

例に対してより効果的かはまだ十分に検討されているとはいいがたい。

臨床研究の報告

足底挿板の臨床報告については、1975年の戸祭ら²¹が90%の症例で足底挿板の装着により疼痛が改善したとするものが嚆矢である。安田らのメカニズムの報告¹⁶⁾の後、本邦では1980年代にはいくつかの臨床報告がなされ、おおむね80-100%の症例で疼痛の軽減を認めていた。

欧米においては、1991年にWolfeらは内側型膝関節症患者の82%で、足底挿板は有効であったと報告した¹⁷⁾のが始まりである。同じ年にTohyamaらは、平均9年間の追跡にて臨床スコアであるHSSスコアが有意に優れていたがX線上の進行には影響を与えないと報告した¹⁸⁾。足底挿板による治療の研究についてはわが国が欧米に先んじていたことがわかる。

その後も臨床成績の報告は続き、足底挿板の臨床における効果が明らかとなっていく。疼痛は改善するが重症度指数は変わらない¹⁹⁾、脂肪の多い患者では効果が減弱する²⁰⁾、1日の至適使用時間は5-10時間である²¹⁾など、その効果・有効な使用方法についても検討されていった。

Todaらは2年間の追跡調査の結果、バンド固定型足底挿板の外反矯正と臨床症状の改善が維持されていたことを報告した²²⁾。足底挿板の補高部位について、Hinmanらは踵だけでなく、足底部全長の楔状補高のほうが臨床成績が良好であったと報告した²³⁾。

Marksらは、内側型膝OAに対する足底挿板の治療についてのreviewのなかで、疼痛を軽減させることについては十分な科学的根拠があると述べている²⁴⁾。一方、より効果的

な方法については十分に研究されていないとも指摘している。

より良い効果を目指して

Butlerらは、患者にさまざまな傾斜の足底挿板を試着させ、痛みの改善が優れたものを使用すれば、立脚初期の膝内反モーメントのピークを減少させると報告した²⁵⁾。つまり、処方する補高の高さが、臨床成績を改善させるのに大切であることが示唆された。

Todaらのように、足底挿板と他の装具を組み合わせることによる効果も検討されている。Nakajimaらは、足底板にアーチパッドを追加すれば、膝内反モーメントを低下させる効果がより大きいことを報告した¹³⁾。Shakoorらは、靴で歩行したときと比べて裸足で歩行したほうが12%も膝内反モーメントが減少したと報告し²⁶⁾、わずかなヒールでも靴によって膝内反モーメントが大きくなることか示された。Todaらは、足底挿板による効果とヒールとの関連を調査し、227名の膝OA患者に対して前向きに検討して、靴の使用が足底挿板の効果を減じると述べ、家の中では裸足またはヒールのない内履きとともに足底挿板を用いるべきだと述べた^{27,28)}。

高さの調整や、バンドやパッドといった他の物と組み合わせることにより、治療効果を増大させることは可能である。しかしながら、限られた診療時間のなかで患者ひとりひとりに適した足底挿板を処方することはなかなか難しい。

終わりに

装具療法は比較的廉価で非侵襲的であるため、今後さらなる基礎研究が期待される。有効な適応症例、長期使用における効果についてさらなる検討が望まれると筆者は考える。

膝関節装具（ブレース）も広く臨床で使用されているものの、装着のしにくさのため継続して装着する患者の割合が低いことが指摘されている²⁹⁾。医療費負担の観点から、今後ますます装具治療のニーズは高まると予想される。

本邦で開発され、世界へと広まっていった足底挿板による治療は膝 OA に対してますます重要な位置を占める可能性がある。基礎的・臨床的な効果、適応について理解を深め、適切に処方することは臨床医として大切なスキルではないかと考える。

文 献

- 1) Felson DT. et al: The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum.* 30: 914-918, 1987.
- 2) 戸祭喜八ほか：変形性膝関節症の楔状足底板に依る治療. *中部整災誌* 18 : 398, 1975.
- 3) Yasuda K. et al: The mechanics of treatment of the osteoarthritic knee with a wedged insole. *Clin Orthop Relat Res.* 215: 162-172, 1987.
- 4) Sasaki T. et al: Clinical evaluation of the treatment of osteoarthritic knees using a newly designed wedged insole. *Clin Orthop Relat Res.* 221: 181-187, 1987.
- 5) Toda Y. et al: Effect of a novel insole on the subtalar joint of patients with medial compartment osteoarthritis of the knee. *J Rheumatol.* 28: 2705-2710, 2001.
- 6) Toda Y. et al: Usefulness of an insole with subtalar strapping for analgesia in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum.* 47: 468-473, 2002.
- 7) Ogata K. et al: The effect of wedged insoles on the thrust of osteoarthritic knees. *Int Orthop.* 21: 308-312, 1997.
- 8) Crenshaw SJ. et al: Effects on lateral-wedged insole on kinetics at the knee. *Clin Orthop.* 375: 185-192, 2000.
- 9) Kerrigan DC. et al: Effectiveness of a lateral-wedged insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 83: 889-893, 2002.
- 10) Kuroyanagi Y. et al: The lateral wedged insole with subtalar strapping significantly reduces the dynamic knee load in the medial compartment — Gait analysis on patients with medial knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 15: 932-936, 2007.
- 11) 畔柳裕二ほか：外側楔状補高足底挿板の膝・足関節に及ぼす力学的負荷 足関節バンド固定型足底挿板の効果の検討. *靴の医学* 18 : 61-64, 2005.
- 12) Kakihana W. et al: Effects of laterally wedged insoles on knee and subtalar joint moments. *Arch Phys Med Rehabil.* 86: 1465-1471, 2005.
- 13) Nakajima K. et al: Addition of an arch support improves the biomechanical effect of a laterally wedged insole. *Gait Posture* 29: 208-213, 2009.
- 14) Shimada S. et al: Effects of disease severity on response to lateral wedged shoe insole for medial compartment knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 87: 1436-1441, 2006.
- 15) Kakihana W. et al: Inconsistent knee varus moment reduction caused by a lateral wedge in knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehab.* 88: 446-454, 2007.
- 16) 安田和則ほか：変形性膝関節症に対する楔状足底板の効果—その静力学的機序に関する検討. *臨床整形外科* 14 : 677, 1979.
- 17) Wolfe SA. et al: Conservative management of genu valgus and varum with medial/lateral heel wedge. *Indiana Med.* 84: 614-615, 1991.
- 18) Tohyama H. et al: Treatment of osteoarthritis of the knee with heel wedges. *Int Orthop.* 15: 31-33, 1991.
- 19) Pham T. et al: Laterally elevated wedged insoles in the treatment of medial knee osteoarthritis; a two-year prospective randomized controlled study. *Osteoarthritis Cartilage* 12: 46-55, 2004.
- 20) Toda Y. et al: Correlation between body composition and efficacy of lateral wedged insoles for medial compartment osteoarthritis of the knee. *J Rheumatol.* 29: 541-545, 2002.
- 21) Toda Y. et al: An optimal duration of daily wear for an insole with subtalar strapping in patients with varus deformity osteoarthritis of the knee. *Osteoarthritis Cartilage* 13: 353-360, 2005.
- 22) Toda Y. et al: A 2-year follow-up of a study to compare the efficacy of lateral wedged insoles with

- subtalar strapping and in-shoe lateral wedged insoles in patients with varus deformity osteoarthritis of the knee. *Osteoarthritis Cartilage* 14: 231-237, 2006.
- 23) Hinman RS. et al: Effect of length on laterally-wedged insoles in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 59: 144-147, 2008.
- 24) Marks R. et al: Are foot orthotic efficacious for treating painful medial compartment knee osteoarthritis? A review of the literature. *Clin Pract.* 58: 49-57, 2004.
- 25) Butler RJ. et al: The effect of subject-specific amount of lateral wedge on knee mechanics in patients with medial knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 25: 1121-1127, 2007.
- 26) Shakoор N. et al: Walking barefoot decreases loading on the lower extremity joints in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 54: 2923-2927, 2006.
- 27) Toda Y. et al: Influence of concomitant heeled footwear when a lateral wedged insole for medial compartment osteoarthritis of the knee. *Osteoarthritis Cartilage* 16: 244-253, 2008.
- 28) 戸田佳孝ほか：変形性膝関節症の治療：装具良好の有効性と限界—2006～2010年の国際雑誌掲載論文からの考察—。 *Geriat Med.* 48: 329-336. 2010.
- 29) Brouwer RW. et al: Brace treatment for osteoarthritis of the knee: a prospective randomized multi-center trial. *Osteoarthritis Cartilage* 14: 777-783, 2006.

前足部及び後足部接地により歩行及びランニング時の 下腿障害リスクは増加するか

笹山亜紗子^{#1} 松本 秀男^{#2} 世良 泰^{#1} 大谷 俊郎^{#3}
須田 康文^{#1} 戸山 芳昭^{#1} 名倉 武雄^{#4}

Does landing style during walking and running alter the risk of lower leg injuries ?

Asako SASAYAMA, BS., Hideo MATSUMOTO, MD., Yasushi SERA, BS.,
Toshiro OTANI, MD., Yasunori SUDA, MD., Yoshiaki TOYAMA, MD., Takeo NAGURA, MD.

Abstract

Foot strike patterns have been considered to be important in sports, and coaches make recommendations to change foot strike patterns with the intention to improve performance and prevent injuries. However, little is known about how the kinematics and kinetics of lower extremity changes due to alteration of foot strike patterns. Eight Pro-reflex cameras and a force plate were used to measure kinematics and kinetics of the lower extremity during walking and running. Thirteen healthy male subjects were asked to walk and run while intentionally changing their foot strike pattern to a forefoot strike pattern or rearfoot strike pattern. These data were compared with the subjects' normal walking and running. As a result, when walking and running with a forefoot strike pattern, eversion loads of the ankle joint increase and external moments that are resisted by ankle plantarflexion muscles and knee flexion muscles increase in the early loading phase. Therefore, in order to walk or run with a forefoot strike pattern, strengthening of the hamstring muscles and calf muscles are required while care is needed to prevent eversion injury of the ankle joint. Furthermore, sudden foot pronation and a decrease in the medial longitudinal arch were also seen during the forefoot strike pattern suggesting a greater risk for shin splints with excessive exercise stress. When walking or running with a rearfoot strike pattern, loads on the ankle joint decrease but external moments that place demands on the quadriceps muscles increase. Consequently, strengthening of the quadriceps muscles may be efficient for this strike pattern. However, sudden foot pronation and decrease of the medial longitudinal arch were not seen, thus, the rearfoot strike pattern may carry a smaller risk of inducing shin splints. Further research is needed to investigate how forefoot strike and rearfoot strike patterns influence movement when speed and direction of motion are changed.

Key words : Foot strike pattern, Shin splints, Biomechanics, Medial longitudinal arch.

- ※ 1 慶應義塾大学 整形外科
〒160-8582 東京都新宿区信濃町35
- ※ 2 慶應義塾大学 医学部スポーツ医学総合センター
〒160-8582 東京都新宿区信濃町35
- ※ 3 慶應義塾大学 看護医療学部
〒160-8582 東京都新宿区信濃町35
- ※ 4 慶應義塾大学 医学部運動器生体工学寄付講座
〒160-8582 東京都新宿区信濃町35

Corresponding Author : Takeo NAGURA, MD.

Department of Clinical Biomechanics, Keio University
35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, 160-8582, Japan
Tel : 03-5363-3812 Fax : 03-3353-6597
E-mail address : nagura@sc.itc.keio.ac.jp

はじめに

歩行やランニング時の足底の接地位置はスポーツ傷害の予防やスポーツパフォーマンスの向上に重要であると考えられ、現場では経験に基づいて様々な指導が行われている。

過去の研究において、ランニングの立脚時における前足部接地 (FFS : Forefoot Strike) と後足部接地 (RFS : Rearfoot Strike) のkinematicsやkineticsの違いが検討され、運動のスピードが増加するにつれて、接地位置が後足部から前足部へと変化することが知られている¹⁵⁾。Kerr⁵⁾らによると、長距離ランナーの約8割が後足部接地で走り、残りは前足部と後足部の中間部で接地するとした。一方、短距離種目では前足部接地が使われる⁶⁾。後足部接地の特徴として、骨格やシューズにより衝撃を吸収するが、摩擦抵抗による減速が起りやすいとされている¹⁶⁾。それに対して前足部接地では、各関節の屈曲や軟部組織の緊張により重心の速度を低下させることで衝撃を緩和する^{2), 7)}。しかし、接地位置を変化させることにより起こるバイオメカニカルな変化や、下腿障害のリスクについての文献は乏しいといえる。

トレーニングによる疲労やオーバーワークな

どによって起こる下肢スポーツ傷害の代表的なものとしてシンスプリントがあげられる。シンスプリントは脛骨の後内側遠位1/3に疼痛が発生するのが特徴であり、陸上長距離など走行系のスポーツで多くみられる。シンスプリントの外的要因としては、トレーニング法の変化、運動の種類、運動強度や頻度、シューズ、地面の質など、内的要因としては、ランニング経験不足、基礎体力不足、傷害歴、筋力低下、筋疲労、不十分な柔軟性、アライメントの問題、不適切なフォームなどが指摘されているが、いずれも決定的な要因とはなっていない^{1), 10), 13), 17)}。一方、直立時、歩行時、ランニング時における足部の過回内^{10), 14)}、および足内側縦アーチ (MLA : Medial Longitudinal Arch) の過剰な低下^{1), 15)}がシンスプリント患者に認められたことから、これらは重要な要因とされた。さらにHunt⁴⁾やSommer¹³⁾らは、足部の過回内とMLAの間に密接な関係があると指摘している。

以上より足部の回内やMLAの低下は下腿障害の予防という意味で重要と考えられるが、運動フォーム、特に接地位置と足部の回内、MLAについて同時に見ている研究は見られない。よって、本研究では、同一被験者において接地位置を変化させることにより、下腿の動き

や足部のkinematicsおよびkineticsがどのように変化するか, 特に, 接地位置の変化と足部の回内及びMLAの関係について研究を行い, 運動中の下腿障害リスクがどのように変化するかを検討した.

対象および方法

被験者はランニングを含むスポーツを週3日以上継続し, 下肢に明らかな手術歴外傷歴がない健康男性13名(年齢: 20.5 ± 1.1 歳, 体重: 64.5 ± 6.7 kg, 身長 1.74 ± 0.05 m)とした. 研究に先立ち, 慶應義塾大学医学部倫理委員会の承認を得た後, 各被験者に対し研究参加について十分なインフォームドコンセントを行った. 反射用マーカーを各被験者の6マーカー法¹¹⁾による6箇所(腸骨稜上端, 大腿骨大転子外側, 膝関節外側関節裂隙, 足関節外踝, 踵骨外側部, 第五中足骨頭上)および膝関節内側関節裂隙, 脛骨粗面, 足関節内踝, 第一・第二中足骨頭, 舟状骨, 踵骨内側部の計13箇所に貼付した(図1). 各被験者の10mの平地歩行およびランニング動作を計測し, その際, 足底の接地位置を意識的に母趾球(前足部接地: FFS), 踵(後足部接地: RFS)とした場合の下肢の関節角度,

床反力, 関節モーメント, 足部kinematics及びMLAの変化を, 特別な指示を行わなかった場合(通常: Normal)の歩行及びランニング動作と比較した. 計測は8台の赤外線カメラ(ProReflex, Qualysis社), 床反力計(AM6110, Bertec社)を用いて120HzのSampling rateにて行い, 専用ソフト(Qualysis Track Manager, Qualysis社)にて下肢関節のKinematicsを算出した. MLAについては, 第一中足骨頭, 舟状骨, 踵骨内側の3点を結び, 舟状骨を頂点とする角度として算出した. 関節運動の速度は, 関節角度の傾きから算出した. また, 関節モーメントは, 関節中心の位置, 被験者の身長, 体重および動作中の床反力をもとに, 下肢の各セグメントをピンジョイントでつないだ剛体とみなし, 各瞬間における力と慣性力の釣合を仮定して, 逆動力学計算¹²⁾により算出した. 統計学的検討には, Analysis of Varianceを用い, 前足部接地と通常, および後足部接地と通常間の差をp値5%未満を有意水準として検定した. 今回, 立脚期全体を足が地面についた瞬間を0%, 足が地面から離れた瞬間を100%とし, 解析を行い, 特に立脚期の最初の60%を立脚初期⁹⁾として注目した.

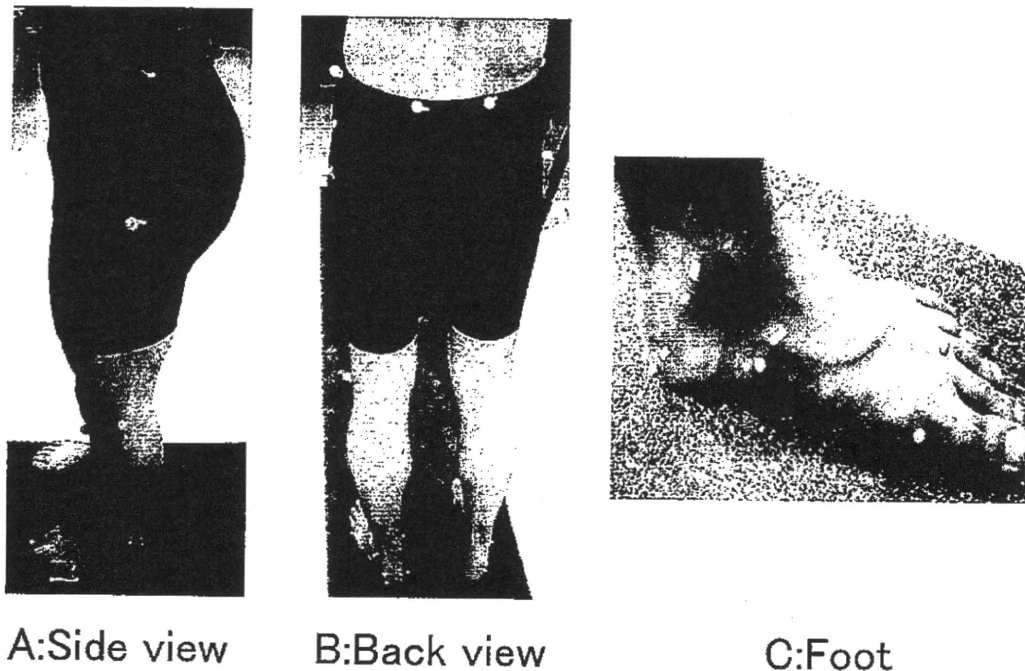


図1. Thirteen reflective markers were attached to the skin of the hip, knee, and ankle joints and foot of each subject.

結 果

歩行およびランニングの平均速度は、通常時の歩行で 1.35 ± 0.12 m/s、ランニングで 2.59 ± 0.38 m/s。前足部接地による歩行で 1.25 ± 0.13 m/s、ランニングで 2.46 ± 0.33 m/s、後足部接

地による歩行で 1.28 ± 0.12 m/s、ランニングで 2.29 ± 0.30 m/sであった。角度の変化は図2、3に示した通りである。足関節の底背屈角度に関しては、前足部接地による歩行で足関節の底屈位で接地をし、その後有意に背屈したのに対し、後足部接地による歩行では足関節の背屈位

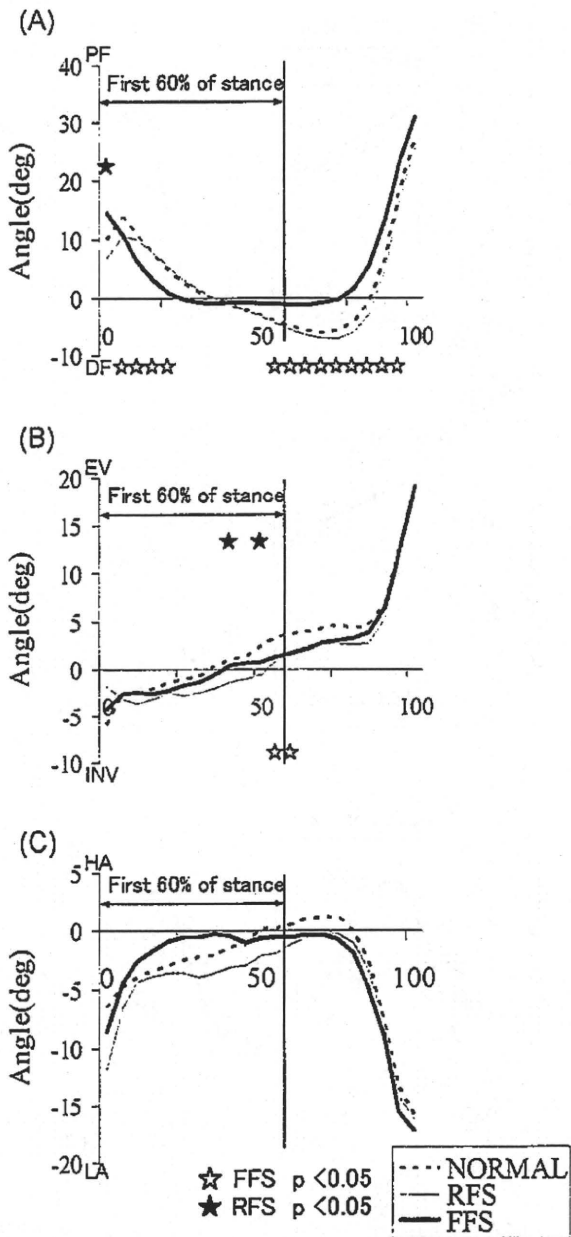


図2. (A) Ankle joint sagittal plane kinematics (PF = Plantarflexion, DF = Dorsalflexion) during walking. (B) Ankle joint frontal plane kinematics (INV = Inversion, EV = Eversion) during walking. (C) Changes of MLA (HA = High Arch, LA = Low Arch) during walking. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot strike.

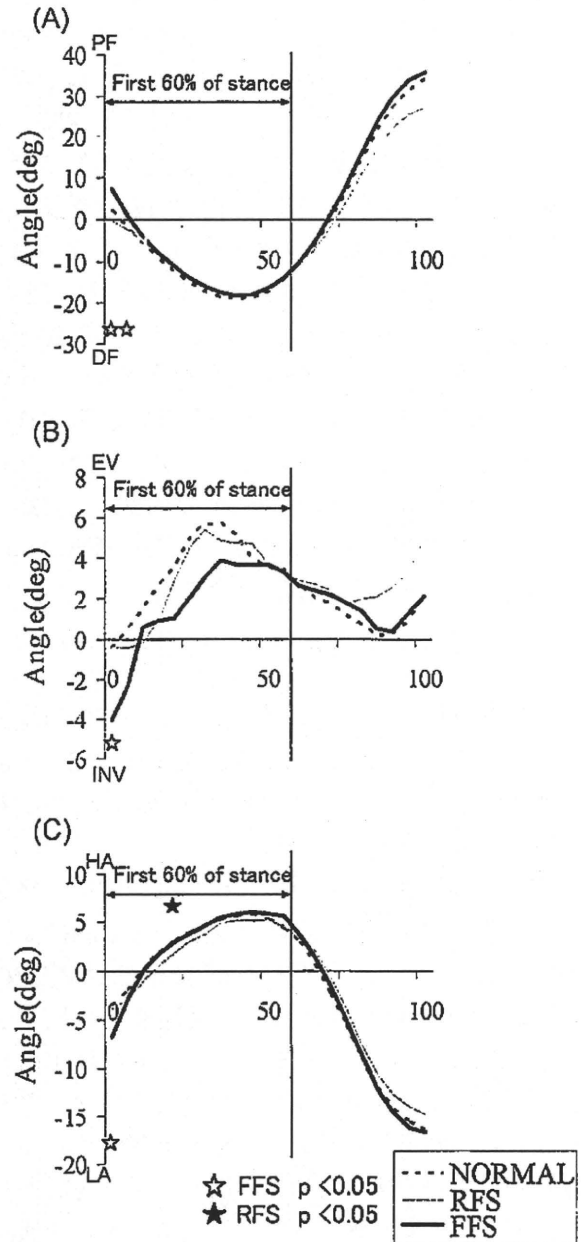


図3. (A) Ankle joint sagittal plane kinematics (PF = Plantarflexion, DF = Dorsalflexion) during running. (B) Ankle joint frontal plane kinematics (INV = Inversion, EV = Eversion) during running. (C) Changes of MLA (HA = High Arch, LA = Low Arch) during running. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot strike.

で接地していた。前足部接地によるランニングでも、足関節の底屈位で接地したが、後足部接地によるランニングでは角度の有意な差はみられなかった。また、足関節の内反、MLAの角度変化に関しても通常時と比べて大きな差はなかった。しかし、動作時の接地位置を変化させることにより、足関節の底背屈速度、膝関節および足関節モーメント、MLAの低下速度にそれぞれ変化がみられた。すなわち、前足部接地による歩行及びランニングでは、通常時に比べ立脚初期に足関節の背屈速度及び外反速度の増加、MLAの低下、足関節の背屈及び外反モーメントの増加、膝関節の伸展モーメントの増加及び屈曲モーメントの減少がみられた(図4、図5)。後足部接地による歩行では、通常時に比べ立脚初期に足関節における背屈及び外反速度の減少、背屈モーメントの減少がみられた(図4)。後足部接地によるランニングでは、通常時に比べ足関節の背屈速度の減少、足関節における背屈モーメントの減少、膝関節屈曲モーメントの増加がみられた(図5)。

考 察

いずれの動作においても足関節の回内(足関節の背屈・外反・外転の複合運動)は立脚の前半で見られており、これは過去の研究⁹⁾と同様の運動パターンを示した。

前足部接地による運動では、立脚初期に急速な回内及びMLA低下がみられ、後足部接地による運動では、立脚初期に急速な回内及びMLA低下を認めなかった。足関節が内反するとMLAが保たれ、足部の中心にある骨が固定されることにより足がより安定した状態になると考えられる⁸⁾。足部の安定は、接地の瞬間において重要であるため、過回内はより足部の損傷をしやすい接地であるといえる。また接地時において、後脛骨筋は回内を減少させ、腓腹筋・ヒラメ筋群は脛骨の前方への運動を制御していると考えられる。したがって、足部に急激な角度変化が起こると、これらの筋肉への負荷が増大し、シンスプリントなどの疲労性の障害につながる可能性がある⁹⁾。以上のことより、本研

究では前足部接地において有意に足関節の背屈及び外反速度が増加したことから、前足部接地はより不安定な接地であり、シンスプリントなどのスポーツ障害のリスクを高める可能性があると考えられた。一方、後足部接地による運動

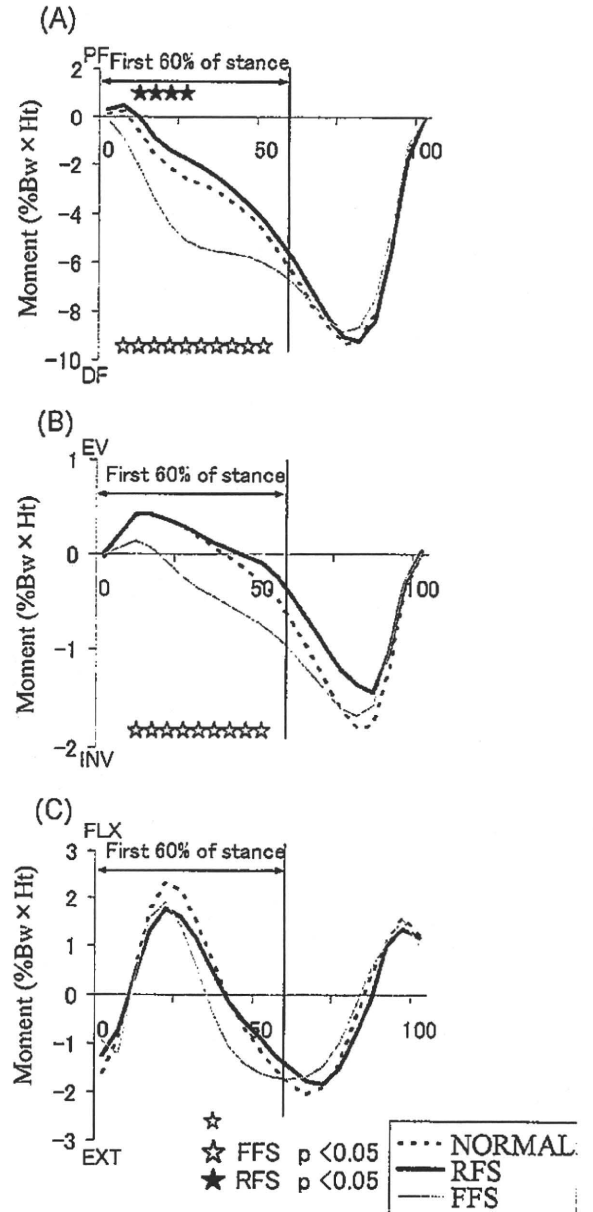


図4. (A) Ankle joint sagittal plane moment (PF = Plantarflexion, DF = Dorsiflexion) during walking. (B) Ankle joint frontal plane moment (INV = Inversion, EV = Eversion) during walking. (C) Knee joint sagittal plane moment (FLX = Flexion, EXT = Extension) during walking. RFS=Rearfoot strike, FFS=Forefoot strike.

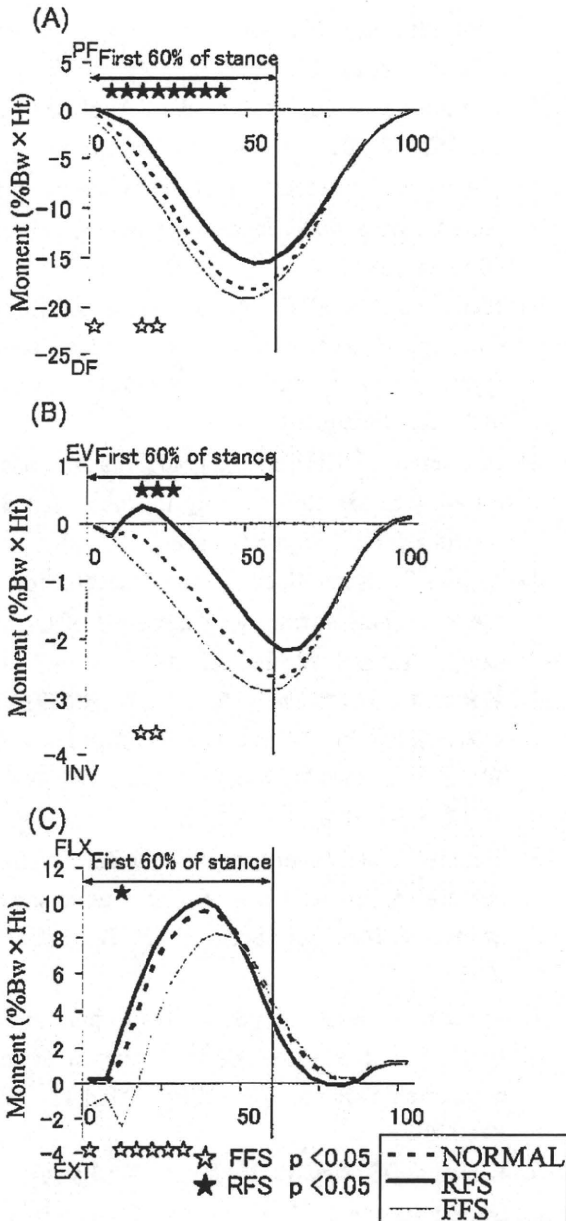


図5. (A) Ankle joint sagittal plane moment (PF = Plantarflexion, DF = Dorsalflexion) during running. (B) Ankle joint frontal plane moment (INV = Inversion, EV = Eversion) during running. (C) Knee joint sagittal plane moment (FLX = Flexion, EXT = Extension) during running. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot strike.

では、前足部接地による運動に対して、より安定した接地であり、シンスプリントなどの障害のリスクがより低いと考えられた。

矢状面における関節モーメントの増加はそれに拮抗する筋群の活動増加を意味する。従って、

前足部接地により足関節の底屈筋群および膝屈筋群の活動が増加すると考えられた。さらに、足関節外反モーメントが増加していたが、足関節前額面方向の外力に拮抗する筋肉の作用は小さいため、外反モーメントの増加は、足関節の靭帯など支持組織への負荷の増大を意味する。以上の様に、前足部接地で運動するには、ハムストリングス及び下腿三頭筋の強化や足関節外反に対する対応が必要であると考えられた。一方、後足部接地による運動では、通常時の動作に比較し、膝関節屈曲モーメントが増加していたことから、大腿四頭筋を使用して運動していることがわかり、大腿四頭筋の強化が必要であることが示唆された。しかし、足関節の底背屈モーメントが減少し、足関節の底背屈筋群の負荷が減少していた。

以上より下肢関節モーメントの視点からも、前足部接地による運動の方が、後足部接地による運動に比べ、より下腿障害のリスクが大きいと考えられた。

本研究では歩行 (平均1.29m/s) および比較的遅いランニング (平均2.45m/s) について2種類の接地パターンによる変化をみに過ぎない。今後は、運動速度や運動方向を変化させた時の前足部接地と後足部接地のkinematicsやkineticsの変化を見て、摩擦抵抗や身体重心の位置変化などの要素も加味する事で、実際のパフォーマンスに近づけて更なる検討をする必要がある。また、健常者だけでなく、シンスプリントの患者における接地位置を見るなど、シンスプリントなどの障害への過程と接地パターンを結びつける研究も必要であるといえる。前足部接地と後足部接地における違いをより深く理解することが、異なる接地パターンを持つ選手に対してよりの確な障害リスクの検討を行い、その選手に適した障害の予防法を選ぶことに役立つと期待される。

結 語

接地位置の変化による下腿障害のリスクを調べるために、健常男性13名を対象に前足部接地と後足部接地による歩行及びランニングを通常

時と比較した。

前足部接地による運動では、ハムストリングス・下腿三頭筋のモーメントが増加することから、これらの筋の強化や足関節外反に対する対応が必要であり、また立脚初期に急速な足部の回内及びMLA低下を認めたことから、過度の運動負荷によりシンスプリントのリスクがより多い接地パターンである可能性が示唆された。

後足部接地による運動では、大腿四頭筋のモーメントが増加するため、その強化が必要である一方、足関節に対する負荷が減少し、また立脚初期の足部回内及びMLA低下がみられないことから、シンスプリントのリスクがより少ない接地パターンである可能性が示唆された。

文 献

- 1) Bennett JE, Reinking MF et al. : Factors contributing to the development of medial tibial stress syndrome in high school runners. *J Orthop Sports Phys Ther* 31 : 504-510, 2001.
- 2) Clarke TE, Frederick EC et al. : Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *Int J Sports Med* 4 : 247-251, 1983.
- 3) Grimston SK, Engsburg JR et al. : Bone mass, external loads, and stress fracture in female runners. *Int J Sports Biomech* 7 : 293-302, 1991.
- 4) Hunt AE, Smith RM, et al. : Inter-segment foot motion and ground reaction forces over the stance phase of walking. *Clin Biomech* 16 : 592-600, 2001.
- 5) Kerr BA, Beauchamp L et al. : Footstrike patterns in distance running. In : Kerr BA (Ed.), *Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces : Proceedings of the International Symposium on Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces*, Calgary, University Press, 135-142, 1983.
- 6) Krell JB, Stefanyshyn DJ : The relationship between extension of the metatarsophalangeal joint and sprint time for 100m Olympic athletes. *J Sports Sci* 24 : 175-180, 2006.
- 7) Laughton CA, Davis IM, et al. : *J Appl Biomech* 19 : 153-168, 2003.
- 8) Lundberg A : Kinematics of the ankle and foot. *Acta Orthopaedica Scandinavica Supplementum* 60 : 1-33, 1989.
- 9) McClay I, Manal K : A comparison of three-dimensional lower extremity kinematics during running between excessive pronators and normals. *Clin Biomech* 13 : 195-203, 1998.
- 10) Messier SP, Pittala KA : Etiologic factors associated with selected running injuries. *Med Sci Sports Exerc* 20 : 501-505, 1988.
- 11) Nagura T, Dyrby C, et al. : Mechanical loads at the knee joint during deep flexion. *J of Orthopaedic Research* 20 : 881-886, 2002.
- 12) 名倉武雄 : 前十字靭帯損傷および再建術後患者の動作解析. In : 宗田大 (Ed.), *実践すぐに役立つ膝靭帯損傷診断・治療マニュアル*, 東京, 全日本病院出版会, 22-27, 2006.
- 13) Sommer HM, Vallentyne SW : Effect of foot posture on the incidence of medial tibial stress syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 27 : 800-804, 1995.
- 14) Vitasalo JT, Kvist M : Some biomechanical aspects of the foot and ankle in athletes with and without shin splints. *Am J Sports Med* 11 : 125-130, 1983.
- 15) Williams DS, McClay IS, Manal K : Lower extremity mechanics in runners with a converted forefoot strike pattern. *J Appl Biomech* 16 : 210-218, 2000.
- 16) Williams KR, Cavanagh PR : Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol* 63 : 1236-1245, 1987.
- 17) Yates B, White S : The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. *Am J Sports Med* 32 : 772-780, 2004.

変形性膝関節症に対する
グルコサミンの経口投与榎本 宏之*¹⁾ 松本 秀男*²⁾

Treatment of Knee Osteoarthritis with Oral Glucosamine

Hiroyuki Enomoto*¹⁾, Hideo Matsumoto*²⁾

臨整外 45 : 773~777, 2010

Key words : サプリメント (supplements), N-アセチルグルコサミン (N-acetyl glucosamine), 軟骨 (cartilage)

近年、変形性膝関節症(OA)の治療体系で、グルコサミンの効果が期待されている。In vivo, in vitro における軟骨基質産生促進作用や抗炎症作用、基質分解抑制作用が報告されているが、OA患者に対するランダム比較検討試験ではグルコサミン塩酸塩とグルコサミン硫酸塩で相反する結果が報告されている。少なくとも費用対効果の面で、グルコサミンの効果が臨床上でどの程度有用であるか、いまだに疑問が残る。われわれは日本人に対するグルコサミン塩酸塩の効果を検討しており、その最終結果を2011年の日本整形外科学会術総会で発表する予定である。

はじめに

高齢化社会で変形性膝関節症(OA)の患者数は増加し、人工膝関節置換術の年間手術件数も増加の一途であるが、保存的治療に関するエビデンスの構築はいまだ十分とはいえない。近年、OAに対するグルコサミンの効果が、不正確な広告の影響もあり患者に過剰に期待されている。背景として非ステロイド性消炎鎮痛薬の胃腸障害を中心とする副作用や、人工膝関節置換術など外科的治療に伴う周術期リスクを懸念して、よりリスクの少ない「安全な治療」に頼りたい患者側および医療提供側の要望がある。

OAに対する経口グルコサミンの臨床成績に関する論文は数多く発表されているが、その効果に関しては賛否両論がある。また、グルコサミンの軟骨代謝作用や炎症に対する in vivo または in vitro の基礎的研究結果の報告も多く、ますますグルコサミンの効果に関する解釈を困難にしている。われわれはグルコサミンの効果をどのように

解釈して、どのように患者に説明するべきなのか、いささか混乱しているのが実情であろう。本稿では、これまでに報告されたグルコサミンの基礎および臨床の知見をレビューし、可能な限り中立的立場からグルコサミンの作用と臨床上の効果について概説する。

軟骨の細胞外マトリックス

関節軟骨は、間葉系幹細胞から高度に分化した軟骨細胞から構成される極めて専門性の高い組織であり、その高い潤滑性と衝撃吸収性は、軟骨細胞周囲の細胞外マトリックスにより担われている。その主要成分はII型コラーゲンとアグリカンであり、前者は力学的強度に、後者は高保水性により潤滑性に寄与している(図1)。アグリカンは中心部のコア蛋白と枝状に結合しているグリコサミノグリカンから構成され、グリコサミノグリカンは主にコンドロイチン硫酸とケラタン硫酸から構成される(図2)。

*¹⁾ 慶應義塾大学整形外科〔〒160-8582 新宿区信濃町35〕Department of Orthopaedic Surgery, Keio University*²⁾ 慶應義塾大学スポーツ医学総合センター Center of Integrated Sports Medicine, Keio University

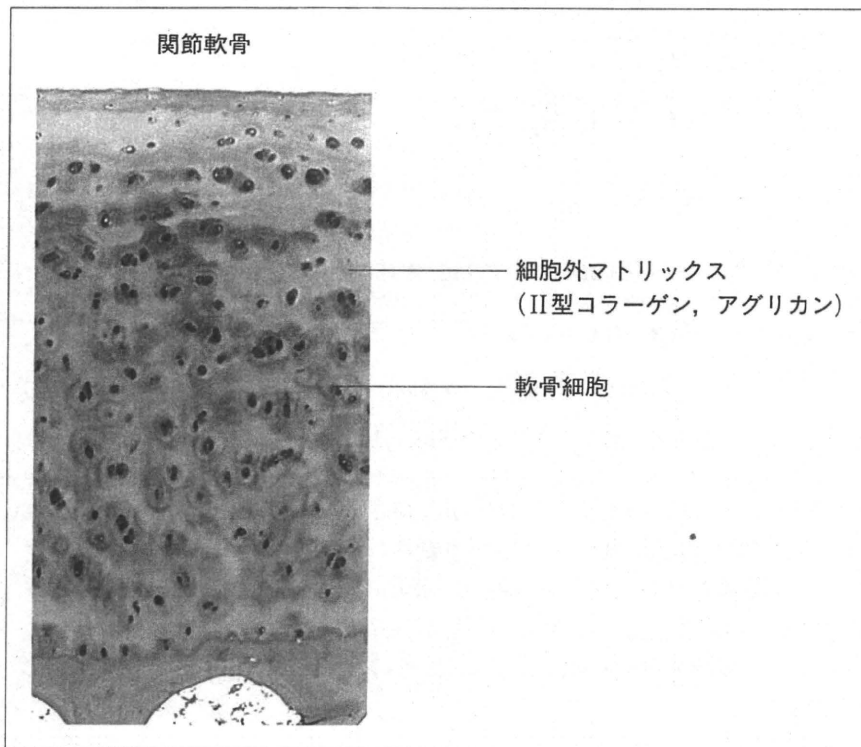


図1 膝関節軟骨組織と軟骨マトリックス

関節軟骨は軟骨細胞とその周囲に存在するマトリックスから構成される。軟骨の主要なマトリックスはII型コラーゲンとアグリカンである。

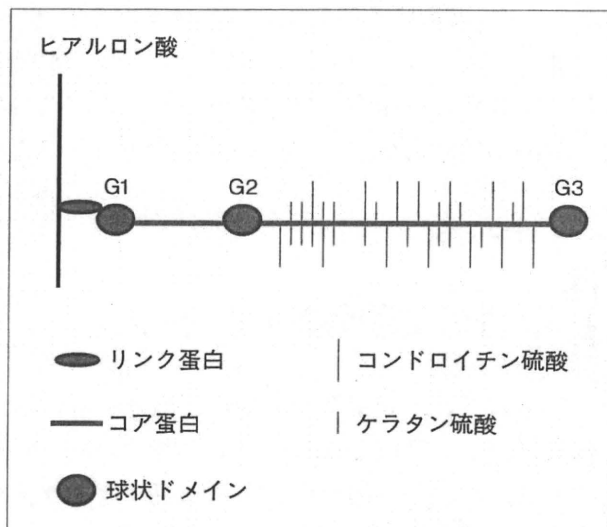


図2 アグリカンの構造

軟骨の主要な細胞外マトリックスであるアグリカンは、コア蛋白にコンドロイチン硫酸、ケラタン硫酸が結合し、リンク蛋白を介してヒアルロン酸に結合している。

グルコサミンとは？

グルコサミンは分子量 179 のアミノ糖であり、軟骨、靭帯、眼の硝子体などの構成要素であるプロテオグリカンに多く含まれる。体内ではヘキサミン合成経路においてフルクトースとグルタミンから合成され、最終産物の UDP-N アセチルグ

ルコサミンは、ガラクトースと結合してケラタン硫酸を、そしてグルクロン酸と結合してヒアルロン酸を合成する。ケラタン硫酸はコンドロイチン硫酸と並んで、軟骨基質中の主要なグリコサミノグリカンである。これが「グルコサミンは軟骨の成分」といわれるゆえんである(図3)。

グルコサミン塩酸塩と グルコサミン硫酸塩

過去に報告されたグルコサミンの *in vivo*, *in vitro* の作用を解釈するうえで重要な点は、使用されたグルコサミンがグルコサミン塩酸塩 (glucosamine hydrochloride) なのかグルコサミン硫酸塩 (glucosamine sulphate) なのか、その二つを区別することである。本邦と米国で使用されているのは主にグルコサミン塩酸塩であり、本邦では健康機能食品あるいは栄養補助食品に分類される。グルコサミン硫酸塩はイタリアの Rotta 社が販売し、医師の処方により欧州で主に使用されている。したがって日本ではグルコサミン塩酸塩のみが使用されているはずである。鎮痛のためにアセトアミノフェンを経口している OA 患者では相対的に硫酸残基が不足し、結果としてグリコサミノグリカン合成が抑制されるために、グルコ

コンドロイチン硫酸：N-アセチルガラクトサミン + ガラクトース
ケラタン硫酸：N-アセチルグルコサミン + ガラクトース
ヒアルロン酸：N-アセチルグルコサミン + グルクロン酸

図3 各グリコサミノグリカンの構成要素

サミン硫酸塩を投与することで硫酸残基が軟骨同化作用を促進するとの主張もある¹²⁾。

グルコサミン摂取後の代謝経路

臨床医がグルコサミンの効果に懐疑的である理由は、グルコサミン摂取後の代謝経路が不明であったことである。近年、この点に関して知見が蓄積されている。グルコサミン塩酸塩 1,500 mg を体重 75 kg の男性に投与する相当量をウマに投与すると、血清および滑液中濃度が 0.3~0.7 $\mu\text{mol/l}$ まで上昇し、滑液中では血清中より長く残存する¹⁰⁾。また、アイソトープラベルしたグルコサミン硫酸塩の経静脈および経口投与後に大腿骨頭軟骨でグルコサミンの取り込みが検出された¹⁶⁾。一方で、実際に OA 患者へグルコサミン硫酸塩を投与後のピーク時血清中濃度は平均 3.6 $\mu\text{mol/l}$ であり、効果的濃度ではなかったとの報告もある¹¹⁾。In vivo, in vitro で使用されたグルコサミンの濃度は、実際に临床上で使用される濃度の約 10~1,000 倍に相当する¹⁷⁾。

軟骨代謝におけるグルコサミンの in vivo, in vitro 作用

1. 軟骨同化作用

軟骨損傷のウサギにグルコサミン塩酸塩を 3 週間経口投与すると軟骨の修復が促進されたとの報告がある²²⁾。In vitro でも低濃度のグルコサミン塩酸塩および硫酸塩はアグリカンと II 型コラーゲン産生を促進する^{3,20)}。一方では 5 mM のグルコサミン塩酸塩および硫酸塩が同化作用を示さなかったとの報告もある¹⁹⁾。

2. 軟骨破壊抑制作用

グルコサミン塩酸塩はインターロイキン-1 (IL-1) により産生誘導される軟骨細胞由来のプロスタグランジン、一酸化窒素、マトリックスメ

タロプロテアーゼ (MMP-1, 3, 13) の産生を抑制する¹¹⁾。好中球に対しては formyl-Met-Leu-Phe により誘導される活性酸素の産生を抑制して、接着分子 (CD11b) の発現や受容体シグナル MAPK も抑制し、好中球機能の抑制による抗炎症効果を有する⁹⁾。In vivo においてもラットアジュバント関節炎モデルにおける関節破壊の抑制、血清中の一酸化窒素、プロスタグランジン E2 低下作用が報告されている⁹⁾。また、IL-1 β により誘導される軟骨細胞由来の MMP-3, 9, 10, 12, ADMTS1 産生を抑制する⁵⁾。

OA 患者に対するグルコサミンの効果

グルコサミンに期待されている臨床効果は疼痛改善作用と軟骨再生作用の 2 つに集約される。以下、過去に報告されたエビデンスを概説する。なお前述のようにグルコサミン塩酸塩とグルコサミン硫酸塩各々に関する報告がある。これら 2 分子は、临床上の作用の強さが異なる可能性があるが⁹⁾、塩酸塩と硫酸塩の効果を直接的に比較検討した報告はない。

1. プラセボ効果の問題

患者がグルコサミンに興味をもつ動機として、他の患者の推薦がある。しかし、各種内服薬の臨床治験で有効成分を含有しない錠剤 (プラセボ錠) でも 35% 前後の改善効果を有することが報告されている⁴⁾。したがって、外観上で判別不可能なグルコサミン錠とプラセボ錠との効果を、2 重盲検で比較検討した研究であることが、信頼できるエビデンスの必要条件である。

2. 疼痛改善作用

変形性膝関節症に対するグルコサミンの効果を検討した臨床試験の報告は多いが、厳格な研究デザインで施行された臨床試験は以下の 2 つであ

る。ひとつは米国国立衛生研究所(NIH)主導で実施された多施設共同試験(Glucosamine/chondroitin Arthritis Intervention Trial; GAIT)である。これは、プラセボ群、グルコサミン塩酸塩群(1,500 mg 3×/日)、コンドロイチン硫酸群(1,200 mg/日)、グルコサミン塩酸塩とコンドロイチン硫酸併用群、セレコキシブ群(200 mg/日)を比較検討したものである。20%の疼痛軽減を結果判定基準とすると、プラセボに対する各群の効果はグルコサミン塩酸塩($p=0.30$)、コンドロイチン硫酸($p=0.17$)、併用群($p=0.09$)、セレコキシブ($p=0.008$)であった²⁾。

もうひとつの大規模臨床試験はスペインとポルトガルのグループによるGUIDE(Glucosamine Unum In Die Efficacy)多施設共同試験である。グルコサミン硫酸(1,500 mg bolus/日)群、アセトアミノフェン(3 gm/日)群、プラセボ群を摂取開始後半年で比較検討した。Lequesne index を結果判定基準とすると、プラセボ群に対する各群の効果はグルコサミン硫酸群($p=0.032$)、アセトアミノフェン群($p=0.18$)であった⁷⁾。メタ解析ではグルコサミン硫酸塩の長期投与で疼痛緩和作用と機能改善(Lequesne index)が認められ¹⁴⁾、3カ月の短期投与では中等度の疼痛緩和作用があったと報告されている¹⁸⁾。他方でランダム化比較試験ごとに結果が異なるのは、特定の製薬会社によるバイアスであるとの報告もある²¹⁾。

3. 関節構成体に対する作用

2つの研究でグルコサミン硫酸塩を毎日1,500 mgを3年間継続することで関節裂隙の狭小化を予防したと報告している^{13,15)}。

4. 有害事象

メタ解析の結果、プラセボ錠と同様と報告されている^{18,19)}。

最後に

現状ではグルコサミンのOAに対する効果、とくに費用対効果についてはいまだに結論が出ていない。人種間でOAの罹患率が異なることから、

グルコサミンの効果も人種ごとに異なる可能性がある。アジア人のOA患者に対するグルコサミンの効果については質の高いエビデンスが報告されていないが、われわれは日本整形外科学会変形性関節症委員会のプロジェクトとしてグルコサミン塩酸塩によるランダム化比較検討試験を実施しており、来春(2011年)の日本整形外科学会学術総会で最終結果を報告する予定である。今後、グルコサミン以外にも各種サプリメントの効果に関する報告が続くと推測されるが、費用対効果を考慮しながら正確かつ信頼できる情報を患者へフィードバックすることがわれわれの責務である。

文 献

- 1) Biggee BA, Blinn CM, McAlindon TE, et al: Low levels of human serum glucosamine after ingestion of glucosamine sulphate relative to capability for peripheral effectiveness. *Ann Rheum Dis* 65: 222-226, 2006
- 2) Clegg DO, Reda DJ, Harris CL, et al: Glucosamine, chondroitin sulfate, and the two in combination for painful knee osteoarthritis. *N Engl J Med* 354: 795-808, 2006
- 3) Dodge GR, Jimenez SA: Glucosamine sulfate modulates the levels of aggrecan and matrix metalloproteinase-3 synthesized by cultured human osteoarthritis articular chondrocytes. *Osteoarthritis Cartilage* 11: 424-432, 2003
- 4) Finnis DG, Kaptchuk TJ, Miller F, et al: Biological, clinical, and ethical advances of placebo effects. *Lancet* 375(9715): 686-695, 2010
- 5) Gouze JN, Gouze E, Popp MP, et al: Exogenous glucosamine globally protects chondrocytes from the arthritogenic effects of IL-1beta. *Arthritis Res Ther* 8: R173, 2006
- 6) Gregory PJ, Sperry M, Wilson AF: Dietary supplements for osteoarthritis. *Am Fam Physician* 77: 177-184, 2008
- 7) Herrero-Beaumont G, Ivorra JA, Del Carmen Trabado M, et al: Glucosamine sulfate in the treatment of knee osteoarthritis symptoms: a randomized, double-blind, placebo-controlled study using acetaminophen as a side comparator. *Arthritis Rheum* 56(2): 555-567, 2007
- 8) Hua J, Sakamoto K, Nagaoka I: Inhibitory actions of glucosamine, a therapeutic agent for osteoarthritis, on the functions of neutrophils. *J Leukoc Biol* 71: 632-640, 2002
- 9) Hua J, Suguro S, Hirano S, et al: Preventive actions of a high dose of glucosamine on adjuvant arthritis in rats. *Inflamm Res* 54: 127-

- 132, 2005
- 10) Laverty S, Sandy JD, Celeste C, et al : Synovial fluid levels and serum pharmacokinetics in a large animal model following treatment with oral glucosamine at clinically relevant doses. *Arthritis Rheum* 52 : 181-191, 2005
 - 11) Nakamura H, Shibakawa A, Tanaka M, et al : Effects of glucosamine hydrochloride on the production of prostaglandin E2, nitric oxide and metalloproteases by chondrocytes and synoviocytes in osteoarthritis. *Clin Exp Rheumatol* 22 : 293-299, 2004
 - 12) Nimni ME, Han B, Cordoba F : Are we getting enough sulfur in our diet? *Nutr Metab (Lond)* 4 : 24, 2007
 - 13) Pavelká K, Gatterová J, Olejarová M, et al : Glucosamine sulfate use and delay of progression of knee osteoarthritis: a 3-year, randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Arch Intern Med* 162 : 2113-2123, 2002
 - 14) Poolsup N, Suthisisang C, Channark P, et al : Glucosamine long-term treatment and the progression of knee osteoarthritis: systematic review of randomized controlled trials. *Ann Pharmacother* 39 : 1080-1087, 2005
 - 15) Reginster JY, Deroisy R, Rovati LC, et al : Long-term effects of glucosamine sulphate on osteoarthritis progression: a randomised, placebo-controlled clinical trial. *Lancet* 357(9252) : 251-256, 2001
 - 16) Setnikar I, Rovati LC : Absorption, distribution, metabolism and excretion of glucosamine sulfate. A review. *Arzneimittelforschung* 51 : 699-725, 2001
 - 17) Silbert JE : Dietary glucosamine under question. *Glycobiology* 19 : 564-567, 2009
 - 18) Towheed TE, Maxwell L, Anastassiades TP, et al : Glucosamine therapy for treating osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev* : CD002946, 2005
 - 19) Uitterlinden EJ, Jahr H, Koevoet JL, et al : Glucosamine decreases expression of anabolic and catabolic genes in human osteoarthritic cartilage explants. *Osteoarthritis Cartilage* 14 : 250-257, 2006
 - 20) Varghese S, Theprungsirikul P, Sahani S, et al : Glucosamine modulates chondrocyte proliferation, matrix synthesis, and gene expression. *Osteoarthritis Cartilage* 15 : 59-68, 2007
 - 21) Vlad SC, Lavalley MP, McAlindon TE, et al : Glucosamine for pain in osteoarthritis: why do trial results differ? *Arthritis Rheum* 56 : 2267-2277, 2007
 - 22) Wang SX, Laveray S, Dumitriu M, et al : The effects of glucosamine hydrochloride on subchondral bone changes in an animal model of osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 56 : 1537-1548, 2007

MEDICAL BOOK INFORMATION

医学書院

医療現場の暴力と攻撃性に向き合う 考え方から対処まで

Violence and Aggression in the Workplace
A Practical Guide for All Healthcare Staff

著 Paul Linsley
監訳 池田明子・出口禎子

●A5 頁256 2010年
定価2,730円(本体2,600円+税5%)
[ISBN978-4-260-00811-2]

これまでほとんど正面から語られてこなかった暴力の問題。本書では、暴力や攻撃性に関する理論的な説明をもとに、対策のための具体的なポイントを幅広く紹介する。暴力問題に関連する理論や定義に加え、病院内でのマネジメント上の注意点や、いち早く対策が進んだ英国での取り組みなども紹介。「どう取り組んだらいいのか？」を知るために最適な1冊。

膝関節屈曲拘縮が体幹動態に与える影響^{*1}

Knee-spine syndrome に関する歩行解析

原藤 健吾^{*2} 名倉 武雄^{*3}

はじめに

変形性膝関節症は、変形が進行して高度になると膝関節の屈曲拘縮を生じる。高齢者では、このような変形・拘縮が、さまざまな日常生活動作を制限するようになる^{1,11-13)}。さらに、膝関節の屈曲拘縮は、股関節や足関節などほかの関節のみならず、脊椎にも影響を及ぼすことが報告されている。特に、膝の伸展制限が腰椎前弯の低下に関与することが単純 X 線を用いた研究により示されている^{8,15)}。Knee-spine syndrome とは、このような膝関節の伸展制限と腰椎前弯の低下が関連し、1つの疾患となり得ることを示した概念である。

腰椎前弯の低下や変性側弯・回旋変形の進行は、腰痛を引き起こすと考えられている¹⁴⁾。一方、変形性膝関節症患者の 54.6% は腰痛を伴うと報告され、これは同年齢の健常者や関節リウマチ患者を対象にした腰痛の頻度よりも高率である¹⁶⁾。このことから、高度な変形性膝関節症があり屈曲拘縮が存在する場合には、これが体幹になんらかの

影響を及ぼし、腰痛を生じることが推察される。本稿では、膝関節屈曲拘縮のシミュレーションにより、体幹の静的および動的な姿勢がどのように変化するかを評価したわれわれの研究³⁾について述べる。

対象および方法

① 被検者および動作解析方法

手術の既往と膝関節に疼痛のない平均 62 歳の健常女性 10 名を対象とした。計測に先立ち、すべての被検者にインフォームドコンセントを行い、承諾を得た。

膝関節硬性装具 (G II Rehabilitation Brace, アルケア社製) を用いて膝伸展運動をブロックすることで、片側膝関節 (右) のみに 15, 30 度の膝関節屈曲拘縮をシミュレーションした。それぞれの実験条件について、被検者の自然立位姿勢および 10 m の平地歩行を 3 次元動作解析装置にて計測した。3 次元動作解析装置は、5 台の赤外線カメラ (120 フレーム/秒: Pro-reflex, Qualisys 社製)、1 台の床反力計 (600 Hz, Type 4060-10, Bertec 社製)、13 個の反射マーカーを用いた。反射マーカーの貼付位置は、両側肩峰、両側上前腸骨棘、両側上後腸骨棘および計測側の上腕骨外側上顆、

Key words

膝関節屈曲拘縮 (knee flexion contracture)
歩行解析 (gait analysis)
knee-spine syndrome

^{*1} The Influence of Knee Flexion Contracture on Trunk Kinematics—A Gait Analysis Study on Knee-Spine Syndrome

^{*2} 国際医療福祉大学三田病院整形外科 [〒108-8329 港区三田 1-4-3] Kengo HARATO: Department of Orthopedic Surgery, International University of Health and Welfare Mita Hospital

^{*3} 慶應義塾大学医学部運動器生体工学寄附講座 Takeo NAGURA



図 1 動作解析装置を用いた立位姿勢・平地歩行の計測

腸骨翼，大転子，膝関節外側，足関節外果，踵骨外側，第5中足骨頭とした(図1)。

2 評価方法

前額面では，肩の傾きは左右の肩峰の高さの差から算出し，骨盤の傾きは左右の上前腸骨棘の高さの差から算出した。体幹の傾きは左右の肩峰を結んだ線と上前腸骨棘を結んだ線とのなす角度で評価した(図2a)。矢状面では，体幹の前傾は拘縮側の肩峰と腸骨翼を結ぶ線の傾きで算出し，骨盤の前傾は上前腸骨棘と上後腸骨棘を結ぶ線の傾きで算出した(図2b)。水平面では，体幹の回旋を左右の肩峰を結んだ線と上前腸骨棘を結んだ線との水平面上でなす角度で算出した(図2c)。

膝関節にかかる垂直分力は逆動力学を用いて算出した⁹⁾。脛骨長軸に平行な力を垂直分力と定義し，被検者の体重で除した値(%体重)を用いた。さらに，それぞれのシミュレーションにおける歩行速度(m/s)も算出した。

3 統計学的解析

3次元的な肩・体幹・骨盤の動態および両側膝関節にかかる垂直分力を，屈曲拘縮シミュレーションありとシミュレーションなしの間で比較した。体幹動態に関しては歩行周期中の最大値を評価した。統計学的解析には repeated measures of analysis of variance および Bonferroni correction を使用し，p 値が 0.05 未満を有意差ありとした。

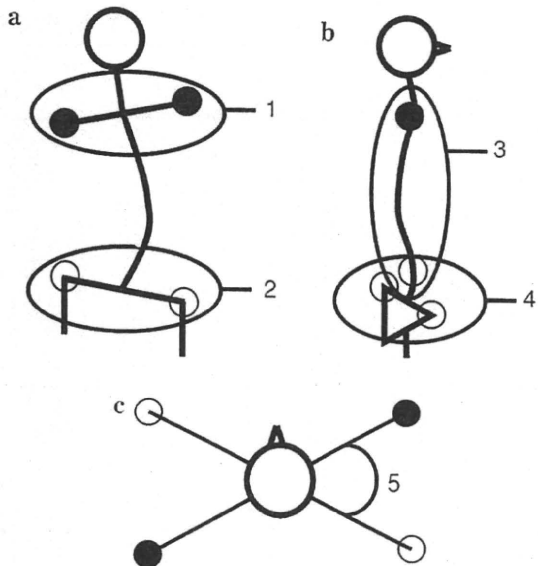


図 2 3次元的な体幹動態の評価(文献3を改変)

a: 前額面(P→A像), b: 矢状面, c: 水平面。
●: 肩峰, ○: 骨盤, 1: 肩の傾き, 2: 骨盤の傾き, 3: 体幹の前傾, 4: 骨盤の前傾, 5: 体幹の回旋。

結果

1 立位姿勢における静的変化(表1)

15度屈曲拘縮では，大きな変化は生じなかったが，30度では以下のような有意な変化が生じた。前額面では，肩は有意に非拘縮側へ傾き，骨盤は拘縮側へ傾いた。矢状面では，骨盤の後傾が増大した。荷重に関しては，拘縮側の荷重量が低下し，その代わりに非拘縮側の荷重量が有意に増大した。

2 平地歩行における動的変化(表2)

立位姿勢と同様に，15度屈曲拘縮では大きな変化は生じず，30度では以下のような有意な変化が生じた。前額面では，拘縮側の踵接地直後の体幹の拘縮側への傾きが減少した。矢状面では，体幹，骨盤ともに前傾が増大した。水平面では，拘縮側の踵接地直後の体幹の回旋が減少した。結果として，前額面および水平面では非対称な体幹の動きが認められた。荷重に関しても立位姿勢と同様に，拘縮側の荷重量が低下し，その代わりに非拘縮側の荷重量が増大するという変化が生じた。

歩行速度は，15度屈曲拘縮までは変化がなく，30度で有意な低下を示した。

表 1 立位姿勢における静的な変化 (文献 3 を改変)

	右膝関節の屈曲拘縮角度			p 値
	0 度	15 度	30 度	
肩の傾き (度) °	0.1±0.3	-1.4±0.7	-2.0±0.6** ↓	0.04
骨盤の傾き (度) °	-0.3±0.2	0.6±0.2* ↑	1.9±0.4** ↑	<0.01
左側屈 (度)	-0.5±0.4	2.0±0.7* ↑	4.0±0.8** ↑	<0.01
骨盤の前傾 (度)	13.1±1.6	12.5±1.6	11.4±1.6** ↓	<0.01
体幹の前傾 (度)	0.3±0.6	0.6±0.7	0.6±0.7	0.8
体幹の回旋 (度)	-1.4±0.6	-1.7±1.1	0.4±0.7	0.11
右膝にかかる垂直分力 (BW)	41.9±2.8	40.7±3.1	24.0±2.6** ↓	<0.0001
左膝にかかる垂直分力 (BW)	41.7±3.0	45.9±1.4	61.1±5.1** ↑	<0.0001

平均値±標準偏差。°:右側をよりも下にあるとき+, °:右肩峰が右上前腸骨棘より前にあるとき+, *:0度 vs 15度, **:0度 vs 30度。

表 2 平地歩行における動的な変化 (文献 3 を改変)

	右膝関節の屈曲拘縮角度			p 値
	0 度	15 度	30 度	
歩行速度 (m/s)	1.2±0.2	1.1±0.3	0.9±0.3** ↓	<0.001
右側屈 (度)	4.5±1.6	3.8±1.9	1.8±2.3** ↓	0.01
左側屈 (度)	4.5±1.2	4.9±1.3	4.5±1.6	0.79
体幹の前傾 (度)	0.2±1.8	0.6±1.7	3.0±1.6** ↑	<0.01
骨盤の前傾 (度)	16.7±1.2	17.6±1.2	19.2±1.2** ↑	<0.001
右回旋 (度)	5.4±1.4	5.5±1.2	6.7±1.5	0.31
左回旋 (度)	7.0±1.2	6.1±1.3* ↓	4.3±2.1** ↓	0.039
右膝にかかる垂直分力 (BW)	107.5±3.7	109.3±2.3	99.1±2.9** ↓	0.015
左膝にかかる垂直分力 (BW)	105.9±2.9	112.1±2.6	111.2±3.2** ↑	<0.01

平均値±標準偏差。*:0度 vs 15度, **:0度 vs 30度。

考察

本研究の結果から、立位姿勢という静的状態、さらに歩行という動的状態ともに、膝関節屈曲拘縮により、肩・体幹・骨盤の動態に3次元的な変化が生じることが判明した。これは腰椎の非対称的な変化につながると推察される。本研究は、動作解析を用いて膝関節屈曲拘縮シミュレーションによる体幹動態の変化を捉えた初めての研究と考えられる。

体幹の立位姿勢変化では、矢状面で骨盤後傾の増大を認めたことから、これまでの報告と同様に、膝屈曲拘縮は腰椎の後弯変形を引き起こす可能性が示唆された⁸⁾。前額面で体幹が拘縮側と反対へ傾斜する代償変化を認め、この結果として腰椎は拘縮側が凸となる変化を生じた (図 3)。

また、歩行においては、同様に前額面で体幹が

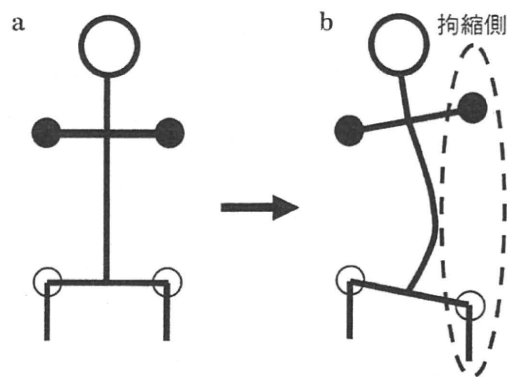


図 3 立位姿勢における前額面での静的変化 (P→A 像)

a: 拘縮なし, b: 30 度屈曲拘縮。

拘縮側と反対へ傾斜する代償変化を認めた。さらに、矢状面では体幹および骨盤の前傾が増大し、重心が前方に移動することが判明した。水平面でも拘縮側の踵接地直後の体幹の回旋が減少し、非対称な変化を生じた。

結果として膝関節拘縮により、肩・体幹・骨盤

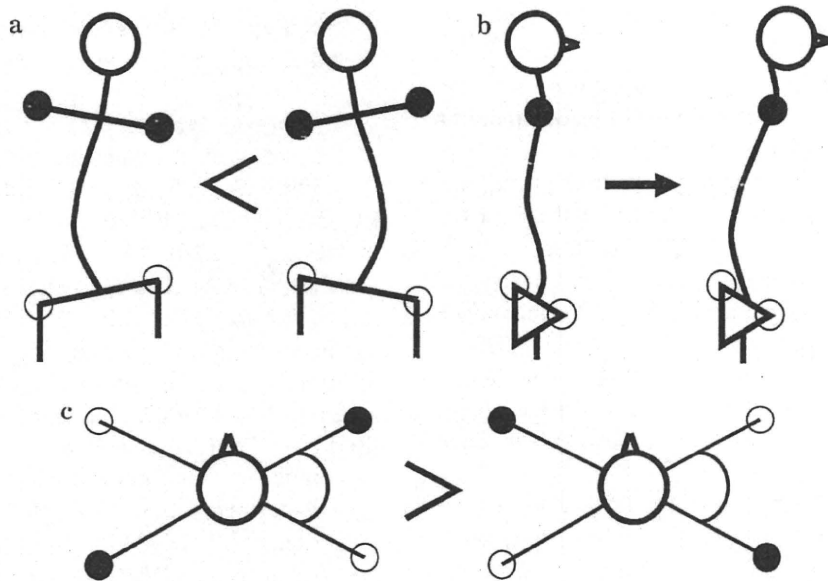


図4 平地歩行における動的な体幹変化

- a : 前額面における非対称性 (P→A 像). 前額面では体幹が拘縮側と反対へ傾斜する変化が強い.
 - b : 矢状面での変化. 矢状面では前傾が増大 (左は拘縮なし, 右は30度拘縮).
 - c : 水平面での非対称性 (頭上からみた図). 水平面では拘縮側の踵接地直後の体幹の回旋が減少.
- : 肩峰, ○ : 骨盤.

の姿勢および運動に3次元的变化が引き起こされた(図4). このような変化は経時的に腰椎の側弯, 回旋などの脊椎変形を引き起こす可能性があり, 膝関節および脊椎の相互の退行性変化, すなわち knee-spine syndrome につながると考えられる.

股関節伸展制限が腰椎前弯や仙骨の傾斜に影響を及ぼす現象については, hip-spine syndrome としてすでに多くの臨床例・研究が存在するが^{2,6,10,17)}, knee-spine syndrome に関しては報告が少ない^{8,15)}. 股関節変形のために生じる脚長差は, 3cm で体幹に有意な変化を生じることが示されている⁵⁾. 本研究からは, 15度屈曲拘縮までは体幹に大きな変化を生じず, 30度から有意な3次元的变化を生じることが明らかとなった. 片側の屈曲拘縮は見かけ上も脚長差を生じる可能性があり, 股関節と同様に脚長の変化が体幹動態に影響を及ぼしていると考えられる. 他方, 片側の拘縮により両膝の荷重状態が変化し, 特に15度以上の屈曲拘縮で膝関節には過負荷を生じること⁴⁾, 前額面以外でも運動に変化を生じることなどから, 長さの変化以外の要素(代償動作など)

による動的な要素も, ここで示した3次元的变化の要因と考えられる.

屈曲拘縮のない変形性膝関節症患者の歩行解析では, 踵接地の直後に体幹は同側に傾斜することが知られている⁷⁾. これは膝のO脚変形を増加させるトルク(膝内反モーメント)を減じるための代償性歩行と考えられているが, 本研究の結果とはまったく反対の動きである. 実際の臨床では, 変形性膝関節症患者の体幹動態に関しては, 疼痛・内反変形の程度や屈曲拘縮の程度により, その動作にはバリエーションがあるため, 一概ではないと考えられる.

本研究のようなシミュレーションは, 同一の条件を設定することにより, その影響が明確に示せるため, knee-spine syndrome のような病態を考察するうえで有力な手法であると考えられる. 本研究の結果から, 膝関節屈曲拘縮が腰椎の静的・動的姿勢変化を引き起こし, 腰椎の変性・変形につながる可能性が示された. 今後は臨床例による検討を重ねていくことで, この疾患概念とその病態について解明を進める予定である.

二 参考文献(数字番号は重要文献)

- 1) Cerny K, Perry J, Walker JM : Adaptations during the stance phase of gait for simulated flexion contractures at the knee. *Orthopedics* 17 : 501-512, 1994
- 2) Fogel GR, Esses SI : Hip spine syndrome : management of coexisting radiculopathy and arthritis of the lower extremity. *Spine J* 3 : 238-241, 2003
- 3) Harato K, Nagura T, Suda Y, et al : A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee-spine syndrome. *Gait Posture* 28 : 687-692, 2008
- 4) Harato K, Nagura T, Suda Y, et al : Knee flexion contracture will lead to mechanical overload in both limbs—A simulation study using gait analysis. *Knee* 15 : 467-472, 2008
- 5) Kakushima M, Miyamoto K, Shimizu K : The effect of leg length discrepancy on spinal motion during gait : three-dimensional analysis in healthy volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)* 28 : 2472-2476, 2003
- 6) Matsuyama Y, Hasegawa Y, Yoshihara H, et al : Hip-spine syndrome : total sagittal alignment of the spine and clinical symptoms in patients with bilateral congenital hip dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)* 29 : 2432-2437, 2004
- 7) Mündermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP : Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis : increased load at the ankle, knee, and hip during walking. *Arthritis Rheum* 52 : 2835-2844, 2005
- 8) Murata Y, Takahashi K, Yamagata M, et al : The knee-spine syndrome. Association between lumbar lordosis and extension of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 85 : 95-99, 2003
- 9) Nagura T, Dyrby CO, Alexander EJ, et al : Mechanical loads at the knee joint during deep flexion. *J Orthop Res* 20 : 881-886, 2002
- 10) Offierski CM, MacNab I : Hip-spine syndrome. *Spine (Phila Pa 1976)* 8 : 316-321, 1983
- 11) Perry J : Contractures. A historical perspective. *Clin Orthop Relat Res* 219 : 8-14, 1987
- 12) Perry J, Antonelli D, Ford W : Analysis of knee-joint forces during flexed-knee stance. *J Bone Joint Surg Am* 57 : 961-967, 1975
- 13) Potter PJ, Kirby RL, MacLeod DA : The effects of simulated knee-flexion contractures on standing balance. *Am J Phys Med Rehabil* 69 : 144-147, 1990
- 14) Pritchett JW, Bortel DT : Degenerative symptomatic lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 18 : 700-703, 1993
- 15) Tsuji T, Matsuyama Y, Goto M, et al : Knee-spine syndrome : correlation between sacral inclination and patellofemoral joint pain. *J Orthop Sci* 7 : 519-523, 2002
- 16) Wolfe F, Hawley DJ, Peloso PM, et al : Back pain in osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care Res* 9 : 376-383, 1996
- 17) Yoshimoto H, Sato S, Masuda T, et al : Spinopelvic alignment in patients with osteoarthrosis of the hip : a radiographic comparison to patients with low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 30 : 1650-1657, 2005

ご案内

第23回 日本臨床整形外科学会学術集会神奈川

- 会期 2010年7月18日(日)~19日(祝)
会長 葉梨之紀(神奈川県臨床整形外科医会)
会場 パシフィコ横浜(〒220-0012 横浜市西区みなとみらい1-1-1)
ウェブサイト <http://www.kcoa.jp/23jcoa/>
問合せ先 近畿日本ツーリスト(株)トラベルセンター
〒130-0022 墨田区江東橋3-4-2 錦糸町マークビル3階
TEL : 03-6730-3233, FAX : 03-6730-3230
E-mail : tourdesk25@or.knt.co.jp
事務局 第23回日本臨床整形外科学会学術集会神奈川・事務局
〒243-0402 海老名市柏ヶ谷719-4 葉梨整形外科
TEL : 046-232-8500, FAX : 046-234-0279
E-mail : 23jcoa@kcoa.jp