

方法があり、より効率的な筋力向上を考えた場合、異なる訓練法がどのように下肢筋力に効果をもたらしているのかを明確にすることは必要である。本研究では、われわれが開発した筋力訓練機器を用いたQ-セッティングの効果筋活動の点から他の筋力訓練方法と比較検討した。

対象および方法

1. 対象

対象は、あらかじめ本研究の主旨および内容を説明し、研究協力に同意の得られた健常な成人男女10名（男性7名、女性3名）とし、平均年齢は 37.0 ± 11.8 歳であった。

2. 測定内容

測定を行った訓練は、Q-セッティング（固定あり、固定なし）とRCT（randomized controlled trial）によって有効性が確認されているstraight leg raising（以下、SLR）³⁾や膝伸展運動の4種類とした。まず、いずれの訓練においても後述する方法で最大筋力発揮時の筋活動を測定した。次に、Q-セッティング（固定あり、固定なし）およびSLRについては、機器による負荷力設定時の比較のために、最大筋力に対する60%筋力発揮時の筋活動を計測した。膝伸展運動は各訓練における筋活動量を比較するための基準値として測定し、本試験における分析・評価を実施した。また、すべての測定は右下肢で行った。

3. 使用機器

筋活動測定には表面筋電図（以下、EMG：NECメディカルシステムズ社製のサイナアクトMT11）を使用し、電極はAmbu製の使い捨て型表面電極（Blue Sensor）を使用した。

Q-セッティングにおける最大筋力の測定および60%筋力測定（設定）には、われわれが開発した下肢筋力測定訓練機（QTM-

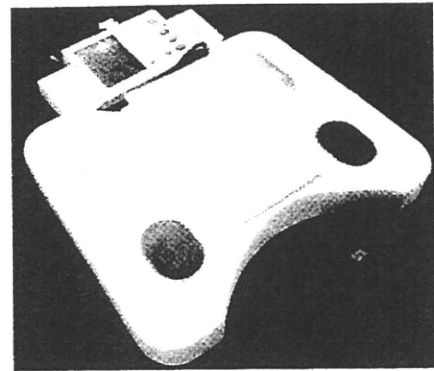


図1 下肢筋力測定訓練機
機器は、本体計測部と表示・操作部にて構成され、表示・操作部の指示にて操作できる構造となっている。

05F）（以下、測定器）⁵⁾を用いた（図1）。また、SLRにおける最大筋力の測定、および60%筋力測定には島津製作所製のオートグラフAG-I 20 kNを使用した。

4. 筋活動の測定評価方法

EMGのサンプリング周波数は1,000 Hzとし、アースは上前腸骨棘とした。それぞれの部位に対し皮膚の電気抵抗を下げるために、あらかじめ抵抗が 10Ω 以下になるように皮膚抵抗を落とした。電極は中心距離30 mmで各筋の筋線維の走行に平行に貼付した。被験筋は前脛骨筋（TA）、腓腹筋（GC）、外側広筋（VL）、大腿直筋（RF）、内側広筋（VM）、外側ハムストリング（HL）、内側ハムストリング（HM）の7筋とした。得られたEMG信号はA/D変換後CSV形式で保存し、全波整流化後、筋放電量が一定になった時点（波形が安定した時点）から3秒間の積分値を採用した。正規化するため膝伸展運動の積分値を100%とし、各データは膝伸展運動の積分値で除して%IEMGとした。

5. 筋力測定方法

各測定肢位は、以下のように定義した。固定ありQ-セッティングの測定姿勢は、

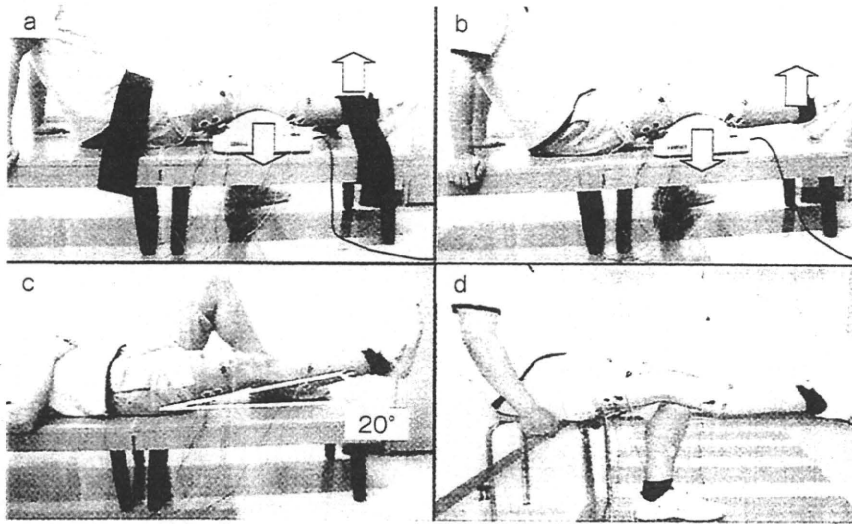


図2 訓練別筋力測定肢位

- a: 固定あり Q-セッティング. 骨盤と下腿遠位部を非伸縮バンドで固定して矢印の方向に力を加え, 膝伸展運動をさせた際の膝窩部に発生する力を測定した.
- b: 固定なし Q-セッティング. 固定あり Q-セッティングと同様の姿勢とし, 非伸縮性バンドによる固定のない肢位とし矢印の方向に力を加えた.
- c: SLR. 背臥位で非測定足の膝を屈曲させ, 膝伸展位で土面台から 20° 挙上した肢位とした.
- d: 膝伸展運動. 坐位で伸展位とした.

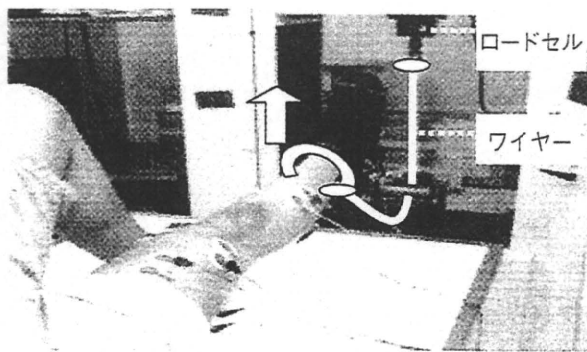


図3 オートグラフを用いた SLR の測定肢位

1 kN ロードセルに固定したワイヤーを足首に固定し挙上させて最大筋力測定および最大筋力の 60% 筋力を発揮させた。

膝関節を屈曲約 30 度とした長坐位で膝窩部に測定器を配置し, 骨盤帯と下腿遠位部に非伸縮性バンドで固定した (図 2a). 固定なし Q-セッティングは, 固定あり Q-セッティングで同様の姿勢とし, 非伸縮性バンドによる固定のない肢位とした (図 2b). SLR は, 背

臥位で非測定側の膝を屈曲させ, 膝伸展位で土面台から 20° 挙上した肢位とした (図 2c). 膝伸展運動は, 坐位で伸展位とした (図 2d).

測定中に 60% 筋力発揮を維持させる方法として以下の方法を用いた。

固定あり Q-セッティング, 固定なし Q-セッティングでは, 測定器を用いて最大筋力を計測し, その後最大筋力に対する 60% 筋力を設定し, 60% 筋力発揮時の筋活動を計測した. 本測定器は, 設定した筋力発揮に対し, 設定した負荷量に達した際に音と表示する機能をもつ⁵⁾.

SLR では, オートグラフを用い 1 kN ロードセルに固定したワイヤーを足関節部に固定し挙上させ (図 3), このときの最大引っ張り強度を SLR 時の最大筋力とした. 最大筋力に対する 60% 筋力を算出後, 同様の肢位

で60%筋力を発揮させ、そのときの筋活動を計測した。SLRの計測は、表示される筋力値と指示により筋力発揮を行った。

60%筋力は、60%程度の筋力を維持させる状態として、予備実験により $\pm 10\%$ 程度のばらつきがあることを確認し、その範囲内のデータを有効とした。

膝伸展運動は、被験者に最大収縮を意識して発揮してもらった。

すべての訓練は、それぞれ設定条件で実施し、その訓練維持時間は10秒間とした。

6. 統計処理

統計学的手法にはSPSS (ver. 11.5) を用いて、一元配置分散分析を行った。統計的有意水準は5%未満とした。

結果

1. SLRの筋活動

7筋ともに膝伸展運動と同等の筋活動量であり、統計的な差は認められなかった。膝伸展運動に対する筋活動量は100~150%程度であった(図4)。

2. 固定ありQ-セッティングの筋活動

前脛骨筋、腓腹筋およびハムストリングスでは、SLRおよび膝伸展運動の筋活動と統計的な差は認められなかった。大腿四頭筋ではすべての筋において最も筋活動量が高く、特に特に外側広筋、内側広筋では、SLR、膝伸展運動と比較して有意に高い筋活動量が確認された($p < 0.05$) (図4)。

3. 固定なしQ-セッティングの筋活動

前脛骨筋、腓腹筋および大腿四頭筋では、

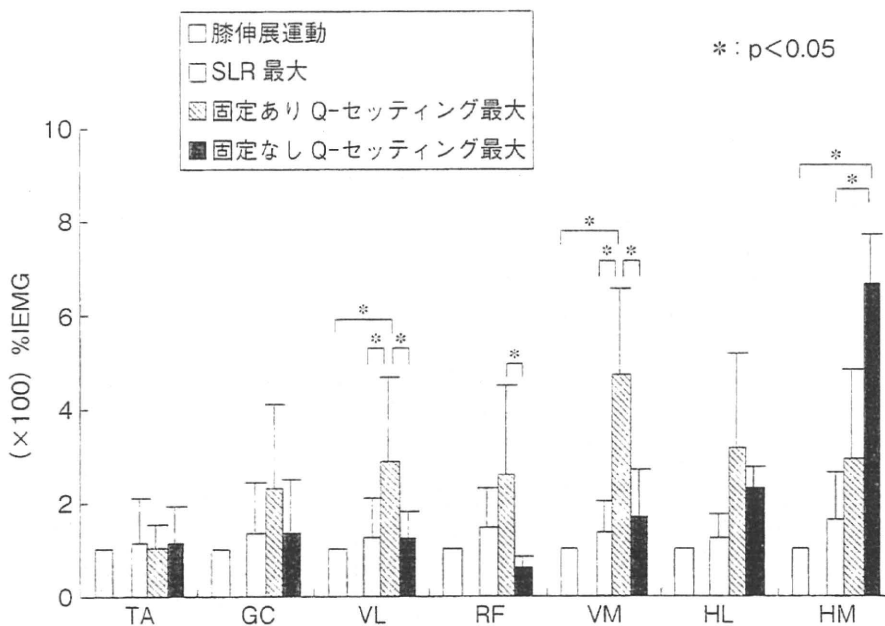


図4 部位別%IEMG

前脛骨筋(TA)、腓腹筋(GC)について、訓練の違いによる筋活動の差は認められなかった。

外側広筋(VL)、大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)、外側ハムストリング(HL)、内側ハムストリング(HM)について、固定ありQ-セッティングはSLR、膝伸展運動と比較して外側広筋、内側広筋で有意に高い筋活動が確認され($p < 0.05$)、固定なしQ-セッティングはSLR、膝伸展運動と比較して内側ハムストリングで有意に高い筋活動が見られた($p < 0.05$)。

SLR および膝伸展運動の筋活動と統計的な差は認められなかった。内側ハムストリングでは SLR および膝伸展運動と比較して有意に高い筋活動量が認められた ($p < 0.05$) (図 4)。

4. 固定あり Q-セッティングと固定なし Q-セッティングの比較

固定することで内外側広筋, 大腿直筋の筋活動量が有意に高くなった ($p < 0.05$) (図 4)。固定なしの Q-セッティングは内側ハムストリングの筋活動量が高くなった ($p < 0.05$) (図 5)。

5. 同一負荷割合による比較

同一負荷割合 (60%) における筋活動の違いは, 固定あり Q-セッティングにおいては外側広筋が, 固定なし Q-セッティングにおいては内側ハムストリングが他の訓練と比較して筋活動量が有意に高くなった ($p < 0.05$) (図 5)。また固定なし Q-セッティングの場合, SLR と比較して大腿直筋の筋活動が有意に低い結果となった。

考 察

本研究の結果から, 膝伸展運動と SLR は類似の筋活動様式であったのに対し, Q-セッティングは, SLR および膝伸展運動とは異なる筋活動の様式を示した。固定あり Q-セッティングの場合, 他の訓練と比較して大腿四頭筋のすべての筋で筋活動量が高く, 特に広筋群で統計学的な有意差が認められた。これは固定することで骨盤および股関節の安定化が図られ主に膝伸展方向の力が働き, 大腿四頭筋の筋出力が発揮しやすくなったためだと考えられる。固定なし Q-セッティングの場合, 他の訓練と比較して大腿直筋の筋活動量が低い傾向にあったが大腿四頭筋全体としては差がないと考えられる。Soderberg ら⁶⁾ や Karst ら²⁾ は Q-セッティングは, SLR と比較すると内外側広筋の筋活動は高く, 大腿直筋の筋活動は低いことを示しており, 今回の結果でもほぼ同様の結果が得られた。

固定なし Q-セッティングは固定あり Q-セッティングとの比較において, 外側ハムス

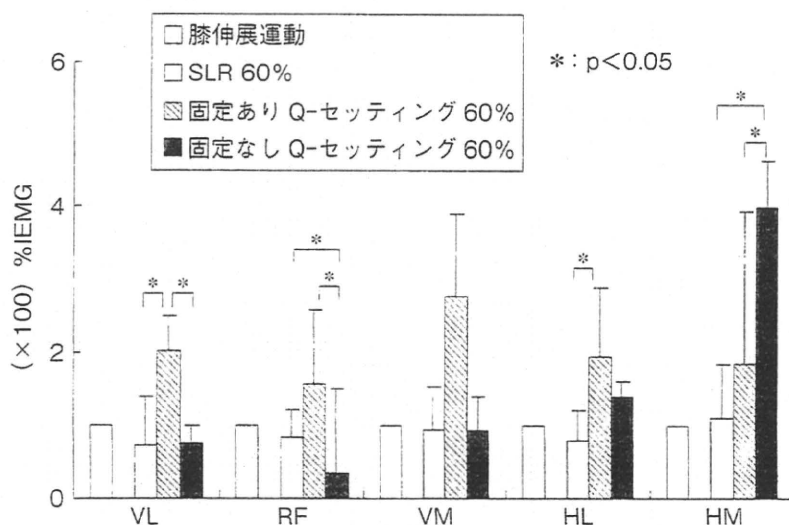


図 5 60%負荷における%IEMG

固定あり Q-セッティングは外側広筋で, 固定なし Q-セッティングは内側ハムストリングで他の訓練と比較して有意に筋活動が高い結果となった ($p < 0.05$)。

トリングでは同等、内側ハムストリングでは有意に大きい筋活動であった。河村⁴⁾は、股関節屈曲作用をもつ大腿直筋は股関節伸展が起きると働きの抑制されると述べていることから、固定なしQ-セッティングでは、この作用が働きハムストリングに影響を及ぼし、ハムストリングの拮抗二関節筋である大腿直筋の働きの抑制されたと考えられる。

以上のことから、Q-セッティングでは他の訓練と同等以上の効果があることが示され、方法を変えることで大腿四頭筋の筋活動を高め、またハムストリングの筋活動にも影響を及ぼすことが示唆された。

同負荷割合における筋活動の比較でも最大筋力発揮時とほぼ同様の結果で、固定ありQ-セッティングでは、外側広筋で筋活動が高く、固定なしQ-セッティングでは内側ハムストリングで筋活動が高くなった。この結果から、測定器を使用することで、強化したい筋を選択的に訓練することが可能であることが示唆された。

しかしながら、ハムストリングの筋活動が訓練効果のある大きさかどうかについては明確ではなく、今後ハムストリング単独の訓練などと固定なしQ-セッティングを比較し検証していく必要がある。さらに今回は、健康成人男女を対象とした研究報告であったが、下肢の筋力低下が顕著である高齢者や、変形性膝関節症を発症した患者においても同様の効果が得られるかを検証が必要と考える。

まとめ

測定器を用いたQ-セッティングは、膝伸

展運動およびSLRと同等以上の筋活動が確認され、大腿前面の筋力トレーニング効果が期待できることが明らかとなった。さらに、固定なしのQ-セッティングでは、ハムストリングの筋活動に影響を及ぼすことを確認した。Q-セッティングにおいて固定の方法を変更することにより、効率的な強化または選択的に大腿四頭筋やハムストリングの訓練が可能であることが示唆された。

文 献

- 1) Baker KR. et al: The efficacy of home based progressive strength training in older adults with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *J Rheumatol.* **28**(7): 1655-1665, 2001.
- 2) Karst GM. et al: Electromyographic analysis of exercises proposed for differential activation of medial and lateral quadriceps femoris muscle components. *Phys Ther.* **73**(5): 286-295, 1993.
- 3) 黒澤 尚ほか: 変形性膝関節症に対するSLR訓練の効果—多施設RCTの結果—. *日整会誌* **79**: 9, 2005.
- 4) 河村顕治: CKCにおける大腿直筋のサイレント現象とハムストリングの膝伸展作用. *運動・物理療法* **20**: 193, 2009.
- 5) 縄田 厚ほか: セッティング式筋力測定・訓練機による膝伸展筋力と筋力発揮パターンの解析について. *運動・物理療法* **19**: 279-284, 2008.
- 6) Soderberg GL. et al: Electromyographic analysis of knee exercises in healthy subjects and in patients with knee pathologies. *Phys Ther.* **67**(11): 1691-1696, 1987.
- 7) 渡辺博史ほか: 大腿四頭筋セッティング訓練—視覚的なフィードバックの効果—. *理学療法学* **28**: 80, 2001.
- 8) 渡辺博史: 筋力強化の実際. 古賀良生編, 変形性膝関節症—病態と保存療法. 南江堂, 東京, pp 161-175, 2008.

小児骨折の疫学

大森 豪*

骨折は小児の代表的な外傷であり、近年発生増加が指摘されている。我々が新潟市において長期に行ってきた疫学調査では、骨折発生率は27年間で3.46倍に増加しており、中学2年生に発生のピークがみられた。また、骨折部位は手指や前腕骨など上肢に多く、受傷状況は部活動や体育などスポーツ活動時が多かった。すなわち、骨折増加の背景因子として成長スパート期の活発な運動による受傷パターンが想定され、運動過多によるover useが影響していることが示唆された。

Bone and joint diseases in children.

Epidemiology of childhood fractures.

Center for Transdisciplinary Research, Niigata University.

Go Omori

Epidemiology of childhood fractures in Niigata city was longitudinally evaluated. Incidence of fracture was increased by 3.46-fold in 27 years follow-up period with the peak incidence at 14 years of age (second grade of junior high school). Most affected site was upper extremity and main cause of fracture was sports activity. From the current study, one risk factor of the childhood fracture could be aggressive sports activity and additional effect of growth spurt and over use.

はじめに

骨折は小児期における代表的な外傷であり、近年、その発生が増加傾向にあることが国内外の研究で指摘されている^{1)~4)}。小児期の骨折はその後の成長や身体機能に重大な影響を与える場合もあるため、適切な治療とともに発生予防が重要であ

る。そのためには、小児期の骨折発生頻度、骨折部位、受傷状況を評価した上で危険因子を明らかにする目的での疫学調査が不可欠と考えられる。

我々は、新潟市において小中学校の生徒を対象とした学校管理下での骨折発生調査を長期にわたり行ってきた。その調査結果について概説する。

*新潟大学超域研究機構・教授(おおもり・こう)

新潟市における小中学生の骨折発生調査の概要

我々は、1981年に当時新潟市の小中学生を対象にして学校管理下の骨折発生状況について、日本体育学校健康センター（現日本スポーツ振興センター）の災害報告書をもとに、骨折発生数、受傷部位、受傷時期などについて調査した。さらに、中学校3年生を対象として骨折既往および生活状況に関するアンケート調査を実施した⁵⁾。以後、9年間隔で第2回調査（1990年）、第3回調査（1999年）を実施、2008年には第4回調査を行った。そして、骨折発生状況の変化のみならずスポーツ活動との関連や平衡機能訓練の効果などについても報告してきた^{6)~8)}。

新潟市における小中学生の骨折発生調査（第4回調査：2008年）結果と過去調査との比較

第4回調査は、新潟市教育委員会の協力のもと2008年7月に実施した。新潟市は2007年に政令指定都市となり、教育単位も大きく変更となったため、過去の調査と同じ合併前の旧新潟市の小中学生41,198名（小学生：27,666名、中学生：13,532名）を対象とした。調査は過去4回と同様に、まず、各学校から提出された災害報告書から学校管理下の骨折について過去9年間（1999年～2007年）の骨折発生数、骨折部位、受傷状況について調べた。さらに、今回は対象者全員に対して骨折の既往および生活状況（食生活、運動状況など）について無記名でのアンケート調査を行った。なお、本研究は、新潟大学医学部倫理委員会の承認を受け、さらに、新潟市教育委員会の協力を得て各小中学校および父兄に十分な説明を行ったうえで実施した。

小中学生100人当たりの骨折発生数は、1999年では1.89件であったものが2007年には2.39件に増加していた。さらに、1981年の初回調査では小中学生100人当たりの骨折発生数は0.69件であり、27年間で3.46倍に増加してい

た。2007年度の学年別、男女別の骨折発生数は、男女とも小学校1年生から学年とともに増加し、男子では中学校2年生、女子では中学校1～2年生に骨折発生のピークが認められた。また、中学3年生は男女とも大きく減少しており、これは部活の引退や受験による運動量の低下によるものと思われた（図1）。また、学年別の骨折発生数を過去4回の調査と比較してみるとすべての調査で同様に中学2年生に骨折発生のピークがみられた（図2）。骨折部位は手指および前腕、上腕といった上肢が多く、この傾向は過去4回の調査でも同様であった（図3）。受傷状況を学校管理下の活動内容で評価してみると、1981年の初回調査では休み時間中での受傷が最多で、部活動および体育が10%程度のほかは、受傷状況が多岐にわたっていた。しかし、調査回数とともに部活動と体育中の受傷が増加し、2008年の第4回調査では部活動と体育と休み時間中の受傷がほぼ1/3ずつを占める結果となっていた（図4）。

考察

小児期の骨折発生に関する欧米の疫学調査では、Landinらはスウェーデンのマルモ地域における1950年から1979年までに発生した8,682骨折を解析し、骨折部位は前腕骨、手指の順に多く、発生率は30年間で2倍に増加したと報告している⁴⁾。また、Cooperらは1988年から1998年に英国で生じた84,129件の骨折を評価し、骨折発生率は年間100人当たり1.33件で部位はやはり前腕骨に多いとしている⁹⁾。近年、Rennieらは同じ英国のスコットランドで2000年に発生した2,198件の骨折を調査し、発生率は年間100人当たり2.02件としている³⁾。すなわち、同じ英国の調査においても小児骨折は増加の傾向にあると考えられる。一方、わが国においてもいくつかの調査が行われている。高沢らは昭和57年に全国6地区（北海道、東京、千葉、神奈川、

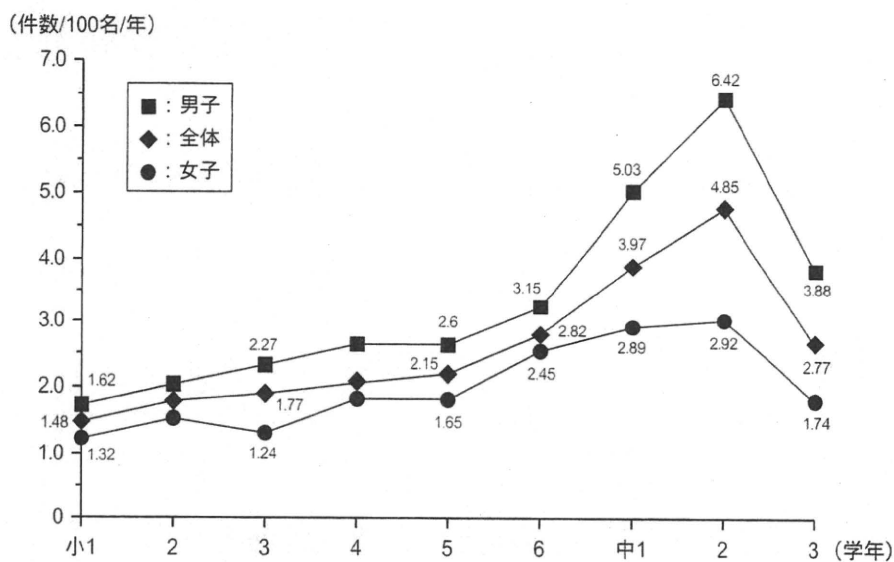


図1 第4回調査における男女別・学年別骨折発生数

男女とも小学校1年生から学年とともに増加し、男子では中学校2年生に、女子では小学校6年生～中学校1年生に骨折発生のピークが認められる。

(筆者作成)

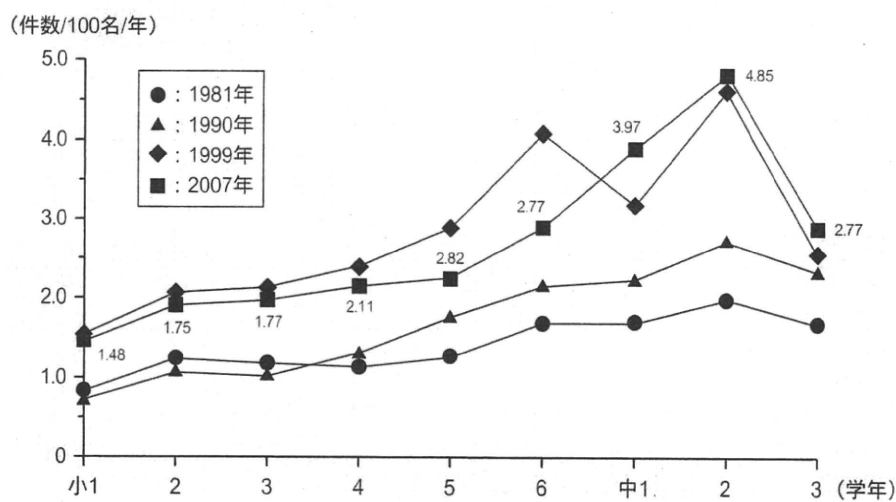


図2 過去4回の調査における学年別骨折発生数の比較

過去4回のいずれの調査においても骨折発生は小学校1年生から学年とともに増加し、中学校2年生に発生のピークがみられる。

(筆者作成)

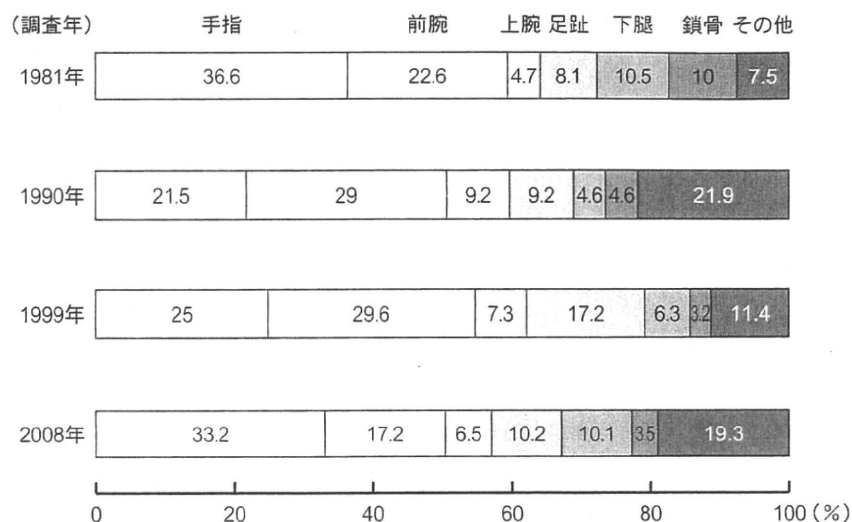


図3 過去4回の調査における骨折部位の比較

いずれの調査においても手指、前腕骨、上腕骨といった上肢骨の骨折が多く認められる。
(筆者作成)

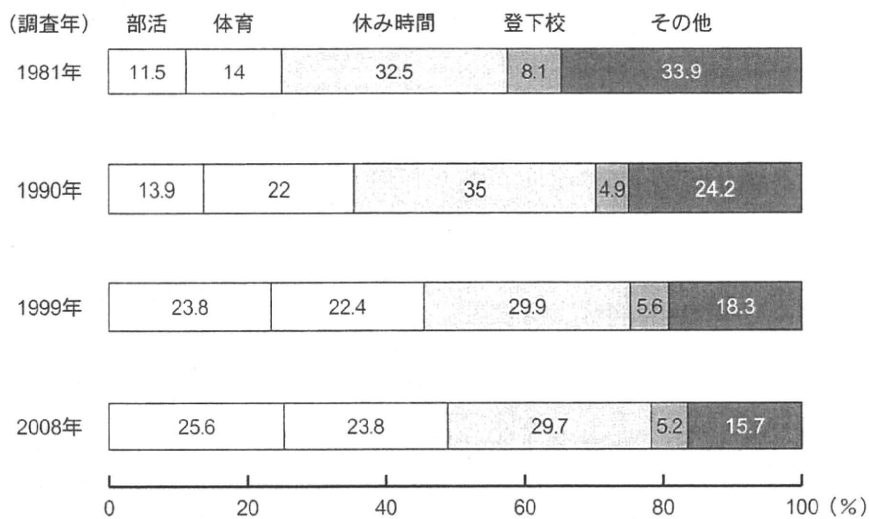


図4 過去4回の調査における骨折受傷状況の比較

第1回調査では、休み時間の受傷が最多であったが、調査回数を重ねるにつれて部活動や体育時間といったスポーツ活動中の受傷が増加している。

(筆者作成)

新潟、高知)における975例の小児骨折を評価し、男子は12歳、女子は11歳に発生のピークがあり、部位は前腕骨や手指骨に多いと報告し

た¹⁰⁾。また、杉森らは平成13年度の千葉県小中学生55,464名の災害報告書を分析し、骨折発生率は男子で1.9%、女子で0.9%であり、男子は

中学1～2年生、女子では小学校5～6年生に骨折発生率のピークがあると述べている¹⁾。さらに、鳥居らは日本スポーツ振興センター(学校管理下)およびスポーツ安全協会(地域のスポーツクラブなどを含む)の2つの保険統計を横断的、縦断的に解析し、骨折発生率が学校管理下では30年間に約2倍に、地域のスポーツクラブなどでは20年間に約3倍に増加していることを示している²⁾。

我々が今回、新潟市において行った調査では、骨折発生数は100人当たり2.39件で、前述したほかの報告(1.4～2.0件)に比べてやや高い値となっていた。一方、骨折発生率の変化については、我々の調査では27年間で3.46倍の増加率であり、鳥居やLandinの報告と類似している。また、骨折部位や受傷状況については、手指や前腕骨など上肢骨が骨折部位として多く、部活動や体育などスポーツ活動時の受傷が多いという結果は、我々の調査およびほかの調査においても共通した結果であった。さらに、骨折発生率のピークは、男子で中学校1～2年生、女子で小学校6年～中学校1年生に共通して認められ、いわゆる成長スパート期との関連性が示唆される。

小児の骨折発生増加に影響する因子には、運動能力や栄養状態、生活習慣などの多くの内容が関連していると思われる(表1)。我々が行ってきた新潟市の調査では、骨折の受傷状況として部活動や体育などスポーツ活動中が多く、また、中学3年生に対する骨折既往に関するアンケート調査から得られた結果は、過去に骨折を経験したことの

表1 小児骨折の増加に関与すると想定される因子

小児骨折増加の背景には栄養や成長、運動時間や医療の進歩など複数の因子が関与している。

- ・食生活の変化⇒骨脆弱性増加
- ・身体発育状況の変化⇒体型変化⇒運動機能・平衡機能低下
- ・スポーツ活動の増大⇒over use, 外傷の機会増加
- ・医療の進歩⇒骨折発見の増加

(筆者作成)

ある群が骨折をしていない群に比べて身長が有意に高く、体重も有意に多くなっていた。さらに、運動時間も骨折経験群が長い結果となっていた。すなわち、これらの結果からは骨折の背景因子のひとつとして比較的体格の大きい子が運動を活発にやっけていて受傷するパターンが想定され、さらに、成長スパート期の身体特性や長時間練習によるover useなどが影響すると考えられる。一方で、鳥居は小児骨折増加の背景因子として運動を含めた日常活動性の低下により体力、運動能力の低下、肥満の増加が生じ、結果として転倒や転落時の回避能力の低下を招いて骨折が発生すると述べている。おそらく、近年の小児骨折増加の背景には、この相対する2つの要素が両方とも存在することが考えられ、今後、さらに詳細な解析を進めるとともに有効な予防策を構築する必要がある。

おわりに

小児の骨折は確実に増加しており、その背景には複数の因子が影響しているが、いまだ不明な点も多く存在する。しかし、骨折増加に歯止めをかけることは急務であり、今後もさらなる研究の発展が期待される。

文 献

- 1) 杉森裕樹, 小田島 剛, 山口勝正: 我が国のこどもの骨折の疫学. *CLINICAL CALCIUM* **18** (6): 844-850, 2008.
- 2) 鳥居 俊: 小児骨折の疫学的検討. *日小整会誌* **14**: 125-130, 2005.
- 3) Rennie L, Court-Braun CM, Mok JY, et al: The epidemiology of fractures in children. *Injury* **38**: 913-922, 2007.
- 4) Landin LA: Epidemiology of children's fracture. *L Pediatr Orthop* **B 6**: 79-83, 1997.
- 5) 古賀良生, 高橋栄明, 浅井 忍ほか: 新潟市における学童生徒の骨折に関する分析. *整災外* **26**: 347-354, 1983.

- 6) 武田和夫, 古賀良生, 杉本英夫ほか:新潟市における学童生徒の骨折に関する調査—スポーツ活動との関連について—. 日本整形外科スポーツ医学雑誌 11: 275-278, 1992.
- 7) 武田和夫, 古賀良生, 五十嵐秀一ほか:小児スポーツ外傷(骨折)の予防としての平衡機能訓練. 日本整形外科スポーツ医学雑誌 12: 257-259, 1993.
- 8) 古賀良生, 武田和夫, 高橋栄一:スポーツ外傷, 小児科 48: 809-813, 2007.
- 9) Cooper C, Dennison EM, Leufkens HG, et al: Epidemiology of childhood fractures in Britain: A study using the general practice research database. J Bone Miner Res 19: 1976-1981, 2004.
- 10) 高沢晴夫: 児童・生徒の骨折について. 臨床スポーツ医学 2: 233-239, 1985.



やさしい 変形性膝関節症の自己管理

大分大学医学部整形外科学教授 鳥巢 岳彦 著

A 4 判 32 頁 定価 1,890 円(本体 1,800 円 + 税 5 %)送料実費
ISBN4-7532-2127-X C0047

おもな内容

- I. はじめに
- II. 変形性膝関節症のエックス線検査
 - 1. 大腿脛骨関節のエックス線撮影
 - 2. 膝蓋大腿関節のエックス線撮影
- III. 保存療法(手術をしないで治す方法)
 - 1. 日常生活での留意点(関節軟骨を保護する動作)
 - 2. 温熱療法や冷療法
 - 3. 薬による治療
 - 4. 薬局や通信販売で手に入る薬や食品
 - 5. 運動療法
- IV. 付録
 - 1. 膝の解剖と変形性膝関節症の病態
 - 2. 膝に急に痛みが生じる他の病気
 - 1. 関節リウマチ
 - 2. 膝周囲の滑液包炎
 - 3. 偽性痛風
 - 4. 痛風発作
 - 5. 膝の特発性骨壊死
 - 6. 特発性老人性膝関節血症

株式会社 医薬ジャーナル社 〒541-0047 大阪市中央区淡路町3丁目1番5号・淡路町ビル21 電話 06(6202)7280(代) FAX 06(6202)5295 (振替番号 00910-1-33353)
〒101-0061 東京都千代田区三崎町3丁目3番1号・TKIビル 電話 03(3265)7681(代) FAX 03(3265)8369
<http://www.iyaku-j.com/> 書籍・雑誌バックナンバー検索, ご注文などはインターネットホームページからが便利です。

変形性膝関節症患者の歩行中に膝関節にかかる力学的負荷と 臨床症状および重症度との関連について

津田 晃佑^{※1} 柿本 明博^{※2} 川上 秀夫^{※3} 中村 宣雄^{※2} 菅野 伸彦^{※4}

Kinetic parameters of the knee joint on 3-dimensional gait analysis were associated with QOL scores in patients with osteoarthritis of the knee.

Kosuke TSUDA, MD., Akihiro KAKIMOTO, PhD., Hideo KAWAKAMI, PhD.,
Nobuo NAKAMURA, PhD., Nobuhiko SUGANO, PhD.

Abstract

We performed 3-dimensional gait analysis in 19 patients (male : 4, female : 15, mean age : 72 years (60-82)) with a medial type of knee osteoarthritis in order to determine whether there is an association between kinetic parameters (gait velocity, flexion and varus moment of the knee joint) and functional and QOL scores (JOA score, Oxford knee score, VAS), lower limb alignment, and Kellgren-Lawrence radiographic staging of osteoarthritis. A decrease in gait velocity and an increase in the peak value of flexion moment of the knee joint correlated with low functional and QOL scores. An increase in the peak value of varus moment of the knee joint was correlated with poor alignment of the lower limb. However, radiographic staging was not correlated with kinetic parameters or QOL scores. We concluded that kinetic parameters of the knee joint during gait could be more indicative of the clinical condition of the knee with osteoarthritis than the radiographic staging of osteoarthritis.

Key words : Osteoarthritis of the knee, 3-dimensional gait analysis, Kinetic parameter of the knee joint, QOL score.

-
- ※ 1 大阪大学大学院 医学系研究科器官制御外科学
〒565-0871 吹田市山田丘2-2
 - ※ 2 協和会病院 人工関節センター
〒564-0001 吹田市岸部北1-24-1
 - ※ 3 大阪警察病院 整形外科
〒543-0035 大阪市天王寺区北山町10-31
 - ※ 4 大阪大学大学院 医学系研究科運動器医工学治療学
〒565-0871 吹田市山田丘2-2

Corresponding Author : Nobuhiko SUGANO, PhD.

Department of Orthopaedic Medical Engineering, Osaka University

Graduate School of Medicine

Tel : 06-6879-3271 Fax : 06-6879-3272

E-mail address : address:n-sugano@umin.net

緒 言

変形性関節症は高齢者が要支援となる疾患の第1位を占め、高齢化社会を迎える日本の医療においてその適切な診断・治療に対するニーズは大きい。中でも変形性膝関節症(OA膝)は、近年の食生活の欧米化に伴う肥満化により増加傾向にあるが、病状の進行により歩行能力が低下しADLを大きく障害する。進行したOA膝に対する人工膝関節全置換術(TKA)、単顆型人工関節置換術(UKA)、あるいは脛骨骨切り術は確立した治療法であるが、早期からの適切な診断と治療、さらには進行の予防法が確立され、手術加療を回避することが可能になれば、絶大な医療経済効果を生み出すと考えられる。OA膝の診断には通常単純X線を用いるが、患者が症状を訴えるのは歩行や階段昇降、しゃがみこみなどの実際の動作中であり、静的評価である単純X線では実際の病態を反映しないことも多い。われわれは、下肢CTと光学的歩行解析装置(VICON)を組み合わせた4次元動作解析で、Dynamicな下肢荷重線の動きの可視化と膝のThrustの計測表示が可能なソフトを開発してOA膝の病態を評価してきたが^{4),5)}、今回はVICONの簡易検査で評価しようとして試みている。単純X線に変わる新たな評価方法として、内側型OA膝に対する3次元歩行解析を行い、歩行中の膝関節にかかる力学的負荷の計測を行った。そして、算出されたパラメータと臨床症状や重症度との関連を検討することで、得られた解析パラメータがOA膝の病態を反映しているか、さらには進行予測や予防法評価に有用な指標となりうるかを検証することが本研究の目的である。

研究方法

内側型OA膝19例を対象に、3次元動作解析装置を用いて歩行解析を行った。男性4例、女性15例、解析時年齢は平均72歳(60~82)で、11例は両側罹患例であった。各症例のローゼンバーグ撮影によるKellgren-Lawrence分類(KLS)⁶⁾、および立位単純X線による大腿骨脛骨角(FTA)により重症度を評価し、日本整形外科学会変形性膝関節症治療判定基準(JOASスコア)のうちの疼痛・歩行能スコア(JOAS)、Oxford knee score(OKS)、歩行時のVASスコア(VAS)により臨床評価を行った。

本研究における動作解析の概略は以下の通りである。まず対象症例の骨盤および下肢の体表面に直径25mmの赤外線反射マーカを貼付した。貼付部位は、Plug-in-gaitマーカセット(VICON Motion Systems)に従って、両上前腸骨棘、両下前腸骨棘、両大腿部外側、両膝関節外側上顆、両下腿部外側、両足関節外果、両第2中足骨頭、両踵部の計16点である。使用した3次元動作解析装置はVICON512(VICON Motion Systems)で、CCDカメラ6台と2枚の床反力計(AMTI)を組み合わせ、対象症例の体表面に貼付された赤外線反射マーカを追跡することで動作情報を取得した。サンプリングレートは120Hzとし、4.5mの歩行路を自由歩行させ、3回の歩行データを取得し、それらの平均値をPolygon(VICON Motion Systems)を用いて分析処理した。評価側下肢の接地から同側下肢の次の接地までを1歩行周期とし、膝関節にかかる力学的負荷として1歩行周期中の屈曲モーメント値、内反モーメント値、および歩行速度を算出した。そして、これらの解析パ

ラメータと、単純X線による重症度、臨床症状および筋力との関連を検討した。

統計学的評価にはMann-Whitney's U-test, Pearson product-moment correlation coefficientを用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

結 果

KLSによる重症度評価は、I度が1例、II度が4例、III度が5例、IV度が9例であった。FTAは平均184度(176~190)であった。臨床評価として、JOASは平均18点(5~25)、OKSは平均33点(16~45)、VASは平均56(20~100)であった。歩行解析パラメータとして、歩行速度は平均1.05m/sec(0.55~1.89)、最大屈曲モーメントは平均2.25Nm/kg/m(0.10~6.49)、最大内反モーメントは平均4.70Nm/kg/m(0.28~8.00)であった。いずれの症例においても、最大屈曲モーメントは立脚中期に、最大内反モーメントは接地直後に、それぞれ観察されていた。

これらの歩行解析パラメータ、単純X線による重症度、臨床症状の関連を検討した。まず、重症度であるが、KLSがIおよびII度を軽症群(N=5)、IIIおよびIV度を重症群(N=14)と

した時に、両群間でFTA、臨床評価、歩行解析パラメータのいずれの項目とも有意な差を認めなかった(表1)。次に、JOASが20点以上を軽症群(N=12)、20点未満を重症群(N=7)として、同様に関連を調べた時、両群間でFTAと臨床評価においては有意な差を認めなかったが、重症群の方が最大屈曲モーメントが有意に大きかった($p=0.007$)(表2)。また、VASが50以下を軽症群(N=9)、50以上を重症群(N=10)として、同様に関連を調べたが、JOASのみ有意な差を認めた($p=0.03$)(表3)。最後に、歩行解析パラメータと重症度評価、および臨床評価との関係をPearson product-moment correlation coefficientにより調べた(表4)。歩行速度とVAS、最大屈曲モーメントとJOASが、ともに負の相関を認め($r=-0.49$, $p=-0.57$)、最大屈曲モーメントとVASが正の相関を認めた($r=0.33$)。一方、最大内反モーメントとFTAが正の相関を認めた($r=0.31$)。

考 察

今回の症例群では、KLSにより重症度の評価を行ってもFTA、臨床評価、歩行解析パラメータのいずれの項目とも有意な関連を認めること

表1. Results classified according to KLS grading: Average (range)

	KLS: I, II (N=5)	KLS: III, IV (N=14)	p value
FTA (degree)	180 (176-189)	185 (177-190)	0.07
JOAS	21 (10-25)	18 (5-25)	0.16
OKS	29 (26-31)	34 (16-45)	0.18
VAS	50 (20-100)	59 (20-100)	0.51
Gait velocity (m/sec)	1.2 (1-1.3)	1 (0.6-1.4)	0.39
Peak value of flexion moment (Nm/kg/m)	1.3 (0.1-2.7)	2.6 (0.2-6.5)	0.16
Peak value of varus moment (Nm/kg/m)	4.2 (3.3-5)	4.9 (0.3-7.3)	0.31

Mann Whitney's U-test

表2. Results classified according to JOAS : Average (range)

	JOAS \geq 20 (N=12)	JOAS<20 (N=7)	p value
KLS	3 (1-4)	3 (2-4)	0.68
FTA (degree)	184 (176-190)	183 (176-190)	0.55
OKS	31 (16-45)	35 (25-42)	0.27
VAS	51 (20-100)	66 (40-100)	0.21
Gait velocity (m/sec)	1 (0.8-1.4)	1.1 (0.6-1.9)	1
Peak value of flexion moment (Nm/kg/m)	1.5 (0.1-6.3)	3.5 (1.9-6.5)	0.007
Peak value of varus moment (Nm/kg/m)	4.9 (0.3-5.9)	4.4 (1.7-7.3)	0.5

Mann Whitney's U-test

表3. Results classified according to VAS : Average (range)

	VAS \leq 50 (N=9)	VAS>50 (N=10)	p value
KLS	3 (1-4)	3 (2-4)	0.93
FTA (degree)	185 (176-190)	183 (176-190)	0.46
JOAS	21 (10-25)	16 (5-20)	0.03
OKS	34 (26-38)	32 (16-45)	0.69
Gait velocity (m/sec)	1.2 (0.8-1.4)	0.9 (0.6-1.3)	0.16
Peak value of flexion moment (Nm/kg/m)	2.1 (0.1-6.5)	2.3 (0.1-6.3)	0.51
Peak value of varus moment (Nm/kg/m)	4.7 (0.3-7.3)	4.7 (1.7-8)	0.93

Mann Whitney's U-test

はなく, KLSを用いた単純X線による評価は, 実際の病態を反映しにくいことを示唆していると考えられた。

一方, 3次元動作解析によりOA膝を動的に評価する試みもこれまでになされている。OA膝における重要な関節負荷指標として, 歩行中

の膝関節内反モーメントが提唱され, 病態・予後との関連が研究されてきた^{2), 3), 7), 8)}。これらによれば, 内側型OA膝の進行に伴って歩行中の膝関節内反モーメントが増大するため, 膝関節内反モーメントがOA膝の進行指標になるとされている。

表4. Correlation between kinetic parameters and radiographical evaluation. QOL Scores or Muscular force of quadriceps : r value.

	Gait velocity	Peak value of flexion moment	Peak value of varus moment
KLS	-0.22	0.02	0.15
FTA	-0.2	-0.01	0.31
JOAS	0.03	-0.57	0.15
OKS	0.06	-0.16	0.19
VAS	-0.49	0.33	-0.03

Pearson product-moment correlation coefficient

今回行った3次元歩行解析の結果では、内反モーメントと歩行時痛との関連は認められなかったが、FTAが増加するに伴い歩行中の内反モーメントが大きくなる傾向を認めていた。FTAの増加は膝関節の内反変形の進行を意味しており、接地直後の膝内反動揺 (lateral thrust) が生じていることを反映していると考えられ、内反モーメントが膝関節の内反変形の進行指標になる可能性を示唆していると考えられる。

また、OA膝の進行に伴い、歩行速度が減少する、あるいは、OA膝では屈曲モーメントが増加することが報告されている¹⁾。今回の検討においても、歩行速度の減少と歩行時の屈曲モーメントの増加が歩行時痛の増悪を反映していたことから、これらの歩行解析パラメータと臨床症状との関連が認められ、臨床症状を反映する指標になる可能性を示唆していると考えられる。

今回の研究で我々が使用した3次元動作解析装置はX線を用いることなく、非侵襲的に様々な動作中の関節負荷を計測することが可能であり、患者が症状を訴える歩行や階段昇降などのADL動作を計測することで、より病態を反映した指標を取得できると考えている。本研究のLimitationとして、19例の結果によるものであり、明確な結論を出すには症例数が少ないこと、取得した動作データが歩行のみであり、階段昇

降やしゃがみこみなど、OA膝において膝関節痛が誘発されるような動作を網羅していないことが挙げられる。しかし、今後さらなる動作解析のデータを蓄積することで、OA膝の進行の指標となりうる運動力学的なパラメータを導き出し、より簡単な動作分析により疾患評価のための統一的な計測手法を確立し、的確な診断のための簡便な指標を提唱することが可能になると考えている。同時に、実際の日常生活動作を動的に評価することで、各々の病態に応じた適切な装具治療の選択や生活指導指針の作成を通じて有効な進行予防法の提唱も可能になると考えられる。

結 論

内側型OA膝の歩行時の膝関節の力学的負荷を解析した結果、膝関節痛の増悪に伴う歩行速度の減少と屈曲モーメントの増加、および、下肢のアライメント不良に伴う内反モーメントの増加が、それぞれ観察され、膝関節の運動力学パラメータがOA膝の臨床症状や内反変形の進行を反映する指標になる可能性が示唆された。

<謝 辞>

本研究は、「厚生労働科学研究費補助金 (長寿科学総合研究事業) : 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL障害の解明に関する研究」の一環として行った。また、上杉裕子看護師 (神

戸大学大学院保健学研究科看護学領域) より患者データを提供頂いた。

文 献

- 1) Heiden TL, Lloyd DG, et al. : Knee joint kinematics, kinetics and muscle co-contraction in knee osteoarthritis patient gait. *Clin Biomech* 2009 [Epub ahead of print].
- 2) Hurwitz DE, Ryals AR, et al. : Knee pain and joint loading in subjects with osteoarthritis of the knee. *J Orthop Res* 18 : 572-579, 2000.
- 3) Hurwitz DE, Ryals AB, et al. : The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. *J Orthop Res* 20 : 101-107, 2002.
- 4) Kawakami H, Sugano N, et al. : Gait analysis system for assessment of dynamic loading axis of the knee. *Gait Posture* 21 : 125-1, 2005.
- 5) Kawakami H, Sugano N, et al. : Change in the locus of dynamic loading axis on the knee joint after high tibial osteotomy. *Gait Posture* 21 : 271-278, 2005.
- 6) Kellgren JH, Lawrence JS. : Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis* 16 : 494-502, 1957.
- 7) Mündermann A, Dyrby CO, et al. : Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity : reduced walking speed. *Arthritis Rheum* 50 : 1172-1178, 2004.
- 8) Miyazaki T, Wada M, et al. : Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 61 : 617-622, 2002.

運動療法 — 自主訓練プログラムの進め方

片岡晶志¹⁾

Key Words 変形性膝関節症 大腿四頭筋訓練 股関節外転訓練 保存的治療

内容のポイント Q&A

Q1 自主訓練プログラムの具体的方法は？

Sherrington らのメタ解析の結果、歩行訓練により転倒のリスク増加することが判明した。したがって、膝 OA の訓練プログラムに歩行訓練を含む際には注意が必要である。また膝関節の屈曲に問題がなければ、自転車エルゴメーターも勧めるが、自宅への購入は勧めない。

Q2 効果とエビデンスはどうか？

対象、期間、介入方法、訓練の種類、量、評価方法等に関してさまざまであり「どの方法が最も有効か？」については不明である。

自主訓練のポイントは、「いかに継続してもらえるか」である。種々の等尺性運動はエビデンスは十分にあるので、安全に継続さえしてもらえば効果は得られると思われる。

Q3 課題と展望は？

予防から始まって保存的治療まで網羅した日本独自の变形性膝関節症保存的治療のガイドラインができれば、標準的な予防・治療が浸透し、治療する医療側、受ける患者側にメリットがあるのみではなく、エビデンスの構築も容易になると思われる。

はじめに

ROAD 研究によれば、X 線像における Kellgren-Lawrence (KL) グレード 2 以上の有病率は 40 歳以上の住民で男性 42.6%、女性が 62.4% であり、これらのうち膝関節痛を認めるものは 1/3 程度で

あった。また、この比率からわが国の变形性膝関節症(膝 OA)の推定患者数(40 歳以上)は 2,530 万人、そのうち有症状のものは約 800 万人と報告されている¹⁾。

総務省統計局によれば、現在生産年齢人口は年間 57 万人減少し、年少人口も 18.5 万人減少している。一方 65 歳以上の老年人口は毎年 61.4 万人増加している。超高齢化社会といわれて久しいが、いまだに回復の兆しはみえない²⁾。今後ますます高齢化は進み、それとともに膝 OA の占める割合が増加する可能性は否定できない。

* Home exercise program for osteoarthritis knee patients

¹⁾ Masashi Kataoka MD

大分大学医学部附属病院リハビリテーション部

Nigel³⁾は膝の慢性疼痛やOAの人は股関節周辺骨折や脊椎以外の骨折の危険性が大きく、Graemo⁴⁾は骨密度に関係なくOA患者は姿勢制御問題や易転倒性により脊椎以外の骨粗鬆症骨折の発生頻度が高いと報告しており、膝OAは、転倒や骨折等運動器全般にわたる障害のトリガーといっても過言ではない。

膝OAの治療のうち、NSAIDs、ヒアルロン酸の関節注射、装具療法、人工膝関節置換術(TKA)等、病期に合った多くの治療法があるが、初期から末期関節症に至るまでどの病期でも有効であるといわれているのが運動療法である。これまでに患者に訓練方法を指導し、かつその効果を上げるための運動療法プログラムは多く報告されている。訓練の種類や負荷の量等さまざまであることはいうまでもない。本稿ではこれまでに報告された訓練プログラムを検証し、かつ筆者らの自主訓練プログラムを紹介する。



膝OAの運動療法

(1) これまでの報告

実に内外の多くの報告があり、それぞれ参加者、参加者数、期間、運動方法、評価方法、効果が異なることはいうまでもない。特に運動方法において単一運動を指導した研究報告は少なく、いずれもいくつかの組み合わせによる方法で行っている。したがってこれらの結果をみて、運動方法の優劣を決定することは不可能に近い。

これまでわが国において単一運動を指導し検証した黒澤らのグループ(清水⁵⁾、桜庭⁶⁾、黒澤⁷⁾)の3報告と日本整形外科学会のRCTの報告⁸⁾はSLRについて検証しており参考にできる。一方Jamtvedtらは23の報告の解析を行い、体重減少と自転車、プール内運動、膝筋力訓練が有効であると結論づけている⁹⁾。

運動療法には数多くの方法があり、エビデンスも多い。鳥巢らは関節軟骨の破壊や滑膜炎の再発を予防するためには筋肉の萎縮を回復させ、dynamicな安定性が必要であり、筋力訓練の重要性を強調している¹⁰⁾。等尺性運動、等張性運動、

等速性運動、経皮的電気刺激法等があるが、膝OAの患者は高齢者が多いことから、自分でできる単純な訓練で、屈曲伸展により関節を痛めることのないという観点からSLRと股関節外転訓練を勧めている。しかしながら、Elizabethらは8週間の股関節外転筋訓練において、股関節外転筋力は増強し、機能面と疼痛の改善はみられたが、膝の内反モーメントにおいては変化がなかったと報告し、股関節外転訓練は機能的改善や疼痛改善に効果はあるが、膝の負荷を減ずることはない結論づけている¹¹⁾。また、Doiらは膝OA患者142人を2つのグループに分け、対象群にはSLRを指導、コントロール群にはNSAIDsを投与し8週間のスタディを行った結果、両者に有意差はないものの、JKOMの平均値はわずかにSLR群が勝っていたと報告している¹²⁾。

(2) 転倒と膝OA

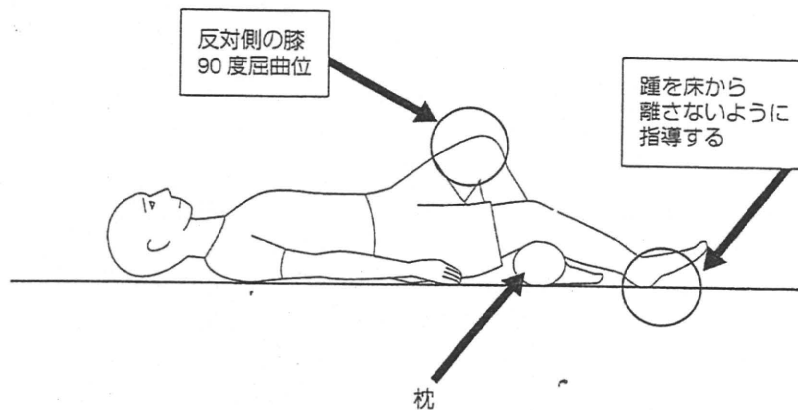
Nickらは膝伸展筋力は65～75歳の静的、動的バランスの重要な決定因子であり、膝OAと転倒とは密接な関係があると報告している¹³⁾。

2008年、Sherringtonらは転倒防止に関する有効な44論文(9,603人参加)のメタ解析を行った結果、全体で平均17%の転倒防止効果があった¹⁴⁾。注目すべき点は転倒防止に効果的な因子はバランス訓練と下肢筋力訓練量、歩行練習プログラムを含まないことの3点である。すなわち、バランス訓練と下肢筋力訓練量の違いにより転倒率はそれぞれ0.79倍、0.80倍に減少するのに対して、歩行練習プログラムが入っている場合、転倒率は1.32倍に増加していた。その理由として、参加者はプログラム中により大きな転倒のリスクにさらされ、実際に多くの転倒が起こっていること、またバランス訓練に費やす時間を歩行訓練に使ってしまう点をあげている。歩行訓練はフィットネスや体重減少、血圧低下等健康に有益とされているため、高齢者の運動プログラムに含まれがちであるが、転倒防止を主目的としたプログラムを考える場合、十分なバランス訓練を第一に考えるべきであると報告している。

(3) 運動療法の実際

理想的な膝OAの訓練プログラムは、安全性、

■ 図1 セッティング



反対側の膝を90度屈曲して行う。訓練側の踵を床から離さないように注意する(足関節を背屈する必要はない)。枕の大きさはバスタオル2枚を丸めたくらいのものがちょうどよい。一気に力を入れ、5秒間持続し、さっと力を抜くことが大切である。

継続率を考えた場合に、①高齢者が簡単にできる運動、②下肢伸展筋の筋力強化訓練を含む、③等尺性運動が主体、④歩行訓練を含むないことが主体になると考えている。

a. 通常の外来では患者にセッティング、SLR、股関節外転訓練を勧めている。セッティングは膝下に小枕を置き、枕を潰すように指導する。踵を床から離さないようにし、5秒間行う。大腿四頭筋に力を入れるときは一気に入れ、リラックスするときもすっと力を抜くように行う。1セット30回、1日3セット指導している(図1)。

b. SLRに関しては必ず足関節を最大背屈し、膝完全伸展位で行う。反対側の膝は90度屈曲し、腰部の負担を軽減する。また、付加を追加する際には足関節部ではなく、大腿部に置くように指導する。1セット30回、1日3セットを目標に指導する(図2)。

c. 股関節外転訓練では、股関節の過度の外転で股関節痛を訴えることがあるので注意する。外転の目安は体幹の高さより少し高い程度でよい。SLRと同様に足関節を最大背屈し、膝完全伸展位で行う。また股関節を外転する際には体幹軸に沿ってか、やや後方に向けて外転を指導する。1セット30回、1日3セットを目標に指導する(図3)。個人的な印象では一般外来での指導ではセッティングが最も継続でき、患者も「膝が伸びたような

感じがして楽になった」「階段を下る際に楽になった」と満足するケースが多い。もちろんこれだけでは不十分であるが、何もしていなかった患者には著効する。



運動療法の評価法

これまでの膝OAの研究報告においても多くの評価法が用いられている。医師主導型の評価法は日本整形外科学会変形性膝関節症治療成績判定基準(JOAスコア)がある。

(1) 患者立脚型

① WOMAC

(Western Ontario and McMaster Universities)

疾患特異的QOLの評価法であり、1988年にBellamyにより開発、公開された。日本語翻訳版があり、疼痛5項目と機能17項目に分かれており、100点満点に換算可能である。効果判定に医療側の評価に加え、WOMACによる評価を加えるとさらに質の高い研究となる¹⁵⁾。

② JKOM

(Japanese Knee Osteoarthritis Measure)

疾患特異的QOLの評価法で日本整形外科学会等3学会で作成し、2005年Akaiらによって報告された。膝OAに由来する疼痛、日常生活活動、移動、家事、趣味、社会活動から成る25からの