

生体情報を活用した運動機能評価システムの開発

Development of human motion assessment system with biological signal Information

2041008



研究代表者
(助成金受領者)

東京工科大学
医療保健学部理学療法学科

講 師

河 西 理 恵

共同研究者

早稲田大学 理工学研究所

招聘研究員

武 田 朴

[研究の目的]

リハビリテーションの対象となる患者の多くは様々な運動機能の問題を抱えており、歩行や立ち上がり等の日常動作の改善がリハビリテーションの目標となることが多い。有効なリハビリテーションを行うには、個々の患者の動作や姿勢を適切に評価することが不可欠だが、臨床現場におけるこれらの評価は、理学療法士らによる視覚的な観察が中心となっている。観察に基づく記述評価は簡便で費用もかからない等のメリットはあるが、個人の能力や経験に影響されやすく、評価の信頼性の担保や第三者による検証が困難である等の問題も多い。

近年、リハビリテーションの世界でも「根拠に基づくリハビリテーション」が重視され、その効果を科学的に示すことへの関心が高まっている。従来の科学的な動作分析手法には、複数の高性能カメラと床反力計を組み合わせた三次元動作解析装置があるが、これらの装置は高額で操作や解析方法も複雑なため、一般のリハビリテーション施設で利用されることは少ない。

そこで、本研究では小型加速度計を用いて一般のリハビリテーション施設でも利用可能な定量的運動機能評価システムを試作し、試作システムの再現性と妥当性について検討することを目標とした。

[研究の内容、成果]

本研究では、以下の3つのテーマについて検討を行った。

1. 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムの試作
2. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性と妥当性の検証
3. 患者を対象とした実用性の評価

1. 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムの試作

本システムの特徴は、小型加速度センサをヒトの体幹に固定し、動作に伴い発生する重力加速度の変化から体幹の角度を算出し、立ち上がり動作の定量評価を可能にすることである。計測器機には、3軸加速度センサと専用受信機（ロジカルプロダクト社製、LP-MS1002, LP-RF24TR1：計測範囲：±4 G、感度：1V/G、周波数特性：DC～50 Hz、分解能： 10^{-3} G、）を用いた。図1に試作した評価システムの概要を示す。加速度信号は無線で受信機に送られ、復調信号をUSB経由でパーソナルコンピュータに送り、Labviewにて作製されたプログラム（ロジカルプロダクト社製、ワイヤレスセンサモジュール）で受信し、表示・記録される。

加速度信号を解析するため、MATLABによる解析プログラムを作製した。3軸の加速

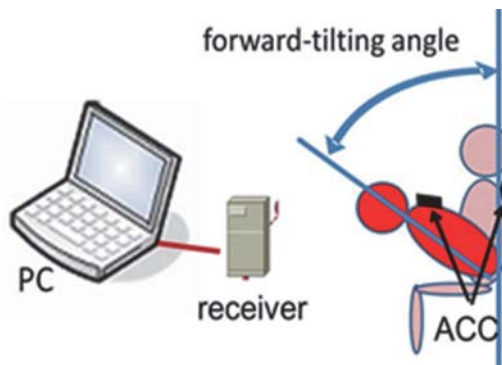


図1 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システム

度のうち前後方向の加速度を解析対象とし、 $0V=90^\circ$ として出力電圧から角度を算出した。体幹が最大前傾角に達する1.5秒前の角度を動作開始角、最大前傾角から1.5秒後の角度を動作完了角とし、最大前傾角と動作開始角の差を前傾角とした。また、動作開始角から前傾角の10%まで前傾した時刻を10%前傾時刻、角度を10%前傾角、動作完了角と最大前傾角の差を立ち上がり角とし、立ち上がり角の90%に達した時刻を90%立ち上がり時間、角度を立ち上がり角度とした。また、10%前傾時刻から90%立ち上がり時刻までを動作時間とした。

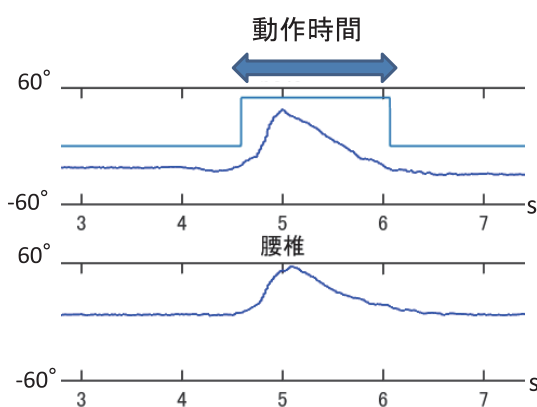


図2 立ち上がり動作時間の設定

2. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性と妥当性の検証

試作システムの再現性と妥当性を検証するため、健康成人16名（男性11名、女性5名、平

均年齢：20.5歳）の立ち上がり動作を測定した。本研究は東京工科大学倫理委員会の承認を得て実施し（承認番号：E14HS-016）、被験者には事前に本研究の趣旨を説明し、口頭および書面にて同意を得た。

測定には高さ45cmの背もたれなしの椅子を使用した。被験者は裸足で両腕を身体の前で軽く組み、体幹中間位で前を向いた姿勢を開始肢位とし、測定者の合図に合わせて立ち上がり動作を3回行った。足の接地位置と動作スピードは被験者の任意としたが、足の位置は被験者が測定前に何回か立ち上がり動作を行い、最も立ち上がりやすい位置を決め、毎回その位置に足を接地して立ち上がり動作を行った。動作スピードについては、なるべく普段通りの立ち上がり動作を行うよう指示した。

立ち上がり動作に伴う腰部の角度変化を測定するため、加速度センサ1台を被験者の第3腰椎棘突起に水平に装着し、測定中に加速度センサの位置がずれないように粘着力の強い外科用テープにて固定した。

試作システムによる立ち上がり動作の再現性を確認するため、腰部の前傾角に対する2回測定および3回測定の級内相関係数（Intraclass Correlation Coefficient：以下ICC）、ICC(1, 2)、およびICC(1, 3)を求めた。さらに、一元配置の分散分析を用いて被験者間の立ち上がり動作の差について検討した。

次に、試作システムの妥当性の検証方法について述べる。直径20mmの蛍光マーカーを、被験者の前頭部、右側頭部、胸骨柄、右肩峰、第3腰椎（加速度センサ上に貼付）、右股関節、右膝関節外側および右足関節外果に貼付し、2次元の動画計測を行った。各マーカーの位置をデジタルカメラ（CASIO社製、EXILM）にて30 frame/secで撮影し、市販のソフトウェア（ヒューテック社製、ICPRO）を用いて軌跡を求めた。解析にはMatlabにて自作したプログラムを用いた。右肩峰の座標と腰部の座標を結んだ線を体幹の傾斜とし、垂直面からの角度を

算出した。なお、解析対象とした角度の算出方法は、加速度センサと同様な解析プログラムを用いて行った。

動画像から得られた角度を x 軸、加速度センサから得られた角度を y 軸にとり、動作開始角と最大前傾角について、全被験者の 3 回の測定結果から散布図を描き、その回帰直線の傾斜と相関係数を求めた。

結果

1. 試作システムを用いた立ち上がり動作の再現性

立ち上がり動作 2 回測定における腰部前傾角の ICC は、0.884 (95% 信頼区間：以下 95% CI : 0.677-0.959)，立ち上がり動作 3 回測定における ICC は、0.852 (95% CI : 0.664-0.944) であった (表 1)。ICC は、0.25~0.5 の範囲で信頼性が低く、0.5~0.75 で中等度、0.75 以上で良好と考えられており¹⁾、試作システムを用いた健常者の立ち上がり動作の再現性については、良好な結果を得ることができた。一方、分散分析の結果では、被験者間の立ち上がり動作に有意差が認められた ($P < 0.01$)。

表 1 健常者における立ち上がり動作の再現性

2 回測定	ICC (1,2)	95% CI
	0.8840	(0.677-0.959)
3 回測定	ICC (1,3)	95% CI
	0.8520	(0.664-0.944)

2. 評価システムを用いた健常者における立ち上がり動作の妥当性

加速度センサから得た腰部の動作開始角および最大前傾角と、動画から得た動作開始角および最大前傾角の間に良好な相関関係 ($r=0.94$) が得られたことから (図 3)、本システムが画像測定システムに代用できる可能性を示すことができた。

3. 実用性の評価

試作システムを用いて、介助の違いが立ち上がり動作に与える影響について検討した。患者は左大腿骨顆上骨折を呈した 70 代の女性で、立ち上がり動作は自立で可能だが、動作時に膝

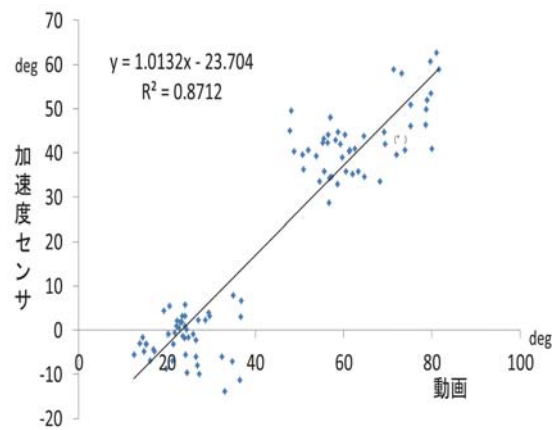


図 3 加速度センサと動画の角度の相関

の痛みを訴えていた。加速度センサ 3 台を患者の第 3 腰椎棘突起、胸骨柄、前頭部に水平に装着し、外科用テープで固定した。同じ介助法を用いて、始めに新人理学療法士の介助で立ち上がり動作を行い、次にベテラン理学療法士の介助で立ち上がり動作を行った。試作システムを用いて、立ち上がり動作中の腰部、胸骨、頭部の角度変化と左右外側広筋の筋電図を測定した。

測定結果を図 4 に示す。加速度データから、同じ介助を行っても、新人とベテランでは様々な違いがあることが示された。主な違いとして、ベテランでは動作に要する時間が新人の半分程度と短く、効率の良い立ち上がり動作が行われており、前傾角や立ち上がり角も正常パターンに近いことから、動作中の体幹の前傾や後傾が適切なタイミングでアシストされていることが示された。また、加速度信号も全体的に安定しており、安定した動作が行われていることが推察できた。一方、筋電図からもベテランの介助では、筋活動に左右差が少なく、患側への荷重が多く行われている様子が確認できた。

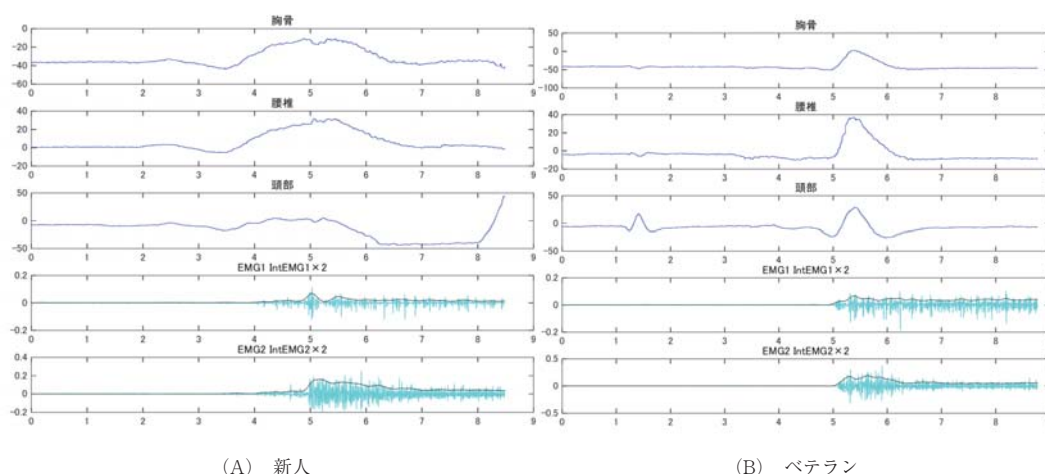


図4 新人 (A) とベテラン (B) の介助の違いによる加速度と筋電図の違い

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により, 小型加速度計を用いた立ち上がり動作定量評価システムには良好な再現性と妥当性があることが確認できた。また, 数は少ないが患者に適用した結果, 本システムがリハビリテーションの現場で簡便に動作や姿勢を定量評価できる可能性を示すことができた。今後の課題として, 加速度計による健常者の立ち上がり動作や立位姿勢のデータ収集を進め, 一定数のデータが得られた段階で, 健常者を基準とした加速度計による立ち上がり動作の基準データを作成する。同時に患者データの収集を進め, 健常者の基準データと患者データの比較から, 立ち上がり動作能力の判定尺度を考案し, その有効性について検証していきたい。また, ジャイロセンサ等を併用し, 歩行やバランス評価な

ども測定できる動作を増やしていきたいと考えている。

[参考文献]

- 1) Portney LG, Watkins MP: Foundations of Clinical Research Application to Practice 2nd ed. Prentice Hall Health, New Jersey, 2000, pp. 560-567.

[成果の発表・論文等]

- 1) 河西理恵, 武田朴, 山口凌: 脳卒中患者を対象としたロボットスーツ HAL の動作支援効果に関する研究. 第 49 回日本理学療法学会大会, Yokohama, Japan, June, 1, 2014.
- 2) Rie Kasai, Sunao Takeda: The Effect of Robot Suit HAL on Trunk Posture in Standing-up Movement. World Confederation of Physical Therapy Congress 2015, RR-PO-20-16 Singapore, May, 4. 2015