

変形性膝関節症患者の膝機能に及ぼす運動効果 — X線重症度別検討 —

宮川博文¹⁾ 池本竜則¹⁾²⁾ 本庄宏司³⁾ 赤尾真知子⁴⁾ 大須賀友晃⁵⁾
牛田享宏¹⁾²⁾ 佐藤啓二⁴⁾

¹⁾ 愛知医科大学運動療育センター

²⁾ 愛知医科大学学際的痛みセンター

³⁾ 小牧第一病院

⁴⁾ 愛知医科大学医学部整形外科

⁵⁾ 青木記念病院

Effects of physical training in knee OA cases —Functional analysis based on X-ray grading—

HIROFUMI MIYAGAWA¹⁾, TATUNORI IKEMOTO¹⁾²⁾, HIROSI HONJO³⁾, MACHIKO AKAO⁴⁾, TOMOAKI OSUGA⁵⁾,
TAKAHIRO USHIDA¹⁾²⁾ and KEIJI SATO⁴⁾

¹⁾ *Institute of Physical fitness, Sports medicine and Rehabilitation, Aichi Medical University*

²⁾ *Multidisciplinary Pain Center, Aichi Medical University*

³⁾ *Komaki Daiichi Hospital*

⁴⁾ *Department of Orthopaedic Surgery, Aichi Medical University of Medicine*

⁵⁾ *Aoki Memorial Hospital*

Background: In an aging society, osteoporosis of the spine and osteoarthritis of the major joints are becoming major problems limiting ADL activities in the elderly. Among them, the most common problems remain in knee joints. Usually conservative treatments such as NSAIDs and injections into the knee joints are selected as standard therapy. Physical training has been recommended for very few patients and the effects of physical training for knee OA patients has not been thoroughly understood.

Aim of this study: The aim of this study is to clarify the effects of physical training for knee OA patients.

Methods: This study is approved by the ethical committee of Aichi Medical University (Approval number: 12-101). The subjects are patients at Physical Fitness Sports Medicine Rehabilitation of Aichi Medical University (PSR) receiving physical training for their knee pain caused by osteoarthritis (OA) and patients of Orthopaedic Clinic (OC) receiving conservative treatments for the knee who have agreed to join this study. The PSR group consists of 54 cases including 42 female and OC group consists of 71 cases including 57 female. The degree of knee OA change was diagnosed through X-ray of the knee in standing position according to Kellgren-Lawrence classification (KL). Knee functions were evaluated using a JKOM questionnaire. Knee pain was checked by VAS score. Correlation between KL classification, VAS score and JKOM score including sub-scales were studied and compared among both the PSR and the OC groups.

Results: The JKOM score of the PSR group showing a severe degree of knee OA improved with significant difference compared to the OC group. The PSR group showing mild OA did not show any difference from The OC group with mild OA. Even among patients with severe

OA change of the knee in X-ray examination, physical training disclosed significant improvement of their knee function and subjective pain.

Key words: osteoarthritis of the knee joints (変形性膝関節症), X-ray grading (X線重症度), effects of physical training (運動効果)

緒 言

急速な高齢化に比例して加齢に伴う骨関節疾患は増加し、中高年者の日常生活動作を障害するロコモティブシンドロームの大きな要因となっている。その主たるものが、変形性膝関節症（以下膝OA）であり、膝OAへの対応は大きな社会問題である。

厚生労働省の平成19年度国民生活基礎調査¹⁾の結果と、2005年より開始された大規模臨床統合データベースを用いた研究活動であるROAD (Research on Osteoarthritis Against Disability) プロジェクト^{2,3)}より以下のことが明らかとなった。1) 高齢者が要支援になる原因の1位、要介護になる原因の4位が関節疾患であり、運動器の障害が高齢者の生活の質 (quality of life: QOL) を著しく障害している²⁾、2) 日本の膝OA患者数 (40歳以上) について、X線像により診断される患者数は2,530万人 (男性860万人、女性1,670万人) であるが、膝OAの有症状患者数は約800万人と推定される²⁾、3) 膝OAは身体的QOLの指標であるphysical component summary値を有意に低下させる³⁾等である。

膝OAの治療は、保存治療と手術治療の2つに大きく分けられる。我が国において手術治療の大部分を占める人工膝関節置換術は年間約7万件施行されているが、膝OAの有症状患者の1%あまりに過ぎず、大部分の患者は保存療法として薬物療法 (内服及び外用剤) や関節注射を受けており、一部の患者は極超短波や温熱療法等の理学療法等も受けている⁴⁾。一方医学的管理と安全対策下で、運動指導を受けている患者は極少数であり、運動療法が膝OA患者の膝関節機能に及ぼす影響について、十分理解されているわけではない。

愛知医科大学運動療育センター (以下PSR) は、1988年より健康増進医学の確立を目指すと共に、教育・研究の場として開設されたものであり、1. Physical Fitness, 2. Sports Medicine, 3. Rehabilitationを3つの柱として、より安全で効果的な健康づくりプログラムの開発および実践を行ってきた。

本研究は、PSR利用者と愛知医科大学病院整形外科 (以下OC) 受診者に対して、X線重症度 (Kellgren-

Lawrence分類、以下K-L分類: 図1) に基づき、K-L I・II群をKL軽症群、K-L III・IV群をKL重症群とし、2群について日本版膝関節症機能評価尺度 (以下JKOM) を比較し、運動指導による運動効果が膝関節機能に及ぼす影響を明らかにしようとしたものである。

対象及び方法

1. 対 象

膝OAに対する治療のためPSR、OCへ通っているものの中で、研究参加の同意が得られたものを対象とし、本学倫理委員会の承認 (受付番号12-101) を得て行った。研究参加の条件は、初期評価時50歳以上であり、重篤な全身的な疾患がなく、少なくとも片側に膝関節痛が認められるものとした。また、人工膝関節置換術施行例および運動器を制御する神経系に障害のある症例は除外した。尚、対象は女性比率が高いことからPSR群、OC群 (男性例と女性例を含む) とは別に、女性例 (PSR-F群、OC-F群) についても比較検討を加えた。

PSR群は、当施設で1年以上の運動歴があり、整形外科にて治療を受けていない54例を対象とした。その内PSR-F群は42例であった。OC群は、当大学病院整形外科にて膝OAと診断され、通院加療している71例とした。その内OC-F群は57例であった (表1)。

2. 膝関節機能評価

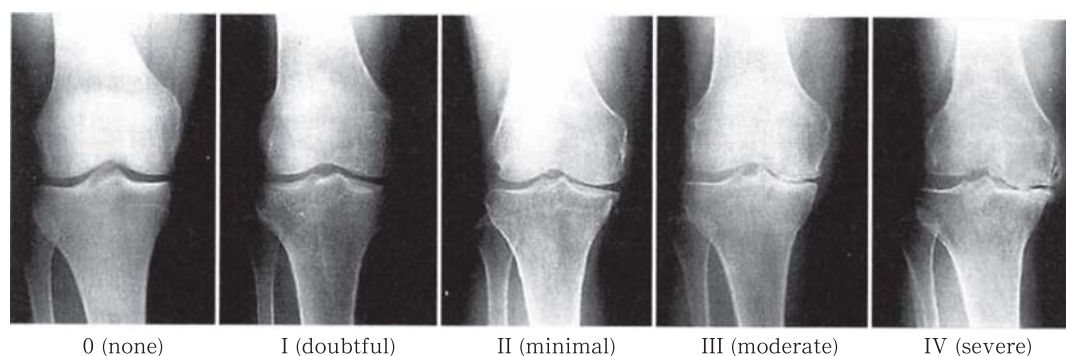
膝関節機能の評価にはAkaiら⁵⁾の開発したJKOM (Japanese Knee Osteoarthritis Measure) を用いた。全く症状がない場合のスコアが0点、最も症状が強い場合のスコアは100点であり、症状が強いほどスコアが高い評価方法である。

3. 検 討 方 法

両膝の立位正面のX線を用い、K-L分類 (図1)⁶⁾ に基づき、複数の整形外科医による判定から、グレード0~IVに分類し、左右で違いがある場合、高い側のグレードを採用した。PSR群、OC群それぞれについて、I・IIのKL軽症群とIII・IVのKL重症群に分け、疼痛尺度であるVAS (Visual Analog Scale) 値、JKOM総スコア、JKOM下位尺度の個別評価である痛み・こわばり、ADL、普段

表 1. 症例数と平均年齢

| PSR 群 | | OC 群 | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 54 (70.9±7.2) | | 71 (71.5±7.4) | |
| KL 軽症群 | KL 重症群 | KL 軽症群 | KL 重症群 |
| 36 (69.4±7.6) | 18 (73.8±5.5) | 24 (67.6±8.4) | 47 (73.5±8.0) |
| PSR-F 群 | | OC-F 群 | |
| 42 (71.0±6.6) | | 57 (71.5±8.6) | |
| KL 軽症群 | KL 重症群 | KL 軽症群 | KL 重症群 |
| 26 (69.0±6.5) | 16 (74.3±5.1) | 21 (67.8±8.5) | 36 (73.7±7.9) |

図 1. Kellgren-Lawrence (K-L) 分類 (文献⁶⁾ より引用)

grade 0: 正常

I: 関節裂隙狭小のないわずかの骨棘形成, または軟骨下骨硬化

II: 関節裂隙狭小 (25%以下) あるも骨変化なし

III: 関節裂隙狭小 (50~75%) と骨棘形成, 骨硬化像

IV: 骨変化が著しく, 関節裂隙狭小 (75%以上) を伴う

の活動, 健康状態を評価し, 比較検討した.

4. 有意差検定

X線重症度別比較に χ^2 乗検定を, 膝関節機能評価については, Mann-Whitney U 検定を用い, 危険率 5%未満を有意水準とした.

結 果

1. 症例の X線重症度比較

PSR・KL 軽症群は 36 例, OC・KL 軽症群は 24 例であり, PSR・KL 重症群は 18 例, OC・KL 重症群は 47 例であった. OC 群は PSR 群に比べ X線重症度が有意に高かった (表 2). 女性例に限った PSR-F・KL 軽症群は 26 例, OC-F・KL 軽症群 21 例であり, PSR-F・KL 重症群 16 例, OC-F・KL 重症群 36 例であった. 全体群と同様 OC-F 群は PSR-F 群に比べ, X線重症度が有意に高かった (表 2).

表 2. 症例の X線重症度比較

| | PSR 群 | OC 群 | PSR-F 群 | OC-F 群 |
|--------|----------|------|----------|--------|
| KL 軽症群 | 36 例 | 24 例 | 26 例 | 21 例 |
| KL 重症群 | 18 例 | 47 例 | 16 例 | 36 例 |
| | p=0.0003 | | p=0.0136 | |

2. 膝関節機能評価に基づく群間比較

VAS 値について, PSR・KL 重症群は, OC・KL 重症群に比べ有意差を持って低値を示した ($P=0.017$). 一方 PSR・KL 軽症群と OC・KL 軽症群間では, 有意差を認めなかった (図 2). 女性例に限っても同様であり, PSR-F・KL 重症群は OC-F・KL 重症群に比し, 有意差をもって低い VAS 値を示したが ($P=0.008$), KL 軽症群においては, 有意差を認めなかった (図 2).

JKOM 下位尺度の痛み・こわばりについて, PSR 群と OC 群では有意差を認めなかった (図 3). 一方女性例

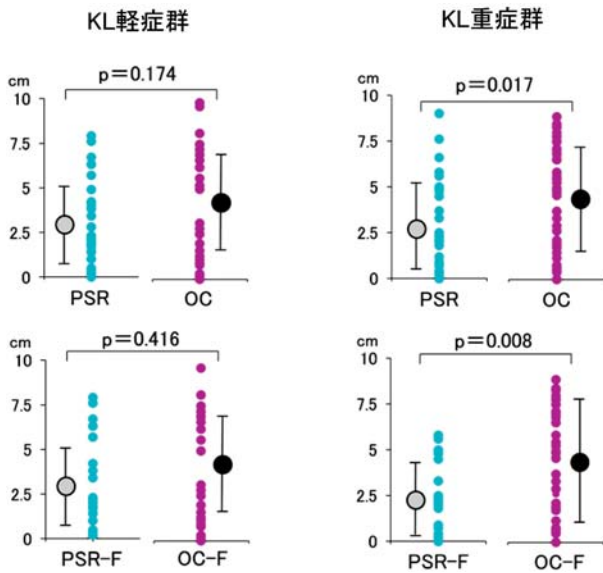


図2. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における VAS スコア

に限れば, PSR-F・KL 重症群は OC-F・KL 重症群に比し有意な低値を示した ($P=0.020$) が, PSR-F・KL 軽症群と OC-F・KL 軽症群間に有意差を認めなかった (図3).

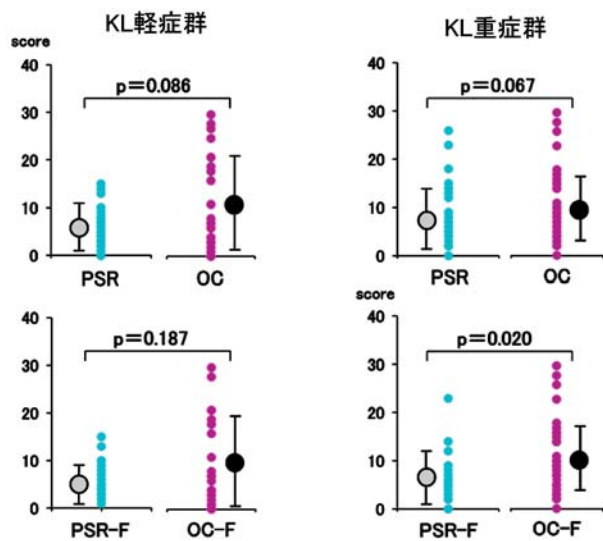


図3. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における JKOM (痛み・こわばり) スコア

ADL について, PSR・KL 重症群は OC・KL 重症群に比し有意差をもって低値を示した ($P=0.028$). PSR・KL 軽症群は OC・KL 軽症群に比し, 低値を示す傾向を認めるが, 有意差を認めなかった (図4). 女性例でも同様

であり, PSR-F・KL 重症群は OC-F・KL 重症群に比し, 明らかに低値を示した ($P=0.007$) が, PSR-F・KL 軽症群と OC-F・KL 軽症群間に有意差を認めなかった (図4).

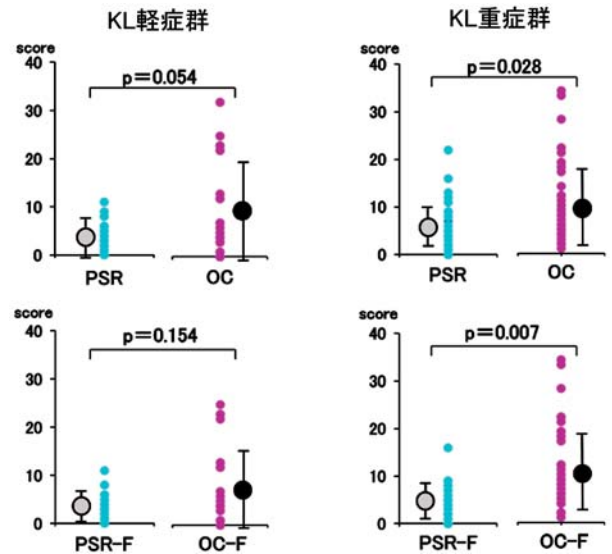


図4. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における JKOM (ADL) スコア

普段の活動について, PSR・KL 重症群は OC・KL 重症群に比し有意差を持って低値を示し ($P=0.014$), PSR・KL 軽症群も OC・KL 軽症群に比し有意差を持って低値を示した ($P=0.036$) (図5). 一方女性例に限れば, PSR-

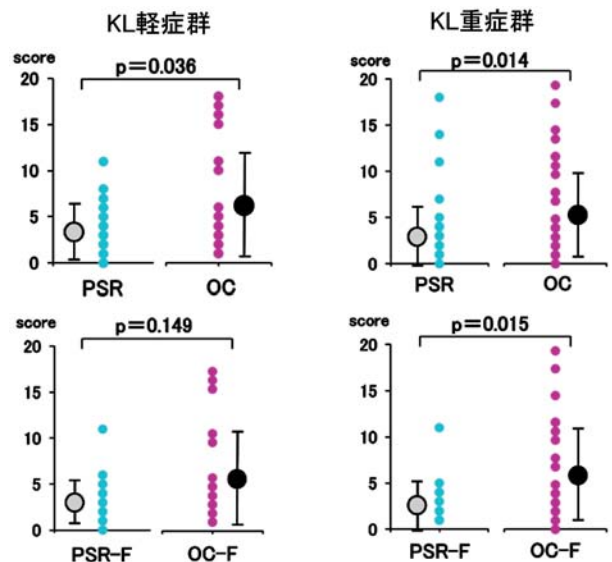


図5. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における JKOM (普段の活動) スコア

F・KL重症群はOC-F・KL重症群に比し、有意差を持って低値を示した ($P=0.015$) が、軽症群間の有意差を認めなかった (図5).

健康状態について、PSR・KL重症群とOC・KL重症群、PSR・KL軽症群とOC・KL軽症群、PSR-F・KL重症群とOC-F・KL重症群、PSR-F・KL軽症群とOC-F・KL軽症群間に有意差を認めなかった (図6).

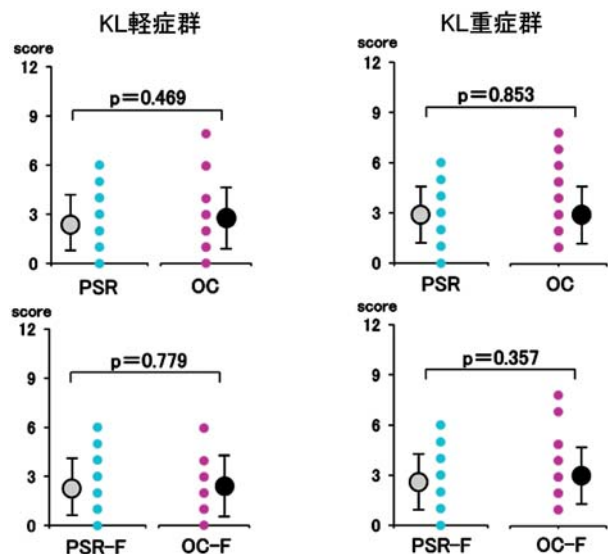


図6. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における JKOM (健康状態) スコア

JKOM 総スコアについて、PSR・KL重症群はOC・KL重症群に比し、有意差を持って低値を示した ($P=0.032$) が、PSR・KL軽症群はOC・KL軽症群に比し低値を示す傾向を認めたが、有意差は認めなかった (図7). 女性例でも同様であり、PSR-F・KL重症群はOC-F・KL重症群に比し有意差を持って低値を示した ($P=0.006$) が、PSR-F・KL軽症群とOC-F・KL軽症群間に有意差を認めなかった (図7).

考 察

X線進行度別での運動療法の有効性について、池田ら⁸⁾は、関節軟骨が比較的残存している軽症例に対する有効性は極めて高かったが、病期が進行するにしたがって有効性は低下し、関節裂隙が1 mm未満の末期例の場合は症状のコントロールが困難なため、訓練開始後3年以内に64%が手術に至ったと報告した。また、石島ら⁹⁾は、膝OAにおける運動療法は、X線上の関節裂隙が減少するほど、そして年齢が上がるほど、効果が得られにくくなるという限界の存在を報告した。石井¹⁰⁾は、膝OAで軟

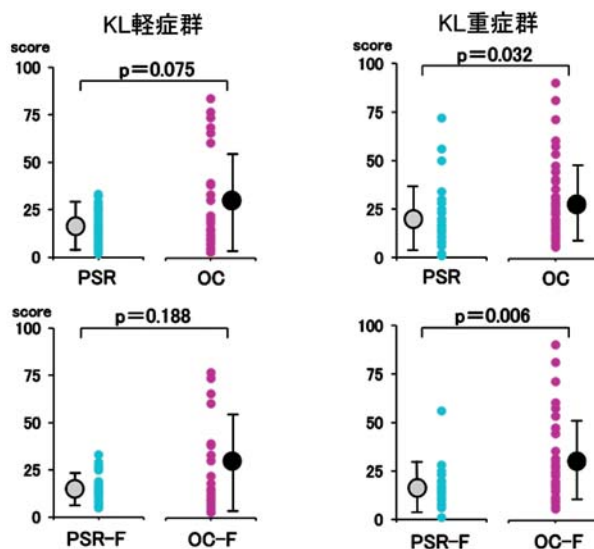


図7. PSR (PSR-F), OC (OC-F) における JKOM 総スコア

骨の摩耗変性を認める病態が進行した症例に対する理学療法の効果は考えにくいとし、膝OAに対する理学療法で効果が期待できるのは、おそらくK-L分類IIまでと報告した。

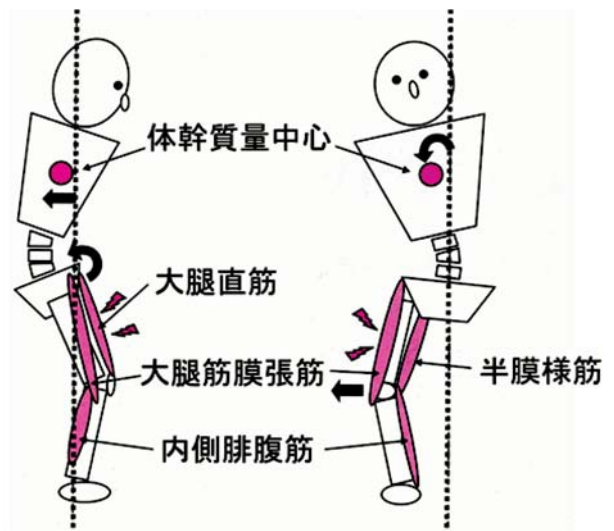
本研究において、VAS値に示される自覚的疼痛は、K-L III・IVという重症群において、運動療法を行っているPSR群が通院加療を行っているOC群に比し、明らかに低値を示す結果を得た。X線学的重症度分類で重症群に分類されていることは、軟骨消失の程度が高度であることを示すが、このような対象例であっても、運動療法を継続することにより保存治療を受けた群に比し有意差を持って自覚的疼痛が軽減することは興味深い。

膝関節機能評価であるVAS値、JKOM総スコア、JKOM下位尺度のADLスコア、普段の活動スコアについて検討をしたところ、K-L III・IVという重症群において、運動療法を行ったPSR群が通院加療を受けたOC群に比し、有意差を持って低値を示し、運動療法の効果がK-L III・IVという重症群において顕著に認められることを示した。一方K-L I・II群という軽症群においては、PSR群はOC群に比し、低値を示す傾向を認めたが有意差はなく、運動療法が膝機能に関して、有意差を得るところまで、改善させる程の効果を示すものではなかった。

さらに女性に限定したPSR-F群とOC-F群については、PSR-F・KL重症群はOC-F・KL重症群に比し、VAS値、JKOM総スコア、JKOM下位尺度の痛み・こわばりスコア、ADLスコア、普段の活動スコアについて、P

値はより低く、有意差を持って運動療法が膝機能を改善していることを示した。一方 JKOM スコア中の健康状態スコアについてみると、PSR 重症群と OC 重症群間、PSR 軽症群と OC 軽症群間に差はなく、さらに女性例に限っても有意差を認めず、対象症例の健康状態が本研究に及ぼす影響はないと判断した。

Delisa ら¹¹⁾は、膝 OA 症例では、膝関節痛に伴い身体活動量の低下を来し、その結果としてさらに著しい体力低下が引き起こされ、膝 OA の状態が悪化したり、活動能力低下が進行するとし、運動療法はこれらの悪循環を断ち切る役割を持ち重要であると報告した。また、池田ら¹²⁾は、膝 OA では疼痛による活動性低下により筋肉や骨に萎縮が出現するため、治療においては疼痛の改善と共に萎縮の改善が目的となるが、薬物療法や物理療法は受動的治療法のため、萎縮に対する直接的な効果は期待できず、能動的治療法である運動療法が重要と報告した。今回、K-L III・IV 重症群において、PSR 群が OC 群に比較し、膝関節機能が優れていた理由として、K-L III・IV 重症群で特に活動性に制限が生じている症例においては、PSR 群は、適切な医学的管理と安全対策下において、体力強化を含む適切な運動療法を継続して行った結果、活動性が維持され、通院し保存治療を受けている OC 群に比し、膝関節機能が有意差をもって優れ、VAS スコアに認められるように、自覚的疼痛も軽減する結果を得たと考える。



〈矢状面〉

〈前額面〉

図 8. 膝 OA の姿勢方略 (文献¹⁵⁾ より引用)

この保存的治療で重要な運動療法の問題点として、継続が困難なことが挙げられる。Ettinger ら¹³⁾は、運動療法中のドロップアウト率は 30~50%と報告した。また、Cox ら¹⁴⁾は、運動療法の継続率は、自宅において一人で行うより、専門の運動施設において集団で行う方が高いと報告し、集団指導の有用性を示した。愛知医科大学・運



● 下肢機能改善を目的とした筋力強化、ストレッチング



● 肥満改善、心肺持久力向上を目的とした有酸素運動

図 9. 運動療育センターにおける訓練内容

動療育センターでは、膝 OA 患者に対し、医師・理学療法士が運動療法の意義、内容を説明した上で、個別運動療法を具体的に指導する事にしており、グループワーク、訓練用ノートの活用により患者自身に自分で治すという意欲を持たせ、継続の意義を理解させるようにしてきた。

膝 OA に対する運動療法について、坂本ら¹⁵⁾は、膝 OA においては膝関節のみならず体幹・股関節を含めた全身的なアプローチが必要と報告した。重症膝 OA の典型的な立位姿勢は、矢状面においては、骨盤後傾によって大腿直筋、大腿筋膜張筋、腓腹筋の収縮により膝関節屈曲位での姿勢保持が行われ、前額面では、中殿筋の代わりに大腿筋膜張筋－腸脛靭帯による受動的支持による股関節外転・外旋位での姿勢保持と半膜様筋と内側腓腹筋の同時収縮によって膝関節の安定性を高め側方への動揺を制動している (図 8)¹⁶⁾。また、膝 OA の歩行において、骨盤の側方傾斜 (Trenderenburg 歩行)、体幹の側方傾斜 (Duchenne 歩行) は、膝関節の内側荷重応力を増加させることが報告されている¹⁷⁾¹⁸⁾。そのため、膝関節の内側荷重応力を軽減するには体幹の能動的安定化が必要である。体幹の能動的安定化には、腹横筋、多裂筋、横隔膜、骨盤底筋で構成される体幹インナーユニットの協調的な筋活動が要求され、中殿筋および大殿筋の活動は骨盤の側方傾斜制御に不可欠である。また、川越¹⁹⁾は、膝 OA の運動療法として、大腿四頭筋は矢状面での制御には有効だが、前額面での制御能力はそれのみでは乏しく、膝 OA の代表的な症状である側方動揺は運動連鎖の破綻として捉えられ、膝関節の問題だけにとどまらず、姿勢制御や動的アライメントの観点から検討する必要があると報告した。

これらの報告を参考とし、運動療育センターにおいては、歩行時や荷重時の力学的負荷、特に回旋動揺性の制御に主眼を置いた下肢・体幹筋群に対する筋力増強訓練・ストレッチング^{20)~22)}に加え、姿勢制御能力向上を目的とした立位バランス訓練と心肺持久力向上、肥満改善を目的とした有酸素運動を中心に組み立てている (図 9)。

運動療法の効果のメカニズムに関して、一般的には筋力増加に伴う関節の安定化、荷重応力の分散、軟骨への圧迫力の緩衝などが挙げられるが、運動によって筋力が増強する前から臨床成績は改善しているとの報告²³⁾もあり、バイオメカニカルな改善以外に、滑膜代謝、骨・軟骨代謝、関節包の伸展性への影響、疼痛発生因子の抑制など様々な要因が関与していることも考えられる。今回、特に膝 OA 重症例で PSR 群の成績が良好であった理由の一つとして、PSR 群は全例、水中運動を実施しており、浮力による荷重量の軽減、粘性による抵抗運動、温熱に

よるリラクゼーション効果を伴う全身運動が、体力維持、向上と共に、関節構成体の代謝に好影響をもたらした可能性がある。

膝 OA における膝関節機能向上に最も効果的な運動プログラムを開発することが必要であり、運動メニューと機能改善に関するデータを蓄積・分析することを今後の課題としたい。

結 語

膝関節痛を有する症例を対象とし、運動療育センター利用者と大学病院において保存治療を受けている群に分け、さらに X 線学的膝関節変形度分類である K-L 分類を用いて、I・II を軽症群、III・IV を重症群とし、2 群について膝関節機能評価法である JKOM スコアを評価し、比較検討した。さらに女性例に限って同様の検討を加えた。この結果、KL 分類重症群において、運動療育センターにて運動療法を継続した群は、大学病院にて保存治療を受けた群に比し、疼痛尺度である VAS 値に加えて、JKOM の総スコア、ADL スコア、普段の活動スコアが有意差を持って低値を示した。症例の大部分を占める女性群に限っては、JKOM 評価の痛み・こわばりスコアも有意差を持って低値を示しており、膝関節変形度の高い症例群において、運動療法は顕著な膝関節機能改善効果を示すことが明らかであった。

謝辞 御指導を賜りました丹羽滋郎名誉教授に深謝致しますとともに、研究におきましてご協力とご理解を頂きました運動療育センターの諸先生方に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 松田晋哉. 「運動器の 10 年」世界運動 高齢者介護問題と運動器疾患. 理学療法 2004; 21: 1135-9.
- 2) 吉村典子. 一般住民における運動器障害の疫学 大規模疫学調査 ROAD より. THE BONE 2010; 24: 39-42.
- 3) 村木重之, 阿久根徹, 中村耕三, 川口 浩, 吉村典子. 腰椎圧迫骨折は他の慢性疾患よりも QOL を低下させる—ROAD study—. オステオポロシス・ジャパン 2010; 18: 33-7.
- 4) Dieppe PA, Lohmander LS. Pathogenesis and management of pain in osteoarthritis. Lancet 2005; 365: 965-73.
- 5) Akai M, Doi T, Fujino K, Iwaya T, Kurosawa H, Nasu T. An Outcome Measure for Japanese People with Knee Osteoarthritis. J Rheumatol

- 2005; 32: 1524-32.
- 6) Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis* 1957; 16: 494-502.
 - 7) Neogi T, Felson D, Niu J, Nevitt M, Lewis CE, Aliabadi P, et al. Association between radiographic features of knee osteoarthritis and pain: results from two cohort studies. *BMJ* 2009 Aug 21; 339: b2844.doi:10.1136/bmj.b2844.
 - 8) 池田 浩, 黒澤 尚. 変形性膝関節症に対する運動療法の効果と限界. *日本臨床スポーツ医学会誌* 2007; 15: 340-7.
 - 9) 石島旨章, 池田 浩, 川崎隆之, 久保田光昭, 坂本優子, 金子晴香, ほか. 変形性膝関節症に対するホームエクササイズプログラムの実際・効果・限界そして問題点. *臨床スポーツ医学* 2011; 28: 607-15.
 - 10) 石井慎一郎. 変形性膝関節症一歩行解析からみた理学療法の可能性. *理学療法学* 2011; 38: 639-41.
 - 11) Delisa JA, Jain SS, Kirshblum S. *Rehabilitation Medicine: Principles and Practice*, Lippincott-Raven 1998: 1015-34.
 - 12) 池田 浩, 黒澤 尚. 変形性膝関節症に対する運動療法の効果と限界—日常生活機能から—. *臨床スポーツ医学* 2008; 25: 1017-21.
 - 13) Ettinger WH Jr, Burns R, Messier SP, Applegate W, Rejeski WJ, Morgan T, et al. A randomized trial comparing aerobic exercise and resistance exercise with a health education program in older adults with knee osteoarthritis. The Fitness Arthritis and Seniors Trial (FAST). *JAMA* 1997; 277: 25-31.
 - 14) Cox KL, Burke V, Gorely TJ, Beilin LJ, Puddey IB. Controlled comparison of retention and adherence in home- vs center-initiated exercise interventions in women ages 40-65 years. The S.W.E.A.T. Study. *Prev Med* 2003; 36: 17-29.
 - 15) 坂本雅昭, 粕山達也. 変形性膝関節症患者の筋力強化とその効果. *理学療法* 2009; 26: 1097-103.
 - 16) Schmitt LC, Rudolph KS. Muscle stabilization strategies in people with medial knee osteoarthritis: the effect of instability. *J Orthop Res* 2008; 26: 1180-5.
 - 17) Hunt MA, Birmingham TB, Bryant D, Jones I, Giffin JR, Jenkyn TR. Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2008; 16: 591-9.
 - 18) Henriksen M, Aaboe J, Simonsen EB, Alkjaer T, Bliddal H. Experimentally reduced hip abductor function during walking: Implications for knee joint loads. *J Biomech* 2009; 42: 1236-40.
 - 19) 川越 誠. 変形性膝関節症. *MB Med Reha* 2009; 105: 33-9.
 - 20) 丹羽滋郎, 高柳富士丸, 宮川博文, 井上雅之, 山本隆博, 稲見崇孝. *メディカルストレッチング*. 第二版, 東京: 金原出版, 2014: 86-99.
 - 21) 宮川博文. 中高齢者の健康づくり 膝機能向上のための筋肉へのアプローチ. *中部リハビリテーション雑誌* 2007; 2: 21-5.
 - 22) 宮川博文, 稲見崇孝, 高柳富士丸, 丹羽滋郎. 膝教室における大腿四頭筋機能訓練法. *運動療法と物理療法* 2008; 19: 42-9.
 - 23) 黒澤 尚. 変形性膝関節症に対する運動療法—われわれの方法と文献的考察—. *臨床スポーツ医学* 1997; 14: 861-6.