

( 別添 2 )

厚生科学研究研究費補助金

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 1 3 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 赤居正美

平成 1 4 ( 2 0 0 2 ) 年 3 月

(別添3)

## 目 次

I	総括研究報告書	
	「関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発」に関する研究 .....	1
	赤居正美	
	(資料1) 力学解析システム	
	(資料2) ラット膝関節拘縮モデル	
	(資料3) 拘縮治療機器の作動部分設計	
II	分担研究報告書	
1	「拘縮に影響を及ぼす力学因子の把握」に関する研究 .....	6
	薄葉真理子	
2	「拘縮の程度の計測システムの確立」に関する研究 .....	8
	白崎芳夫	
III	研究成果の刊行に関する一覧表 .....	10
IV	研究成果の刊行物・別刷 .....	11

厚生科学研究費補助金（障害保健福祉総合研究事業）  
総括研究報告書

関節拘縮の力学解析に基づく治療機器の開発

（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、実験モデルとしてラットの膝関節に手術的に関節拘縮を作製した。一定時間経過後に固定金属をはずして、下肢にごく弱い持続的伸長力を加え、膝関節の力学特性を計測する実験系とした。その計測に必要な、物性の異なった複数の組織系からなる関節構造を評価し、振動応答挙動を見る力学計測システムを組み上げた。並行して、関節に屈伸とともに牽引力等も加えられる機構を組み込んだ拘縮治療装置の作動部分の設計を開始した。

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学主任研究官）

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、鋼線とスクリュー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、関節に加振機を用いて振動荷重を与え、生じた加速度や振動変位を加えた力との関係で求める解析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の計測部品を開発する。

（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。

（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。今後の臨床応用に際しても、プロトコルを主任研究者の所属する病院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。

C. 研究結果

1) 計画に基づくシステム図に従い、関節に加振機を用いて振動荷重を与え、それにより生じた加速度や振動変位を、周波数毎に加えた力との関係で求める力学計測装置システムを組み上げ、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行った。

2) ラットの膝関節を実験モデルとしたが、従来の非吸収系の縫合手技による関節拘縮モデルに代わり、鋼線とスクリューを用いて大腿骨と下腿骨を連結し、より固定力を高めた実験系を構築した。拘縮の完成した6週後に鋼線とスクリューを抜去し、拘縮改善のための種々の牽引伸長力を加え、軟部組織を中心にした力学試験を行っている。ただし手技確立目的の予備の実験で使用したラットよりは週令の若い動物を使用することになったので、実験予定が遅れ、現在までの実験済み動物数は予定より少ない段階にある

3) 駆動装置（アクチュエータ）の設計には未だ取りかかれず。しかし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を開始した。屈伸とともに牽引力等も加えられる機構を目指し、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る。

D. 考察

3分された研究の内、拘縮改善に影響を及ぼす力学条件を求める分野で、実験モデルと力学計測のシステムが組上がった。拘縮改善に有効な力学条件は未だ見つかっていないが、動物実験を続けることで

「持続的伸展力」の中の至適条件を求める予定である。また駆動装置（アクチュエータ）の設計には未だ取りかかれていないが、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を開始した。屈伸とともに牽引力等も加えられる機構を目指し、次年度も引き続き設計を続け、試作器を作る予定。

#### E. 結論

交付研究費の減額のため、委託により機器の試験設計を行う計画が一部未達成となったが、初年度の2目標は達成でき、以下となった。

(1) 振動応答を計測する力学計測システムを組み上げ、取り付けジグ、試験装置台を含めて完成させた。

(2) 鋼線とスクリューを用いて強固に膝関節を固定するラットの実験モデルを構築した。

(3) 関節に屈伸とともに牽引力等も加えられる機構を組み込んだ作動部分の設計を開始した。

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

2. 学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

#### 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

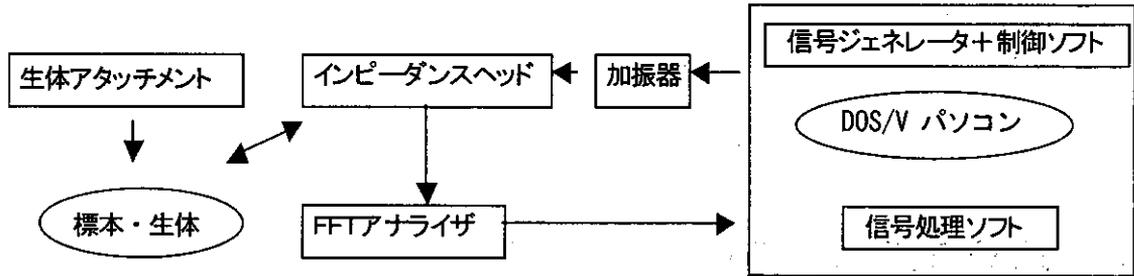
2. 実用新案登録

なし

3. その他

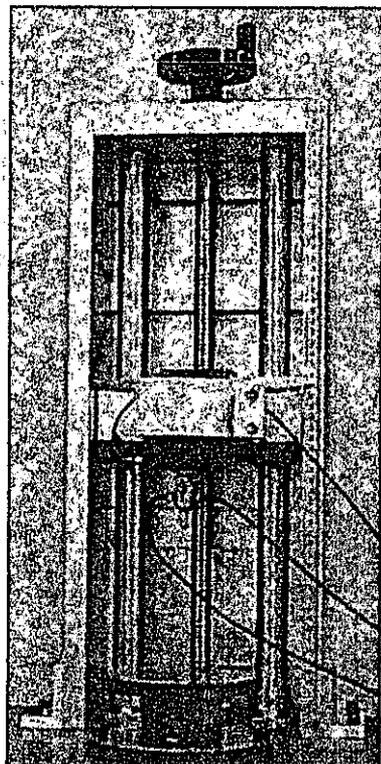
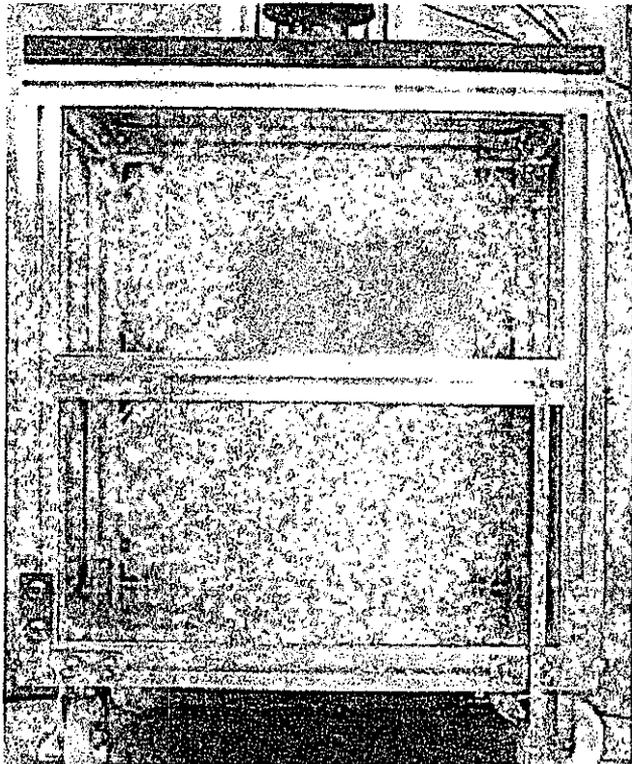
なし

添付資料 1 : 力学解析システム



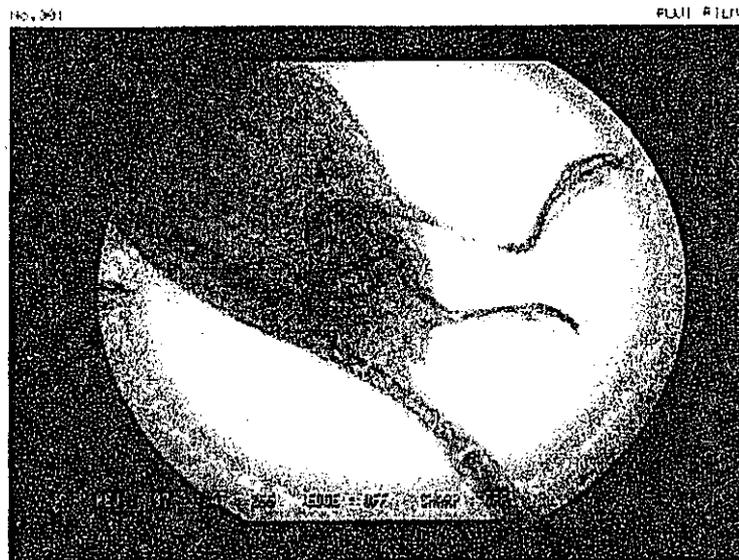
このボックスの中には  
FFT アナライザ、アン  
プ類、制御用パソコンな  
どを置く。

位置調節が可能な加振器  
を取り付け、その下に標本  
台を設置、全体を基盤上に  
固定して、制御装置、解析  
装置類と連結する。

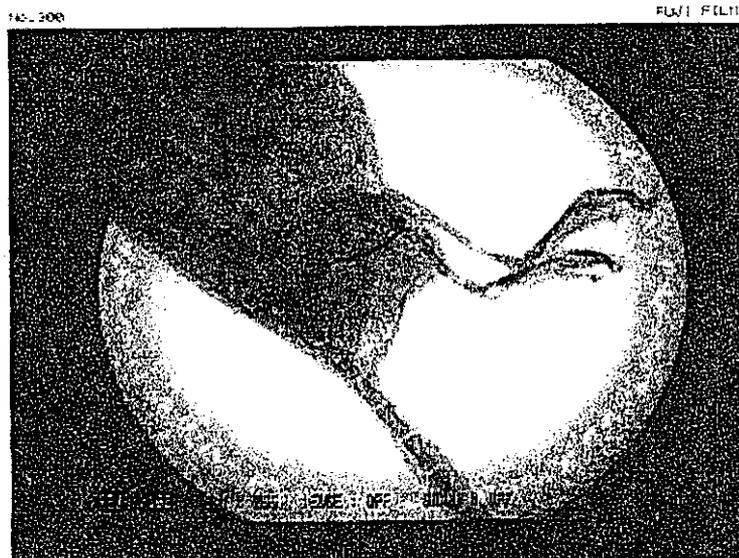


添付資料 2 : ラット膝関節拘縮モデル

両端をスクリューで固定した鋼線で大腿骨・下腿骨を不動化する。拘縮の完成した6週後に固定金属を抜去し、拘縮改善のための持続伸長力を加え、その後力学計測を行う。

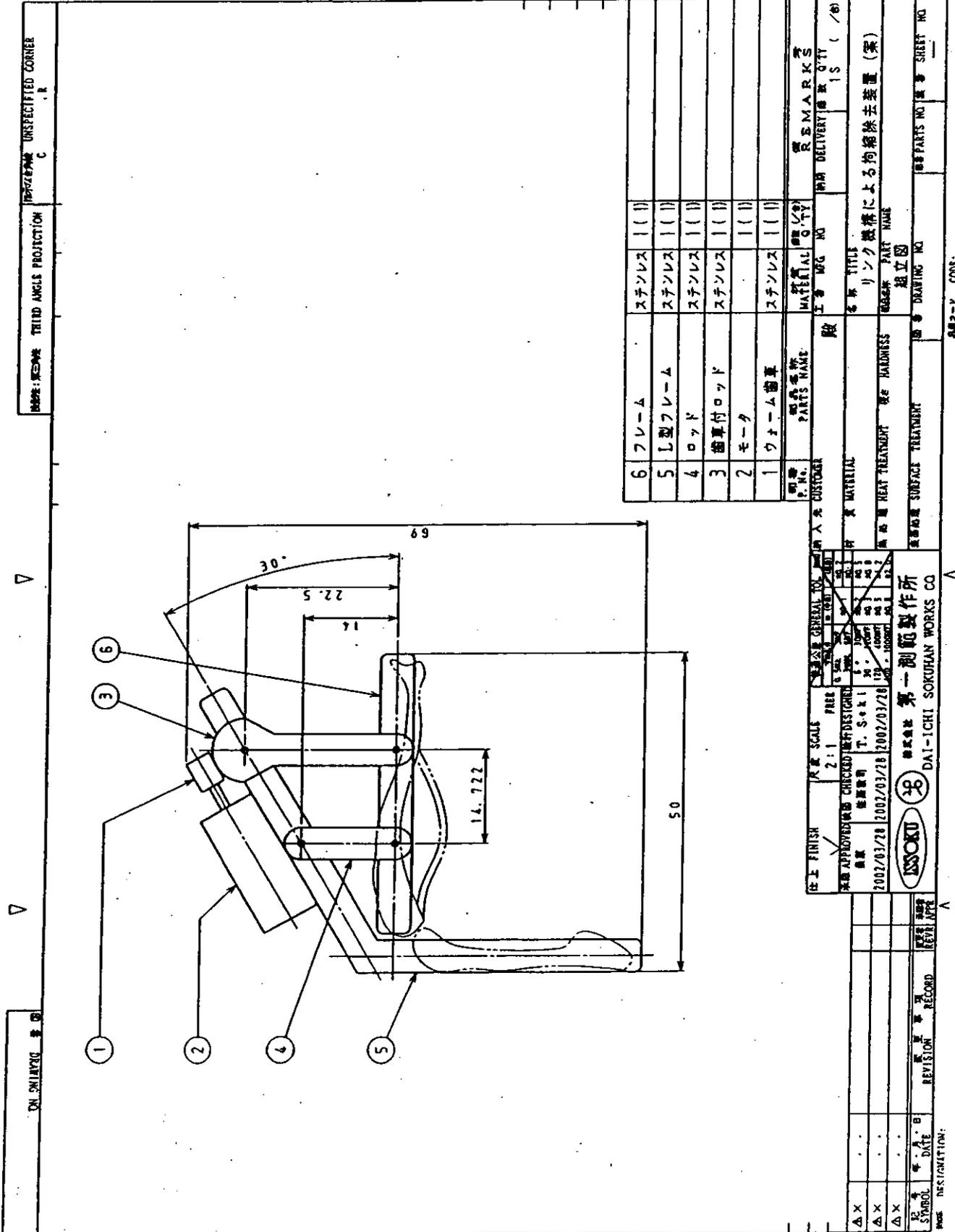


No. 3



No. 2

添付資料 3 : 拘縮治療機器の作動部分設計



6	フレーム	ステンレス	1(1)
5	L型フレーム	ステンレス	1(1)
4	ロッド	ステンレス	1(1)
3	描算付ロッド	ステンレス	1(1)
2	モータ		1(1)
1	ウォーム歯車	ステンレス	1(1)

仕上 FINISH	検査 SCALES	2:1	FREE
承認 APPROVED (検印)	CHECKED (検印)	DESIGNED	
製図 2002/03/28	検査 2002/03/28	設計 T. Sasaki	
株式会社 第一測範製作所 DAI-ICHI SOKURAN WORKS CO.			

記号 SYMBOL	年 A	日 B	検査 検査
REVISION	RECORD	REVISION	RECORD
DATE	DATE	DATE	DATE

COPY CODE:

厚生科学研究費補助金（障害保健福祉総合研究事業）  
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。ラットの膝関節に手術的に関節拘縮を作製する実験モデルを作った。一定時間経過後に固定金属をはずして、その後下肢にごく弱い持続的伸長力を加え、関節の力学特性を計測することで拘縮改善に有効な力学負荷を求める実験系とした。

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：

従来の拘縮モデルに代わり、鋼線とスクリュー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、関節に加振機を用いて振動荷重を与え、生じた加速度や振動変位を加えた力との関係で求める解析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の計測部品を開発する。

（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

ラットの膝関節を実験モデルとしたが、従来の非吸収糸の縫合手技による関節拘縮モデルに代わり、鋼線とスクリューを用い、より固定力を高めた実験系を構築した。拘縮の完成した6週後に鋼線とスクリューを抜去し、拘縮改善のための牽引伸長力を加え、軟部組織を中心にした力学試験を行った。麻酔下に弱い持続的伸長力を加えるのであるが、足関節部を保持して吊り上げることにより、種々の力学負荷条件を作製して、解析を進めた。

ただし本実験では、手技確立目的の予備の実験で使用したラットよりは週令の若い動物を使用することになったので、実験予定が遅れ、現在までの実験済み動物数は予定より少ない段階にある。

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、動物標本の骨塩量計測など力学以外の解析が未だ十分進んでいない。まだ初年度であり、実験頭数も十分ではないが、次年度も動物実験を続ける予定。

E. 結論

鋼線とスクリューを用いて、強固に膝関節を固定するラットの実験モデルを構築した。それにより生じた関節拘縮の程度を評価する装置、すなわち振動応答を計測する力学計測システムを用いて、拘縮の推移を定量的に把握することを開始した。

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

1) 薄葉 真理子, 温熱療法を併用したストレッチによる長期固定後の関節可動域の回復効果ーラット拘縮モデルを用いた実験研究ー 筑波大学体育研究科研究論文集 23:493-496, 2001

2. 学会発表

1) 薄葉 真理子, 下肢リハビリ支援システムの開発ー第2報ー, 日本機械学会福祉工学シンポジウム 2001.8.7, 東京

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、その計測に必要な、物性の異なった複数の組織系からなる関節構造を評価し、振動応答の挙動を見る力学計測システムを組み上げた。

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：  
従来の拘縮モデルに代わり、鋼線とスクリュー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、関節に加振機を用いて振動荷重を与え、生じた加速度や振動変位を加えた力との関係で求める解析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の計測部品を開発する。

（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

計画に基づくシステム図に従い、関節に加振機を用いて振動荷重を与え、それにより生じた加速度や振動変位を、周波数毎に加えた力との関係で求める力学計測装置システムを組み上げ、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開始した。

D. 考察

研究分担は力学解析システムの構築、実験標本の解析であるが、当初の予定通りに進行し、目標達成として良い。

E. 結論

振動応答を計測する力学計測システムを組み上げ、取り付けジグ、試験装置台を含めて完成させた。1年目の目標である関節に加振機を用いて振動荷重を与え、生じた加速度や振動変位を加えた力との関係で求める解析装置を完成させた。

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

2. 学会発表

1) 白崎芳夫、立石哲也、会田育夫、加齢による骨の力学特性と骨密度、日本機械学会2001年度年次大会、2001年8月24日、福井大

2) 白崎芳夫、岩佐康行、立石哲也、下山和弘、高血圧ラットの骨の力学特性と骨密度、第49回レオロジー討論会、2001年10月24日、神戸大

3) 林和彦、白崎芳夫、真下智子、斉藤慎一、立石哲也、pQCT法による加齢に伴う骨密度と骨形態変化の計測、日本機械学会2001年度年次大会、2001年8月24日、福井大

4) 白崎芳夫、岩佐康行、立石哲也、下山和弘、高血圧ラットの骨の力学特性と骨密度、日本機械学会第14回バイオエンジニアリング講演会、2002年3月5日、東大

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

(別添6)

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	2002	(印刷中)

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
薄葉 真理子	温熱療法を併用したストレッチングによる長期固定後の関節可動域の回復効果—ラット拘縮モデルを用いた実験研究—	筑波大学体育研究科研究論文集	23	493-496	2001

20010325

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