石川県理学療法学雑誌　Vol. 22 No. 1（2023年）21～24頁

症例研究

人工膝関節全置換術患者にHAL®医療用単関節タイプを用いた超早期運動療法の経験
―周術期の経過と安全性に着目して―

渡部貴也[1)]，仙石拓也[1)]，櫻井吾郎[1)]，吉田信也[1)]，五十嵐健太郎[2)]，
八幡徹太郎[3)]，土屋弘行[2)]

要旨

【はじめに】今回，人工膝関節全置換術（TKA）後の超早期運動療法として術後4時間以内にHAL®医療用単関節タイプ（HAL-SJ）を用いて，膝関節屈曲伸展運動を実施した2症例を経験したため，その周術期の経過と安全性について報告する．

【症例情報】対象は，変形性膝関節症にてTKAを施行された70歳代の男女2症例である．

【退院時評価（術後14日目）】膝関節可動域（屈曲/伸展）は，症例1が120°/0°，症例2は110°/0°であった．等尺性膝伸展筋力の変化率は，症例1が86.4%，症例2は98.5%，extension lagの消失日数は症例1が5日，症例2は7日であった．膝関節の疼痛評価（安静時/歩行時）は症例1がNRS 0/0，症例2はNRS 0/2であった．

【結論】TKA後のHAL-SJの超早期の使用は疼痛増悪や腫脹などを助長せず，膝関節可動域や膝伸展筋力，extension lagの改善に悪影響を及ぼさない可能性がある．

キーワード 変形性膝関節症，人工膝関節全置換術，HAL®医療用単関節タイプ

Ⅰ．はじめに（序論，緒言）

人工膝関節全置換術（TKA：Total Knee Arthroplasty）は変形性膝関節症に対する一般的な手術方法であり，良好な関節可動域の獲得は生活の質に影響を及ぼす要因の一つである[1)]．TKA後急性期における膝関節可動域低下の要因として手術侵襲に伴う疼痛や大腿四頭筋の機能不全が示唆されている[2)]．近年は，膝関節機能の早期回復のために術後4時間の超早期運動療法が行われ，有害事象は認めずTKA後3日と3週後の膝関節可動域および術後12か月後の膝関節可動域や疼痛の改善にも有用であったと報告されている[3)]．

国内外においてTKA患者の新たな治療法としてHAL®医療用単関節タイプ（HAL-SJ：Hybrid Assistive Limb Single-Joint）が注目されている[4, 5)]．HAL-SJは患者自身が発現する生体電位信号を基に膝関節自動運動をリアルタイムに動作支援しフィードバックする治療機器である．TKA後7日目から週2回の頻度でHAL-SJによる膝関節自動運動は，extension lagの改善に有効であったと報告されている[6)]．

一方で前述のTKA後の超早期運動療法に関する報告は他動膝関節運動を実施したものであり，HAL-SJによる超早期の膝関節自動運動後の経過および安全性は明らかではない．今回，TKA後の超早期運動療法にHAL-SJを用いた膝関節屈曲伸展運動を実施した2症例を経験したため，その周術期の経過と安全性について報告する．

Ⅱ．症例情報

対象は，当院整形外科にて変形性膝関節症と診断されTKAを施行された2症例である（**表1**）．症例1は，Kellgren-Lawrence分類4の左変形性膝関節症の70歳代男性，ボディマス指数（BMI：Body Mass Index）19.9 kg/m²．術前の膝関節可動域（屈曲/伸展）は95°/-5°であった．術前は階段昇降が困難であり，歩行にはT字杖を要した．症例2は，Kellgren-Lawrence分類3の左変形性膝関節症の70歳代女性，BMI 23.8 kg/m²．術前の膝関節可動域は105°/-5°で

1）金沢大学附属病院　リハビリテーション部
（〒920-8641　石川県金沢市宝町13-1）
2）金沢大学附属病院　整形外科
（〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1）
3）金沢大学附属病院　リハビリテーション科
（〒920-8641 石川県金沢市宝町13-1）
責任著者連絡先：takaya.watabe@med.kanazawa-u.ac.jp
（投稿日：2022年10月14日　受理日：2022年12月20日）

表1　症例情報

	症例 1	症例 2
年齢	77 歳	75 歳
性別	男性	女性
BMI	19.0 Kg/m²	23.3 Kg/m²
手術方法	Under Vastus Approach	
膝関節可動域（屈曲/伸展）	95°/-5°	105°/-5°
膝伸展筋力	3.08 N/kg	2.01 N/kg
膝蓋骨上縁の大腿周径	38.0 cm	36.5 cm
安静時疼痛（NRS）	2	3

BMI：Body Mass Index，NRS：Numerical Rating Scale

あった．術前は2足1段で階段昇降が可能であり，歩行にはT字杖を要した．なお，TKAの術式は両症例とも左膝関節に後十字靭帯温存（CR：Cruciate-Retaining）型のインプラントを用いたUnder Vastus Approachであった．

倫理的配慮として，本報告についての目的および内容を口頭および書面にて説明し，本人から書面にて同意を得た．またヘルシンキ宣言を遵守し，対象者は参加の同意をいつでも撤回する権利を有しており，それによる不利益は生じないことも伝えた．

Ⅲ．経　　過

臨床経過を**図1**に示す．術後の疼痛管理は以下のように行われた．術中にロピバカインを用いた内転筋管ブロックを施行し，術後翌日までオピオイドの静注，術後7日目までセレコキシブを経口投与した．

超早期運動療法は，術後4時間以内にHAL-SJを用いた膝関節屈曲伸展運動（10回/1セット，計5セット）をベッドサイドにて臥位で実施した（**図2**）．本症例はTKA後急性期のため，アシストトルク変化が緩やかなサイバニック随意制御モード（CVC-AutoEXT/AutoFlx）を採用し，各種設定は屈曲・伸展バランスを屈曲80%，伸展100%，アシストゲインは対象者の状態に応じて20-40に調整し，トルクリミットは50%，膝関節の可動範囲は術中可動域に応じて屈曲90～120°，伸展-10～0°とした．

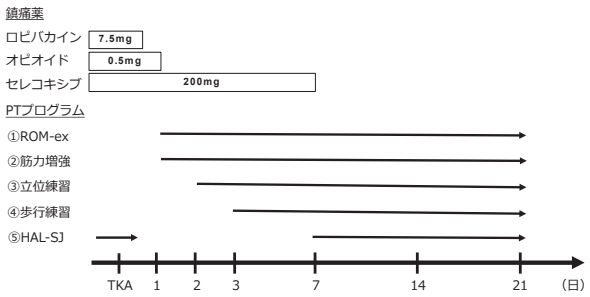

図1　臨床経過（鎮痛薬，PTプログラム）

図2　HAL-SJを用いた膝関節屈曲伸展運動
超早期運動療法は，術後4時間以内にHAL-SJを用いた膝関節屈曲伸展運動（10回/セット，計5セット）をベッドサイドにて背臥位で実施した．

術翌日から関節可動域運動（ROM-ex：Range of motion exercise），筋力増強運動，座位・立位練習，歩行練習を実施した．退院まで週5日，40分間の理学療法を実施した．またHAL-SJを用いた膝関節屈曲伸展運動は，膝関節痛と腫脹を考慮して術後7日目から再開した．通常の理学療法に加えてHAL-SJによる膝関節屈曲伸展運動を座位にて10回/セット，計5セット週3回の頻度で実施した．

膝関節機能の評価として，膝関節屈曲・伸展可動域，等尺性膝伸展筋力と変化率（術後等尺性膝伸展筋力/術前等尺性膝伸展筋力），extension lagの消失日数を測定した．また，安全性を評価するために，膝関節の疼痛（NRS：Numerical Rating Scale），膝蓋骨上縁の大腿周径，術創部の離開と深部静脈血栓症の有無を測定した．

Ⅳ．結　　果

［術後7日目評価］

膝関節可動域（屈曲/伸展）は，症例1は110°/0°，症例2は100°/0°であった．膝関節の疼痛評価（安静時/歩行時）は症例1がNRS 0/2，症例2はNRS 1/4であった．膝蓋骨上縁の大腿周径は症例1が42.0 cm，症例2は39.5 cmであった．また，両症例とも術創部の離開および深部静脈血栓症は認めなかった（**表2**）．

表2　術後7日目評価

	症例 1	症例 2
膝関節可動域（屈曲/伸展）	110°/0°	90°/0°
安静時疼痛（NRS）	0	0
歩行時疼痛（NRS）	2	4
膝蓋骨上縁の大腿周径	42.0 cm	39.5 cm
術創部離開の有無	無し	無し
深部静脈血栓症の有無	無し	無し

NRS：Numerical Rating Scale

［術後14日目（退院時）評価］

膝関節可動域（屈曲/伸展）は，症例1は120°/0°，症例2は110°/0°であった．膝関節の疼痛評価（安静時/歩行時）は症例1が NRS 0/0，症例2はNRS 0/2であった．ハンドヘルドダイナモメーターによる等尺性膝伸展筋力（端座位にて膝屈曲90°）は，症例1が2.66 N/kg，症例2は1.98 N/kgであった．また，等尺性膝伸展筋力の変化率は，症例1は86.4%，症例2は98.5%であった．extension lagの消失日数は，症例1は5日，症例2は7日であった（**表3**）．

HAL-SJ施行時の疼痛評価を図に示す（**図3**）．また，両症例ともTKA後の超早期におけるHAL-SJ施行後および翌日に疼痛増悪は認めなかった．

表3　術後14日目（退院時）評価

	症例 1	症例 2
膝関節可動域（屈曲/伸展）	120°/0°	105°/0°
安静時疼痛（NRS）	0	0
歩行時疼痛（NRS）	0	2
膝伸展筋力	2.66 N/kg	1.98 N/kg
膝伸展筋力の変化率	86.4 %	98.5 %
extension lag の消失日数	5 日	7 日

NRS：Numerical Rating Scale

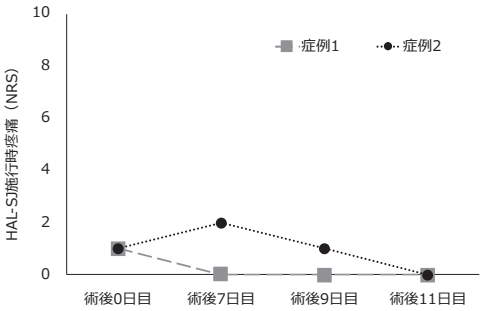

図3　HAL-SJ施行時の疼痛評価

Ⅴ．考　　察

本症例を通してHAL-SJによる超早期運動療法の周術期の経過および疼痛や腫脹の増悪などの有害事象に対する安全性を検討した．

術後の膝関節機能について，久保田ら[3]はTKA術後4時間に超早期運動療法を実施した結果，術後3週目の膝関節可動域は平均で屈曲109°，伸展-1.7°であった報告している．本症例の膝関節可動域（屈曲/伸展）は，症例1が120°/0°，症例2が110°/0°と先行研究と同等の膝関節可動域を有した．また，膝伸展筋力について岩田ら[7]は一般的なTKA後49例の等尺性膝伸展筋力について術前2.47±1.00 N/kg，術後2週目で1.03±0.40 N/kgであり，等尺性膝伸展筋力の変化率は術前と比較して術後2週目で41.7%であったと報告している．さらに，術後5日目からHAL-SJの使用を開始したTKA患者では，extension lagの消失日数が平均術後9日と報告されている[8,9]．膝伸展筋力は術後2週目で症例1が2.66 N/kg，症例2は1.98 N/kgとなり，術後2週目の膝伸展筋力の変化率は症例1が86.4%，症例2は98.5%であった．また，extension lagの消失日数は症例1が5日，症例2は7日であった．これらの結果から，HAL-SJによる超早期運動療法はTKA患者の膝伸展筋力およびextension lagの改善に同等もしくは良好な経過を示す可能性がある．その要因として，HAL-SJは他動運動とは異なり，装着者の電極から検出される生体電位信号から膝関節伸展屈曲運動を運動意図に基づいて支援するため，神経筋促通や運動学習効果が早期に得られた可能性がある．

さらに今回はHAL-SJによる超早期運動療法の安全性についても検討した．術後の疼痛管理は膝関節周囲の手術で頻繁に行われるロピバカインを用いた内転筋管ブロックを施行した．ロピバカインの薬効は約5.5時間と報告されており[10]，両症例とも術後4時間以内に超早期のHAL-SJを実施したため膝関節の疼痛は少なかったと考える．また，両症例とも翌日および鎮痛薬終了後においても疼痛増悪は認めなかった．よって，従来通りの疼痛管理でHAL-SJによる超早期運動療法は鎮痛薬終了後も疼痛増悪なく実施できる可能性がある．平均年齢74.1歳の変形性膝関節症患者に対するTKA後の大腿周径（膝蓋骨上縁1 cm）は術後7日目で平均43.5 cmと報告されている[11]．本症例の大腿周径は，膝蓋骨上縁で症例1が42.0 cm，症例2が39.5 cmであり，先行研究と同等の大腿周径を有した．また，両症例とも術創部の離開および深部静脈血栓症は認めなかった．よって，TKA後の超早期におけるHAL-SJは疼痛増悪や腫脹などを助長せず，有害事象なく安全に実施できる可能性がある．

本報告の限界は，2症例報告であり安全性や有用性の妥当性の検証は困難である．また，HAL-SJによる筋力増強効果やextension lagへの作用機序は明らかではなく神経生理学的な観点から検証する必要がある．よって今後は，その作用機序を明らかにするとともに，症例数を増やしHAL-SJを用いた超早期運動療法の臨床的意義を検討するために比較研究が必要と考える．

Ⅵ．結　　論

TKA後のHAL-SJの超早期の使用は疼痛増悪や腫脹などを助長せず，膝関節可動域や膝伸展筋力，extension lagの改善に悪影響を及ぼさない可能性がある．

利 益 相 反

・本論文に関して，開示すべき利益相反関連事項はない．

文　　献

1) Mistry JB, Elmallah RD, et al. Rehabilitative Guidelines after Total Knee Arthroplasty: A Review. J Knee Surg. 2016; 29: 201-17.
2) Zhou Z, Yew KS, et al. Recovery in knee range of motion reaches a plateau by 12 months after total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2015; 23:1729-33.
3) Kubota M, Kokubo Y, et al. Effects of knee extension exercise starting within 4 h after total knee arthroplasty. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2021; 0123456789. https://doi.org/10.1007/s00590-021-03042-9
4) Mrotzek, S. J, Ahmadi, S, et al. Rehabilitation during early postoperative period following total knee arthroplasty using single - joint hybrid assistive limb as new therapy device: a randomized, controlled clinical pilot study. American Society of Anesthesiologists, Archives of Orthopedics and Trauma Surgery. 2021.
5) Fukaya, T., Mutsuzaki, H, et al. Effect of Training With the Hybrid Assistive Limb on Gait Cycle Kinematics After Total Knee Arthroplasty. Geriatric Orthopaedic Surgery and Rehabilitation. 2021; 12, 1–7.

6) 吉岡友和，久保田茂希，他：変形性膝関節症に対するHAL®単関節型およびHAL®単脚型を用いた治療．関節外科　基礎と臨床．2018；37：520-529.
7) Iwata A, Sano Y, et al. Different improvement trends in gait function and quadriceps strength early after total knee arthroplasty. Journal of Physical Therapy Science. 2019; 31（1）, 57-62.
8) Yoshioka T, Sugaya H, et al. Knee-extension training with a single-joint hybrid assistive limb during the early postoperative period after total knee arthroplasty in a patient with osteoarthritis. Case Rep Orthop. 2016;9610745.
9) Goto K, Morishita T, et al. Feasibility of rehabilitation using the single-joint hybrid assistive limb to facilitate early recovery following total knee arthroplasty: A pilot study. Assistive Technology. 2017; 29（4）, 197-201.
10) 逢坂佳宗：人工膝関節置換術における麻酔法神経ブロックを中心に．日関病誌．2015；34（4）：599-604
11) 久保祐介，高仲理江，他．人工膝関節全置換術後に発生する術部腫脹と術前の身体機能および多価不飽和脂肪酸の摂取量との関連．理学療法学．2018；33（4）：707-712.