

歩行リハビリテーション用膝関節アシスト装具の開発

Development of a Knee Motion Assist Instrument for Walk Rehabilitation

寺田英嗣 (山梨大)

Hidetsugu TERADA, University of Yamanashi

Abstract: To assist many patients for the walk rehabilitation after the knee arthroplasty surgery, a wearable knee assistive instrument has been developed. This instrument includes the knee motion assist mechanism and the hip joint support mechanism. Especially, the knee motion assist mechanism consists of a non-circular gear and grooved cams. This mechanism rotates and slides simultaneously, which has two degrees of freedom. Also, the hip joint support mechanism consists of a hip brace and a ball-joint. This mechanism can avoid motion constraints which are the internal or external rotation and the adduction or abduction. Then, the control algorithm, which considers assist timing for the walk rehabilitation, has been proposed. A sensing system of a walk state for this control system uses a heel contacts sensor and knee and hip joint rotation angle sensors. Also, the prototype system has been tested by patients. And it is confirmed that system has an enough performance for walk rehabilitation.

Key Words: walk rehabilitation, wearable, knee assist, grooved cam, non-circular gear

1. 緒言

一般的に、膝関節の他動訓練装置(CPM)⁽¹⁾は変形膝関節症等の膝疾患を改善するための人工膝全置換手術(以下TKAと略す)をはじめ、各種の膝手術後のリハビリテーション器具としてしばしば用いられている。しかしながらその有用性については議論が分かれている⁽²⁾。この大きな理由として、現在の他動訓練装置の使用状態が歩行状態とは大きく異なるためである。本報告では歩行状態の他動訓練を実現するため、膝の運動を再現した駆動関節機構を持つ装着型膝関節アシスト装具を提案し、TKA後の患者の歩行リハビリテーションに適用してその有効性を検証する。

2. 装着型アシスト装具の構造

提案する装着型膝関節アシスト装具は、膝関節およびその周辺のリハビリテーションを目的にしているため図1に示すような、膝関節アシスト駆動機構、股関節サポート部、および足裏接地検出センサ、股関節膝関節角度検出センサ、制御システム、Li-ion 充電電池から構成されている。

特に人間の膝関節の動きは膝関節屈曲範囲が15度~90度の場合、膝関節の回転中心が膝後方にすべりながら回転している現象が見られる⁽³⁾(図2参照)。これを「ロールバック」と呼ぶが、これまで開発されてきた各種の人体装着型歩行アシストロボットでは考慮されてこなかった。膝関節のリハビリテーションを行うためには、手術直後の膝の動きを確実にサポートする必要があることから、このロールバック運動に追従できるように非円形歯車⁽⁴⁾と溝カムを組み合わせた膝駆動機構⁽⁵⁾を提案するとともに、装着型アシストロボットを提案した⁽⁶⁾。今回の膝関節アシスト装具は、これらの提案に基づき、TKA手術患者の体格や運動可能範囲を考慮してロールバック機構部および装着部を再設計した。また理学療法士が患者歩行中に動作条件を変更することを想定してパワーおよびリハビリテーションのための膝・股関節角度を設定できるようになっている。

3. 制御手法

提案する装着型膝関節アシスト装具の用途は、あくまでも歩行リハビリテーション時の支援であり、装着者の動きを単純にアシストすることが目的ではない。一般に、TKA後の歩行リハビリテーションにおいて求められることは、

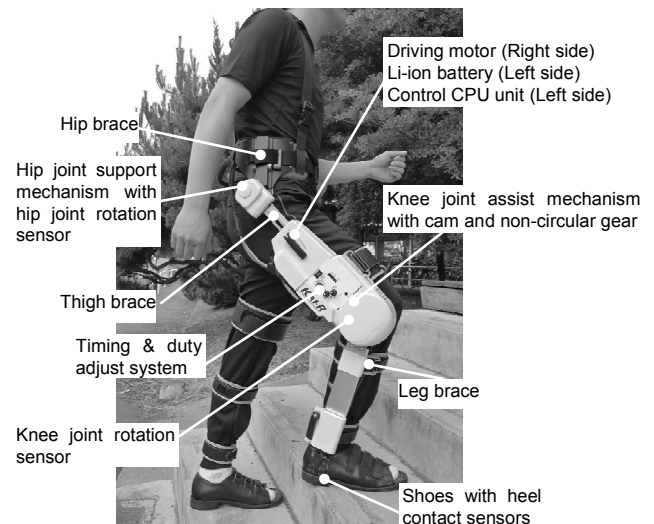


Figure 1 Wearable knee motion assist instrument for walk rehabilitation (KAI-R65)

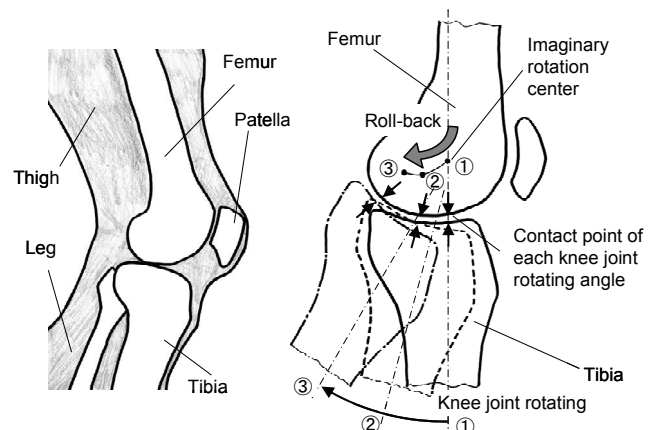


Figure 2 Motion of a knee joint at the bones contacts section (Right leg; x-y view)

膝屈曲角度の増大だけでなく、むしろ歩行におけるストライド幅の増大、歩行速度の増大、踵部高さの増大といったことが挙げられることから、これらを誘導する歩行リハビリテーションを装着者にさせるための制御を行う。

特に手術対象者は変形膝関節症等の影響により、歩行形態が正常とは異なる「癖」がついており、手術後もその歩行が矯正されずに残ってしまうことも多いことから、装具による矯正が必要である。

具体的には装着者が足を上げようとする時、踵部の接地圧が下がることからそれを起動タイミングとして、膝屈曲誤動作検知レベル以上に膝が屈曲したことを確認して、膝曲げをアシストする制御を行う。更に股関節曲げ角が規定値まで到達することにより、伸展動作に移行するように制御することにより、装着者は膝曲げと股関節曲げを確実に歩行を継続するようになる。これを歩行リハビリテーションの際に継続することにより、歩行形態を矯正するものである。

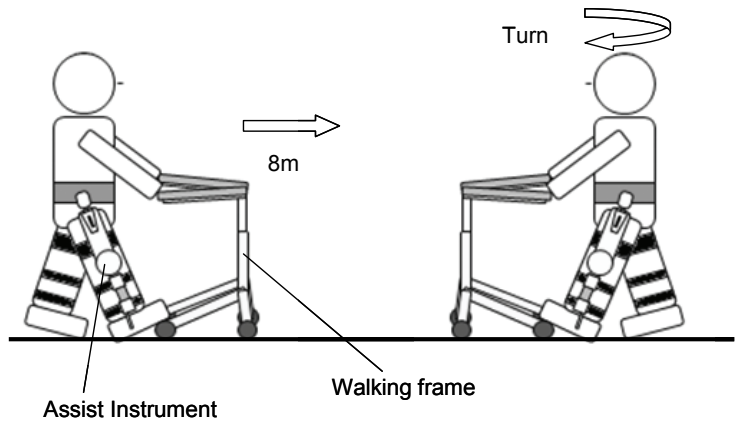


Figure3 Walking rehabilitation with the assist instrument

4. TKA 術後における歩行状態の変化

倫理委員会の承認および被験者の同意に基づき TKA 術後患者男女各 1 名合計 2 名に対して術後 7 日目から 28 日目まで装具を装着して平坦面を 8m 往復する歩行リハビリテーションを行った(図 3 参照)。なお比較のため同程度の体格および術前症状を持つ別の患者男女各 1 名合計 2 名には装具を用いない通常の歩行リハビリテーションを実施し、歩行状態を比較した。なおいずれも歩行リハビリテーション時間は同じになるように設定している。また表 1 に示すように、アシスト駆動機構の定格トルクを 100%として設定した屈曲・伸展アシストトルク率およびリハビリテーションに必要な股関節・膝関節の屈曲角度を標準閾値条件として定義し、これらを術後日数に応じて変化させ歩行リハビリテーションを行った。なお医師および理学療法士の判断に基づき閾値角度条件は±10 度まで、またアシスト率は±10%までは変化させている。また歩行状態計測では装具は装着せず、側方 2 方向から歩行状態を高速度カメラにより撮影を行い、画像解析から、最大膝屈曲角度、ストライド幅、踵部高さ、歩行速度を求めた。その結果、装具を用いない患者と比較して、特にストライド幅の増大がより短時間で実現できることが確認した(図 4 参照)。また最大膝屈曲角度、踵部高さ、歩行速度についてもストライド幅よりは小さいものの同様の傾向が見られることも確認した。

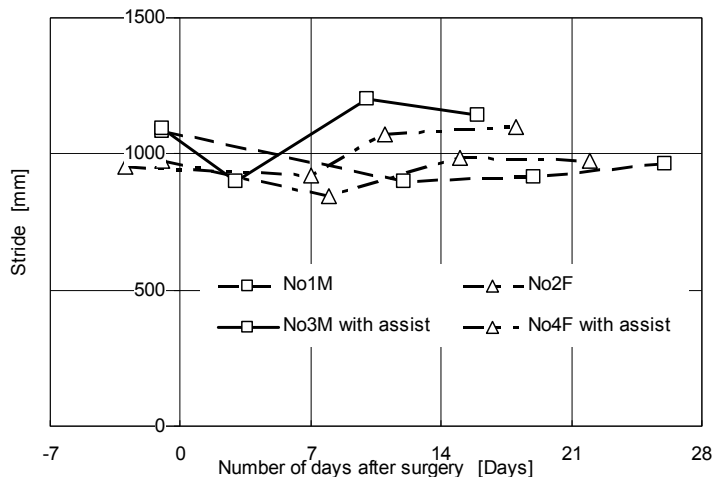


Figure 4 Comparison of the stride improvement after surgery

くなる傾向が確認された。今後は、多数の術後患者による統計的検証を行うことが必要である。

参考文献

- (1) Salter R. B., The biological effects of continuous passive motion on the healing of full-thickness defects in articular cartilage: an experimental investigation in the rabbit, Journal of Bone Joint Surgery, 62A, pp.1232, 1980.
- (2) Milne S. et al.: Continuous passive motion following total knee arthroplasty, Cochrane Data-base of Systematic Reviews, 2, pp.CD004260, 2003.
- (3) 義肢装具のチェックポイント, 日本整形外科学会編, 医学書院, pp.262, 1978.
- (4) 香取英男, 横川和彦, 林輝: 運動の仕様を重視した非円形歯車のピッチ曲線の設計方法, 日本機械学会論文集C編, 60巻, No.570, pp668-674, 1994.
- (5) Terada H. et al.: Developments of a knee motion assist mechanism for wearable robot with a non-circular gear and grooved cams, Mechanisms, Transmissions and Applications: Mechanism and Machine Science, 3, Springer, pp. 69-76, 2012.
- (6) Terada H. et al.: Development of a Wearable Assist Robot for Walk Rehabilitation after Knee Arthroplasty Surgery, Advances in Mechanisms Design, Mechanisms and Machine Science Vol.8, pp.65-71, 2012.

Table 1 Conditions of walk rehabilitation

Days	Flexion torque ratio (%)	Extension torque ratio (%)	Hip joint (degree)	Max. Knee joint (degree)	Min. Knee joint (degree)
7	80	80	20	60	45
9	80	80	25	70	50
11	80	60	30	80	55
13	80	60	35	90	60
14	60	40	35	90	70
16	60	40	35	80	80
18	40	40	35	70	70
20-27	40	40	35	60	60

5. 結論

開発した膝関節アシスト装具を用いて TKA 術後患者による歩行リハビリテーションを行い、その歩行状態の変化を検証した。その結果、歩容の改善にかかる時間がより短