

# 電磁ゴニオメータを用いた上腕回旋角計測方法の精度:

## 前腕運動からの計測方法と上腕運動からの計測方法

The validation of the measurement of humeral axial rotation by forearm using electromagnetic tracking system

身体運動科学研究領域 5010A068-9 橋本 幸代

研究指導教員: 矢内 利政 教授

### 【緒論】

電磁ゴニオメータを用いた測定手法には、筋や皮膚が動揺することで、事前に測定した骨のランドマークとセンサとの相対的な位置関係が一定ではなくなるため、骨の位置や方位を正確に計測できなくなるといった問題点がある。電磁ゴニオメータのセンサを上腕骨上に貼付して上腕の回旋角を計測する際に、至適基準と比較して大きい角度誤差が生じることが報告されている (Hamming et al. 2012)。

カメラ分析や光学式モーションキャプチャシステムを用いて前腕の長軸を求め、前腕の傾斜角を上腕の回旋角として計測する方法論がある (Feltner and Dapena 1986; Schmidt et al. 1999)。前腕の皮膚動揺の影響を考慮に入れて電磁ゴニオメータ法で同様の方法論を採用すれば、上腕の皮膚動揺の影響を受けずに上腕の回旋角が計測することが可能となる。

本研究の目的を電磁ゴニオメータで前腕長軸の傾斜角として上腕回旋角の精度を検証することとした。この目的を達成するためにまず前腕の皮膚動揺に起因する計測誤差の検証をした (実験 1)。次に肘関節屈曲伸展運動時および前腕回内外運動時における計測誤差の検証をした (実験 2)。さらに上腕から計測した従来法の上腕回旋角の誤差を検証した (実験 3)。

【実験 1】前腕の皮膚動揺に起因する計測誤差の検証  
＜方法＞被験者は一般成人男性 6 名であった。ビデオカメラと電磁ゴニオメータを用いて前腕長軸の傾斜角から上腕の回旋角を求めた。運動課題は 3 種類の運動周期条件、2 種類の運動面での上腕回旋の計 6 種類であった。肘関節の屈曲伸展、それに伴って変化する肘関節の内外反および前腕の回内外の影響を排除するため、シーネを用いて肘関節屈曲 90 度に固定した。

＜結果＞角度の計測誤差は前額面試技では最大 2.3 度、矢状面試技では最大で 2.9 度であった。可動域誤差は前額面試技では最大で 3.6 度、矢状面試技では最大で 3.2 度であった。時刻誤差は前額面試技では最大で 10.4 ミリ秒、矢状面試技では最大で 8.1 ミリ秒であった。

＜考察＞各被験者の可動域誤差を可動域で除し、百分率で表すと 2.3% から 3.73% となった。各試技においてビデオカメラから算出される可動域と、2 方法間の可動域誤差との間に有意な相関関係はみられなかった。そのため可動域がこの実験結果の値より大きくなっても誤差は線形的に大きくならないと考えられる。

本研究で使用したビデオカメラ、および電磁ゴニオメータのサンプリング周波数は 240Hz であり 1 フレームは約 4.2 ミリ秒であった。この結果は 2 フレーム程度の時刻誤差か、それよりも小さい時刻誤差であった。

【実験 2】肘関節屈曲伸展運動および前腕回内外運動による計測誤差の検証

＜方法＞被験者は実験 1 と同様であった。電磁ゴニオメータを用いて前腕から上腕の回旋角を求めた。運動課題は肘関節屈曲伸展課題と前腕回内外運動の 2 種類であった。

＜結果＞屈曲伸展課題の角度 RMS エラーの最大値は最大伸展時で 37.6 度であった。肘関節伸展 60 度から最大屈曲までは角度 RMS エラーは 8 度未満であった。回内外課題の角度 RMS エラーの最大値は最大回内時で 5.7 度であった。

＜考察＞本節の目的は、前腕長軸の運動から上腕回旋角を定量する方法論を用いた場合に混入する、肘関節の屈曲伸展および前腕の回内外に起因する計測

誤差を明らかにすることであった。

屈伸課題における RMS エラー<sub>fore</sub> は肘関節屈曲伸展角 40 度から最大伸展までの範囲であると 10 度以上あり最大伸展時では 35 度以上であった。これは上腕の長軸と前腕の長軸が同一平面上に近づき、前腕の長軸が上腕に投影できなくなるといった幾何学的な問題が生じたためと考えられる。肘関節屈曲伸展角 60 度位よりも屈曲している状態であれば RMS エラー<sub>fore</sub> は 8 度未満であることが示されたことより、上腕の回旋角の計測は前腕長軸の傾斜角より行う方法と上腕から行う従来法とを使い分ける必要がある。

回内外課題における RMS エラー<sub>fore</sub> は最大回内時では 5.7 度、最大回外時では 3.4 度であった。最大回内時、最大回外時の誤差は回旋方向に伴った方向は見られなかった。この誤差は回内外運動時における前腕センサ貼付位置の皮膚が動揺したことに起因するものと考えられる。

【実験 3】上腕から計測した従来法の上腕回旋角の計測誤差の検証

＜方法＞被験者は実験 1 と同様であった。電磁ゴニオメータを用いて前腕および上腕から上腕の回旋角を求めた。運動課題は 5 種類の運動周期条件、2 種類の運動面での上腕回旋の計 10 種類であった。肘関節の屈曲伸展、それに伴って変化する肘関節の内外反および前腕の回内外の影響を排除するため、シーネを用いて肘関節屈曲 90 度に固定した。

＜結果＞角度の計測誤差は、前額面試技では最大で 10.1 度、矢状面試技では最大で 10.8 度であった。可動域誤差は前額面試技では最大で 14.7 度、矢状面試技では最大で 14.5 度であった。時刻誤差は前額面試技では最大で 13.3 ミリ秒、矢状面試技では最大で 14.0 ミリ秒であった。

＜考察＞角度誤差は上腕の回旋運動時の系統的な皮膚、筋、軟組織の移動が理由として挙げられる。可動

域誤差を各被験者の可動域で除した %RMS エラーは最大で 19.1% となり、Ludewig et al. (2002) が報告している 19% とほぼ同じ値であった。1Hz 条件以外で前腕から算出される回旋可動域と、2 方法間の可動域の計測誤差との間に有意な負の相関がみられた。上腕の回旋可動域が大きくなることに伴って、上腕から算出される回旋角可動域は過小評価されることが示された。

時刻誤差は小さい値となった。このように時刻誤差が小さくなった理由として上腕にカフを付けて計測していたと考えられる。上腕にカフをつける理由としては皮膚の動揺による角度誤差を軽減するためであった (Ludewig and Cook 2000) が、上腕の回旋角においては時刻誤差の軽減に寄与していたと考えられる。

#### 【総括論議】

実験 1 で検証した上腕回旋運動の計測誤差は、前腕の皮膚動揺に起因する誤差であり、3.3 度未満であった。また実験 2 で検証した肘関節屈曲伸展運動による計測誤差は最大伸展時で 35 度以上であり、前腕回内外運動による計測誤差は 8 度未満であった。よって肘関節屈曲伸展や内外反、前腕の回内外の制限が全てないものとしたときの上腕回旋角の計測誤差は約 41 度となり、Hamming et al. (2012) で報告されている計測誤差の 14.6 度を大きく上回る。

肘関節屈曲伸展角が伸展 60 度よりも屈曲位であるときの上腕回旋角の計測誤差は 8 度未満であり、前腕回内外時の 6 度未満の誤差を考えると、肘関節内外反、前腕の回内外の制限はなく、屈曲伸展角が伸展 60 度から最大屈曲であるときの上腕回旋角の計測誤差は 14 度未満であることが考えられる。よって、屈曲伸展角が伸展 60 度より屈曲位であるときの上腕の回旋の計測は前腕の運動から計測し、伸展 60 度よりも伸展位であるときは従来の上腕の運動から計測することがよいと考えられる。