

2007年1月10日

人間科学研究科長 殿

嶺 也守寛氏 博士学位申請論文審査報告書

嶺 也守寛氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱を受け審査をしてきましたが、2006年11月28日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名：嶺 也守寛
2. 論文題目：短下肢装具の設計手法に関する研究

3. 本文

3. 1 本論文の主旨

脳卒中は三大成人病の一つであり、多くの場合痙性等による片麻痺の運動機能障害が残り歩行動作にも障害を来す。この障害を軽減するために一般的に短下肢装具が用いられているが、痙性麻痺患者の歩行中の運動特性の定量的評価は十分ではなく、また個々の患者への適合も経験や勘に基づいていた。そこで本研究では個々の片麻痺患者に適した短下肢装具を設計するために、以下の2点の特長を備えた設計手法の構築を研究目的としている。

(1)短下肢装具が満たすべき足関節部分の可撓特性を明らかにするため、新たに足関節モーメント計測用装具を開発して、歩行中に痙性によって麻痺側足関節の発生する患者毎のモーメント特性を評価する。

(2)個人毎の特性を実現する装具形状を3次元有限要素モデル解析によって設計する。

本研究の意義としては、装具を実際に製作する前段階で、個々の脳卒中片麻痺患者の歩行分析で得られた設計要件を装具設計に用い、構造的安全性や日常生活における個々の使用者毎の歩行頻度にも十分に考慮した装具設計手法を提案していることがあげられる。本研究の成果によって、個々の障害に適した短下肢装具の製作が実現でき、材料と加工作業の無駄を可能な限り省くことができ、片麻痺者の一日でも早い生活復帰の手助けになる示唆を与えるものと考えられる。

3. 2 本論文の構成

本論文は以下の全6章から構成されている。

- 第1章 序章（研究の背景、目的と意義、論文の構成）
- 第2章 脳卒中片麻痺者の足関節痙性評価装置
- 第3章 装具設計手法と装具変形特性
- 第4章 非線形解析による短下肢装具の構造評価

第5章 疲労解析による短下肢装具の疲労予測手法

第6章 結論と今後の展望

3. 3 本論文の各章の概要

第1章では、本研究の背景として先行研究や従来の装具の製作手法についてレビューを行い、本研究の目的や意義について述べられている。

第2章では、痙性の歩行への影響を調べるために開発した計測用装具（Spastic Measurement Orthosis : SMO）について述べられている。脳卒中片麻痺の筋緊張異常による歩行困難な状況は、足関節における痙性が主な原因とされている。この痙性の特性を計測するために、3次元動作計測装置と床反力計と SMO を組み合わせて計測システムを構築し、BRS（Brunnstrom Recovery Stage）のⅢ、Ⅳレベルの4人の被験者における歩行動作計測および関節モーメント解析を行っている。踵接地時の状態に着目し、その瞬間の足関節モーメントと足部姿勢角度との関係を散布図に表現することで、痙性レベルの違いが歩行動作に及ぼす影響を分類し、歩行の不安定性を示して設計指針の要件に加えている。

第3章では、装具の設計手法について述べられている。従来の装具製作手法は、装具の可撓性を義肢装具士の勘と経験によりトリミングを行っており、トリミングエッジを寸法位置決めするような設計はされていない。本研究では、通常装具を製作する際に患足の石膏陽性モデルを作成するが、この石膏陽性モデルに測定ラインを付け、接触式測定器のプローブを接触させることで、基本モデルであるサーフェスモデルを作成している。厚み付けやトリミングは、3次元CAD（SolidWorks）を使用しており、製作した装具モデル単体での変形特性を有限要素解析（Finite Element Analysis : FEA）によって確認している。また、実際のプラスチック装具を作成し、底背屈方向に荷重を架けたときの変形特性と FEA の結果とを比較し、妥当性の検証を行っている。

第4章では、第3章でデザインした装具の FEA の結果と第2章で計測した歩行分析の結果から得られた設計指針に基づいて行った装具の仮選定について述べられている。仮選定された装具を脳卒中片麻痺者の歩行分析から得られた足関節モーメントを境界条件として有限要素解析を行っている。特に、1歩行周期中で装具の変形の影響が大きい、立脚初期、立脚中期、遊脚期の3条件に着目して境界条件として設定している部分が評価できる。解析に使用する有限要素モデルとしては、装具モデル、足部モデル、床面モデルの3種を製作し、適切な接触条件を定義して、3条件の状態を再現して解析を行っている。解析結果は変形量で表し、特に歩行時に重要である踵接地時の変形角度を可撓角とし、接地角と可撓角との割合を可撓率として指標化している。これによって個々の被験者の状態に合わせた可撓率での設計が可能となることが示されている。

第5章では、第4章の解析結果を利用し、装具の疲労予測について述べられている。材料に繰り返し荷重が架かる場合には、弾性範囲内であっても応力集中部位の疲労が重なることによって破壊に至ることが判っている。歩行動作は典型的な繰り返し運動であり、その結果として装具にも繰り返し応力が作用し、疲労破壊が起こる危険が想定される。本章では、装具使用者の生活状況から疲労の影響を定量的に予測し、装具使用者の日常生活における歩行頻度に適合する装具設計が提案されている。

第6章は、第2章から第5章までの研究成果を総括し、各章での発展性についても述べ

られている。また、今後の展望については、装具製作手法について述べられており、本研究で得られた知見を応用した展開を示唆する内容となっている。

3. 4 本論文の評価

本論文は、装具設計要件を抽出するために、脳卒中片麻痺の歩行を分析するための計測用装具を開発し、痙性の影響による歩行不安定性を踵接地の接地角と足関節モーメントとの散布図から評価するなど、独創的な理論展開を行っている。また、従来手法では、片麻痺による痙性不随意運動の評価と装具設計とを関係付けることができなかったが、本研究では、実際に片麻痺の障害を持つ患者本人から計測した歩行データを有限要素解析の境界条件とした装具の構造評価を行っている。また解を導く際には非線形有限要素解析を行っており、手法の新規性が認められ価値の高い研究成果と判断できる。また、従来にはない装具使用者毎の日常生活における歩行頻度に合わせた設計論と安全性についても提案しており、人間科学の研究としても評価に値すると考えられる。

以上より、博士学位申請論文審査委員会は、本論文が博士（人間科学）を授与するに十分値すると判断した。

3. 5 本論文の前提となった学術論文誌

本論文の前提となった学術論文誌の本人を第一著者とする原著論文は、以下の通りであった。

1. 嶺也守寛, 小林吉之, 高嶋孝倫, 藤本浩志:2006 計測用装具を用いた痙性麻痺の歩容解析に関する研究, 機械学会論文集C編72巻722号, 3280-3285頁.
2. Yasuhiro Mine, Takamichi Takashima, Hiroshi Fujimoto : 2006 Study of the design method of an Ankle-Foot Orthosis, Mechatronics for Safety Security and Dependability in New Era, Elsevier Science, 27-30頁.

4. 嶺 也守寛氏 博士学位申請論文審査委員会

主査審査員	早稲田大学	教授	博士（工学）	（早稲田大学）	藤本 浩志
審査員	早稲田大学	教授	医学博士	（千葉大学）	鈴木 秀次
審査員	早稲田大学	教授	工学博士	（東京大学）	戸川 達男
審査員	国立身体障害者リハビリテーションセンター・学院				
	義肢装具学科	主任	博士（工学）	（早稲田大学）	高嶋 孝倫

以上