

平成 22 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560145

研究課題名 (和文) 人工股関節の多方向滑り状態の解析と潤滑への影響に関する研究

研究課題名 (英文) Study of multidirectional sliding motion of hip joint and its effect on lubrication of artificial hip joint

研究代表者

今戸 啓二 (IMADO KEIJI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：80160050

研究成果の概要 (和文)：人工股関節の摩耗解析に必要な骨頭とカップ間の相対運動状態を評価可能なゴニオメータ (関節角度計) を開発した。開発したゴニオメータは、測定誤差を小さくするため、股関節とゴニオメータの回転軸をこれまでのゴニオメータのように同一線上に合わせる必要がない。股関節中心を機構学的に求めることで、軸心がオフセットした状態でも利用できる。骨頭表面の運動軌跡を評価した結果、個人に固有な軌跡パターンを示すことが分った。

研究成果の概要 (英文)：A goniometer was developed by which the relative motion between a femoral head and cup surface could be evaluated. For a conventional goniometer, careful collinear positioning is required to minimize the cross talk. But the goniometer developed can be used with no careful positioning. The center of hip joint is calculated through the least square method basing upon a mechanical link model. The angular motion of each subject was evaluated. It was confirmed that the slide track of each subject showed a quite unique pattern and was varied from person to person.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・トライボロジー

キーワード：人工股関節，多方向滑り，滑り線軌跡，ゴニオメータ，方向余弦，最小二乗法

1. 研究開始当初の背景

(1) 人工関節の寿命は超高分子量ポリエチ

レン(UHMWPE)の摩耗に支配され、股関節の多方向滑りが UHMWPE の摩耗を促

進することが明らかにされた。そこで多種多様な多方向滑り軌跡を有する摩耗試験機が開発されたが、どれが最適かを判断する基準はない。

(2) 骨盤の動きに伴い骨頭中心も剛体運動しているため、骨頭とカップ間の相対運動の計算に必要なデータの測定法さえ十分に確立されていない。

(3) 臨床的関節角度は測定の容易な箇所を測定しているだけであり、骨頭とカップ間の相対運動を調べるには屈曲・伸展、内転・外転、内旋・外旋のような臨床学的な関節角度では明確に表すことはできない。

2. 研究の目的

(1) 玉軸受の玉の三次元的な回転を解析した経験を元に、骨頭の三次元的回転の計測法から計算法までを基本に立ち返り明らかにすること。

(2) 多方向滑り状態下での潤滑状態を、高速カメラで撮影して詳細に観察すること。

3. 研究の方法

図1はゴニオメータの主要部、図2はその機構学的モデル図である。ゴニオメータは2個の角度センサと、ゴニオメータから膝付近に取付けた点Pまでの距離Lの変化を測定するひずみゲージを組み合わせた。歩行に伴うゴニオメータから見た点Pへの角度を角度センサで検出し、ゴニオメータから点Pまでの距離Lをひずみゲージで検出する。しかしながら、股関節中心を原点としたゴニオメータの中心位置 (X_0, Y_0, Z_0) と、原点からP点までの距離Rは実測できない。そこで仮定した (X_0, Y_0, Z_0) とRより求めた計算上の L_A と、ひずみゲージより求めた長さ L_E の偏差平方和Eを極小とする解が最適値とする最小二乗法の原理を適用して (X_0, Y_0, Z_0) とRを求めた。 (X_0, Y_0, Z_0) とRが決まれば、骨頭の回転は回転マトリクスを使えば計算できる。

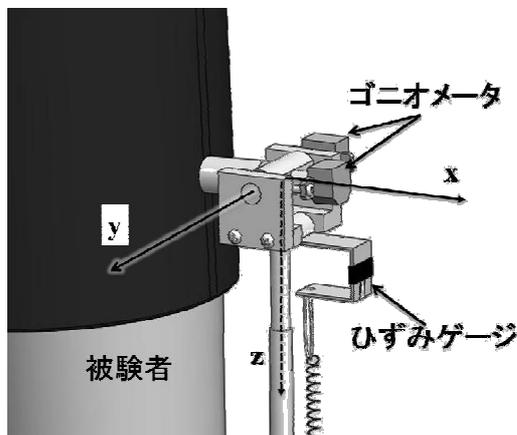


図1 股関節用ゴニオメータ主要部

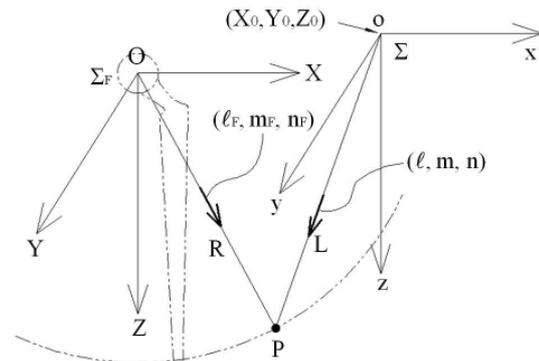


図2 ゴニオメータの機構学的モデル図

図2の Σ がゴニオメータを原点とした座標系、 Σ_F が股関節を中心とした座標系を表わす。角度センサは方向余弦 (l, m, n) の算出に利用し、ひずみゲージは距離Lを測定する。

4. 研究成果

(1) 最小二乗法を利用することで、股関節の骨頭の三次元的回転運動を評価する手法を考案し、その有効性を検証できた。

一般的なゴニオメータではゴニオメータの回転軸を生体関節の回転軸と一致させるように装着する必要があるが、それらにオフセットがあれば、クロストークと呼ばれる誤差が必ず混入することが知られている。ところが、生体関節の回転軸は不明なため、ゴニオメータを正確に装着することは事実上不可能である。

身体に取付けた複数のマーカーの動きを数台の高速ビデオカメラで追跡する運動解析システムでも、マーカーの軌跡から関節中心を算出して、運動を解析しているわけではなく、身体寸法から統計的に得られた関節中心推定式を利用して関節中心を求め、それらを元に関節角度を求めているのが実情である。簡単に言えば統計式と実測値のハイブリッドシステムであり、病気等で統計式より関節中心が精度良く求められない人には、例え高価なビデオ解析システムを利用したとしても信頼性の低い評価しか得られない。それを問題提起した論文もある。

本研究では従来のゴニオメータの問題点であった取付け方により発生する誤差を逆に利用して、生体股関節とゴニオメータとの位置関係を明らかにした上で、関節運動を評価していることにその特徴があり、統計式などは一切不要である。角度センサのみからなる従来のゴニオメータではこのようなことは不可能であり、距離を測定する変位計と角度センサを組み合わせることで初めて可能になる。図2に示すゴニオメータから膝付近の点Pまでの距離Lは、ゴニオメータ中心座標 (X_0, Y_0, Z_0) と、股関節からP点まで

の距離 R の関数である。そこで (X_0, Y_0, Z_0) と R を与えれば理論上の距離 L_T が得られる。一方、距離計により L の測定値 L_E を知ることができるので、 L_T 、 L_E を比較すれば仮定値 (X_0, Y_0, Z_0) と R の精度が評価できる。 L_T と (X_0, Y_0, Z_0) と R の関係は非線形であるため、最小二乗法を利用して L_T 、 L_E の偏差平方和が最小となるように解の自動探索システムを作成した。

開発した解の自動探索システムの精度を評価するため、図3に写真、図4にモデル図を示す実験装置を試作した。装置では股関節の代用である球面軸受を下にしているため、自然立位とは逆の状態であることに注意されたい。そして大腿骨下端部に対応する実験装置の上部を手動により適当に揺動し、角度センサと距離計の値から図4に示す球面軸受とゴニオメータの距離 X と距離 R をシステムにより推定した。その結果、最小二乗法による推定値と実測値は殆ど一致することを確認した。

図5に股関節モデルを使った実験

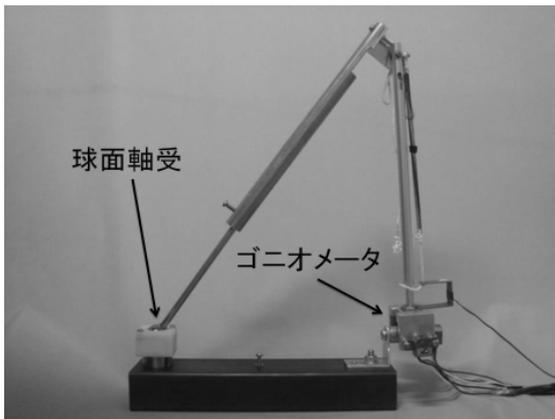


図3 股関節モデルの写真

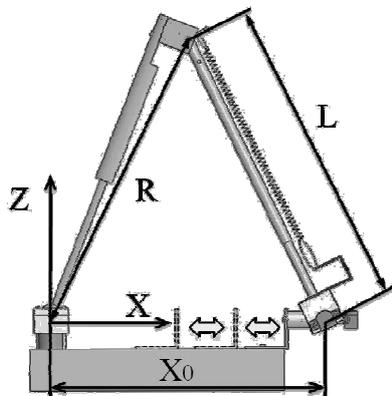


図4 股関節モデルのCAD図

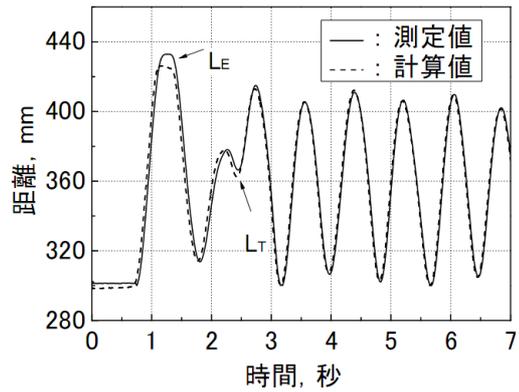


図5 股関節モデルを使った実験より得られた測定値 L_E と理論距離 L_T の比較

より得られた距離 L_E と、最小二乗法より推定した (X_0, Y_0, Z_0) と R を使い計算した理論距離 L_T を比較した一例を示す。両者は殆ど一致しており、運動評価システムの有効性が確認できる。

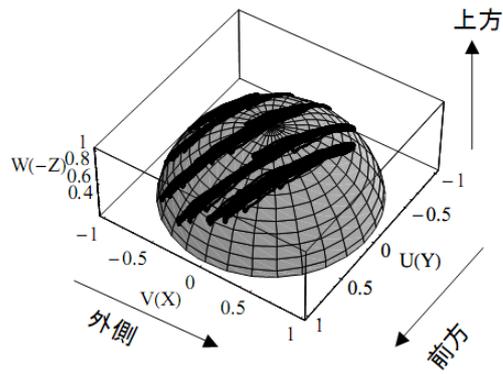
このように安価なゴニオメータシステムでありながら、股関節の位置とゴニオメータの位置関係を自動的に推定することで、股関節の運動を評価できるシステムはこれまでに無く、リハビリ現場における定量的評価に利用できる可能性がある。

(2) 生体関節では骨頭と臼蓋との間の三次元的運動軌跡である滑り線軌跡を描けるようになった。

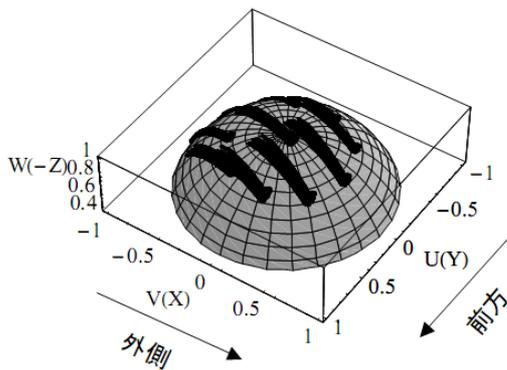
股関節の骨頭の三次元的回転状態を表すには、骨頭上に固定された幾つかの点の軌跡を見れば直観的に回転状態が評価できる。もし軌跡が直線状であれば、回転軸は一つであり、ループ状であれば回転軸は複数であることを示している。

図6(a)は片足立ちの状態、左股関節を自由に屈曲・伸展させた場合の骨頭の滑り線軌跡、図6(b)は内外転させた場合の滑り線軌跡の測定例である。体型による違いを取り除くため、骨頭の半径を単位長さに標準化して表している。骨頭の運動状態を直観的に分かりやすくするため、滑り線軌跡の視点は上から眺めた状態で描いている。図6(a)と(b)を比較すると、滑り線軌跡は股関節の運動に対応して互いにほぼ直交している。滑り線軌跡が太いのは、人の運動が機械のように正確ではなく、一周毎に僅かに軌跡が変化することが原因である。

図7はトレッドミル上を速度 4.5 km/h で歩行中の2人の骨頭の滑り線軌跡を示す。被験者固有の歩き方が滑り線軌跡のパターンの違いとして表



(a) 屈曲・伸展時の骨頭の滑り線軌跡



(b) 内外転時の骨頭の滑り線軌跡

図6 屈曲・伸展時及び内外転時の骨頭の滑り線軌跡

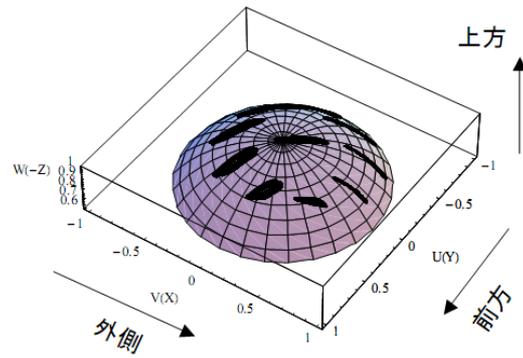
われている。これらのパターンは被験者毎に全て異なることを確認しており、どのパターンが理想的歩行であるかを評価する基準は現在のところない。それが無い理由はこれまでに滑り線軌跡を簡単に求める手段が無かったためである。

本研究のゴニオメータは、マルチカメラ運動解析システムと比べると非常に安価でありながら、従来未解決であったゴニオメータの装着精度に関する問題については機構学的に解決しているため、リハビリ現場での歩き方の評価手段として有効活用できる可能性が得られた。

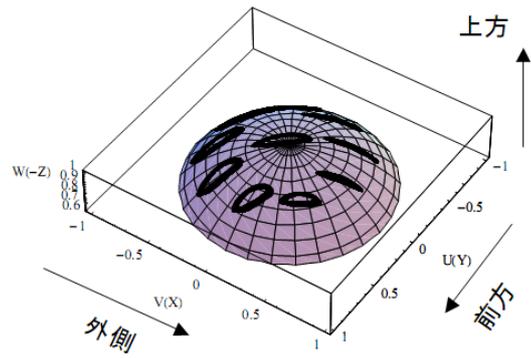
5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① 今戸啓二, ゴニオメータによる歩行中の骨頭の滑り線軌跡の評価, 臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.31, 2010, 掲載決定
- ② 三宅宏和, 今戸啓二, 三浦篤義, ゴニオメータによる股関節中心の推定法と滑り線軌跡の算出に関する研究, 第30回バイオメカニクス学術講演会 SOBIM2009



(a) 1.66 m, 61 kg



(b) 1.72 m, 64 kg

図7 歩行中の骨頭の滑り線軌跡の測定例

予稿集, 査読無, 2009, pp.35-38.

- ③ 今戸啓二, 自在継手を利用した股関節用ゴニオメータの開発, 臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol.30, 2009, pp.223-227.
- ④ Keiji IMADO, Development of simple goniometer for hip joint utilizing universal joint, Final Program AP Biomech 2009 4th Asian Pacific Conference on Biomechanics, 査読無, 2009, pp.96-97.
- ⑤ 三宅宏和, 今戸啓二, 三浦篤義, 河越恒夫, 自在軸受を利用した股関節の運動計測法に関する研究, 福祉工学シンポジウム 2008 講演論文集, 査読無, 2008, pp.221-224.

〔学会発表〕(計2件)

- ① 今戸啓二, 歩行中の骨頭の滑り線軌跡の評価, 第36回日本臨床バイオメカニクス学会, 2009年10月16日, 松山市
- ② 今戸啓二, 自在軸受を利用した股関節用ゴニオメータの開発, 第35回日本臨床バイオメカニクス学会, 2008年11月14日, 大阪国際交流センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今戸 啓二 (IMADO KEIJI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：80160050

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：