

2006年1月11日

人間科学研究科長 殿

河合 恒氏 博士学位申請論文審査報告書

河合 恒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、2005年12月6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** 河合 恒

2. **論文題名** 高齢者の歩行能力の評価システムの開発

3. **本文**

3.1 **本論文の特徴**

本論文は、高齢者の自立支援のために、人間の最も基本的な移動様式である歩行支援としての歩行能力の評価システムの構築を目指したものである。

歩行は、高齢者の体力を表す重要な指標の一つである。多くの先行研究において、歩行周期や、立脚（接地）・遊脚（離地）時間、歩幅、歩行速度、上肢や下肢などの関節角度、下肢関節モーメントなどの歩行パラメータを用いた実験研究が行われ、その結果高齢者の多様な特徴が報告されてきた。しかし、それらのほとんどは計測に特殊な装置や専門家が必要であり、一部の研究機関や医療機関・リハビリテーションセンターでの利用に留まっている。このため、多くの該当者の通う介護予防教室などでの歩行能力評価には、最大歩行速度などの指標が便宜的に用いられてきた。

ここでいう最大歩行速度は多くの歩行パラメータとおおむね対応することが報告されているが、それらの歩行パラメータは複雑に関係しているので、この最大歩行速度だけに基づいて、高齢者に対して歩行能力を評価し、維持・改善のための助言を行うのは適切でない場合が多い。周知のごとく、高齢になるほど、その身体能力には差が大きくなり、加えて残存機能による違いも大きくなる。

本論文は、近年高齢者の介護予防の重要性に注目が集まっていることから、介護予防教室などでの歩行能力評価のためによりふさわしい指標を求めることを目的とした。

まず、歩行における歩行周期、立脚・遊脚期、ストライド幅など、踵やつま先の床への接地・離地に関する情報から得られるパラメータを接地パラメータと定義した。この接地パラメータを汎用のビデオカメラで測定し、高齢者の歩行能力を日常生活に対応付けて多面的に評価でき、維持や改善のための助言まで行える、歩行能力の評価システムを開発した。

3.2 本論文の各章の概要

本論文は、全6章から構成されている。

第1章では、上記3.1において述べた研究の背景と目的、本論文の構成とともに、接地パラメータに注目した理由を述べた。また大規模医療施設等で採用されている力学的な評価システムを用いない根拠についても個人へのフィードバックや非侵襲性の観点から述べた。

第2章では、歩行能力の評価システムで用いる、歩行能力の評価尺度作成のための基礎データとして、自由歩行における接地パラメータの高齢者の特徴のビデオ解析を行った。接地パラメータは、従来の研究よりも詳細に定義し、74項目のパラメータについて高齢者の特徴を分析した。ビデオカメラを用いたシステムの計測精度についても言及した。

第3章では、選定したパラメータを主成分分析を用いて4つの主成分にまとめ、第2章における分析結果を踏まえ、それぞれを敏速性、接地安定性、対称性、片足支持安定性と解釈し、歩行能力の評価尺度を作成した。また歩行能力の維持や改善のための助言について検討した。

第4章では、接地パラメータと下肢筋力との関係を検討し、高齢者の歩行能力の評価における接地パラメータの有用性を再検証した。

第5章では、これまでの検討を踏まえ、システムのプロトタイプを製作した。このプロトタイプを実際の介護予防教室において試用し、歩行能力の把握に役立つなど肯定的な意見を全ての被験者から得ることができたことを示した。

第6章では、研究成果を総括し、今後の展望として、助言の効果の検証や、情報ネットワークを利用した歩行診断への応用や、シミュレーションの導入などがあることを述べた。

3.3 本論文で得られた知見の概要

本論文では、高齢者の歩行能力を多面的に評価し、改善や維持のための助言などのフィードバックまで行える歩行能力の評価システムの開発を行った。

第1章では、高齢者の歩行支援についての問題提起を行い、その解決策として、本論文の提案する高齢者の歩行能力の評価システムの方向性を示したことである。

次の知見(第2章)は、足と床の接触についての歩行の接地パラメータについて、詳細な解析を行い、計74項目にものぼる接地パラメータの高齢者の基礎データを示したことである。とくに、

離地する側の足と接地する側の足との連携に関するパラメータのように、独自視点によるパラメータも算出し、高齢者の歩行の実体をより本質的に、わかりやすく表現できるパラメータを見出したことも重要な知見である。これらの接地パラメータは、加齢による変化の傾向、若年群と高齢群の間の有意差、パラメータの相関などの分析に基づいて、22 項目の高齢者歩行評価に有用な接地パラメータにまとめられた。

次の知見(第3章)は、接地パラメータを、高齢者の歩行能力の評価に有効な全く新しい評価尺度としてまとめたことである。高齢者の歩行に関して、このように多数の歩行パラメータを組み合わせる試みはこれまでなかった。この評価尺度によって、高齢者の日常生活での歩行の傾向を多面的な歩行能力別に数値的に評価でき、行動範囲の縮小や、外出の頻度や、転倒の危険や、階段の使用などについて助言を行えることを示唆した。

次の知見(第4章)は、自由歩行における立脚期の膝屈曲角度、膝伸展力、接地パラメータとの関係についての検討を通して、筋力に基づいた歩行能力の評価に有効な歩行の接地パラメータを示したことである。また、歩行で使用される膝屈曲角度での膝伸展力に従来注目した研究はなく、このデータを示したことも新しい取り組みであった。

これらの結果に基づいて、介護予防教室における下肢筋力や歩行の測定について、よりよい方法を提案するとともに、本論文が提案する歩行能力の評価尺度の接地パラメータが有効であることを示した。

さらに、第5章では、本論文の知見を整理・検討し歩行能力の評価システムのプロトタイプを製作し、予備的な試用試験において、高齢者の歩行能力の把握や、歩行能力維持・改善に役立つ可能性があることを示したことがあげられる。

3.4 審査の結果

社会性

本論文は、とくに高齢者の自立支援のために、人間の最も基本的な移動様式である歩行支援に注目したものである。

新規性

これまでに多数の歩行パラメータを組合わせて、高齢者の歩行能力を日常生活と対応付けて評価するような試みはなく、またこれらの接地パラメータは比較的簡便に測定が行えるので、介護予防教室などにおいて広く利用でき、従来の指標よりも高齢者の歩行能力の維持・改善に役立つことが期待される。

測定の普及性と信頼性

歩行を評価する際に用いられる力学的パラメータの測定には、床反力計が必要であり、正確な

関節位置情報を記録するためには、高精度の動作解析装置が必要である。安定した歩行を記録するためには、少なくとも前後 1~2 ストライドくらいの余裕をもって歩行路を設定する必要がある。自然な歩行において、これに合わせて左右の足が床反力を踏むことができるような環境を準備するためには大型の床反力計か、複数枚の床反力計を敷き詰める必要がある。

このような解析を行える機関はさらに限られてくる。力学的パラメータのなかの関節モーメントなどは、使用した身体モデルにおける結果のため、個人に対して評価結果を適切にフィードバックするのは困難である。本システムでは多数の接地パラメータを利用することによって、力学的パラメータを補うことができると考えている。

実験の妥当性

実験のための被験者は 41~89 才の健常男女であった。実験の計画・実施・解析は、十分妥当なものであった。

本論文の提案するシステムの測定精度そして再現性について

ビデオ解析による測定は、踵やつま先の位置の検出において、測定者の視察に依存するので、測定者の違いの影響を受ける可能性もある。特に、研究者や専門家ではない、地域のボランティアなどにも将来的に使用してもらうためには、さらに簡単で再現性の高い装置を検討する余地がある。

しかし、計測精度については、歩行においては 30 fps の 2 倍の分解能で時点を検出することによって、時間に関するパラメータを計測可能であること、通常モニターで横幅 640 pixel の画像からストライド幅を 1cm の精度で計測可能であることなど、システムに十分な計測精度があることが示されている。

再現性については、被験者は普段歩く速さの自由歩行で、マーカの貼付、床反力計を踏むなどの制限もないため、被験者の動作に関しては高い再現性が期待される。

将来性

近年、情報ネットワークの普及に伴い、これを利用した医療システムが提案されている。情報ネットワークを利用した歩行評価、診断に応用するためには、動画の圧縮方法や、汎用性の高いファイル形式についても検討する必要がある。

今後さらに妥当性を高めるために、介護予防教室の対象となる高齢者の歩行データをさらに蓄積し、評価尺度を再検討していく必要があること、測定精度や簡便性を高めるために測定方法を簡略化していくことが必要であるが、そういった地道な努力を重ねることにより、測定装置をもたない介護予防教室などでの歩行能力評価ツールとして本論文の知見が応用されるであろう。

本論文の前提となった学術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. 河合 恒,比企静雄:高齢者の歩行能力を評価する簡易尺度の提案,日本生活支援工学会誌, 5 (1), 28-37, 2005
2. 河合 恒,西原 賢,比企静雄:高齢女性の自由歩行における立脚中の膝屈曲角度,膝伸展力,歩行パラメータとの関係,理学療法科学, 20 (4), 273-277, 2005

以上により,本論文は,その社会的な意義・必要性・研究内容からみて,博士学位授与にふさわしいものと結論する。

4. 河合 恒氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査員	早稲田大学	教授	工学博士(慶応義塾大学)	野呂影勇
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	名誉教授	工学博士(東北大学)	比企静雄
審査員	慶応義塾大学	工学博士・医学博士(慶応義塾大学)	富田 豊	

以上