症例報告

内側膝蓋大腿靭帯再建術後症例の膝関節位置覚の改善を図るための試みとその経時的変化*

墨　祐貴[1)]・菅沼惇一[2)]・細江拓也[3)4)]・千鳥司浩[2)]・深谷英昭[5)]

【要　旨】

膝関節の靭帯損傷後は関節位置覚の低下が生じ，運動パフォーマンスが低下することが明らかとなっている．今回，内側膝蓋大腿靭帯再建術を施行した10代女性に対し，膝関節位置覚に着目した理学療法介入を行った結果，膝関節位置覚の改善と術部疼痛の軽減を認め，ダンス競技への復帰を果たした症例について報告する．理学療法介入として，術後2週から12週まで通常の運動療法に加え，膝関節位置覚に対する運動学習課題を実施した．課題は閉眼で他動的に動かされた膝関節屈曲角度30°，60°，90°の提示刺激に対する再現とし，誤差が生じた場合は口頭と視覚にて結果の知識を与え，視覚と固有感覚情報を一致させた．経過とともに膝関節位置覚の誤差が減少し，術部における疼痛の減少により膝関節屈曲可動域が拡大した．術後12週で膝関節位置覚の精度の改善がみられ，術後6カ月でダンス競技の復帰に至った．

通常の理学療法プログラムに加え，体性感覚機能に着目した理学療法プログラムを実施したことが，本症例の運動パフォーマンスの向上に貢献した可能性が示唆された．

キーワード：内側膝蓋大腿靭帯，関節位置覚，フィードバック誤差学習

はじめに

ヒトの運動には感覚入力が影響することが明らかになっており，深部感覚の情報は運動コントロールにおいて重要な役割を果たしている[1)]．関節位置覚は肢・体などの空間内における位置を感知する感覚である[2)]．深部感覚の受容器は，筋肉に存在する筋紡錘，腱紡錘，関節包や靭帯を含む線維性組織の中に存在する固有感覚受容器である．靭帯や関節包内にある固有感覚受容器（パチニ小体，ルフィニ小体）は主として関節の動きを伝え，腱紡錘は力の感覚，筋紡錘は関節位置覚と運動覚を伝えている．それらは整形外科疾患をはじめとする運動器損傷（筋，腱，靭帯の損傷）や手術侵襲により固有受容器の切除等による影響を受けるため，関節位置覚が低下することが先行研究で示されている．1983年にBarrackら[3)]が人工

＊ Longitudinal changes in knee joint positional memory in a patient after medial patellofemoral ligament reconstruction

1）名古屋市立大学医学部附属みどり市民病院
リハビリテーション技術係
（〒458-0037　名古屋市緑区潮見が丘1－77）
Yuki Sumi, PT: Department of Rehabilitation, Nagoya City University Midori Municipal Hospital

2）中部学院大学看護リハビリテーション学部
理学療法学科
Jyunichi Suganuma, PT, MS, Kazuhiro Chidori, PT, PhD: Faculty of Nursing and Rehabilitation Department, Physical Therapy, Chubu Gakuin University

3）名古屋市立大学医学部付属みらい光生病院
診療技術科

（受付日　2023年2月13日／受理日　2023年11月4日）

Takuya Hosoe, PT: Department of Rehabilitation, Nagoya City University Mirai Kosei Hospital

4）名古屋市立大学大学院医学研究科
リハビリテーション医学分野
Takuya Hosoe, PT: Department of Rehabilitation Medicine, Nagoya City University, Graduate School of Medical Sciences

5）名豊病院　整形外科
Hideaki Fukaya, MD: Department of Orthopedic Surgery, Meiho Hospital

＃ E-mail: sumi89@med.nagoya-cu.ac.jp

膝関節置換術後（total knee arthroplasty；TKA）患者の関節位置覚の低下について報告をしてから，関節位置覚についての研究が散見される．Kim ら[4]は前十字靭帯を損傷した膝関節では，非損傷側の膝関節と比較して関節位置覚の低下が著しいことを報告している．また，この膝関節位置覚の低下は，膝の不安定性やバランス能力などの運動パフォーマンスに影響していることも報告されている[5]．さらに，変形性膝関節症に対して人工膝関節置換術を施行した症例のバランスや転倒に関するシステマテックレビューでは，手術後における立位バランスや転倒不安感の改善の不十分さの一要因として，関節位置覚の低下が示されている[6]．

このように膝関節の靭帯損傷後や欠損後には関節位置覚の低下が生じやすく，結果としてバランス能力などの運動パフォーマンスが低下することが示唆されているものの，「理学療法ガイドライン」[7]において関節位置覚に対する具体的な理学療法介入についての項目はみられない．

人工膝関節症例に対する体性感覚トレーニングは，通常の理学療法を補完する効果があることが示されている[8]．また，内側膝蓋大腿靭帯（medial patellofemoral ligament；以下，MPFL）再建術後のスポーツ復帰率は 85.1% であり[9]，復帰に向けてスポーツ障害の再発予防のためにも関節位置覚を改善するための介入方法について検討していく必要がある．

今回，MPFL 再建術を施行した 10 代女性に対し，膝関節位置覚に着目した理学療法介入を行った結果，膝関節位置覚の改善と術部疼痛の軽減を認め，ダンス競技への復帰を果たした症例について報告する．

対象および方法

1．症例紹介

症例は 10 代後半の女子学生である．既往歴はなく，これまで某アーティストのバックダンサーを務めた経歴をもつ．現病歴は，ダンス中に幾度か膝に違和感を覚え，運動パフォーマンスの低下により当院を受診した．CT 画像・MRI 画像・X 線画像（図 1）の検査が実施された．CT 画像より骨折の所見は観察されず，MRI 画像より MPFL 損傷の所見は見当たらなかった．また，術前の X 線画像（図 1）において，非術側と比べ術側は大腿骨に対して膝蓋骨の傾きが増大していることが観察された．これらのことから左反復性膝蓋骨亜脱臼と診

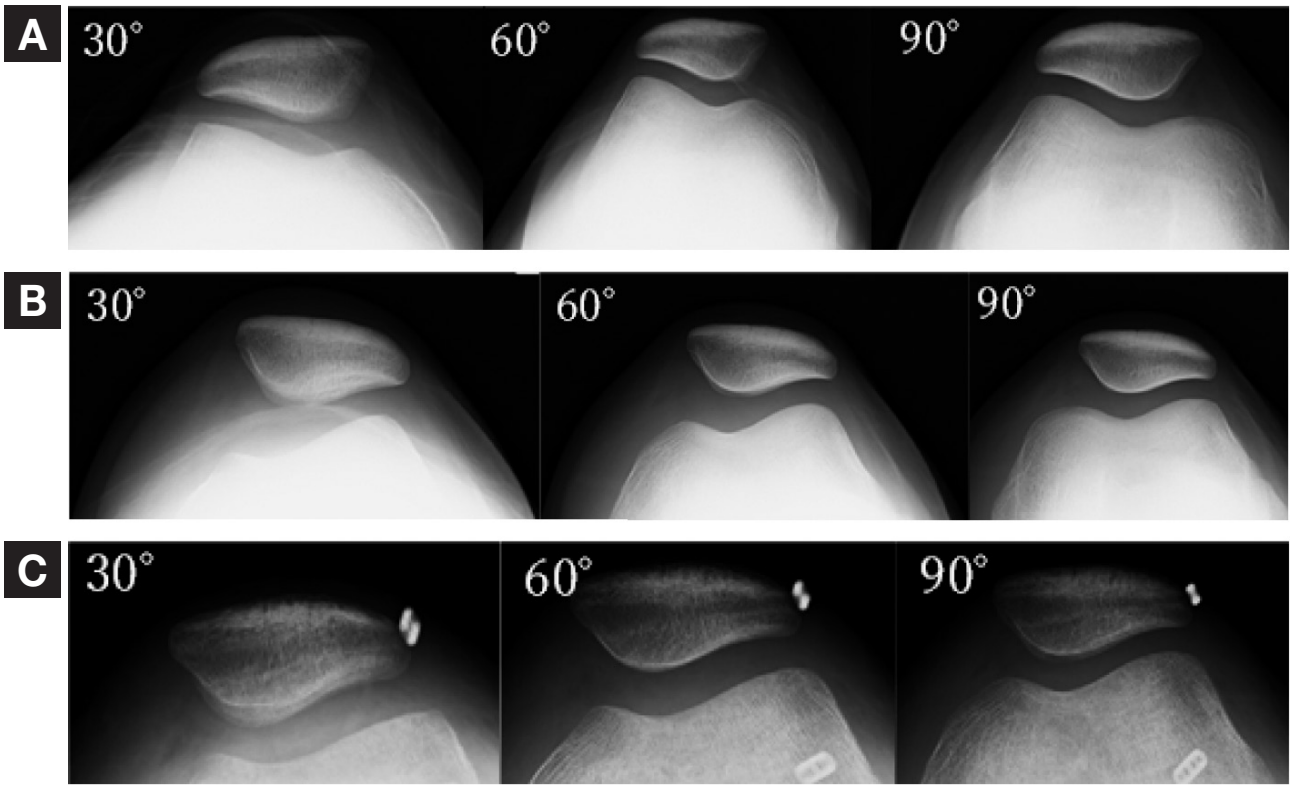

図 1．X 線画像

A．術前右側：大腿骨に対して膝蓋骨の傾きなし　　B．術前左側：大腿骨に対して膝蓋骨の傾きあり
C．術後 8 週左側：大腿骨に対して膝蓋骨の傾きなし

断され，MPFL再建術および膝蓋骨外側リリースを施行した．術後1日より入院での理学療法を開始し，術後8日にて自宅退院となり，その後外来にて術後12週にわたり理学療法介入を継続した．当院のリハビリテーションプロトコールとして，術後1日より理学療法開始，ニーブレース固定，関節可動域練習は禁止，非荷重であった．術後2週にて膝関節可動域練習を伸展0°，屈曲90°の制限下で開始し，ニーブレースを除去，膝装具D軟性着用での1/2荷重許可となった．術後3週にて膝関節可動域練習を伸展0°，屈曲120°の制限下で開始となった．術後4週にて全荷重となった．術後8週にて膝関節可動域練習の制限は解除となった．術後3ヵ月にて日常生活において膝装具D軟性未装着許可，ジョギング時着用となった．術後6ヵ月にて膝装具D軟性未装着が許可されダンス復帰した．

2．理学療法評価および膝関節位置覚の検査方法

介入期間は術前および術後12週にわたり，膝関節位置覚の評価を実施した．理学療法プログラムとして，術直後は創部滑走練習・筋膜リリースを中心に介入し，術後2週より上記に加え他動および自動運動での膝関節可動域練習，筋力トレーニング，膝関節位置覚に対する運動学習課題を実施した．理学療法の頻度は，入院期間である術後1週1日までは週5回ペースにて1～2単位/日，退院後の術後2週より外来通院開始となり週2回，2単位/日実施した．

運動学習課題ではセラピスト2名にて実施した．膝関節位置覚の訓練の条件として，被検者は端坐位にて閉眼とした．下肢を動かす際の触圧覚による入力を最小限に抑えるためにソールのあるスニーカーを着用し，検者が把持する部位はソール部分とした．練習および検査時は足部が常時，床から離れるようにした．また皮膚からの刺激を無くすため，膝関節周囲は衣服が触れないように露出させた．測定肢位は，大腿部や下腿後面に加わる圧迫や皮膚刺激を最小限に抑えるように，両側共に膝窩部が台の端より10 cm離れるようにした．開始肢位において，検査側の膝関節は完全伸展位とし，反対側は膝関節屈曲90°位で下腿下垂位とした．膝関節位置覚の設定角度は，X線画像の角度と同じ膝関節屈曲30°・60°・90°とした．膝関節位置覚の測定は，運動の影響を排除するため全て他動運動で実施した．最初に膝関節屈曲30°を5秒間保持し角度を記憶させ，開始肢位に戻した後，同様に屈曲60°と屈曲90°を記憶させた．その後，設定角度（30°・60°・90°）を口頭で伝えた後，膝関節完全伸展位から膝関節を設定角度にゆっくり動かしていくなかで，設定角度と認識した時に「はい」と回答してもらうよう指示した．検者は「はい」と回答した時点で，動作を止めた．回答した位置において，他動運動を行うセラピストとは別のセラピストがゴニオメーターで膝関節屈曲角度の誤差を測定した．誤差が生じた場合は，結果の知識を口頭で数値を伝えることに加え，矢状面から撮影した写真を見せることで

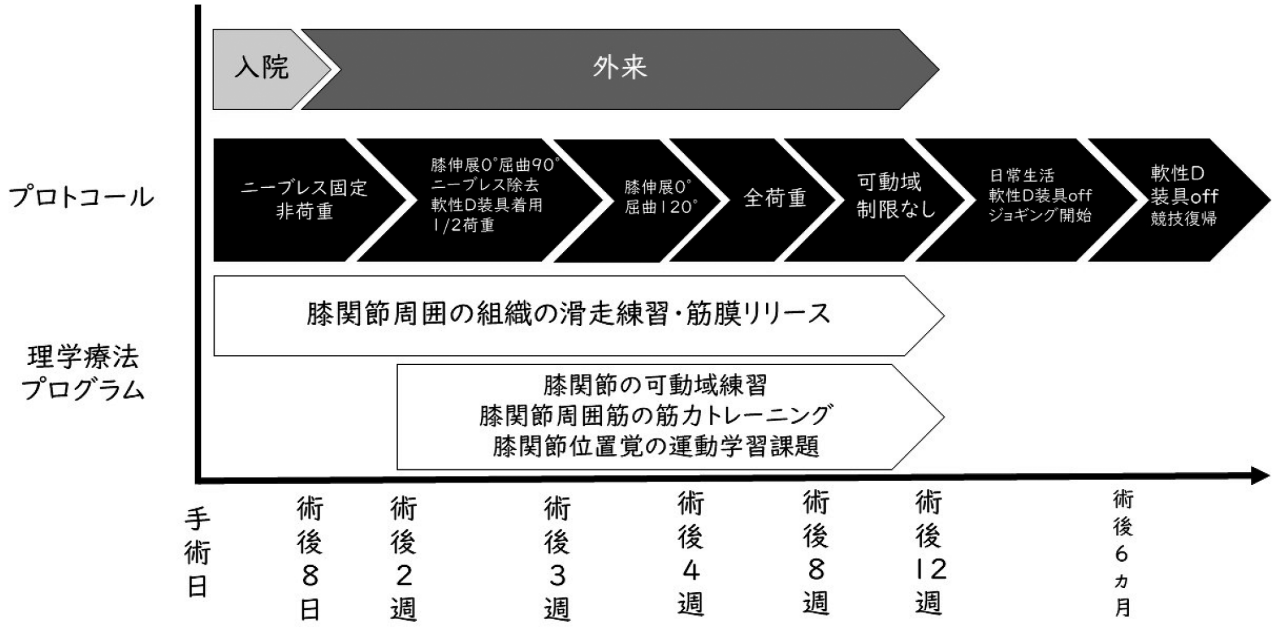

図2．プロトコールと理学療法プログラムの経過

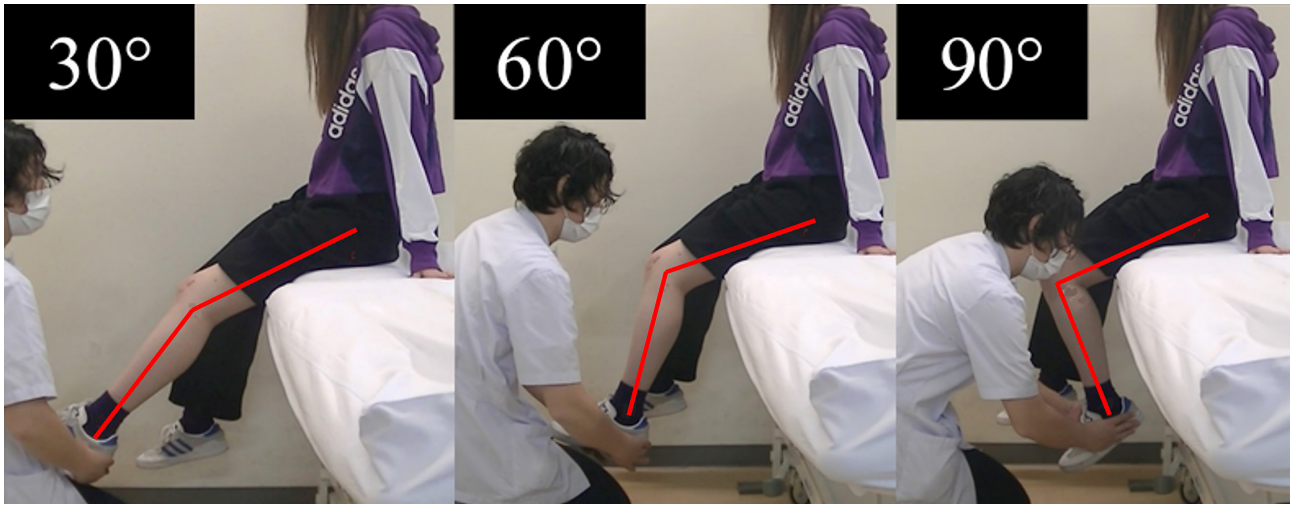

図 3. 膝関節位置覚の測定の様子

誤差についての視覚フィードバックを行った．正確な膝関節の角度を認識させることで視覚情報と体性感覚情報の一致を図った．また各角度につきそれぞれ評価を行い，各 2 回ずつ計 6 回の練習を実施した．

評価項目は，膝関節位置覚および動作時痛を評価するための Visual Analogue Scale（以下，VAS）とした．膝関節位置覚の評価は，再現課題である運動学習課題とは異なり，5 秒間の設定角度提示による記憶を省略し，設定角度（30°・60°・90°）を口頭で伝えた後，膝関節完全伸展位から膝関節を設定角度にゆっくり動かしていくなかで，設定角度と認識した時に「はい」と回答してもらうよう指示した．検者は「はい」と回答した時点で動作を止め，その角度を算出した．回答時の膝関節の角度を矢状面からカメラで撮影した．マーカーを大転子・腓骨頭・外果に設置し撮影を行った．膝角度の算出方法は，image J（1.48）にて画像解析を実施し，角度（小数点第 1 位の値）を基に絶対誤差の平均値と標準誤差を算出した．このデータを基に術前の非術側の記録と比較を行った．また各角度につきそれぞれ評価を行い，各 2 回ずつ計 6 回の評価を実施した．

VAS の測定方法として，10 cm の線を用意し，リハビリテーション開始時に膝関節屈曲および伸展時の動作時痛を質問し記入させた．その後，疼痛を訴えた部位について触診にて部位を特定した．

3. 倫理的配慮

本症例には，名古屋市立緑市民病院倫理小審査委員会のもと，ヘルシンキ宣言の趣旨に則って紙面にて十分な説明を行い，対象者の同意を得たうえで実施した．

経過

1. 術前評価

膝関節の屈曲角度について術側の術前は屈曲 30° では平均値 8.8°，標準偏差 0.1，屈曲 60° では平均値 9.5°，標準偏差 0.4，屈曲 90° では平均値 6.7°，標準偏差 1.4，VAS は 0 mm であった．なお，非術側は屈曲 30° では平均値 4.3°，標準偏差 0.6，屈曲 60° では平均値 3.7°，標準偏差 0.9，屈曲 90° では平均値 3.1°，標準偏差 1.2 であった．膝関節屈曲可動域は 150° であった．

2. 術後経過および最終評価

膝関節の屈曲角度で術後 2 週より膝関節屈曲運動開始となるも，屈曲 50° で疼痛による制限が内側広筋斜走線維（vastus medialis obliquus；以下，VMO）の防御性収縮によりみられた．また，膝関節の可動域練習の際に，健側と比較すると「もっと曲がっているように感じる」，「曲げられると違和感がある」と訴えがあった．術後 3 週にて膝屈曲 105° が可能となった．膝関節位置覚について，術後 2 週の屈曲 30° では平均値 4.0°，標準偏差 0.4 となった．膝関節 30° においては非術側の術前の値より誤差が減少した．なお膝関節屈曲 50° にて疼痛による制限がみられ，膝関節屈曲 60° および 90° は測定困難であった．VAS は 54 mm となった．疼痛について，触診および圧痛所見により VMO に攣縮（筋スパズム）[10] が確認できた．術後 6 週の屈曲 60° では平均値 2.1°，標準偏差 0.9 となり，非術側の術前の値より誤差が減少した．介入終了時の術後 12 週の屈曲 30° では平均値 0.9°，標準偏差 0.4，屈曲 60° では平均値 1.1°，標準偏差 0.8，屈曲 90° では平均値 2.2°，標準偏差 1.5 となった．膝関節 90° においては術後 12 週にて非

表1．膝関節位置覚の絶対誤差の経時的変化

	非術側		術側術前		術側術後2週		術側術後3週		術側術後4週		術側術後6週		術側術後8週		術側術後12週	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
屈曲30°（°）	4.3	0.6	8.8	0.1	4.0	0.4	1.7	2.1	1.0	0.6	2.9	0.4	1.3	0.2	0.9	0.4
屈曲60°（°）	3.7	0.9	9.5	0.4	—	—	5.4	1.9	6.0	1.1	2.1	0.9	1.2	0.3	1.1	0.8
屈曲90°（°）	3.1	1.2	6.7	1.4	—	—	10.4	1.6	4.7	3.0	4.0	2.6	4.1	0.6	2.2	1.5

※術後2週は疼痛により測定困難のため未実施.

表2．疼痛の経時的変化

	非術側	術側術前	術側術後2週	術側術後3週	術側術後4週	術側術後6週	術側術後8週	術側術後12週
VAS（mm）	0	0	54	53	16	17	7	0

VAS：Visual Analog Scale

術側の術前の値より誤差が減少した．疼痛はVASが0 mmとなった．また，「膝の感覚は同じくらい」と初期に見られた感覚についての訴えに変化があった．

考察

本症例は反復性膝蓋骨亜脱臼によりMPFL再建術後を受けた10代女性であり，膝関節位置覚に着目し理学療法介入を実施した．その結果，経過ともに術部の疼痛が軽減し，膝関節屈曲可動域の拡大に伴い，膝関節位置覚の改善が認められ競技復帰に至った．

膝関節位置覚に関しては，非術側の術前の誤差値について木山らの健常者を対象に行った報告[11]によると，設定値に対する誤差値は平均−4.1°～+4.5°であった．よって今回の非術側の誤差値は正常範囲内であると考える．術側について，術前と比べ，膝関節屈曲30°では術後2週にて非術側の術前より誤差が減少し，膝関節屈曲60°では術後6週にて非術側の術前より誤差が減少，術後12週にて全ての角度において非術側の術前よりも誤差が減少した．動作時痛に関しては，外来通院時にはVMOの疼痛が残存していたが，術後12週にてVAS 0 mmとなり疼痛は消失し，初期評価時にみられた「もっと曲がっているように感じる」，「曲げられると違和感がある」という訴えも，経過とともに改善を認めた．このことから，受傷直後は膝関節の疼痛によって膝関節周囲（VMO）の防御性収縮が生じており，屈曲方向に対して実際の角度よりも大きく動かされたと過大評価していたことが推察された．

Roland[12]によると，疼痛は周囲筋の攣縮を引き起こし，この度重なる筋緊張異常が更なる疼痛を生じさせる負のサイクルを生み出すとされている．また，今回2週間のニーブレース固定期間があった．袴田ら[13]によると，2週間程度の臥床期間では関節位置覚に関与する筋紡錘への影響が大きく生じないことが報告されている．よって，術後早期にて膝関節位置覚が非術側よりも誤差が増加していたのは不動によるものではなく，膝関節周囲筋の疼痛を伴う筋緊張異常に起因する可能性が示唆された．MPFLは30°までの膝蓋骨の安定化に大きく関与している[14]ことから，再建後は術後2週にて位置覚が改善傾向となり，3週では浅い屈曲での疼痛が軽減したことで，さらに誤差値の軽減につながったと考える．

解剖学的視点では，MPFLはVMOと合わさり，膝蓋骨の上内側に付着する[15]．またMPFLは膝関節屈曲30°までの膝蓋骨の安定化に大きく関与している[14]．Fithian[16]は，MPFLが損傷することでVMOの筋力低下および外側組織の伸張性低下に影響があることを報告しており，MPFLとVMOは密接な関係であることがいえる．また関節位置覚の固有感覚受容器は，筋紡錘，骨格筋の両端の筋・腱の移行部および腱内にあるゴルジ腱器官，靭帯にあるゴルジ腱器官・ゴルジ終末などの関節受容器に存在するため[17]，VMOには固有感覚受容器が存在する．このような先行研究がある中，Fellerら[15]はMPFLには固有感覚受容器は存在していないが自由神経終末が存在し，神経筋のバランス調整に重要であるとしている．また本症例のように筋に圧痛所見があり攣縮を認める場合，疼痛の軽減を図ることを目的とした固有感覚モビリティに着目した関節位置覚に対するアプローチが有効である可能性がある．これまでに適度な筋緊張が固有感覚を高めるには必要であることが報告されて

おり[18]，攣縮により筋緊張異常が生じる場合，適度な筋の長さを保つことができず，また痛みを伴っているため関節位置覚に影響が生じている可能性がある．よって膝関節位置覚に対するフィードバック誤差学習課題などの自己身体の認識を修正させる体性感覚機能に着目した介入の視点も重要であると考える．

しかしながら，今回は動作時痛が消失するまで12週を要し，その中でも圧痛所見からVMOの攣縮が残存していた．Geßleinら[19]は術後の一般的な合併症として，内側膝蓋支帯の痛みにより屈曲制限が生じることを報告している．解剖学的視点より，MPFLはVMOと合わさり，膝蓋骨の上内側[15]および内側膝蓋支帯[20]に停止することから，VMOとMPFLの関連性は強い．VMOの疼痛が残存した期間に，疼痛による攣縮が筋緊張異常を引き起こしていたことが，膝関節位置覚の精度の改善を遅延させた要因と考える．

またMPFL再建術後において，膝関節屈曲全可動域獲得は3.1ヶ月，ランニング開始は4.8ヶ月，競技復帰は11.4ヶ月と報告されている[21]．我々の報告は3ヵ月までの短期報告ではあるが，術後12週にて介入終了に至ったことから，同等に等しい成績を得られていたと考える．MPFL再建術後の膝蓋骨再亜脱臼は少ない[19)22]．しかしながら先行研究では，MPFL再建術後について心理的準備が整っていないことが要因となり26%がスポーツ復帰できず，その中で女性が60%を占めたと報告されている[23]．また術後1年以上が経過した報告では活動中の痛みは増加したとされており，39%はサブラクセーションな感覚があった[22]．本症例は術後6ヵ月にてスポーツ復帰となり，術後2年後においてもダンスパフォーマンスにおいても違和感なく競技復帰することが可能となった．

本症例の膝関節位置覚の精度の改善が，膝関節周囲の疼痛の軽減によってもたらされたものか，膝関節位置覚の運動学習課題によって得られたものか判断することはできない．今後の展望として，症例数を増やして前向き介入研究を実施し，MPFL再建術後の膝関節位置覚への介入効果について明らかにしていく必要がある．

まとめ

反復性膝蓋骨亜脱臼によりMPFL再建術を施行した症例を経験した．術前は膝関節位置覚の誤差が見られたが，術後12週にかけて誤差が減少した．膝関節位置覚の精度が低下した症例に対しては，体性感覚機能に着目した理学療法介入を一定期間実施することで，運動パフォーマンスの改善に寄与する可能性が示唆された．

利益相反

本研究に開示すべき利益相反はない．

【文　献】

1) Dietz V: Proprioception and locomotor disorders. Nat Rev Neurosci. 2002; 3 (10) : 781-790.
2) 田崎義昭：ベッドサイドの神経の診かた（第17版）．南山堂，東京．2010. pp. 99-101.
3) Barrck RL, Skinner HB, et al.: Effect of articular disease and total knee arthroplasty on knee joint-position sense. J Neurophysiol. 1983; 50 (3) : 684-687.
4) Kim HJ, Lee JH, et al.: Proprioception in patients with anterior cruciate ligament tears: a meta-analysis comparing injured and uninjured limbs. Am J Sports Med. 2017 ; 45 (12) : 2916-2922.
5) Cronström A, Roos EM, et al.: Association between sensory function and hop performance and self-reported outcomes in patients with anterior cruciate ligament injury. Open Access J Sports Med. 2017; 8: 1-8.
6) Moutzouri M, Gleeson N, et al.: The effect of total knee arthroplasty on patients' balance and incidence of falls: a systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017; 25 (11) : 3439-3451.
7) ガイドライン特別委員会 理学療法診療ガイドライン部会：理学療法診療ガイドライン第2版（2021）．社団法人日本理学療法士協会 https://www.jspt.or.jp/upload/jspt/obj/files/guideline/2nd%20edition/p693-743_12.pdf（2023年7月26日引用）
8) Domínguez-Navarro F, Igual-Camacho C, et al.: Effects of balance and proprioceptive training on total hip and knee replacement rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. Gait Posture. 2018. 62: 68-74.
9) Manjunath AK, Hurley ET, et al.: Return to Play After Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Systematic Review. Am J Sports Med. 2021; 49 (4) : 1094-1100.
10) 熊谷匡晃：股関節拘縮の評価と運動療法（第1版）．運動と医学の出版社，神奈川，2019. pp. 155-171.

11) 木山喬博，河村守雄・他：若年正常膝の関節位置覚．理学療法学．1992; 19 (6) : 597-599.
12) Roland MO : A critical review of the evidence for a pain-spasm-pain cycle in spinal disorders. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1986 ; 1 (2) : 102-109.
13) 袴田友樹，千鳥司浩：臥床による身体不活動が体性感覚機能に与える影響の調査．理学療法科学．2021; 36 (4) : 573-577.
14) Philippot R, Boyer B, et al.: The role of the medial ligamentous structures on patellar tracking during knee flexion. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. : 2012; 20 (2) : 331-336.
15) Feller JA, Feagin JA Jr, et al.: The medial patellofemoral ligament revisited:an anatomical study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1993; 1 (3-4) : 184-186.
16) Fithian DC, Powers CM, et al.: Rehabilitation of the knee after medial patellofemoral ligament reconstruction. Clin Sports Med. 2010; 29 (2) : 283-290.
17) 後藤淳：中枢神経系の機能解剖一感覚入力系一．関西理学療法学．2005; 5: 11-21.
18) 昇寛，丸山仁司・他：膝関節固有感覚と膝関節トルクの関係についての考察．理学療法科学．2005; 20 (1) : 43-48.
19) Geßlein M, Roessler PP, et al.: Complications and failure of MPFL reconstruction with free tendon grafts in cases of patellofemoral instability. Technol Health Care. 2015; 23 (5) : 659-666.
20) 林典雄：運動療法のための機能解剖学的触診技術-下肢・体感（第1版）．メジカルビュー社，東京，2006. pp. 159-162.
21) 梅原弘基，蟹沢泉・他：スポーツ選手に対する内側膝蓋大腿靭帯再建術の術後成績と競技復帰．日本臨床スポーツ医学会誌．2016; 24 (1) : 78-83.
22) Enderlein D, Nielsen T, et al.: Clinical outcome after reconstruction of the medial patellofemoral ligament in patients with recurrent patella instability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2014. 22 (10) : 2458-2464.
23) Hurley ET, Markus DH, et al.: Patients unable to return to play following medial patellofemoral ligament reconstructions demonstrate poor psychological readiness. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2021; 29 (11) : 3834-3838.