

平成 30 年度 修士論文



理学療法士のリハビリテーション技能の解析と
片麻痺患者の起立動作の支援機器への応用

Clarification of Physical Therapist's Skill and Development of
Assist Device for Stroke Patient's Sit-to-stand Motion

指導教員 山下 淳 准教授

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

学生証番号 37-176255

湖上 碩樹

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	2
1.2	リハビリテーションへのロボットの介入	3
1.3	起立動作の支援機器に関する従来研究	5
1.4	研究の目的	7
1.5	本論文の構成	8
第 2 章	本研究のアプローチ	9
2.1	はじめに	10
2.2	アプローチ	11
2.2.1	片麻痺患者への影響の調査	11
2.2.2	理学療法士の技能解析	11
2.2.3	起立動作の支援機器の開発	12
2.3	おわりに	13
第 3 章	リハビリテーションによる片麻痺患者への影響の調査	15
3.1	はじめに	16
3.2	片麻痺患者への影響の調査方法	16
3.2.1	運動学的による解析方法	17
3.2.2	筋シナジー構造による解析方法	17
3.3	片麻痺患者の計測実験	17
3.3.1	被験者	17
3.3.2	計測装置	17
3.3.3	実験手順	17
3.4	実験結果	17
3.4.1	運動学的な調査の結果	17

3.4.2	筋シナジー構造の調査の結果	18
3.5	考察	18
3.5.1	運動学的な調査の結果	18
3.5.2	筋シナジー構造の考察	18
3.6	おわりに	18
第 4 章	理学療法士の技能解析	19
4.1	はじめに	20
4.2	技能の解析方法	20
4.3	理学療法士の計測実験	20
4.3.1	被験者	20
4.3.2	計測装置	20
4.3.3	実験手順	20
4.4	実験結果	21
4.5	考察	21
4.6	おわりに	21
第 5 章	実験による提案手法の評価	23
5.1	はじめに	24
5.2	支援機器の設計	24
5.3	支援機器の開発	24
5.4	評価実験	24
5.5	おわりに	24
第 6 章	結論	27
6.1	結論	28
6.2	今後の展望	28
謝辞		29
参考文献		33
研究業績		39

目次

1.1	日本における脳卒中分類別死亡率の推移	2
1.2	Autoambulator によるリハビリの様子 [Fisher 2011]	3
1.3	RAGT のリハビリの様子 [Srivastava 2016]	4
1.4	HAL を用いた支援の様子 [Tsukahara 2010]	5
1.5	支援の様子 [Shiraishi 2016]	6
1.6	本論文の構成	8
2.1	理学療法士による介入の様子	12

表目次

第 1 章

序論

Contents

1.1	背景	2
1.2	リハビリテーションへのロボットの介入	3
1.3	起立動作の支援機器に関する従来研究	5
1.4	研究の目的	7
1.5	本論文の構成	8

1.1 背景

現在、日本国内において脳血管疾患の患者数は約 118 万人存在する [厚生労働省 2014]. 脳血管疾患の一つである脳卒中は一旦発症すると、意識障害、運動障害、感覚障害など様々な障害を呈し、後遺症により麻痺が残る場合がある。麻痺により寝たきり状態や介護が必要となると日常生活に支障をきたしてしまう。脳卒中は介護が必要になった原因の第二位であり、第一位の認知症の 18.0 % に次いで全体の 16.6 % を占める [厚生労働省 2016]. 脳卒中の死亡率は図 1.1 に示すように年々減少傾向にあるが、依然として生活に大きな影響を残す疾患である。

脳卒中のリハビリテーション（以下リハビリ）は、急性期、回復期、維持期の三つの区分に分けられている。脳卒中発症直後の急性期からリハビリを行うことが勧められている [脳卒中治療ガイドライン 2009]. 脳卒中発症 2 週間後から 5, 6 ヶ月までの回復期において、片側の上下肢が動かない片麻痺の患者は理学療法士から受けるリハビリを行うことで下肢の機能の再建を行う。下肢機能の再建のための訓練により、Activities of Daily Living の向上、Quality of Life の向上が見込める。さらには維持期に長期的に運動機能を維持することで、社会復帰を図る。

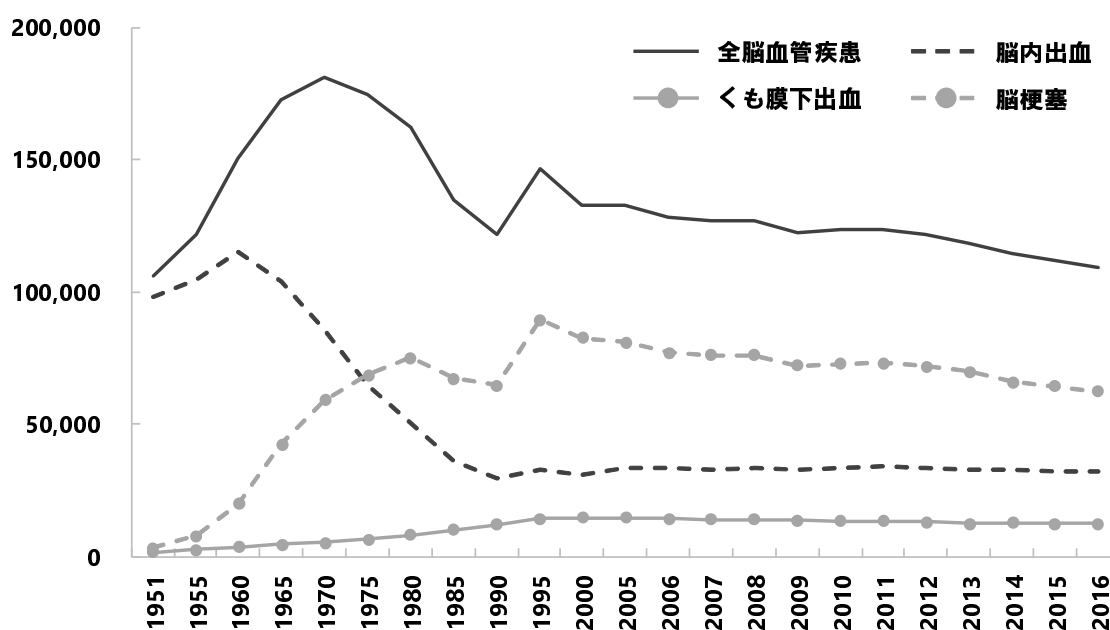


Fig. 1.1 日本における脳卒中分類別死亡率の推移

1.2 リハビリテーションへのロボットの介入

近年のロボット技術の向上により，リハビリの領域にロボットを導入することが期待されている．ロボット介入の意義は

- 多関節の同時コントロールが可能
- 正常軌道の運動が可能
- 負荷量の調節と負荷量の維持が可能
- 結果の提示，つまりフィードバックが可能

という 4 点である [道免 2015]．

すでに歩行運動については，歩行をアシストするロボットを用いることで歩行能力が改善された報告がある [Fisher 2011][Srivastava 2016][有末 2015]．

Fisher らは回復期の片麻痺患者に対し，理学療法士による従来のリハビリとアシストロボットを利用したトレッドミルでの歩行によるリハビリ（Robot Assisted Gait Trainig, 以下 RAGT）を比較した．アシストロボット（Autoambulator）は患者を吊り下げるハーネスと，股関節・膝関節を補助する外骨格の駆動装置から成る．外観を図 1.2 に示す．どちらの患者群でもリハビリの前後で，8 m 歩行，3 分歩行，Tinetti バランステストの全てにおいて優位にスコアが上昇した．なお，理学療法士による従来のリハビリと RAGT によるリハビリとの間ではリハビリ後のスコアに差は無かった．



Fig. 1.2 Autoambulator によるリハビリの様子 [Fisher 2011]

Srivastava らも理学療法士のリハビリと RAGT のリハビリを比較している。麻痺側の足に外骨格 (ALEX) を装着し、健常者の軌道から外れた時だけ支援する。外観を図 1.3 に示す。Fisher らの結果と同様、どちらのリハビリでも患者の運動機能は改善したがスコアの上昇に差はなかった。RAGT のリハビリの方が理学療法士の負担が減ると結論づけている。

有末らは回復期の片麻痺患者に対し、Honda 歩行アシストを用いた歩行練習を検討した。Honda 歩行アシストは股関節の屈曲・伸展運動を大腿部のフレームを通じて補助する。装着者の歩行周期に合わせて、股関節の屈曲・伸展のタイミングを補正する [渡邊 2016]。訓練前の歩行速度が 60 m/min 未満の患者において、歩行速度や歩行の幅が増加した。

本研究では回復期のリハビリにおける片麻痺患者の起立動作に着目する。運動機能が低下すると生活範囲が狭まる [Guralnik 1994] ため、日常生活の中で活動の起点となる起立動作の訓練が必要である。入院中や退院後について理学療法士がいない中でも、廃用性症候群を防ぐために起立動作を行わなければならない。よって、自立を促すための起立動作の支援への要求があり、片麻痺患者の起立動作を支援する機器の開発が重要である。

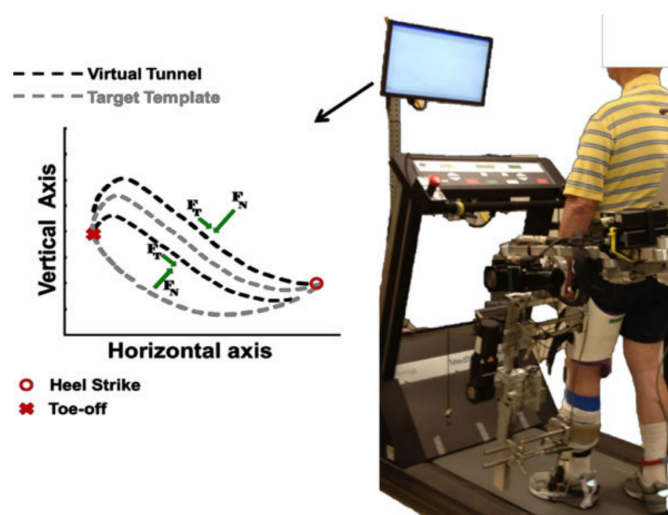


Fig. 1.3 RAGT のリハビリの様子 [Srivastava 2016]

1.3 起立動作の支援機器に関する従来研究

起立動作の支援機器に関する従来研究について述べる．多くの片麻痺患者は非麻痺側の足からの感覚入力を受け取れないため，姿勢制御が不安定になる [Chou 2003]．そのため，健側の足に体重を乗せて立ち上がるので動作は左右で非対称なものとなり，健側の足に大きな負担がかかってしまう．リハビリテーションにおいては麻痺側の足をいかに活用し，左右対称な動きにするかが重要である．

起立動作の支援機器の従来研究として，起立動作を外骨格などにより支援するもの [Tsukahara 2010] と座面が上昇することで支援するもの [Shiraishi 2016] がある．

Tsukahara らはロボットスーツ HAL を用いて完全片麻痺患者の起立動作を支援するシステムを開発した．腰・膝・足関節の運動を支援する HAL と，前方に倒れないようにするために腰をサポートするハーネスでシステムは構成されている．外観を図 1.4 に示す．システムは脛が前傾し，足部の圧力中心がある閾値を超えるかどうか判断することで使用者の動作意図を読み取り，起立動作を支援する．完全片麻痺患者 1 名に対して実験を行い，安定して立ち上がることができたと報告している．

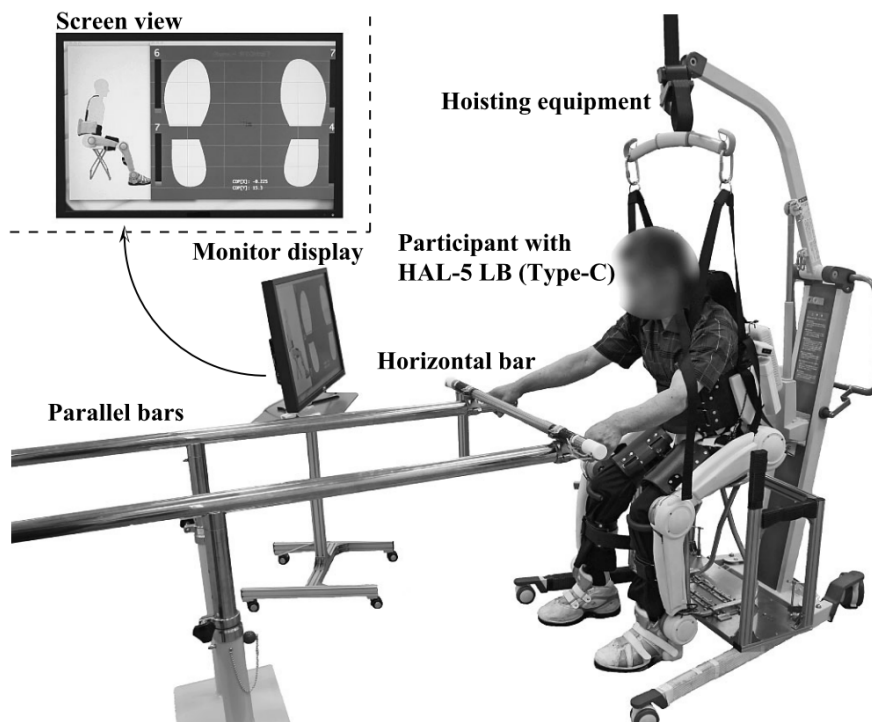


Fig. 1.4 HAL を用いた支援の様子 [Tsukahara 2010]

Shiraishi らは座面が直線的に移動することで片麻痺患者の起立動作を支援するシステムを開発した。床反力から使用者の動作意図を読み取り，座面が臀部を直線的に押し上げることで起立動作を支援する。外観を図 1.5 に示す。2 名の片麻痺患者と 1 名の四肢麻痺患者に対して実験を行い，麻痺側と非麻痺側の足の使用率の差が減少したと報告している。

これらの従来研究は関節に力を補助するような筋力増強が主である。運動を最初から最後まで支援することになり，支援のしすぎとなる可能性がある。しかし，運動を支援する際には，運動のメカニズムを理解したうえで支援することが重要である。

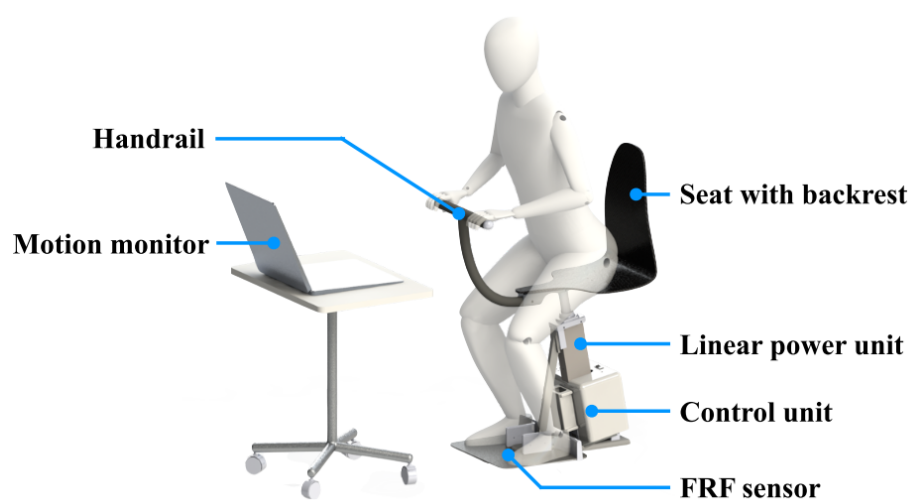


Fig. 1.5 支援の様子 [Shiraishi 2016]

1.4 研究の目的

1.1 節で、脳卒中により片麻痺となった患者のリハビリの重要性について述べた。1.2 節で、歩行動作のリハビリに投入されるロボットについて、1.3 節で起立動作の支援機器について述べた。しかし、従来の支援機器ではヒトの運動のメカニズムを理解した上で動作を支援していないことが明らかになった。

本研究ではヒトの運動のメカニズムを理解し、片麻痺患者のリハビリを日常的に支援する機器を開発する。本研究の対象者は回復期の片麻痺患者であり、入院中に日常的に使用することでリハビリを行うことを目指す。まず、片麻痺患者が理学療法士によるリハビリを受けてどのように起立動作が変化するかを調査する。起立動作の変化をヒトの運動のメカニズムに沿って捉えることで、リハビリの効果を検証する。次に、片麻痺患者の起立動作のリハビリにおける理学療法士の技能を解析する。理学療法士は片麻痺患者の起立動作の最初から最後まで力を入れているわけではなく、特定のタイミングで起立動作を支援している。特定のタイミングで支援する技能を解析することで、起立動作の支援機器に応用する。そして、起立動作の支援機器を開発し、機器の有効性を検証する。

以上より、本研究の目的を以下のように3つ設定する。

1. 理学療法士の介入による片麻痺患者への影響を調査
2. 理学療法士の技能を解析
3. 理学療法士の技能を活用した、起立動作の支援機器の開発

1.5 本論文の構成

本論文は全6章から構成されている。本論文の構成を図1.6に示す。

第1章では、本研究の背景と従来研究、目的について述べた。

第2章では、問題設定を明らかにし、本研究におけるアプローチについて述べる。

第3章では、理学療法士のリハビリテーションによる片麻痺患者への影響について述べる。

第4章では、理学療法士のリハビリテーションの技能について述べる。

第5章では、起立動作の支援機器への応用と有効性を検証するために行った実験について述べる。

第6章では、本研究の結論と今後の展望について述べる。

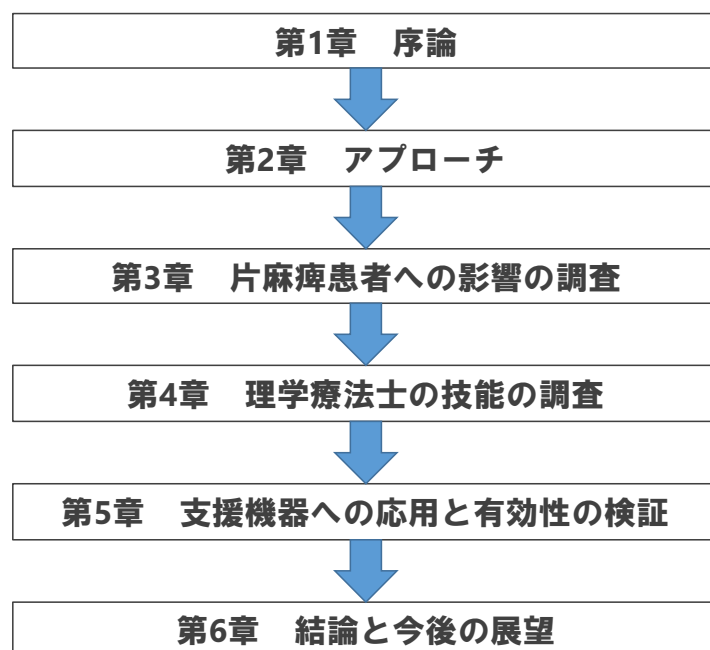


Fig. 1.6 本論文の構成

第 2 章

本研究のアプローチ

Contents

2.1	はじめに	10
2.2	アプローチ	11
	2.2.1 片麻痺患者への影響の調査	11
	2.2.2 理学療法士の技能解析	11
	2.2.3 起立動作の支援機器の開発	12
2.3	おわりに	13

2.1 はじめに

本章では，ヒトの運動のメカニズムを理解し，片麻痺患者の回復期のリハビリテーション（以下リハビリ）を日常的に支援する機器を開発するアプローチについて述べる．

2.2 節にて，本手法のアプローチと解決すべき課題について述べる．2.2.1 項にて，理学療法士のリハビリテーションにおける片麻痺患者への影響の調査について述べる．2.2.2 項にて，理学療法士の技能を解析するアプローチについて述べる．2.2.3 項にて，理学療法士の技能を応用する支援機器の開発のアプローチについて述べる．

2.3 節にて，本章のまとめを述べる．

2.2 アプローチ

1.4 節にて述べた通り，本研究の目的は理学療法士の介入による片麻痺患者への影響を調査，理学療法士の技能を解析，理学療法士の技能を活用した，起立動作の支援機器の開発の三つである．それぞれの目的を達成するためのアプローチを次節で述べていく．

2.2.1 片麻痺患者への影響の調査

理学療法士のリハビリテーションにより片麻痺患者にどのような影響があるのかを調査することを前述した．本項では，片麻痺患者への影響の調査方法について説明する．

起立動作は，年齢，関節角度，床反力，関節トルク，重心軌道，表面筋電図など多くの指標により調べられてきた．しかし，片麻痺患者に対してどの指標がより起立動作の特徴を捉えているか，有用な指標を抽出するような研究は行われていない [長田 2012]．

本研究では起立動作を運動学的な観点と表面筋電図から計算される筋シナジー構造から評価する．運動学的な観定の指標として，片麻痺患者の関節角度や重心（Center of Mass，以下 CoM）の軌道を用いる．

起立動作の CoM についてはいくつかの報告がなされている．[Mourey 2000] と [Yang 2017] を引いて，高齢者や片麻痺患者は上体を深く曲げて起立することを記述

起立動作中の筋電図（Electromyogram，以下 EMG）については以下のような報告がある．[Silva 2013] と [Gross 1998] を引いて，前脛骨筋の活動タイミングなどについて記述．

本研究ではヒトの運動のメカニズムを理解するべく，筋シナジー仮説を用いる．

筋シナジー仮説とは何かを説明．

運動学的な指標や筋シナジー構造の詳細な算出方法や計測実験については第 3 章にて述べる．

2.2.2 理学療法士の技能解析

片麻痺患者のリハビリテーション中において，理学療法士はどのような介入を行っているのかを調査することを前述した．本項では，理学療法士の技能の解析方法について説明す

る。

理学療法士の技能について，Tsusaka らは起立動作における理学療法士のスキル分析をしている [Tsusaka 2015]。スキル分析について記述。

本研究では理学療法士の技能の調査方法として片麻痺患者に介入する腕の筋肉の表面筋電図を計測する。理学療法士は図 2.1 に示すように，片麻痺患者の麻痺側の膝と骨盤後面に介入する。上肢の曲げ伸ばしをどのタイミングで行っているかを調査するため，理学療法士の腕の筋肉の表面筋電図を計測する。

理学療法士の技能の詳細な調査方法は第4章にて述べる。

2.2.3 起立動作の支援機器の開発

本研究では理学療法士の技能を活用した，起立動作の支援機器の開発について前述した。本項では，技能を活用した支援機器の従来研究について説明する。

看護師の技能を活かした起立動作の支援システムを引く [Chugo 2007]。理学療法士のスキル活かした起立アシストロボットの開発を引く [津坂 2017]。

起立動作の支援機器の開発についての詳細な方法は第5章にて述べる。



Fig. 2.1 理学療法士による介入の様子

2.3 おわりに

本章では，本研究のアプローチについて述べた．

2.2 節にて，本手法のアプローチと解決すべき課題について述べた．2.2.1 節にて，理学療法士によるリハビリ中の片麻痺患者の起立動作の変化を調査するアプローチについて述べた．2.2.2 項にて，理学療法士の技能を解析するためのアプローチについて述べた．2.2.3 項にて，支援機器を開発するアプローチについて述べた．

次章では，技能解析について詳しく説明する．

第 3 章

リハビリテーションによる片麻痺患者への影響の調査

Contents

3.1	はじめに	16
3.2	片麻痺患者への影響の調査方法.....	16
3.2.1	運動学的による解析方法	17
3.2.2	筋シナジー構造による解析方法.....	17
3.3	片麻痺患者の計測実験.....	17
3.3.1	被験者.....	17
3.3.2	計測装置	17
3.3.3	実験手順	17
3.4	実験結果	17
3.4.1	運動学的な調査の結果.....	17
3.4.2	筋シナジー構造の調査の結果	18
3.5	考察	18
3.5.1	運動学的な調査の結果.....	18
3.5.2	筋シナジー構造の考察	18
3.6	おわりに	18

3.1 はじめに

本章では、理学療法士のリハビリテーションによる片麻痺患者への影響について述べる。

3.2 節にて、片麻痺患者への影響の調査方法の概要について述べる。本研究では片麻痺患者の重心軌道、関節角度といった運動学的な手法や筋シナジー構造による評価を評価手法として採用する。3.2.1 項にて、重心軌道や関節角度の算出方法について述べる。3.2.2 項にて、筋シナジー構造について述べる。

3.3 節にて、片麻痺患者に対して行った計測実験について述べる。3.3.1 項にて、対象とした片麻痺患者の属性について述べる。3.3.2 項にて、計測に用いた装置について述べる。3.3.3 項にて、計測実験の手順について述べる。

3.4 節にて、計測実験の結果について述べる。3.4.1 項にて、重心軌道や関節角度の調査結果について述べる。3.4.2 項にて、筋シナジー構造の調査結果について述べる。

3.5 節にて、計測実験の結果の考察について述べる。3.5.1 項にて、重心軌道や関節角度の調査結果の考察について述べる。3.5.2 項にて、筋シナジー構造の調査結果の考察について述べる。

3.6 節にて、本章のまとめを述べる。

改ページする予定です。

3.2 片麻痺患者への影響の調査方法

2.2.1 項にて、であることを述べた。本節では、理学療法士のリハビリテーションによる片麻痺患者への影響の調査方法の概要について述べる。

片麻痺患者のリハビリにおける起立動作の調査方法の概要を図??に示す。本研究ではモーションキャプチャシステム、無線筋電計、床反力計を用いて片麻痺患者の運動を計測する。

モーションキャプチャシステムでは患者に貼り付けたモーションキャプチャ用のマーカ的位置を計測し、関節角度や重心（Center of Mass, 以下 CoM）軌道が算出可能である。算出方法は 3.2.1 項にて、述べる。

無線筋電計では患者に貼り付ることで表面筋電図（Electromyogram, 以下 EMG）が計測可能である。無線筋電計を用いて筋シナジー構造を算出する方法を 3.2.2 項にて述べる。

3.2.1 運動学的による解析方法

本研究では運動学的な解析手法として重心軌道や関節角度を算出する方法を採用する。計算方法を述べる。

3.2.2 筋シナジー構造による解析方法

本研究では筋シナジー構造を解析することで、リハビリテーションによる片麻痺患者への影響を調査する。計算方法を述べる。

改ページする予定です。

3.3 片麻痺患者の計測実験

本章では片麻痺患者へ行った実験について述べる。下記に述べる実験は森之宮病院倫理委員会の承認を受け、実施された。

3.3.1 被験者

対象とした片麻痺患者の属性について述べる。

3.3.2 計測装置

計測に用いた装置について述べる。

3.3.3 実験手順

計測実験の手順について述べる。

改ページする予定です。

3.4 実験結果

3.4.1 運動学的な調査の結果

重心軌道や関節角度の調査結果について述べる。

3.4.2 筋シナジー構造の調査の結果

筋シナジー構造の調査結果について述べる。

改ページする予定です。

3.5 考察

3.5.1 運動学的な調査の結果

重心軌道や関節角度の考察について述べる。

3.5.2 筋シナジー構造の考察

筋シナジー構造の考察について述べる。

改ページする予定です。

3.6 おわりに

本章では、片麻痺患者へ行った実験について述べた。

3.2 節にて、片麻痺患者への影響の調査方法の概要について述べた。本研究では片麻痺患者の重心軌道、関節角度といった運動学的な手法や筋シナジー構造による評価を評価手法として採用した。3.2.1 項にて、重心軌道や関節角度の算出方法について述べた。3.2.2 項にて、筋シナジー構造について述べた。

3.3 節にて、片麻痺患者に対して行った計測実験について述べた。3.3.1 項にて、対象とした片麻痺患者の属性について述べた。3.3.2 項にて、計測に用いた装置について述べた。3.3.3 項にて、計測実験の手順について述べた。

3.4 節にて、計測実験の結果について述べた。3.4.1 項にて、重心軌道や関節角度の調査結果について述べた。3.4.2 項にて、筋シナジー構造の調査結果について述べた。

3.5 節にて、計測実験の結果の考察について述べた。3.5.1 項にて、重心軌道や関節角度の調査結果の考察について述べた。3.5.2 項にて、筋シナジー構造の調査結果の考察について述べた。

次章では、理学療法士の技能の解析について説明する。

第 4 章

理学療法士の技能解析

Contents

4.1	はじめに	20
4.2	技能の解析方法	20
4.3	理学療法士の計測実験	20
	4.3.1 被験者	20
	4.3.2 計測装置	20
	4.3.3 実験手順	20
4.4	実験結果	21
4.5	考察	21
4.6	おわりに	21

4.1 はじめに

本章では、理学療法士のリハビリテーションの技能について述べる。

4.2 節にて、理学療法士の技能を解析する方法について述べる。

4.3 節にて、技能を解析するために行った計測実験について述べる。

4.4 節にて、計測実験の結果について述べる。

4.5 節にて、結果についての考察を行う。

4.6 節にて、本章のまとめを述べる。

改ページする予定です。

4.2 技能の解析方法

2.2.2 にて、起立動作の支援機器に理学療法士の技能を活用することを述べた。本節では、片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能解析方法の概要について述べる。

改ページする予定です。

4.3 理学療法士の計測実験

本章では理学療法士へ行った実験について述べる。下記に述べる実験は第3章で述べた実験と同時に行われており、森之宮病院倫理委員会の承認を得て実施された。

4.3.1 被験者

対象とした片麻痺患者の属性について述べる。

4.3.2 計測装置

計測に用いた装置について述べる。

4.3.3 実験手順

計測実験の手順について述べる。

改ページする予定です。

4.4 実験結果

理学療法士の技能の解析結果について述べる。

改ページする予定です。

4.5 考察

解析した技能の考察について述べる。

改ページする予定です。

4.6 おわりに

本章では、理学療法士のリハビリテーションの技能について述べた。

4.2 節にて、理学療法士の技能を解析する方法について述べた。

4.3 節にて、技能を解析するために行った計測実験について述べた。

4.4 節にて、計測実験の結果について述べた。

4.5 節にて、結果についての考察を行った。

次章では、理学療法士の技能を活用した、起立動作の支援機器の開発について説明する。

第 5 章

実験による提案手法の評価

Contents

5.1	はじめに	24
5.2	支援機器の設計	24
5.3	支援機器の開発	24
5.4	評価実験	24
5.5	おわりに	24

5.1 はじめに

本章では，理学療法士の技能を利用した，起立動作の支援機器の設計と開発，ならびに評価実験について述べる．

5.2 節にて，支援機器の設計について述べる．

5.3 節にて，支援機器の開発について述べる．

5.4 節にて，支援機器の評価を行った実験について述べる．

5.5 節にて，本章のまとめを述べる．

改ページする予定です．

5.2 支援機器の設計

本節では，起立動作の支援機器の設計について述べる．

改ページする予定です．

5.3 支援機器の開発

本節では，起立動作の支援機器の開発について述べる．

改ページする予定です．

5.4 評価実験

本節では，開発した支援機器の評価を行うための実験について述べる．

改ページする予定です．

5.5 おわりに

本章では，理学療法士の技能を利用した，起立動作の支援機器の設計と開発，ならびに評価実験について述べる．

5.2 節にて，支援機器の設計について述べた．

5.3 節にて，支援機器の開発について述べた．

5.4 節にて，支援機器の評価を行った実験について述べた．

開発した支援機器により健常な高齢者の起立動作を支援することが可能であることを確認した．

第 6 章

結論

Contents

6.1	結論	28
6.2	今後の展望	28

6.1 結論

本論文では、理学療法士の技能を活用し、片麻痺患者のリハビリを日常的に支援する機器を提案した。

第1章にて、片麻痺患者の起立動作のリハビリの重要性を示し、これまでの関連研究では、ヒトの運動のメカニズムを理解した上で動作を支援していないことを述べた。これに基づき本研究の最終目的を、ヒトの運動のメカニズムを理解し、片麻痺患者のリハビリを日常的に支援する機器を開発と設定した。その上で、本研究の目的は理学療法士の介入による片麻痺患者への影響を調査、理学療法士の技能を解析、理学療法士の技能を活用した、起立動作の支援機器の開発の三つであるとした。

第2章にて、目的を実現するためにと、それらを実現するためのアプローチについて述べた。

第3章にて、理学療法士のリハビリテーションによる片麻痺患者への影響について詳しく説明した。

第4章にて、理学療法士のリハビリテーションの技能について詳しく説明した。

第5章にて、起立動作の支援機器への応用と有効性を検証するために行った実験について述べた。

本論文により、片麻痺患者のリハビリに有効な起立動作の支援機器が確立された。

改ページする予定です。

6.2 今後の展望

本論文では、片麻痺患者のリハビリを日常的に支援する機器を開発した。さらなる有効性の検証のためには、片麻痺患者への支援機器の適用が求められる。

このような課題を解決することで、本提案手法は片麻痺患者だけでなく、足腰の弱くなった高齢者への支援機器として幅広く応用可能になることが期待できる。

謝辭

本論文は筆者が東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 山下研究室在籍中の研究の成果をまとめ、多くの方々にご指導ご協力をいただきて執筆されたものです。本論文の締めくくりに、この場を借りて以下に感謝の意を表します。

はじめに本研究の指導教員である東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻准教授 山下 淳先生には、有意義な研究の機会を与えていただき、また多くのことをご教示いただきました。研究の方向性、取り組み方、研究発表の仕方や論文の添削と細部にわたってご指導いただきました。ここに深く感謝申し上げます。博士課程においても、ご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻教授 太田 順先生、准教授 原 辰徳先生には本研究の副査を引き受けていただきました。自分の研究に対する問いやその答えに至るまでの考え方など、本論文についてたくさんの貴重なご意見をいただきました。ここに深謝の意を表します。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻教授 浅間 一先生には、ご多忙の中でグループミーティングや発表練習でご指導ご鞭撻を賜りました。さらに、一ヶ月半に亘るドイツへの留学の機会を与えてくださいました。博士課程への進学について深く考える契機となり、今後の研究生活において非常に有意義な時間であったと確信しております。ここに拝謝の意を表します。博士課程で浅間先生に直接ご指導いただけることを光栄に思います。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻特任准教授 田村 雄介先生には、グループミーティングや論文の添削で多くの有意義なコメントをいただきました。また、廃炉に関してイギリスや青森への視察の機会も与えてくださり、自分の見識を拡げることができました。心から感謝申し上げます。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻助教 安 琪先生には、研究についてのアドバイスだけでなく、研究に対する心構えや様々な知識をご教示いただきました。産まれたての溺愛する娘との時間を割いてまで発表資料や論文の添削を賜ることもありました。また、国内外問わず自分の行く全ての学会にも同行してくださりました。心から感謝申し上げます。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻技術専門員 山川 博司先生には、電子回路や機械設計への知識の造詣の深さから、機器開発のサポートをしていただきました。山川先生のご尽力により機器の開発まで進めることができました。心から感謝申し上げます。

理化学研究所 脳神経科学研究センター 下田 真吾先生，山崎 弘嗣先生，Fady Shibata-Alnajjar 先生，Matti Itkonen 先生，園尾 萌香さんには大阪の森之宮病院における計測実験や自分の研究に関するアドバイスをいただきました。皆様と大阪で過ごした時間はとても有意義なものでした。深く感謝申し上げます。

森之宮病院 宮井 一郎先生，服部憲明先生，乙宗 宏範先生，木野本 誠さん，高橋 幸治さん，藤井 崇典さん，奥田 陽子さん，三矢田 美佐子さんには大阪の森之宮病院における計測実験に協力いただきました。患者さんのリクルートや自分の研究へのご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任准教授 温 文先生には，発表練習やグループミーティングにおいてご指導・ご助言をいただきました。深く感謝いたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 濱崎 峻資先生には，発表練習やグループミーティングにおいてご指導・ご助言をいただきました。また，普段の研究生活においても相談に乗っていただきました。深く感謝いたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 Sarthak Pathak 先生には，発表練習での的確なご助言や Matlab のサーバに関する相談にも乗っていただきました。また，お酒の席で楽しい時間を過ごさせていただきました。深く感謝いたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 禹 ハンウル先生には，発表練習の場でご指導・ご助言いただきました。また，お酒の席で様々なことについて談笑させていただきました。深く感謝いたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 淵田 正隆先生には，発表練習の場でご指摘・ご質問をいただきました。深く感謝いたします。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 Angela Faragasso 先生には，発表練習の場でご指摘・ご質問いただきました。また，ICRA や EmboSS に参加した際には談笑をして，楽しい時間を過ごさせていただきました。深く感謝申し上げます。

東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 特任研究員 Renato Miyagusuku 先生には，発

表練習の場で的確なご指導・ご助言いただきました。また、研究室のネットワークの問題にも一緒に対応をしてくださいました。深く感謝申し上げます。

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科 准教授 藤井 浩光先生には、1 年間という短い時間でしたが、発表練習の場でご指摘・ご質問をいただきました。また、研究室内のサーバやネットワークに関することで幾度となくご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

研究室の先輩の皆様には、発表練習や普段の研究室生活において大変お世話になりました。先輩方の研究に対する姿勢をいつもお手本にさせていただきました。特に同じグループの楊 寧嘉氏には実験の手伝いや解析を手伝っていただきました。大変感謝いたします。

研究室の同期である青柳 恵さん、奥村 有加里さん、杉本 賢勇君、森山 湧志君とは、普段の雑談から始まり講義や研究について様々なことを相談しました。お互いに苦楽を共有し、分かち合いつつも切磋琢磨することで大きく成長することができました。この二年間はかけがえのない財産となりました。ありがとうございました。

研究室の後輩の皆様には、日頃の研究室生活から大変お世話になりました。皆さまが研究に熱心に取り組んでいる姿は自分にとって良い刺激になりました。特に自分と同じ部屋にいた川田 桃子さん、長野 樹君、尹 碩珉君とは愉快的時間を過ごさせていただきました。大変感謝いたします。

秘書の成島 久恵さん、中村 恵さん、小島 里佳さん、後藤田 彩さん、石田 万紀さんには、研究室生活におけるあらゆる面で支えていただきました。学会や出張時の費用の申請や、購入した物品の費用の手続き、その他煩わしい事務作業をすべて引き受けていただきました。出張のたびに皆さんにお土産を喜んでいただけましたので、お土産を選ぶ時間は楽しいひと時でした。集中して研究できたのも秘書の皆様のおかげです。深く感謝申し上げます。

そして、大学院への進学のお機会を与えてくださり、いつも自分を支えてくださった家族に深く感謝の意を表します。

最後に、お世話になったすべての人に改めて深く感謝いたします。本当にありがとうございました。

平成 30 年 2 月吉日 湖上碩樹

参考文献

<和文文献>

[厚生労働省 2014]

厚生労働省: “平成 26 年 患者調査の概況”, 2014.

[厚生労働省 2016]

厚生労働省: “平成 28 年 国民生活基礎調査の概況”, 2016.

[脳卒中治療ガイドライン 2009]

日本脳卒中学会 脳卒中合同ガイドライン委員会 編: “脳卒中治療ガイドライン 2009”, <http://www.jsts.gr.jp/main08a.html>, 2009, 閲覧日 2018.12.13.

[道免 2015]

道免 和久 編: “ニューロリハビリテーション”, 医学書院, 2015.

[有末 2015]

有末 伊織, 田中 直次郎, 藤井 靖晃, 藤高 裕太, 中本 舞, 松本 強, 丸田 佳克, 福江 亮, 松下 信郎, 山岡 まこと, 橋本 陽平, 園田 泰, 霜山 香織, 福間 美佑貴, 岡本 隆嗣: “歩行アシストロボットを用いた 回復期脳卒中患者に対する歩行練習の影響 一歩行速度による違い一”, 理学療法科学, Vol. 20, No. 1, pp. 119–123, 2015.

[渡邊 2016]

渡邊 亜紀, 川井 康平, 佐藤 浩二, 宮崎 吉孝, 伊藤 寿弘, 森 照明: “HONDA 歩行アシストの継続使用による脳卒中片麻痺者の歩行変化”, 理学療法学, Vol. 43, No. 4, pp. 337–341, 2016.

[長田 2012]

長田 悠路, 山本 澄子, 瀧 雅子: “脳卒中片麻痺患者の起立動作における運動学的・運動力学的評価指標”, 理学療法学, Vol. 39, No. 3, pp. 149–158, 2012.

[津坂 2017]

津坂 優子, F. Dallalibera, 岡崎 安直, 山本 正樹, 横小路 泰義: “理学療法士のスキルを活かした自立支援型起立アシストロボットの開発”, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 852, pp. 1–14,

2017.

<英文文献>

[Guralnik 1994]

J. M. Guralnik, E. M. Simonsick, L. Ferrucci, R. J. Glynn, L. F. Berkman, D. G. Blazer, P. A. Scherr and R. B. Wallace: “A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association with Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission”, *Journals of Gerontology*, Vol. 49, No. 2, pp. 85–94, 1994.

[Fisher 2011]

S. Fisher, L. Lucas and T. A. Thrasher: “Robot-Assisted Gait Training for Patients with Hemiparesis Due to Stroke”, *Topics in Stroke Rehabilitation*, Vol. 18, No. 3, 2011.

[Srivastava 2016]

S. Srivastava, P. C. Kao, D. S. Reisman, J. P. Scholz and S. K. Agrawal: “Robotic assist-as-needed as an alternative to therapist-assisted gait rehabilitation”, *International journal of physical medicine & rehabilitation*, Vol. 4, No. 5, pp. 370, 2016.

[Chou 2003]

S. W. Chou, A. M. K. Wong, C. P. Leong, W. S. Hong, F. K. Tang and T. H. Lin: “Postural control during sit-to stand and gait in stroke patients”, *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 82, no. 1, pp. 42–47, 2003.

[Tsukahara 2010]

A. Tsukahara, R. Kawanishi, Y. Hasegawa and Y. Sankai: “Sit-to-stand and stand-to-sit transfer support for complete paraplegic patients with robot suit HAL”, *Advanced Robotics*, Vol. 24, No. 11, pp. 1615–1638, 2010.

[Shiraishi 2016]

R. Shiraishi, H. Kawamoto and Y. Sankai: “Development of sit-to-stand and stand-to-sit training system for hemiplegic patients”, *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 4567–4572, 2016.

[Mourey 2000] F. Mourey, A. Grishin, P. D’Athis, T. Pozzo and P. Stapley: “Standing up from a chair as a dynamic equilibrium task: a comparison between young and elderly subjects”, *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, vol. 55, no. 9, pp. B425–B431, 2000.

[Yang 2017] N. Yang, Q. An, H. Yamakawa, Y. Tamura, A. Yamashita, K. Takahashi, M. Kinomoto, H. Yamasaki, M. Itkonen, F. S. Alnajjar, S. Shimoda, H. Asama, N. Hattori and I. Miyai: “Clarification of muscle synergy structure during standing-up motion of healthy young, elderly and post-stroke patients”, *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pp. 19–24, 2017.

[Silva 2013] A. Silva, A. S. P. Sousa, R. Pinheiro, J. Ferraz, J. M. R. S. Tavares, R. Santos and F. Sousa: “Activation timing of soleus and tibialis anterior muscles during sit-to-stand and stand-to-sit in post-stroke vs. healthy subjects”, *Somatosensory and Motor Research*, vol. 30, No. 1, pp. 48–55, 2013.

[Gross 1998]

M. M. Gross, P. J. Stevenson, S. L. Charette, G. Pyka and R. Marcus: “Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women”, *Gait and Posture*, vol. 8, no. 3, pp. 175–185, 1998.

[Chugo 2007] D. Chugo, K. Kawabata, H. Okamoto, H. Kaetsu, H. Asama, N. Miyake, K. Kosuge: “Force assistance system for standing up motion”, *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 34, No. 2, pp. 128–134, 2007.

[Tsusaka 2015] Y. Tsusaka, Y. Okazaki, Y. Fudaba, R. Futakuchi, M. Yamamoto, N. Shikata, M. Terashima, T. Funatani, H. Shima: “Development of standing-up motion assist robot to realize physiotherapist skill for muscle strength maintenance”, *Proceedings - IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 140–145, 2015.

研究業績

査読有り学術論文

- [1] **Hiroki Kogami**, Qi An, Ningia Yang, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, Shingo Shimoda, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takaori Fujii, Hironori Otomune and Ichiro Miyai: “Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure During Standing-Up Motion of Hemiplegic Patients”, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), Vol. 3, No. 3, pp. 2229–2236, 2018.

査読有り国際会議

- [1] **Hiroki Kogami**, Qi An, Ningia Yang, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, Shingo Shimoda, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takaori Fujii, Hironori Otomune and Ichiro Miyai: “Effect of Physical Therapy on Muscle Synergy Structure During Standing-Up Motion of Hemiplegic Patients”, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1–8, Brisbane, Australia, 2018.
- [2] **Hiroki Kogami**, Qi An, Ningia Yang, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Shingo Shimoda, Hiroshi Yamasaki, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, Noriaki Hattori, Makoto Kinomoto, Kouji Takahashi, Takaori Fujii, Hironori Otomune, Ichiro Miyai, Atsushi Yamashita and Hajime Asama: “Effect of Physical Therapy on Joint Angle of Hemiplegic Patients during Standing-up Motion”, Proceedings of the 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018), pp. 1, Osaka, Japan, 2018.

査読無し国内会議

- [1] 湖上 碩樹, 安 琪, 楊 寧嘉, 山川 博司, 田村 雄介, 山下 淳, 淺間 一, 山崎 弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田 真吾, 服部 憲明, 木野本 誠, 藤井 崇典, 高橋 幸治, 乙宗 宏範, 宮井 一郎: “片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析”, 第 23 回創発システムシンポジウム講演資料, pp. 54, 茅野, 2017.
- [2] 湖上 碩樹, 安 琪, 楊 寧嘉, 山川 博司, 田村 雄介, 山下 淳, 淺間 一, 山崎 弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田 真吾, 服部 憲明, 木野本 誠, 藤井 崇典, 高橋 幸治, 乙宗 宏範, 宮井 一郎: “片麻痺患者の起立動作のリハビリテーションにおける理学療法士の技能の解析”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会予稿集, pp. 345–346, 浜松, 2017.
- [3] 湖上 碩樹, 安 琪, 楊 寧嘉, 山川 博司, 田村 雄介, 山崎 弘嗣, Matti Itkonen, Fady Shibata-Alnajjar, 下田 真吾, 服部 憲明, 木野本 誠, 藤井 崇典, 高橋 幸治, 乙宗 宏範, 宮井 一郎, 山下 淳, 淺間 一: “理学療法士の膝と臀部に対する介入が片麻痺患者の起立動作の身体軌道に与える影響の調査”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会予稿集, pp. 1–3, 富山, 2018.

