

寄稿



## 進む研究のこれまでとこれから： 前愛知県理学療法学会誌編集部長太田進先生追悼論文\*

相本啓太<sup>1)</sup>・大古拓史<sup>2)3)</sup>・藤田玲美<sup>2)</sup>・越智 亮<sup>2)3)</sup>

### 追悼の辞

前 NPO 法人愛知県理学療法学会学術局長，前学術誌部長であり，星城大学リハビリテーション学部教授を務められた太田進先生が，本年3月9日に享年55歳で永眠されました。我々の尊敬する上司でもあった太田進先生のご逝去に際し，心より追悼の辞を申し上げます。

先生のあまりにも早すぎのご逝去の知らせを受けたときの衝撃と悲しみは，言葉では言い尽くせないものでした。卓越した研究者である先生は，生涯を通じて理学療法の臨床現場に貢献する研究成果を追求され，その探求心と好奇心に満ちた姿勢は，我々が目指すべき模範でした。研究者としての在り方を教えてくださった先生の姿は，今も心に深く刻まれています。発展途上にあった先生の研究が途絶えてしまったことは，先生ご自身も無念であったことでしょう。そして，我々にとっても計り知れない損失です。

先生はその偉大さにもかかわらず，非常にフランクで親しみやすいお人柄でした。そのおかげ

で，どんな話題でも緊張せず率直に意見を交わすことができたことを，今も鮮明に思い出します。先生との会話は，常に温かく，学びに満ちたものでした。

愛知県理学療法学会誌の発展においても，先生の尽力は特筆すべきものがあります。特に本ジャーナルのオープンアクセス化に向けて，多大なご努力を注がれました。また，若手の会員が初めて論文を執筆する際に，投稿へのハードルを下げるための環境整備を進められ，論文査読においても教育的かつ建設的なコメントを行うよう徹底されていました。そして現在では，愛知県理学療法学会誌は優れた研究成果を報告する数十編もの論文が毎年掲載され，オープンアクセスジャーナルとして全国の理学療法士をはじめ，多くの医療関係者に閲覧されています。この成果は，ひとえに先生のご尽力の賜物です。

なお，本寄稿においては，太田進先生が取り組まれていたいくつかの研究について，共同研究者の先生方よりレビューを交えた紹介を掲載させていただきます。先生の功績に触れ，改めてその偉業を偲びたいと思います。

(越智 亮)

\* The past and future for SUSUMU study: a memorial tribute to Professor Susumu Ota

- 1) 国立研究開発法人立長寿医療研究センター  
リハビリテーション科部  
(〒474-8511 愛知県大府市森岡町7-430)  
Keita Aimoto, PT, MS: Department of Rehabilitation  
Medicine, National Center for Geriatrics and Gerontology
- 2) 星城大学リハビリテーション学部 理学療法学専攻  
(〒476-8588 愛知県東海市富貴ノ台2-172)  
Hiroshi Ohko, PT, PhD, Remi Fujita, PT, PhD, Akira  
Ochi, PT, PhD: Division of Physical Therapy, Faculty of  
Care and Rehabilitation, Seijoh University
- 3) 星城大学大学院 健康支援学研究所  
Hiroshi Ohko, PT, PhD, Akira Ochi, PT, PhD: Graduate  
School of Health Care Studies, Seijoh University

# E-mail: ochi@seijoh-u.ac.jp

### 変形性膝関節症患者に対する関節音評価

太田進先生が取り組まれた変形性膝関節症 (Knee Osteoarthritis: 以下，膝 OA) 者に対する膝関節音に関する研究を紹介する。

膝 OA は，膝関節やその周辺の構造変性により，疼痛や変形をきたし，移動能力を低下させ健康寿命や生命寿命をおびやかす。また，高齢者で最も罹患率の高い運動器疾患の1つであり，膝 OA 者数は，2530万人と推定されている<sup>1)</sup>。くわえて，厚生労働省の2022年国民生活基礎調査では，65歳以上の要介護者等の介護が必要になっ

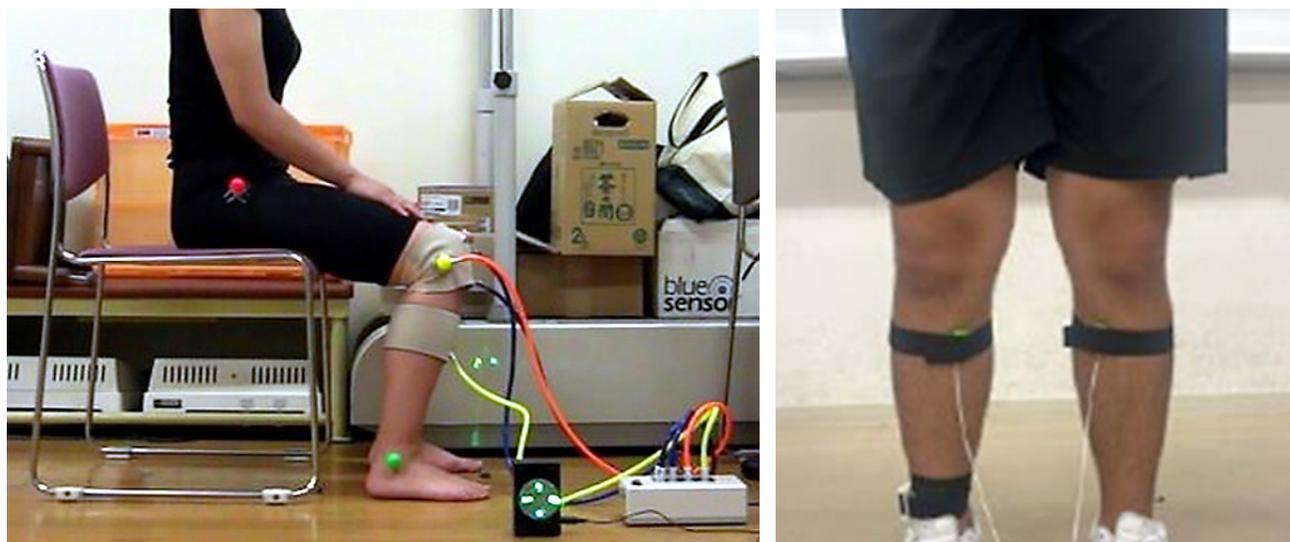


図1. 関節音を評価するために取り組んできた計測の様子

膝関節に取り付けたマイクロフォンによる計測（左）や下腿に取り付けた加速度計による計測など様々な計測を試行してきた。

た原因として、膝 OA を含む関節疾患は第5位の5.4%、要支援の原因では、第1位の19.3%と非常に多いことが報告されている<sup>2)</sup>。そのため、早期膝 OA の評価・治療が重要とされている。MRI が臨床的な軟骨評価として、Golden Standard の1つとして考えられているが、早期膝 OA に対する評価として臨床現場では行われにくいのが実情である。また、レントゲン診断では、軟骨の初期変化の評価は困難である。そこで、太田進先生は膝 OA 者が膝関節を屈伸したときに生じることのある“ガサガサ音”や“ポキッ”という音を捉えることで、早期膝 OA の特徴を捉えることができるのではと考えた。臨床現場を常に大事にしている太田進先生ならではの発想である。

研究は2013年から開始し、座位での膝関節の屈伸や、立ち上がり中の膝 OA 者特有の膝関節音（振動）をマイクロフォンや加速度計などのセンサーで捉えることを目指し（図1）、予備研究を重ねた<sup>3) 4)</sup>。予備研究の中では、計測機器を膝関節周囲のどこに取り付けると良いかなどの検討も行った。しかし、これら研究において Outcome としていた振動は加速度計で計測しており、対象動作と“ガサガサ音”によって生じる関節振動の区別が困難であった。太田進先生は研究室の学生や共同研究者の工学者の方たちとこの課題に粘り強く取り組まれ、特許化につながった。

特許化（特許第6512636号「膝関節症診断システム」）につながった研究<sup>5) 6)</sup>を紹介する。健常者と膝 OA 者を対象として、脛骨に加速度計を取り付け、イスから立ち上がる動作で収集した振動

データに対して、周波数解析のウェーブレット変換や機械学習による分類の1つであるサポートベクターマシンを用いて解析を行った。健常者と膝 OA 患者から収集した膝関節から生じる関節振動の信号により、分類が精度良く可能であった。この研究は解析のアイデアを含めて、理学療法士だけではハードルが高く、様々な人とのつながりを大切にしていた太田進先生だからこそ、共同研究者との議論を重ねることで生み出すことができたと感じている。現在特許出願中のシステムもあり、今後の早期膝 OA の評価としての応用が期待される。

膝 OA 者の関節音に関する研究では、インパルス応答を用いた方法にも太田進先生は取り込まれた<sup>7)</sup>。インパルス応答は、インパルスと呼ばれる応答波形に対して十分に短いパルス信号を入力したときのシステム出力のことである。具体的には、立位の対象者の大腿部を専用のインパルスハンマーにより叩いて入力した振動が膝関節を伝わる間に軟骨の状態によって出力される振動の変化を、脛骨で捉えることを目指した。膝 OA 者と健常若年者の膝を叩くことで生じた入力信号と膝関節を伝わって生じた振動の出力の比は、2群間で統計学的な有意差はみられなかった。一方で、高速フーリエ変換によるパワースペクトラムの解析において、膝 OA 者が一定の周波数帯で統計学的に有意に大きい結果であった。くわえて、この周波数帯におけるパワースペクトラムと膝 OA 者の疼痛の Visual Analogue Scale において、統計的に有意な正の相関がみられた。

臨床で膝OA患者の膝から感じることの多い“ガサガサ音”や“ポキッ”という音を捉えられないかというアイデアに対して、太田進先生はこれらの研究をしてこられた。膝OAの予防のため、そして健康寿命の延伸のため、これらの基礎から応用的な研究が今後生かされていくことを期待する。

《謝辞》

太田進先生が取り組まれた関節音研究の本報告にご協力してくださいました東京都立大学システムデザイン学部機械システム工学科教授の長谷和徳先生に深謝申し上げます。

(相本啓太)

**膝蓋骨可動測定装置 (Patellofemoral arthrometer: PFA) を用いた膝蓋骨可動域評価の意義と臨床応用**

膝関節屈曲角度の低下は、変形性膝関節症（膝OA）や人工膝関節置換術（total knee arthroplasty：以下、TKA）後、外傷後などでしばしば併発するため改善すべき治療対象である。特に膝OAでは、進行によって膝関節屈曲角度の低下や疼痛が増し、結果として日常生活活動の障害を顕著に引き起こすことが古くから報告されている。また、本邦における地域住民を対象とした疫学研究では、膝OAの発症因子は従来通り女性や肥満が関連するが、進行因子には膝関節屈曲角度の低下が関連すると報告されており<sup>8)</sup>、膝関節屈曲角度の維持・改善が極めて重要であることが示されている。しかし、膝関節屈曲角度の低下の直接的原因は多岐にわたり、未だ解明されていない点も多く、新しい視点からのアプローチが必要である。

臨床的には膝蓋骨のモビライゼーションに代表されるように、膝関節屈曲角度の低下と膝蓋骨可動性の減少との関連性は示唆されているが<sup>9)</sup>、これまでの膝蓋骨可動性評価は、Kolowich法に代表されるような膝蓋骨を徒手で圧排した際の移動距離を主観的に評価する方法しかなかったため<sup>10)</sup>、膝蓋骨可動性の減少が膝関節屈曲角度低下の原因因子となりうるか否かの特定には至っていなかった。

これらの臨床的・学術的な背景があり、太田進先生はブレース・フィット合同会社と共同し、検者内・検者間再現性が高く、MRIを用いた信頼性検証も実施した膝蓋骨の内外側可動性測定を定量的に測定できるPatellofemoral arthrometer (PFA)を2005年に開発した<sup>11)</sup>（特許第4800016号「膝蓋骨可動性評価装置」）。その後、膝蓋大腿部痛

(Patellofemoral pain) と膝蓋骨内外側可動性の関連性や<sup>12)</sup>、TKA術後の膝関節屈曲可動域と膝蓋骨内外側可動性の関連性について<sup>13)</sup>、前十字靭帯損傷術後における膝蓋大腿関節の軟骨変性と膝蓋骨内外側可動性の関連性について調査・研究が行われたが<sup>14)</sup>、いずれも膝蓋骨内外側可動性との直接的な関連性は見られなかった。

2013年頃から私も膝蓋骨可動性研究に携わらせて頂き、これまでの膝蓋骨内外側可動性に加え、上下方向の膝蓋骨可動性も測定できるようになったmodified PFA (mPFA)を開発した(図2)。測定肢位は、背臥位で股関節内外旋中間位にて、mPFAを大腿骨内外側上顆にクランプし、固定ベルトも用いて装着する。膝関節は、伸展0度また軽度屈曲位(30度)にて測定する。mPFAの基部は、大腿骨に平行となるように調節する(図3)。デジタルキャリパー軸は、上前腸骨棘と膝蓋骨中心を結ぶ線に対し、膝蓋骨内外側可動性測定の場合は垂直に調節し(図4A)、上下方向の場合は平行となるように調節する(図4B)。膝蓋骨の圧排は、80Nの力で両拇指を用いて内側・外側・下方方向に膝蓋骨がローテーションしないように長軸に対して

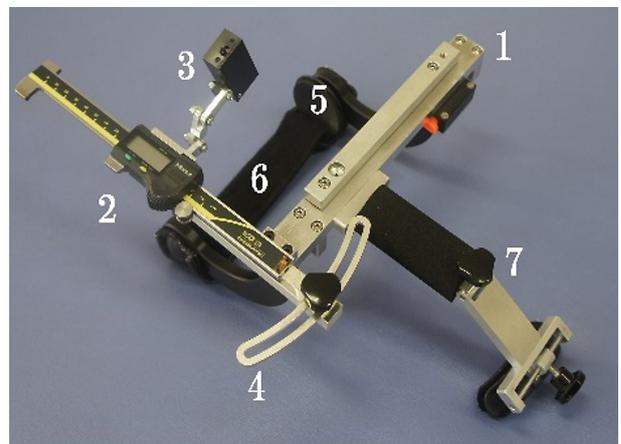


図2. 膝蓋骨可動測定装置

- 1. 基部；2. デジタルキャリパー；3. 計測用レーザーモジュール；4. プレーンアジャスター；5. 大腿クランプ機構；6. 固定ストラップ；7. 下腿固定アーム



図3. 膝蓋骨可動測定装置装着方法①

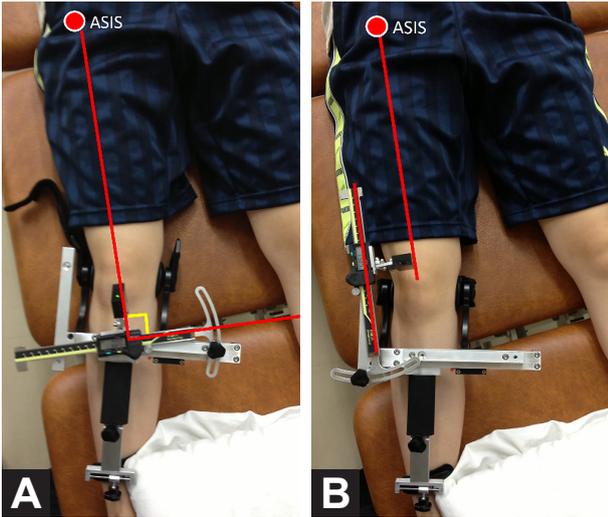


図4. 膝蓋骨可動測定装置装着方法② (右A・左B)

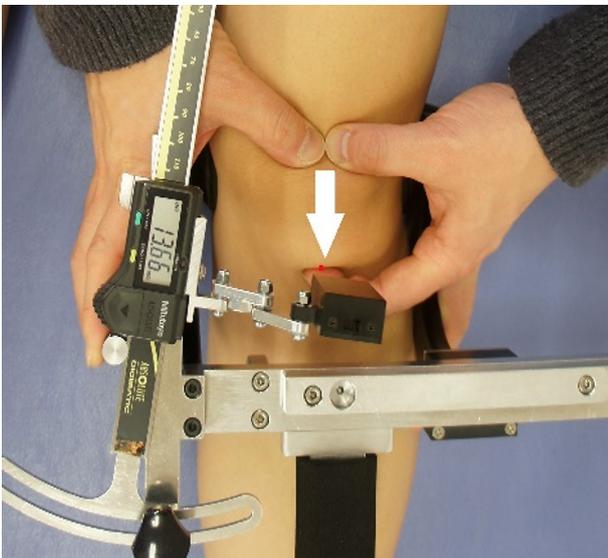


図5. 膝蓋骨下方可動性測定

平行に移動させる (図5)。80Nでの圧排は、事前に徒手筋力計などを用いて練習しておくが良い。我々の測定時には、シートセンサーを用いて圧排力が均一となるように可視化して行っている。膝蓋骨の上方の可動性については、パテラセッティング時の移動距離を測定する。これらの際の移動距離を、デジタルキャリパーを用いて0.01 mm単位で計測し、膝蓋骨の可動性評価としている。膝蓋骨の可動性測定時は、3回以上の可動性練習を行ってから測定することで安定した測定値が得られる。可動性練習後に3回計測し、その平均値を膝蓋骨可動性としている。膝蓋骨の可動性について、絶対値での比較は身長や骨格差が考慮されないため、他者との比較の場合は、身長もしくは膝蓋骨径で除した値での比較が望ましい。

太田、大古らは、これまでに若年者健常男女 (男性103名、女性102名) における膝蓋骨可動性を測定し、その参考値を構築した<sup>15)</sup>。さらに、地域高齢女性 (128名) の膝蓋骨可動性を計測し、若年健常女性と比較したところ、高齢女性では若年女性に比較し、膝蓋骨の下方可動性は、約半分程度まで減少することが明らかとなった。さらには、膝関節の深屈曲が出来ない (正座不可) 高齢女性では、膝関節屈曲角度の低下と膝蓋骨可動性の減少は、相関することが分かり、膝関節屈曲角度の低下因子に膝蓋骨下方可動性の減少が関与することが示唆される結果となった<sup>16)</sup>。

理学療法では、臨床経験的には感じているが、数値化されていないために解明されていない事象がいくつも存在する。太田進先生は、臨床的な疑問や感覚、いわゆる clinical question を基に mPFA を開発した。膝蓋骨可動性の数値化が可能となったことで、膝蓋骨下方可動性の減少が膝関節屈曲角度低下の要因の1つであることが明らかにできた。これらは今後、膝OAなど膝関節屈曲角度が低下するような疾患において、膝蓋骨可動性の低下が直接的な要因となっているか否かを明らかにすることができ、治療対象の判断や予防戦略へと繋がることを期待される。このように豊かな発想とバイタリティーに溢れ、臨床を大事にしつつも研究的思考持ち、患者還元を常に考えていた太田進先生と一端ではあるが、理学療法の漸進に取り組めたことは非常に光栄であった。残された課題が数多く残っているが、1つずつ明らかにしていくことが残された者の務めであると感じている。

(大古 拓史)

## DI-BELT を用いた腹部引き込み運動の効果と臨床応用

太田進先生が株式会社松本義肢製作所と共同開発したDI-BELTを紹介する。DI-BELTは、腹部引き込み運動 (draw in; 以下、DI) を維持しながら動作 (歩行、家事や買い物、犬の散歩等の日常生活動作、スポーツ動作、介護動作等) ができているかフィードバックできるベルトである (図6)。マグネットにより腹囲2 cmの増減をフィードバックするツールであり、腹囲が増加した場合、バックル部がスライドしてマグネットが離れることで、バックル部が衝突して音が鳴り、また腹囲減少によりマグネットが付いた際もその衝突で音が鳴る構造である。

まず、太田進先生がDI-BELTを開発するまでに至った経緯を述べる。膝OAの運動療法につい



図 6. DI-BELT の装着と音によるフィードバックの構造  
腹囲が増大するとバックル部で音が鳴り、力が抜けたことを知らせる。

て、膝関節に対する O 脚方向への力学負荷である膝関節内転モーメント (knee adduction moment ; 以下, KAM) を軽減させる歩行方法の再学習 (gait re-training) が膝 OA の症状を改善させるとの報告を受け、2008 年ごろ、その先行研究に準じ足先を外側・内側に向ける歩行解析を実施された。KAM 減少例もあったが、歩きにくさの訴えが多く聞かれたため、新しい歩行様式を検討された。研究を多く重ね、2014 年に健常若年者を対象として、体幹を安定させる DI と歩行の組み合わせ (ドローイン歩行 ; 以下, DI 歩行) が、歩きやすく、DI によって胸椎後弯角が減少した場合に KAM が 10% 程度減少することを明らかにした<sup>17)</sup>。この研究の前に、腹部をどの程度へこませるかなど DI の定義がなかったこと、DI を歩行等の日常生活でも応用できるようにしたいと思われたことから、「軽くお腹をへこませてください」という指示とし、その指示で何 cm へこみ、腹部周囲筋がどの程度活動するのかなどを検証された。その結果、平均 2cm へこみ、腹部深部筋 (外腹斜筋, 内腹斜筋, 多裂筋) の筋活動が増加した。この歩行時に DI を腹囲減少 2cm として行う下肢肢位を強制しない方法を 2DI 歩行と名付けられた。この 2DI 歩行により、健常若年者を対象に中殿筋が 15% 増加することを 2015 年に明らかにし<sup>18)</sup>、膝 OA 患者に対しても DI によって体幹深部筋の収縮と同時に胸椎後

弯角が減少した場合に 2DI 歩行時の KAM が減少することを示した<sup>19)</sup>。2016 年から布伸縮センサで腹囲の増減を検出するアブドミナル・ホローイング促進システムの開発を進められ、特許権を取得された (特許第 7231150 号)。しかし、布センサは湿度や布センサ部分の接触によって電圧が変動すること等の問題点があり、2019 年に DI-BELT の原型となる、バックル部分が磁石である DI ベルトを試験的に開発された。その後、改良を重ね、特許 (特開 2020-204128 「装着ベルト」) も申請されて、2022 年 DI-BELT が発売された。

開発を進めると同時に、2DI 歩行の効果を検証され、KAM 減少・中殿筋活動の増加以外の効果の可能性を見出し、幅広く臨床応用できるように、思考力の高さと豊かなご人脈を生かして積極的に進められた。2DI 歩行の効果検証として、地域在住高齢者を対象に介入研究を実施し、1 日 10 分の下肢筋力運動を 3 ヶ月間実施するコントロール群の 10% は特別な理由なく継続をしなかったが、3 ヶ月間 1 日 20 分の 2DI 歩行の実施率は 100% であった<sup>20)</sup>。2DI 歩行群の対象者からは、歩きにくさやバランスの悪さの意見はなく、逆に DI 歩行は歩きやすいという自由意見が多く、地域で高齢者が継続しやすい膝 OA 予防や治療を目的とした運動介入であると考えられた。次に、膝 OA 患者を対象に、DI-BELT を用いて 2DI 歩行を 1 日 20 分 6 週間実施し、膝痛の軽減、胸椎後弯角の改善を報告した。日常生活の歩行に応用したため、コロナウイルス感染症禍においても 6 週間介入で 86% の実施率であった<sup>21)</sup>。KAM 減少・中殿筋活動の増加以外の効果の可能性としては、①酸素消費量増加 (生活習慣病予防)、②体幹安定 (腰痛および転倒予防)、③歩行時重心移動がシメトリーに (転倒予防)、④腹直筋の活動が上がらずに腹横筋、骨盤底筋の収縮が可能 (尿漏れ予防)、⑤ランジ動作で膝が内側に入る力が減少 (膝前十字靭帯損傷予防) という効果が期待できると予想された。①については、膝 OA の合併症として、生活習慣病とされる肥満、糖尿病や心血管イベントが報告されている<sup>22)</sup>。糖尿病においては、運動療法の継続率の低さ、運動として大きな筋の活動が有効なこと、糖尿病症例においても最も継続する運動がウォーキングであると学会で聴講された。以上より、2DI 歩行は、実施率が高く、体幹筋・殿筋の筋活動が増加するため、副次的な効果として酸素摂取量が増加し、有酸素運動としての効果も高く、通常のウォーキングよりも生活習慣病へも効果が得られるのではないかと着想された。②、③について

は、2DI法（DIを2cm腹囲減少して行う方法）は体幹筋・中殿筋の筋活動増加により腰部骨盤帯が安定することから、腰痛に応用できると着想された。また、DI歩行は、体幹筋・中殿筋の筋活動増加により、反対側の骨盤下降が起こらず重心の荷重側への移動が立脚肢にスムーズに起こる<sup>18)</sup>。加えて、2DI歩行により重心の左右偏位が左右対称になることを動作解析で経験され、2DI歩行は歩行速度の変化もみられず、歩きにくさがなくバランスの低下の少ない（むしろ向上）安定した歩行であることから、転倒予防につながると着想された。④については、人工膝関節全置換術予定の膝OA患者に尿漏れ評価を行ったところ、約60%に尿漏れがあることがわかった。尿漏れ予防は、骨盤底筋の活動が重要である。腹部深部筋である腹横筋、内腹斜筋が活動すると骨盤底筋の活動が亢進することが報告されている<sup>23)</sup>。一方で、腹直筋が活動すると骨盤底筋の筋活動を抑制することが報告されている<sup>24)</sup>。尿漏れ予防のための骨盤底筋群トレーニングに、腹囲減少をイメージする練習があることを知り、DIベルトを用いて尿漏れの起こりやすい立ち上がりで検討されたところ、試した多くの症例（前立腺がん術後）で効果があった。この臨床からの気づきにより、尿漏れ予防には、尿漏れを起こしやすい立ち上がりなどの動作時に腹直筋の活動が増えず腹横筋、内腹斜筋が活動することが望ましく、膝OA予防で用いた2DI法が効果的ではないかと着想された。⑤については、健常若年者を対象にDI-BELTを用いてランジ動作を実施したところ、2DIの骨盤安定効果により前に出した足と反対側の骨盤下降と前に出した

足の側方動揺（動作のバラツキ）が抑制された。この結果から、膝が内側に入る力の減少が期待され、膝前十字靭帯損傷予防につながると着想された。

さらに、2DI法の量と質を継続管理していくためのDIベルトのICT化も発想されており、DIベルトのマグネット部のon-offを電気信号として、スマートフォンにて管理するICT管理ツール・アプリケーションを開発できるか検討されていた。今後も研究を継続し、研究成果の正確な情報提供と正しい2DI法の啓蒙が求められる。

（藤田玲美）

### 膝関節伸展・屈曲サポート付膝装具 Kneemo の効果と臨床応用

太田進先生が松本義肢と共同開発した膝関節伸展・屈曲サポート付き膝装具「Kneemo」について紹介する。Kneemoの最大の特長は、サポートの動力源としてゴムチューブの伸縮力を利用することで、軽量かつ低コストを実現している点である（図7）。ゴムチューブを支柱の前部や後部につけることでそれぞれ伸展サポート、屈曲サポート、あるいは前後両方につけることで同時収縮サポート等を選択でき、伸縮力の異なるチューブに付け替えることでサポート力も変更できる。

Kneemoの前段階の試作品は、支柱付膝装具を改造してセラチューブを取り付け、屈曲側のみをアシストするものであった。相本と太田ら<sup>25)</sup>は、歩行中の麻痺側遊脚期におけるフットクリアランスの低下により、歩きにくさの訴えがあった脳卒中片麻痺症例に同装具を適用し、フットクリアランスの増加は生じなかったものの膝関節屈曲角度

A. 屈曲サポート



B. 伸展サポート



C. 屈曲・伸展サポート



図7. Kneemoの外観

支柱の後ろ側にゴムチューブを付けることで屈曲サポートを（A）、支柱の前側にゴムチューブを付けて膝蓋骨下でパッドを介在させることで伸展サポートが可能である（B）。また、両方を付けて屈曲・伸展の同時サポート（C）も可能で、ゴムチューブの伸張力もいくつか種類があるため、非常に多くのサポートの組み合わせがある。

の増大に伴い症例の歩きやすさが改善したことを報告した。太田進先生は、松本義肢と共同で上記装具の製品化を進め、伸展もサポートできる機構を加えて改良を重ねて現在の Kneemo を完成させた<sup>26)</sup>。Ota ら<sup>27)</sup> は、Kneemo の屈曲サポートを用いて、膝 OA 患者の歩行変化を調査している。膝 OA 患者の歩行には、立脚中期の KAM の増加と関連する関節痛の出現、および遊脚期における膝関節屈曲角度の減少による下肢の振り出しにくさが特徴としてみられる<sup>28)</sup>。Ota ら<sup>27)</sup> は通常の支柱付膝装具と比べて、Kneemo を用いて膝関節屈曲のサポートを行うことで OA 患者の立脚期 KAM の低下と膝関節屈曲角度の増加が得られると仮説を立てた。研究の結果、KAM は平均 0.06 Nm/kg 減少し、膝関節屈曲角度は平均 1.5 度増加したことを報告した。膝関節屈曲サポートの機構を持たない支柱付膝装具が KAM の減少にだけ有効であることを考えると<sup>29)</sup>、遊脚中の膝関節屈曲角度を増大させることが可能な Kneemo は OA 患者の歩容改善に対してより効果的な装具ではないかと思われる。ただし、KAM の大幅な改善に対して膝関節屈曲角度の改善は限定的であったと述べており、歩行中の屈曲サポートに関して Kneemo のゴムチューブの長さや強度の設定を確立していく必要があると結論づけている<sup>27)</sup>。

次に、Kneemo による膝関節伸展サポートは、前十字靭帯 (anterior cruciate ligament ; 以下、ACL) 再建術後患者の動的バランス能力を即時的に改善させる可能性がある<sup>30)</sup>。ACL 再建術後患者は、膝関節伸展筋と屈曲筋の筋力のアンバランスを引き起こすこと<sup>31)</sup>、およびホッピングやバランス課題を含む機能的パフォーマンステストの低下を示すことがある<sup>32)</sup>。Ochi と Ota ら<sup>30)</sup> は、健常若年者を対象に Kneemo の伸展・屈曲サポート、サポートなし、非装着等の条件下で様々な機能的パフォーマンステストを実施した結果、膝伸展サポート条件で star excursion balance test の前方リーチ距離が増大したことを報告した。また、装具非装着時と Kneemo 伸展サポート装着時の膝関節伸展トルク変化量と前方リーチ距離の変化量との間に正の相関関係を認めたことから、Kneemo 装着によって膝関節伸展トルク向上の恩恵を受けるような筋力低下のある者において、動的バランス等の機能的パフォーマンスが改善する可能性を示唆している。ただし、必要以上のゴムチューブによる膝関節筋力のアシストは、装着者の円滑な膝関節運動を妨げることも考えられ、Kneemo に取り付けるゴムチューブの張力等の設定は慎重に考慮

する必要があると思われる。

Kneemo の膝関節伸展・屈曲サポートの動力源であるゴムチューブは、伸長量に応じてサポート力が増加する特徴を持つ。そのため、伸展・屈曲同時サポートは、装着者の膝関節の屈曲角度に応じてアシスト力が変化するため、歩行のように常時膝関節の屈伸が繰り返される動作において、より装具装着の即時効果を受けやすいことは容易に想像できる。例えば、脳卒中片麻痺患者の歩容において、荷重応答期や遊脚期に膝関節において特徴的な歩行パターンが現れることが知られている<sup>33)</sup>。そのため、脳卒中片麻痺患者の膝関節屈曲・伸展トルクを Kneemo により制御することができれば、歩行パターンの変更と歩行能力の改善がもたらされる可能性がある。Naito と Ota ら<sup>34)</sup> は、50 m 以上の歩行が可能であった急性期脳卒中片麻痺患者において、Kneemo による伸展・屈曲同時サポートが膝サポーターや一般的な支柱付膝装具に比べて歩行速度を即時的に増大させたことを報告した。さらに、同論文内で各患者に合わせた最適な屈曲と伸展のゴムチューブの組み合わせを試みており、いずれにしても Kneemo による伸展・屈曲同時サポートが全対象者において歩行速度を最も向上させる条件であったことが示された。

このように、脳卒中片麻痺に対して、麻痺側下肢の支持性が弱い場合に膝関節伸展のサポートを用いたり、振出しの改善には膝折れに注意して屈曲サポートを行ったり、患者が高齢であれば非麻痺側の膝関節伸展・屈曲同時サポートも適用できるなど、Kneemo の適用範囲は非常に広範囲に渡ると考えられる。ただし、現状において、歩行障害に応じたサポート力やサポート方法の基準は明確でなく、最も歩行パターンの改善が見込めるゴムチューブの組み合わせや設定は、セラピストが患者の歩容を観察・分析した上で決定していく必要がある。太田進先生は Kneemo について、ゴムチューブを用いたアシスト機構は、ローテクノロジーであるが故に購入費用が安く、ユーザビリティに優れ、小規模医療機関でも臨床に導入しやすいことが特徴であると仰っておられた。今後は、歩行やバランス課題以外の改善効果、適用症例の拡大、そして症状に合わせたサポートの設定方法の確立が求められると考えられる。臨床での積極的な活用を通じて、Kneemo の有用性や有効性がさらに発展することを期待したい。

(越智 亮)

## 【文 献】

- 1) Yoshimura N, Muraki S, et al.: Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab.* 2009; 27: 620-628.
- 2) 厚生労働省, 2022 (令和4) 年国民生活基礎調査の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/dl/14.pdf> (2024年11月閲覧)
- 3) Ota S, Ando A, et al.: Preliminary study of optimal measurement location on vibroarthrography for classification of patients with knee osteoarthritis. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28: 2904-2908.
- 4) Ota S, Fujita R, et al.: Clinical analytical vibroarthrography method for classifying patients with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27 Suppl 1: S115-S116.
- 5) 東京都立大学総合研究推進機構, 研究シーズデータベース. <https://research-miyacology.tmu.ac.jp/seedsdb/9282/> (2024年11月閲覧)
- 6) Gong R, Hase K, et al.: Knee osteoarthritis detection based on the combination of empirical mode decomposition and wavelet analysis. *J Biomech Sci Eng.* 2020; 15: 20-00017.
- 7) Aimoto K, Ota S, et al.: Development of an impulse response method for assessing knee osteoarthritis at the femorotibial joint. - Comparison between healthy young adults and older women with clinical knee osteoarthritis -. *J Med Biol Eng.* 2020; 40: 35-40.
- 8) Nishimura A, Hasegawa M, et al.: Risk factors for the incidence and progression of radiographic osteoarthritis of the knee among Japanese. *Int Orthop.* 2011; 35 (6) : 839-843.
- 9) Huseyin SY, Tahir SS, et al.: Stiffness after total knee arthroplasty: prevalence, management and outcomes. *Knee.* 2006; 13 (2) : 111-117.
- 10) Kolowich PA, Paulos LE, et al.: Lateral release of the patella: indications and contraindications. *Am J Sports Med.* 1990; 18: 359-365.
- 11) Ota S, Ward SR, et al.: Concurrent criterion-related validity and reliability of a clinical device used to assess lateral patellar displacement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36: 645-652.
- 12) Ota S, Nakashima T, et al.: Comparison of patellar mobility in female adults with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008; 38: 396-402.
- 13) Ota S, Nakashima T, et al.: Is latero-medial patellar mobility related to the range of motion of the knee joint after total knee arthroplasty? *Man Ther.* 2010; 15: 574-578.
- 14) Ota S, Kurokouchi K, et al.: Relationship between patellar mobility and patellofemoral joint cartilage degeneration after anterior cruciate ligament reconstruction. *Nagoya J Med Sci.* 2017; 79 (4) : 487-495.
- 15) Ota S, Ohko H. Sex differences in passive lateral and medial patellar mobility in healthy young adults. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2018; 31: 127-132.
- 16) Ohko H, Ota S. Sex-based differences and relationship with the restricted knee flexion angle due to aging: a comparative study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023; 24 (1) : 348.
- 17) Ota S, Kano R, et al.: Does decrease of the thoracic kyphosis influence decrease knee adduction moment during gait? A preliminary study of a healthy population. *J Phys Ther Sci.* 2015; 27 (10) : 3077-3079.
- 18) Fujita R, Ota S, et al.: Effects of walking with a "draw-in maneuver" on the knee adduction moment and hip muscle activity. *J Phys Ther Sci.* 2021; 33 (4) : 329-333.
- 19) 服部良, 太田進・他: 腹部Draw-in歩行が変形性膝関節症患者の膝関節内反モーメントに及ぼす影響. *臨床バイオメカニクス.* 2020; 41: 133-137.
- 20) Ota S, Fujita R, et al.: Effects of gait and activities of daily living modifications for improving knee joint function in community-dwelling middle-aged and older people - a randomized control study. *J Musculoskelet Res.* 2021; 24 (2) : 2150007.
- 21) Murakami Y, Ota S, et al.: Effects of gait intervention using the draw-in maneuver on knee joint function and the thoracic kyphosis angle in knee osteoarthritis. *Gait Posture.* 2024; 112: 53-58.
- 22) Hawker GA, Croxford R, et al.: All-cause mortality and serious cardiovascular events in people with hip and knee osteoarthritis: a population based cohort study. *PLoS One.* 2014; 9 (3) : e91286.

- 23) Kim BI, Hwang-Bo G, et al.: Comparison of abdominal muscle thickness with vaginal pressure changes in healthy women. *J Phys Ther Sci*. 2014; 26 (3) : 427-430.
- 24) Ojukwu CP, Ojukwu CS, et al.: Comparative effects of selected abdominal and lower limb exercises in the recruitment of the pelvic floor muscles: Determining adjuncts to Kegel's exercises. *J Body Mov Ther*. 2022; 29: 180-186.
- 25) 相本啓太, 太田進・他：脳卒中片麻痺患者に対する膝関節屈曲アシスト装具の効果. *愛知県理学療法学会誌*. 2011; 23 (1) : 21-24.
- 26) 松本義肢制作YouTube動画: <https://www.youtube.com/watch?v=oFvhuCKVzbk>. (2024年10月閲覧)
- 27) Ota S, Kanai A, et al.: Effects of a custom-made hinged knee brace with knee flexion support for patients with knee osteoarthritis: a preliminary study. *Nagoya J Med Sci*, 2015; 77: 95-101.
- 28) Gök H, Ergin S, et al.: Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. *Acta Orthop Scand*, 2002; 73: 647-652.
- 29) Petersen W, Ellermann A, et al.: Biomechanical effect of unloader braces for medial osteoarthritis of the knee: a systematic review (CRD 42015026136). *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016; 136: 649-656.
- 30) Ochi A, Ohko H, et al.: Custom-made hinged knee braces with extension support can improve dynamic balance. *J Exerc Sci Fit*, 2018; 16: 94-98.
- 31) Ageberg E, Roos HP, et al.: Knee extension and flexion muscle power after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft or hamstring tendons graft: a cross-sectional comparison 3 years post surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009; 17: 162-169.
- 32) Abrams GD, Harris JD, et al.: Functional performance testing after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Orthop J Sports Med*, 2014; 2: 2325967113518305.
- 33) De Quervain IA, Simon SR, et al.: Gait pattern in the early recovery period after stroke. *J Bone Joint Surg Am*, 1996; 78: 1506-1514.
- 34) Naito Y, Kamiya M, et al.: Enhancement of walking ability using a custom-made hinged knee brace in patients who experienced ambient stroke and are in the acute phase. *J Phys Ther Sci*, 2019; 31: 913-916.



## 太田 進 教授

**Professor Susumu Ota, PT, PhD.**

- 名古屋大学医療技術短期大学医療技術学部理学療法学科卒業.
- 愛知大学経済学部卒業.
- 名古屋大学大学院医学系研究科博士後期課程修了.
- 豊橋市民病院, University of Southern California, Musculoskeletal Biomechanics Research Laboratory 留学, 名古屋大学医学部保健学科を経て, 星城大学リハビリテーション学部教授, 星城大学大学院健康支援学研究所研究科長 (~2024年3月).
- NPO法人愛知県理学療法学会理事, 兼 学術局長 (~2021年5月), 学術局学術誌部長 (~2019年5月)