

## デジタルビデオカメラを用いた簡易型上肢動作解析システムの有用性に関する研究

研究分担者 里宇 明元 慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室 教授  
研究協力者 山口 智史 慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室 特任助教

### 研究要旨

多関節に機能障害を呈するリウマチ患者において、日常生活で役割が大きい上肢動作を対象とした動作分析の報告は非常に少ない。本研究では、デジタルビデオカメラを使用した客観的な簡易型上肢動作解析システムを提案することを目的として、その妥当性と信頼性を検討した。その結果、本動作解析システムは角度計との比較による高い妥当性と解析における検者内・間信頼性および三次元動作解析装置との高い基準関連妥当性を認めた。今回提案した簡易型上肢動作解析システムを用いて、リウマチ患者の病態と日常生活に影響する上肢動作の問題点を客観的に把握することにより、日常生活に則した最適なりハビリテーションプログラムの作成や関節障害の経時変化の理解および運動療法等の介入効果の判定に役立つと考えられる。

### A. 研究目的

昨年度の報告では、多関節に機能障害を呈するリウマチ患者の病態と日常生活での問題点を把握するために、多関節の機能が複合的に関わる日常生活動作(ADL)に着目した動作分析を行うことが必要であることを明らかにした。特にADLにおける上肢の役割は大きい、リウマチ患者における上肢動作を対象とした動作分析の報告は非常に少なく、客観的な動作解析システムによる評価が必要である。

そこで本年度は、一般的に普及しているデジタルビデオカメラを使用した客観的な簡易型上肢動作解析システムを提案することを目的として、以下の2つの実験を実施した。実験1では、角度計との比較による妥当性と解析手法の検者内・検者間信頼性を検討した。実験2では、日常臨床における有用性と動作分析研究で広く用いられる三次元動作解析装置との比較により、簡易上肢動作解析システムの基準関連妥当性を検討した。

### B. 研究方法

実験1：簡易上肢動作解析システムにおける角度計との比較による妥当性と解析手法の信頼性の検討

対象は健常者6名(男性3名、女性3名、平均22.1±1.6歳)で、この6名を以下に記すマーカー指定作業を行う検者とした。

方法は、2台のカメラ(CASIO社製)を用いて、角度計(OG技研株式会社製)を動画撮影した。角度計をもつ者(以下、被写体)が座る椅子から3mの距離に、三脚に固定した2つのカメラを直角に配置した。角度計には、中心および両端に半径2cmの赤色マーカーを貼付し、角度計の全体が撮影画面内に映るように、被写体が8の字状に動かした。

角度計の角度は0°、30°、40°、60°、135°、150°

の6パターンに固定した。なお、赤色マーカーの端から中心の距離は15cmとした。撮影時のズーム設定はすべて最大広角とし、フレームレイトは210Hzに規定した。

画像処理では、撮影した動画を画像変換ソフトにより静止画像へ変換した後、画像処理ソフトを用いて歪曲補正を行った。補正した画像は、3次元動作解析ソフトToyboxWG101を用いて解析を行った。ToyboxWG101は、2方向から撮られたそれぞれの静止画像にマーカー指定作業を行い、direct linear transformation法にてマーカーの空間座標を計算するソフトである。空間座標を算出した後、エクセルにて自作の計算式に代入し、角度を計算した。

マーカー指定作業では、6名の検者に、ToyboxWG101上で同じ静止画像に対してマーカー指定作業を反復して3回行わせた。解析する静止画像への、歪曲収差の影響を検討するため、あらかじめ撮影画面を9分割した。そのうえで、2台のカメラから得られる9×9の計81通りの画像の組み合わせから、(上端、上端)(中央、右端)(中央、中央)(右上端、右上端)(右上端、上端)(右端、右端)の6つの画面の組み合わせを無作為に選択し、マーカー指定作業を行った。マーカー指定作業の順序は、循環法を用いて決定した。また、角度計の設定角度は事前に知らせなかった。

統計解析では、妥当性の検討として、6つの角度条件と6つの画面条件において、測定角度の平均値と標準偏差を算出した。また、角度条件ごとに、6つの画面条件における差異をTukey's HSD(honestly significant difference)の多重比較法を用いて検定した。

信頼性の検討では、検者内および検者間でマーカー指定作業の信頼性を、級内相関係数(intraclass correlation coefficient; ICC)によって求めた。

## 実験 2：簡易上肢動作解析システムと三次元動作解析装置との基準関連妥当性の検討

対象は健常者 7 名（平均  $24.5 \pm 2.5$  歳）とした。課題は、座位での右上肢リーチ動作とし、背部を背もたれに接した状態の前方リーチからの最大リーチまでを 3 秒かけて行うように指示した。前述した簡易上肢動作解析システムを用いて動画を撮影した。同時に、6 台の赤外線カメラを有する三次元動作解析装置(ANIMA 社製)による計測を行った。マーカーは橈骨茎状突起、肘頭、肩峰、大腿骨大転子、膝関節外側裂隙に貼付した。

得られた空間座標から肘関節、肩関節、股関節における屈曲、伸展の関節角度および最大リーチ移動距離を算出した。関節角度は、リーチ開始肢位、開始 1 秒後、最大リーチにおいて解析した。統計解析は、三次元動作解析装置との基準関連妥当性を、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。

(倫理面への配慮)

全対象者に対して、事前に研究内容を十分に説明し、書面にて同意を得た。

## C. 研究結果

### 実験 1

妥当性の検討では、画像解析から得られた角度と実際の角度の最大誤差は角度条件  $50^\circ$ 、画面条件(上端、上端)の時に生じ、95%信頼区間を考慮すると約  $3.4^\circ$  であった。撮影画面条件の間には、有意差は認められなかった ( $p = 0.47$ )。

信頼性の検討では、角度設定の 6 条件それぞれでは、いずれも ICC (1, 1) 1.00、ICC (2, 1) 1.00 であった。しかし、設定した角度が  $0^\circ \sim 150^\circ$  と広範囲であり、数値のばらつきが大きいと ICC が高くなるという性質(範囲制約性)の問題を考慮し、角度差が最も少ない  $30^\circ$  と  $40^\circ$  のみを抽出し、再び算出を行った。その結果、ICC (1, 1) 0.93~0.97、ICC (2, 1) 0.95~0.97 であった。

これから求められる は、 0.99 であり、0.95 となる最低条件は、検者 1 名以上で 2 回以上測定、あるいは検者 2 名以上で 1 回以上測定する時であった。検者 1 名で 1 回測定する場合は、 0.93 であった。

### 実験 2

簡易上肢動作解析システムと三次元動作解析装置との相関係数は、肘関節 0.996、肩関節 0.992、股関節 0.997、リーチ距離 0.991 であり、有意な正の相関を認められた(すべて  $p < 0.01$ )。最大誤差は、関節角度では肩関節で約  $3.2^\circ$ 、リーチ距離では約 2.4 cm であった。

## D. 考察

2 台のデジタルビデオカメラを用いた簡易上肢動作解析システムの妥当性および検者内・検者間信頼性を検討し、高い妥当性と信頼性が確認された。

実際の角度計と簡易上肢動作解析システムによる角度の最大誤差は約  $3.4^\circ$  であり、十分な妥当性を有する評価法と言える。また、1 名で 1 回の測定でも  $> 0.93$  という予測結果であった。

さらに、簡易型上肢動作解析システムによる計測は、三次元動作解析装置による関節角度の計測との間に高い相関を認め、高い精度があることが示唆された。また最大誤差は、関節角度で約  $3.2^\circ$ 、距離で約 2.4 cm であり、十分な妥当性を有する評価法と言える。

一方で、3 次元動作解析ソフト ToyboxWG101 は、マーカー追跡機能は備わっていないため、長時間の連続した動作の解析は、マーカーの同定に多大な手間がかかり現実的ではないという欠点を有する。しかし、実際の臨床では、ある部分の動作の各ポイントの状態を客観的に評価できることの意義は高く、今回提案し妥当性と信頼性の確かめられた簡易上肢動作解析システムの応用範囲は広いと考えられる。

またマーカーが最低 2 台のカメラに映る必要があることが本システムの限界であるが、カメラの設置位置の調整や台数の増加により対応可能であり、臨床場面での評価の応用範囲は広いと考えられる。

## E. 結論

今回、提案した簡便かつ安価な上肢動作解析システムを用いることにより、多関節に機能障害を呈するリウマチ患者の病態と日常生活に影響する上肢動作の問題点を、客観的に把握することが可能になると考えられる。簡易型上肢動作解析システムは、日常生活に則した最適なりハプログラムの作成や関節障害の経時変化の把握、運動療法等の介入効果の評価に役立つと考えられる。

## F. 健康危険情報

総括研究報告書参照のこと。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

記載事項なし。

### 2. 学会発表

記載事項なし。

**H. 知的財産権の出願・登録状況  
(予定を含む)**

**1. 特許取得**

記載事項なし。

**2. 実用新案登録**

記載事項なし。

**3. その他**

記載事項なし。