9H-18 膝動態の 6 自由度測定システムの開発

Development of measurement system for 6-degree of freedom in knee

○学 甲斐慎太郎 (熊大工) 正 中西義孝 (熊大院) 正 峠睦 (熊大院)
 非 久保田章亀 (熊大院) 正 水元郁朗 (熊大院) 正 公文誠 (熊大院)
 非 水田博志 (熊大院) 非 中村栄一 (熊大医) 正 日垣秀彦 (九産大)

Shintaro KAI, Yoshitaka NAKANISHI, Mutsumi TOUGE,
 Akihisa KUBOTA, Ikuro MIZUMOTO, and Makoto KUMON,
 Hiroshi MIZUTA, Eiichi NAKAMURA,
 Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto
 Hidehiko HIGAKI, Kyushu Sangyo University

Key words: Knee, Kinematics, Ligament, Six axes, Pararell link, Stewart platform

1. はじめに

膝靱帯損傷により膝の Kinematics がどのように変化し、そして靱帯再建手術後にそれがどれほど正常化しているのかを適切に評価・検討することは、病態の理解とさらなる手術成績向上のため必要である。しかし、日常臨床では靱帯損傷などで生じる膝の Kinematics の変化を徒手検査で評価されることが多く、回旋不安定の定量的評価は困難である^{1,2)}。これらの問題を解決するためには、回旋安定性も含めた 6 自由度の動態を非侵襲的に計測するシステムが必要である。

そこで本研究では、膝の 6 自由度の動態を的確に計測するメカニズムとして、6 本の伸長センサをパラレルにリンクさせた計測システムを開発した。本報では、前報で用いた差動トランスをポテンショメータに変えることで、スライド機構を簡略化し、軽量化を実現した。今回、改良した装置を健康な脚に装着し、歩行実験を行った。

Fig.1 Measurement system for 6-degree of freedom in knee

2. 膝動態測定システム

開発した 6 自由度生体膝動態測定システムの概略を図 1 に、伸長センサの構成と座標系を図 2 にそれぞれ示す。測定システムと大腿部、頸部のゆるみ、滑り、ズレを抑制するために義肢装具師に依頼し、オリジナルの装具を製作した。大腿部には Base 用、頸部には Moving platform 用の卵型リングを装具に締結し、両リング間を 6 本の伸長センサ ($L_1 \sim L_6$) でリンクさせた。6 本の伸長センサのデータは、高速メモリレコーダに記憶され、PC に転送される。転送されたデータは Visual studio にて作成したオリジナルプログラム^{3,4)}にて解析した。

解析については、Se-Kyong Song⁴⁾らの数式(式 1, 2, 3)を参照した。6 本のセンサの伸長から 3 本のベクトルを求めることで、Moving platform の位置と姿勢を求めた。

$$L_1 = L_{11}e_{11} + L_{12}e_{12} + L_{13}e_{13}, \quad A_1 = L_1 + B_1 \quad (\text{式 1})$$

ここで、

B_1 は base の座標、 A_1 は Moving platform の座標

L_{11} , L_{12} , L_{13} と e_{11} , e_{12} , e_{13} は L_1 , L_2 から定義されるスカラー量、方向ベクトルを示す。

同様に

$$L_3 = L_{31}e_{31} + L_{32}e_{32} + L_{33}e_{33}, \quad A_3 = L_3 + B_3 \quad (\text{式 2})$$

$$L_5 = L_{51}e_{51} + L_{52}e_{52} + L_{53}e_{53}, \quad A_5 = L_5 + B_5 \quad (\text{式 3})$$

ここで、

B_3 は base の座標、 A_3 は Moving platform の座標

B_5 は base の座標、 A_5 は Moving platform の座標

L_{31} , L_{32} , L_{33} と e_{31} , e_{32} , e_{33} は L_1 , L_2 , L_3 , L_4 から定義されるスカラー量、方向ベクトルを示す。

L_{51} , L_{52} , L_{53} と e_{51} , e_{52} , e_{53} は L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 , L_6 から定義されるスカラー量、方向ベクトルを示す。

Figs.2 Scheme design of measurement system for 6-DOF in knee and its coordinate system

前報の6自由度生体膝動態測定システムに改良を加えたことで、より屈曲方向への動きに対応できるようになり、コードレス化も実現した。また、ロボットアームを用いた測定精度実験⁵⁾にて、1%以内の測定誤差であることを確認した。

3. 実験方法

健康な被験者の左脚に図1の測定装置を装着し、自由に歩行させた。その後、歩行データの中から3秒間を抜き出し、6方向の膝動態について観察した。

4. 結果及び考察

図3に歩行開始前の立位でのセンサの位置を0とした場合の伸長センサ(L₁~L₆)の長さの変化を示す。Lは歩行中に最大65.3mm伸長することが観察された。また、L₁、L₂、L₅、L₆は縮む方向、L₃、L₄は伸びる方向にのみ変化していた。今後、伸長センサの初期位置を調整することでさらに測定範囲を増加できると考えられる。

図3の結果を元に解析した6方向の膝動態の変化の図を図4に示す。特に並進方向において、通常の関節の動きよりも大きな数値が測定された。本報の解析では、上部のBaseを基準とした下部のMoving platformの相対的な位置を求めているためだと考えられる。今後、医師と相談を重ねながら座標系の再設定を行うとともに、Pivot shift testなど徒手検査で行われている評価の代替を目指す。

Fig.3 Length of each Ln (n=1~6)

[謝辞]

本研究を行うにあたり、熊本県産業技術センターの支援に厚くお礼申し上げます

参考文献

- 1) 黒田良祐, 久保晴司, 星野祐一, 西本浩司, 荒木大輔, 黒坂昌弘, 臨床スポーツ医学, Vol.26, No. 7(2009-7).
- 2) 八木正義, 岩崎安信, 田中浩一, 久保晴司, 松井充三, 水野清典, 黒田良祐, 村津祐嗣, 吉矢晋一, 黒坂昌弘, 膝, 29巻2号, 159~163, 2004.
- 3) PRABJOT NANUA, KENNETH J. WALDRON, VASUDEVA, MURTHY, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL.6, NO.4, AUGUST 1990, 438-443.
- 4) Se-Kyong Song, Dong-Soo Kwon, Transactions on Control, Automation, and Systems, Engineering Vol.2, No.1, January, 2002, 217-223
- 5) 甲斐慎太郎ほか, 6自由度膝動態測定システムの開発, 第21回バイオフロンティア講演会講演論文集, No.10-72, pp.129-130, 2010

Fig.4. Position in 6-DOF