研究官）

定量的評価によって把握し、種々の条件での治療効果を比較することで、有効性の裏付けを持った治療機器を開発する。

（倫理面への配慮）

拘縮モデルを作製する動物実験は、分担研究者の所属する機関の動物実験倫理審査委員会の審査を受け、その指針のもとに行っている。今後の臨床評価に際しても、プロトコルを主任研究者の所属する施設の倫理委員会に諮り、その承認およびインフォームド Consentのもと、手指の関節拘縮を持つ患者の参加を呼びかける。ただし用いる手法は非観血的手段であり、加えられる力学負荷も弾性範囲内に留まるので、問題は生じないと考えている。

A. 研究目的

研究目的は、廃用性変化の代表である関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発であり、3年間に達成すべき研究目標は、外力に対する関節の細胞応答と組織変化を解析して、弾性限界内の周期的外力を利用した手指用の関節拘縮治療機器の製作を行うことにある。

B. 研究方法

動物モデルを用いた実験から開始し、最終的には臨床に使用できる機器開発を目指す。3年計画において、概ね以下の3項目を各年度の中心に置く。当初は機器の試作について初年度から試験設計を開始する予定であったが、交付研究費減額の関連で、中心目標が次年度にずれ込んだ。

（1）拘縮の程度の計測システムの確立：

従来の拘縮モデルに代わり、鋼線を用いるラットの膝関節での実験系を構築した。また物性の異なる複数の組織系からなる関節構造を評価するため、加振機を用いて振動荷重を与え、関節に生じた振動応答を解析する装置の組上げを行った。

（2）拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握と生体への拡張：

経時的に変化させた種々の関節拘縮条件での解析を押し進めると同時に、臨床例への応用をはかるために、人体の小関節用に向けた拘縮程度を計測する装置を開発する。

（3）関節拘縮の治療機器の試作：

手指関節の関節拘縮を対象とし、駆動装置と手指に装着する作動部分を連結し、一定の運動パターンを記憶させた上、その時間を延長し、さらに弾性限界内において周期的伸張力を加える治療機器を製作・評価する。動物実験から得られた治療に有効な条件をもとに、コンピュータ制御下にプログラムを組み立てる

全体として関節拘縮の程度を力学的解析に基づく

C. 研究結果

1) 2年続きの交付研究費減額もあって、動物モデルの組織・生化学分析がまだ取りかかれていないが、他の目標は達成。

1) 昨年度に組み上げた力学計測装置に対しては、小関節に応用可能な固定用ジグ類や動物標本のアタッチメントシステム、ジグなどの追加作製を行った。

2) ラットの膝関節を実験モデルとし、角度測定と力学試験による拘縮変化の定量的計測を行った。70日間の飼育期間中、40日間で膝関節に拘縮を完成させ、43日目より4週間に渡り、週3回、合計12回麻酔下に拘縮改善のための種々の牽引伸張力を加えた。加える伸展トルクなしの無治療対照群、0.02Nmの低負荷群、0.045Nm高負荷群、各20分間の3群から始め、各群の関節角度の経時的推移を得た。その後、摘出した膝関節の力学試験を行っている。

3) 昨年度から、屈伸とともに長軸方向の牽引力も加えられる作動機構を作るべく、第一測範製作所および芝浦工業大学に委託し試験設計を行っていたが、試作器が完成した。今年度は戸部電機に委託して、作動部分と連結し、種々の力学的負荷の加えられる空気圧で動く駆動装置（アクチュエータ）を試作した。動物用機器を創外固定式で実験する予定であり、現在、特許申請を準備している。

D. 考察

研究を構成する3分野の中で、力学計測システムに対してはジグなどの追加作製を行った。動物から摘

出した拘縮膝の力学計測を行っている。  
拘縮改善に有効な力学条件を求める動物実験モデルからの知見では、基本となる無治療対照群の時間経過を確認した。併せて2つのトルク条件群で経過を追い、更にトルク負荷時間を延長するなどの他の群も解析中である。動物実験を続けることで「低トルク・長時間作用の持続的伸展力」の中の至適条件を求める。

また拘縮治療装置の基本的な試験設計のうち、手指に装着する作動部分の設計・試作に続き、今年度は空気圧作動の駆動装置（アクチュエータ）を試作した。動物用も設計中であり、作動部分との結合を計った。

#### E. 結論

2年続きの交付研究費減額もあって、動物モデルの組織・生化学分析がまだ取りかかれていないが、他の目標は達成できた。

(1) 力学計測装置システムに加え、取り付けジグ、試験装置台を含めて完成させた。動物から摘出した拘縮モデルでの計測を施行中。

(2) 動物実験モデルより、基本となる無治療対照群の関節角度時間推移を確認した。併せて2つのトルク条件群で経過を追い、更にトルク負荷時間を延長するなどの群を作って実験継続中。

(3) 作動部分に引き続き、空気圧で動く駆動装置（アクチュエータ）を試作した。動物用も試作し、現在、特許申請を準備している。

#### F. 健康危険情報

特記すべき事なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

・赤居正美：関節拘縮の発生機序；その予防・治療について。リハ医学 2003, 40:76-80.

・赤居正美：物理療法の最近の動向。リハMOOK5 運動療法・物理療法・作業療法 2002, 57-66.

・Hong B, Kuwaki T, Ju K, Kumada M, Akai M, Ueno S: Changes in blood pressure and heart rate by repetitive transcranial magnetic stimulation in rats. Neuroscience Letters 2002, 329:57-60.

##### 2. 学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)  
なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

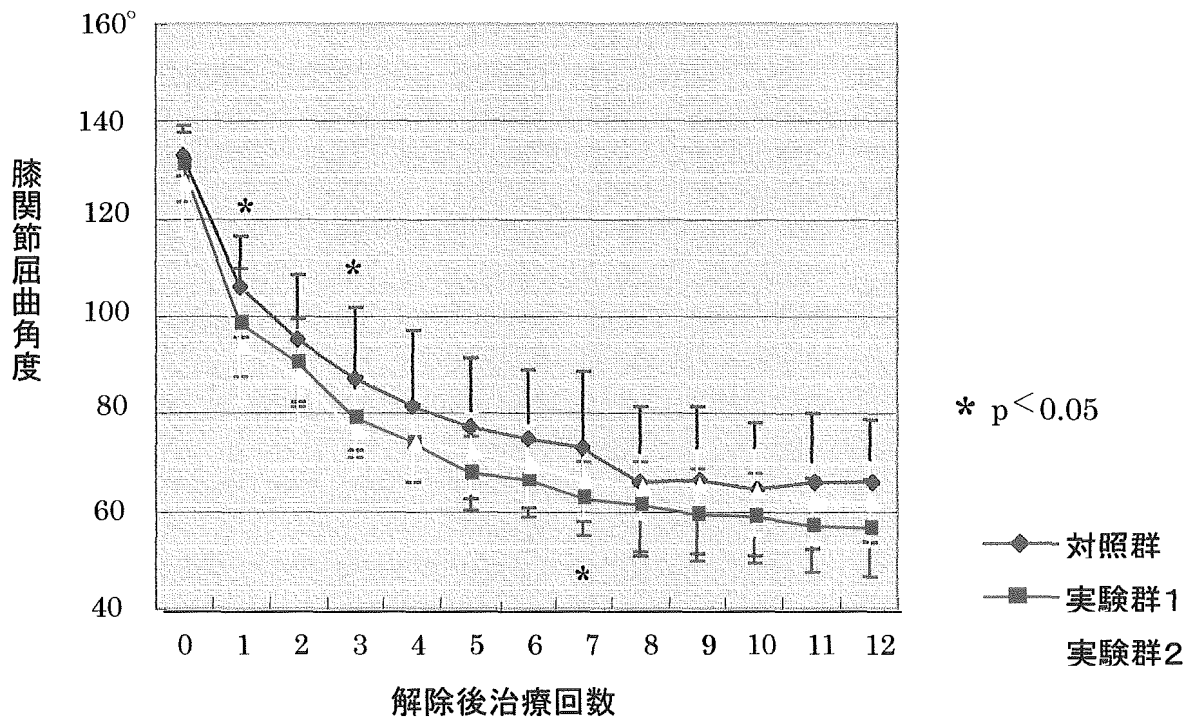
なし

### 伸展トルク負荷(麻醉下)



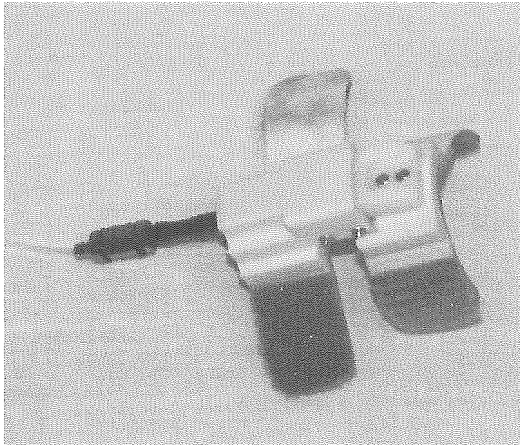
膝関節拘縮の完成後、43日目より4週間に渡り、週3回合計12回、麻醉下に拘縮改善のための種々の牽引伸長力を加えた。

### 膝屈曲角度の推移

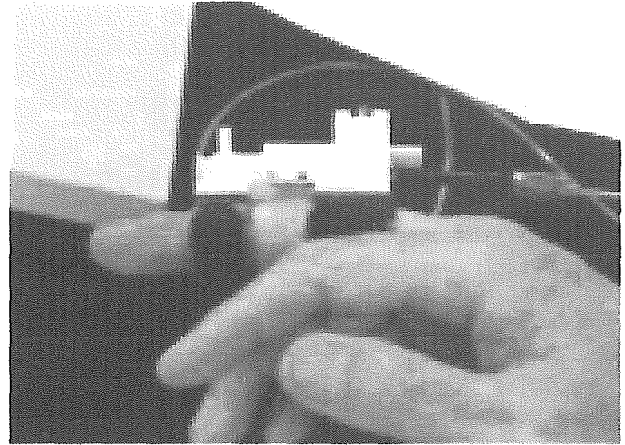


伸展トルクを加えない無治療対照群、0.045Nm高負荷群(実験群1)、0.02Nmの低負荷群(実験群2)、各20分間の3群から始め、各群の関節角度の経時的推移を得た。治療開始後まもない時期には伸展トルク群に有意の改善が認められたが、2つのトルク群の間で差は見られず、弱いトルクも効果があった。

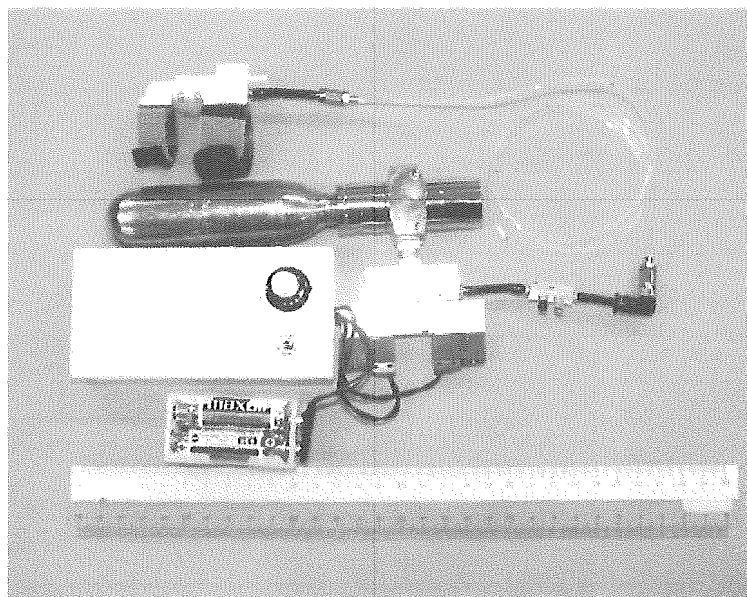
## 空気圧使用の治療機器試作



手指装着用の駆動部分



空気圧使用による周期運動



手指用拘縮治療機器

手指に装着する作動部分の設計・試作に続き、今年度は空気圧作動の駆動装置（アクチュエータ）を試作し、動作特性を調べた。

関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発  
—拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握—

（分担）研究者 薄葉真理子 筑波技術短期大学理学療法科 助教授

研究要旨

関節拘縮の程度を力学的解析に基づく定量的評価によって把握し、種々の条件での治療効果を比較することで、有効性の裏付けを持った治療機器を開発する。70日間の飼育期間中、40日間で膝関節に拘縮を完成させ、43日目よりは4週間に渡り、週3回、合計12回麻酔下に拘縮改善のための種々の牽引伸長力を加えた。伸展トルクのない無治療対照群、0.02Nmの低負荷群、0.045Nm高負荷群、各20分間の3群から始めた。治療開始後まもない時期には伸展トルク群に有意の改善が認められたが、2つのトルク群の間で差は見られず、弱いトルクで十分であった。負荷条件は同一で作用時間を延ばした群を作製して、さらに解析を継続中。

A. 研究目的

研究目的は、廃用性変化の代表である関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発であり、3年間に達成すべき研究目標は、外力に対する関節の細胞応答と組織変化を解析して、弾性限界内の周期的外力を利用した手指用の関節拘縮治療機器の製作を行うことにある。

B. 研究方法

3年計画・3人の研究分担により、主任研究者は研究の総括と共に、動物実験を指導、治療用機器の試験設計を監督、試作器の改良、生体へのアタッチメント・ジグ類の開発に当たり、最終的には臨床例での計測を行う。分担研究者は各々動物実験の実施と力学解析システムの構築に当たり、あわせて実験標本の力学的解析、及びその他の計測を行う。

3年計画において、概ね以下の3項目を各年度の中心に置く。

（1）拘縮の程度の計測システムの確立：

従来の拘縮モデルに代わり、鋼線を用いるラットの膝関節での実験系を構築した。また物性の異なる複数の組織系からなる関節構造を評価するため、加振機を用いて振動荷重を与え、関節に生じた振動応答を解析する装置の組上げを行った。

（2）拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握と生体への拡張：

経時的に変化させた種々の関節拘縮条件での解析を押し進めると同時に、臨床例への応用をはかるために、人体の小関節用に向けた拘縮程度を計測する装置を開発する。

（3）関節拘縮の治療機器の試作：

手指関節の関節拘縮を対象とし、駆動装置と手指に装着する作動部分を連結し、一定の運動パターンを記憶させた上、その時間を延長し、さらに弾性限界内において周期的伸張力を加える治療機器を製作・評価する。動物実験から得られた治療に有効な条件をもとに、コンピュータ制御下にプログラムを組み立てる

全体として関節拘縮の程度を力学的解析に基づく定量的評価によって把握し、種々の条件での治療効果を比較することで、有効性の裏付けを持った治療機器を開発する。

分担研究としては、動物実験から治療効果をより高

める力学負荷条件を見つける。

C. 研究結果

当初の鋼線とスクリューを用いた実験モデルは実験後半になって骨折が多発したため、新たに0.7mm径の鋼線ワイヤによる縫縮を用いる実験系に変更した。

70日間の飼育期間中、40日間で膝関節に拘縮を完成させ、43日目よりは4週間に渡り、週3回、合計12回麻酔下に拘縮改善のための種々の牽引伸長力を加えた。伸展トルクのない無治療対照群、及び0.02Nmの低負荷群、0.045Nm高負荷群、各20分間の3群から始めた。対照群では屈曲135度の拘縮位が40日間で屈曲50度に軽快した。治療開始後まもない時期には伸展トルク群に有意の改善が認められたが、2つのトルク群の間で差は見られず、弱いトルクで十分であった。力学負荷条件は同一で、作用時間を延ばした群を作製して、さらに解析中。

D. 考察

研究分担は動物実験の実施と実験標本の力学的解析、その他の計測であるが、動物標本の生化学分析など力学以外の解析が未だ十分進んでいない。次年度も動物実験を続ける予定。

E. 結論

動物実験モデルの膝角度の経時的推移より、基本となる無治療対照群の時間経過を確認した。併せて2つのトルク条件群で経過を追い、更にトルク負荷時間を延長するなどの群を作っている。動物実験を続けることで「持続的伸張力」の中の至適条件を求めるとの予定である。

F. 健康危険情報

特記すべき事なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生科学研究費補助金（障害保健福祉総合研究事業）  
（総括・分担）研究報告書

関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発  
－拘縮の程度の計測システム確立－

（分担）研究者 白崎 芳夫 独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学 主任研究官

研究要旨

関節拘縮の程度を力学的解析に基づく定量的評価によって把握し、種々の条件での治療効果を比較することで、有効性の裏付けを持った治療機器を開発する。関節の力学特性を計測する実験系として振動応答の挙動を見る力学計測システムを用いて、動物実験で作製した膝関節モデルの計測を行った。

A. 研究目的

研究目的は、廃用性変化の代表である関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発であり、3年間に達成すべき研究目標は、外力に対する関節の細胞応答と組織変化を解析して、弾性限界内の周期的外力を利用した手指用の関節拘縮治療機器の製作を行うことにある。

B. 研究方法

3年計画・3人の研究分担により、主任研究者は研究の総括と共に、動物実験を指導、治療用機器の試験設計を監督、試作器の改良、生体へのアタッチメント・ジグ類の開発に当たり、最終的には臨床例での計測を行う。分担研究者は各々動物実験の実施と力学解析システムの構築に当たり、あわせて実験標本の力学的解析、及びその他の計測を行う。3年計画において、概ね以下の3項目を各年度の中心に置く。

（1）拘縮の程度の計測システムの確立：

鋼線を用いるラットの膝関節での実験系を構築した。また物性の異なる複数の組織系からなる関節構造を評価するため、加振機を用いて振動荷重を与え、関節に生じた振動応答を解析する装置の組上げを行った。

（2）拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握と生体への拡張：

経時的に変化させた種々の関節拘縮条件での解析を押し進めると同時に、臨床例への応用をはかるために、人体の小関節用に向けた拘縮程度を計測する装置を開発する。

（3）関節拘縮の治療機器の試作：

手指関節の関節拘縮を対象とし、駆動装置と手指に装着する作動部分を連結し、一定の運動パターンを記憶させた上、その時間を延長し、さらに弾性限界内において周期的伸張力を加える治療機器を製作・評価する。動物実験から得られた治療に有効な条件をもとに、コンピュータ制御下にプログラムを組み立てる

全体として関節拘縮の程度を力学的解析に基づく定量的評価によって把握し、種々の条件での治療効果を比較することで、有効性の裏付けを持った治療機器を開発する。

分担研究としては、治療効果をより高める負荷条件

を見つける動物標本の力学試験を実施する。

C. 研究結果

昨年度に組み上げた力学計測装置システムに加え、取り付けジグ、試験装置台を含めて完成させた。動物から摘出した膝関節拘縮モデルでの計測を施行中。

D. 考察

研究分担は実験標本の解析であるが、実際に計測を始めるとロードセルの規格が大きすぎることが判明した。雑音発生があるので、より小さい規格への変更が必要と判断した。

E. 結論

1年目に完成させた力学解析装置を用いて、種々の力学負荷条件で加療した動物標本の計測を施行中。その後の力学計測の中で、ロードセルをより低荷重領域用のものと変更した。

F. 健康危険情報

特記すべき事なし

G. 研究発表

1. 論文発表

・白崎芳夫、会田育夫、立石哲也、林和彦：加齢によるラット骨の力学特性と骨密度の変化。日本レオロジー学会誌、2002、30(4)：173-178.

・Ashizawa N, Liu L, Higuchi T, Shirasaki Y, et al: Paradoxical adaption of mature radius to unilateral use in tennis playing. Bone 2002, 30(4)：619-623.

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし



研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
赤居正美	関節拘縮の運動療法	二ノ宮節夫ほか	今日の整形外科治療指針	医学書院	東京	※2003	(印刷中)

※予定より発刊が遅れています。

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
赤居正美	関節拘縮 ; その予防・治療について	リハビリテーション医学	40 (1)	76-80	2003
赤居正美	物理療法の最近の動向	リハMOOK5 - 運動療法・物理療法・作業療法-		57-66	2002
Hong B, Kuwaki T, Ju K, Kumada M, Akai M, Ueno S.	Changes in blood pressure and heart rate by repetitive transcranial magnetic stimulation in rats.	Neuroscience Letters	329	57-60	2002
白崎芳夫、会田育夫、立石哲也、林和彦	加齢によるラット骨の力学特性と骨密度の変化	日本レオロジー学会誌	30(4)	173-178	2002
Ashizawa N, Liu L, Higuchi T, Shirasaki Y, et al	Paradoxical adaption of mature radius to unilateral use in tennis playing.	Bone	30(4)	619-623	2002

20020314

以降 P9－P41までは雑誌/図書等に掲載された論文となりますので  
P7「研究成果の刊行に関する一覧」をご参照ください