

IMU とセンサ・フェュージョンを用いた 変形性膝関節症患者の 歩行時膝関節屈曲角度の評価

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

鶴宮 聖士, 巖見 武裕, 須田 智寛, 島田 洋一

八十住 捨輝

富山県立大学 情報システム工学科

2023年6月23日

1. はじめに

2/10

現在

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

変形性膝関節症患者は関節軟骨や骨が変形することにより歩行時に問題が生じてくる。この問題を解決すべくこの十数年で様々な動作計測システムが開発、導入され患者歩行を定量的に評価できるようになった。動作計測システムについてはモーションキャプチャが提案されているが環境制限やコストが高いことが懸念されている。これを解決する方法として安価な IMU を用いてカルマンフィルタを用いたセンサ・フュージョンを組み合わせた姿勢推定が提案されたが変形性膝関節症の定量評価を行った事例はほとんど報告されていない。

本研究の目的

本研究では、IMU とカルマンフィルタを組合させて三次元姿勢を推定するセンサ・フュージョンを構築し、変形性膝関節症患者の歩行時における膝関節屈曲角度の推定を行う。そして健常者と変形性膝関節症の進行度に応じた運動学的差異を比較し、その有用性を検討する。

2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定

3/10

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

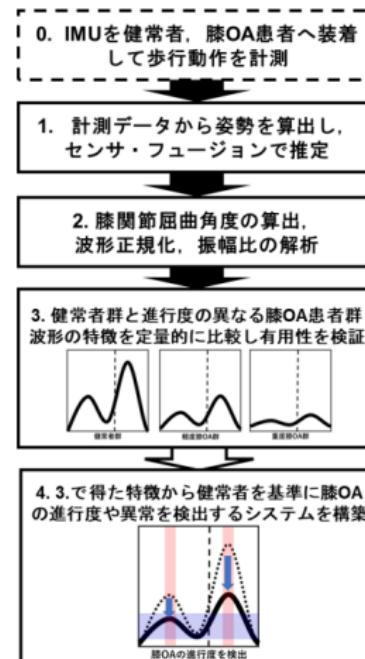


図 1: 本研究の全体像

2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定

4/10

計測システム

本研究では、9軸センサ IMU を用いた。IMU は身体に直接装着し、PC と専用データロガーソフトウェアを用いることで計測できる。

センサ・フュージョンの構築と姿勢推定

歩行時に加速度センサ出力は様々な加速度によって表現されるため、その影響を考慮するには各センサで得られる情報を統合化したセンサ・フュージョンを構築する必要がある。そこで歩行時膝関節屈曲角度の推定に有用な遠心加速度、接線加速度の影響を考慮した拡張カルマンフィルタによるセンサ・フュージョンを構築する。図2より膝関節屈曲角度はグローバル座標系におけるY軸周りのピッチ角 $i^{-1}\theta_j$ であり以下の式のようになる。

$$i^{-1}\theta_j = \tan^{-1} \frac{-R_{31}}{\sqrt{R_{32}^2 + R_{33}^2}} \quad (1)$$

R ：回転行列

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

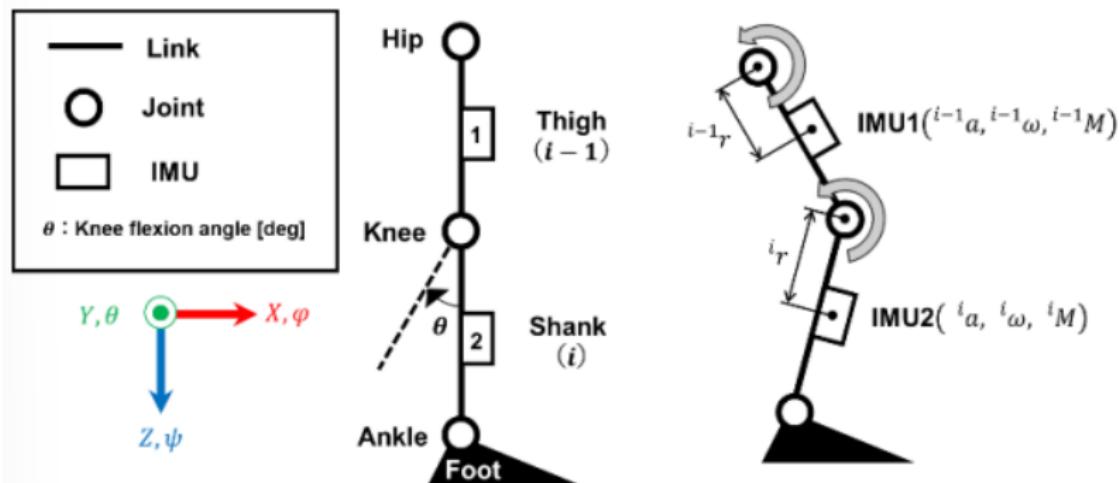


図 2: 剛体リンクモデル

左: マウント位置と膝屈折角の定義 右: IMU のパラメーター

3. 歩行計測実験

6/10

実験方法

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

被験者 8 名（健常者：3 名, 变形性膝関節症患者：5 名）を対象に歩行計測実験を行った。実験時の IMU の装着位置と歩行計測実験の外観を図 3 に示す。

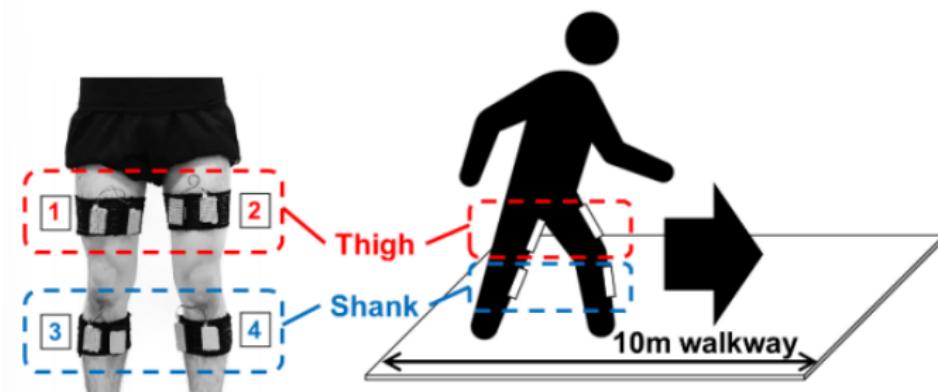


図 3: IMU のマウント位置と実験の概要
左: 前 右: 横

3. 歩行計測実験

データ処理・評価方法

- はじめに
- 歩行時膝関節屈曲角度の推定
- 歩行計測実験
- 結果
- 考察

膝関節屈曲角度は被験者 1 人当たりにつき定常な連続した波形について歩行周期の 2 周期を抽出した。正規化波形は健常者群、変形性膝関節症患者群（KL3 群、KL4 群）の各郡内にて被験者 × 2 周期分についてプロットした。グラフの一例について図 4 に示す。

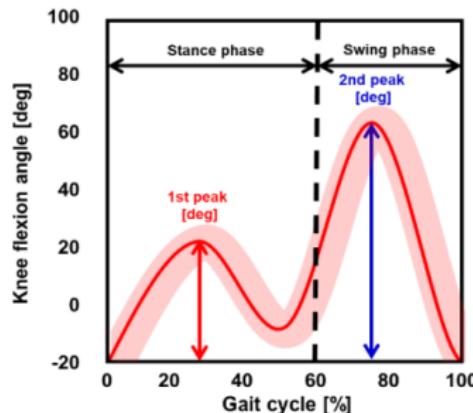


図 4: 正規化されて関節角度とパラメーター

4. 結果

推定した歩行時膝関節屈曲角度の比較

健常者群の推定結果は図 5において、左右膝の角度波形に差はなく、全体的によく一致していた。KL3 群の推定結果は図 6において、健常者群と比較して波形の平坦化がみられた。KL4 群の推定結果は図 7において、健常者群、KL3 群よりも顕著な波形の平坦化がみられた。また健常者群、KL3 群と比較して 1st, 2st peak のいずれも低値を示した。

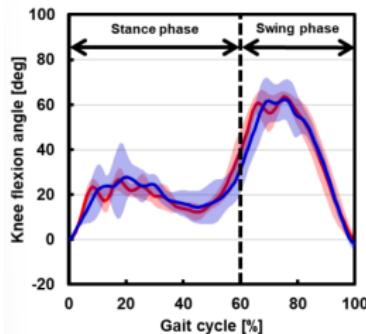


図 5: 健常者群

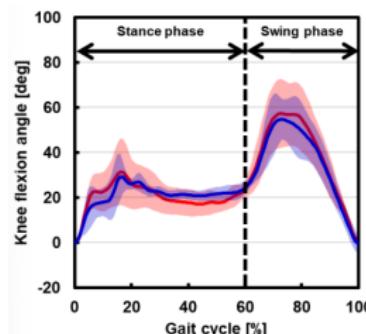


図 6: KL3 群

4. 結果

最大屈曲角度に基づいた振幅比の比較

健常者群を基準として変形性膝関節症患者群の進行度間の比較について、KL3 群は 1st peak で健常者群よりも振幅が大きく、2st peak で小さい傾向にあった。KL4 群は振幅比が顕著に小さく健常者群の約半分程度だった。

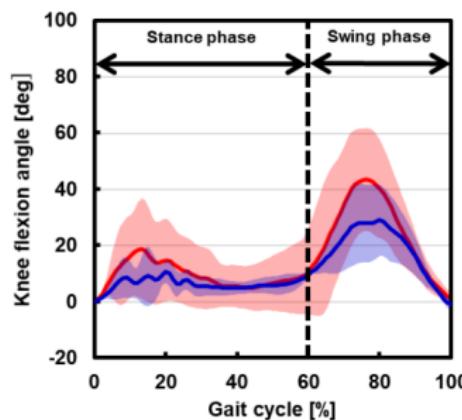


図 7: KL4 群

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

5. 考察

10/10

考察

1. はじめに
2. 歩行時膝関節屈曲角度の推定
3. 歩行計測実験
4. 結果
5. 考察

本研究では IMU と遠心加速度、接線加速度を考慮したセンサ・フュージョンを組合わせて歩行時膝関節屈曲角度の推定を行った。健常者群の膝関節屈曲角度の波形は、健常者を対象としたセンサ・フュージョンの制度検証にて推定された膝関節屈曲角度と光学式モーションキャプチャで解析された膝関節屈曲角度の波形によく一致していた。また、変形性膝関節症患者における屈曲角度の有意な減少が報告されている。以上を総括すると、本研究のように IMU とセンサ・フュージョンを組合せた手法は変形性膝関節症患者の定量評価に有用である。本研究を応用し、対象領域を拡げていくことで変形性膝関節症患者以外の他の運動器疾患にも応用できる可能性が期待できる。