

中に入っけていきます。

◇そして変形した部分を切除して人工関節を入れます。人工関節は骨にセメントを付けて打ち込みます。そして余ったセメントをふき取る。手術はデリカシーが非常に大事です。最後にお皿、膝蓋骨も置換します。トライアルという最終的に入れる人工関節と同じ形をした部品を入れてみて大きさや動きを確かめて、問題がなければ本物の白いプラスチックを挿入します。これが人工膝関節置換術です。

手術時間は最初の頃は大体百二十分、二時間ぐらいかかりました。今はだいたい手術は九十分ぐらいで済みます。

それから入院日数。どのくらい入院日数が必要だったか。これも昔は二十二・五。今は十七日ぐらい。もつと短くなるかなと思っただのですが、日本のおばあさんは病院からなかなか帰りませんね(笑)。病院が相好好きです。帰ると近所の人の目がどうのこうのと言っつて、医者を目から見ると、しっかり歩いているし、もういいだろうと思っつても、なかなか帰りません。入院日数は短くはなっていますけど、手術時間ほどは短

くならないというのが現状です。

◇術後に皮膚を縫合した後の皮膚切開の大きさを比較すると、これまでの方法では大体二〇cmぐらい切っていました。今では関節の大きさにもよりますが大体七〇〜一〇〇の間ぐらいです。もちろん変形の程度によっても違います。

◇また、麻酔もいろいろと工夫していますので手術直後から動けます。現在、麻酔の先生と協力して、せつかく小さな切開で患者さんが痛くないよう手術を行うので、なるべく早く動けるようにしようと試みています。運動神経はブロックせず知覚神経だけ、痛みだけを取って、早く歩けるようにしようというのを今研究中です。そうすると手術の直後から、かなり動けます。

◇X脚のひどい変形に対しても人工膝関節置換術を行います。最小侵襲人工膝関節では術後一週間で歩けます。リハビリテーションが昔に比べて非常に早くなりました。

変形性関節症のスポーツ療法

◇変形性関節症は動く痛いのでスポーツはやめたほうがいいかという質問を受けることがあります。スポーツをやめる、運動をしなくなると、まず全身の筋力が弱ってきます。どんどん年をとります。また骨も使っていないと弱くなります。更の場合によつては体の循環まで悪くなります。むくみなども出てきます。結果としては心肺機能まで悪くなる。気力の低下。何にもやる気がなくなってしまう。これはだめです。

◇そこで、スポーツをやっていた方がいいかというところ、あまりおじいさんになったら、サッカーなどはやめたほうがよさそうです(笑)。それから無理なマシーンを使ったトレーニング。これもやめておいたほうがいいでしょう。

◇お勧めはせいぜいウォーキング。これはオーケーです。最近流行っているノルディックウォーキング、これもオーケーです。歩くというのは基本的な動作で膝を使いますが、歩き過ぎたらやめればいい。その人に

よつて何キロまでならよいなどは、なかなか決められません。歩くこと自体はそんなにストレスのかかる運動ではありません。

◇水泳。これはとてもお勧めです。水泳は体重がかからないので膝に負担がかからず、しかも筋肉をもつてすぐ使います。水泳はお薦めのトレーニングの一つです。ただバタ足にしてください。平泳ぎは膝をひねるのでかえって痛くなってしまうことがあります。泳げない人はボードを使ってもいいですし、とにかくバタ足のほうが膝には優しいと思います。

どうしてもいろいろなスポーツをやりたい人。せいぜいボーリング、テニス、こら辺までならいいでしょう。これ以上激しいことをやるとやっぱり膝には相当負担がかかります。

更に、内科の先生。大体偉そうです内科の先生は(笑)。で、糖尿病、メタボリック症候群などの病気をみつけると必ず言うのが、一日一万歩、歩きましょう、運動しましょう。それで帰っちゃいます。ところが整形外科医から見ると相当足腰が弱っている人にも言います「一万歩、歩きましょう」(笑)。絶対歩けません。

僕たちから見ると変形性関節症はあるし、脊椎は悪いし、骨粗鬆症もあるし、いろいろな運動器の問題がある。こういう人に一万歩、歩きなさいと言っても無理です。

◇そこで、今、慶應のスポーツ総合センターでは、通常トレーニングは自転車、トレッドミルなどの下肢を使うことが多いのですが、下肢の悪い人には上肢でトレーニングができないか、ということを用いた画策しています。上肢のトレーニングに使うのは上肢のエルゴメーターといえます。水泳もいいと思います。治療の流れは、まず内科的疾患が見つかったら、まず内科の先生が整形外科医に相談する。そして、患者さんの運動機能も評価する。膝がどのような状態か、脊椎ひどい変形がないか。そこら辺を総合して運動療法のメニューを決めようとしています。患者さんのやる気も大事です。やる気ない人はだめですね。これが今、慶應のスポーツ総合センターでやっているプロジェクトの一つです。

◇最後に自分の受けた手術をご紹介します。年甲斐もなくサッカーをやっていました。手関節が折れました。

後輩に頼んで手術をしたら創外固定を入られました。

◇全身麻酔で寝かされました。実際には周囲に医局員が二十人ぐらい見ていたそうです。うちの教授は私が寝ている間に手術室に入ってきて、きれいに髭を剃れとかいろいろ言っていたみたいです(笑)。

◇骨がついた後、最後は自分で創外固定を抜きました。これは相当生々しいビデオです。「抜釘」といって、クギを抜くところです。麻酔はしませんでした。あまり痛くありません。これは大丈夫だと思って、「おれ、残りは自分で抜くよ。」そこネジ回しを自分で回しました。回すとあんまり痛くありません。「何だいけるじゃないか」といってどんどん回すと、約五秒後、激痛がきます(笑)。ということとで手術はやっぱり麻酔かけてやったほうがいいと思います(笑)。以上です。どうもありがとうございました。(拍手)

— 質疑応答 —

◇質問 A どうもありがとうございました。私、今年喜寿を迎えたのですが、五年前に膝関節症の症状があったんです。膝が痛くて五十メートルも歩けない。杖

を使つて一カ月ぐらい苦しみました。接骨院へ行つてマッサージをやつて何とか歩けるようになりまして現在に至つておりますけど、また再発するのではないかという心配ですが、再発の恐れのパーセンテージは一般的にはどれくらいあるのでしょうか。

松本 元々変形性膝関節症は完全に治ることはありません。変形性関節症自体は多分治つていないのだと思います。変形がどのくらいあるかがポイントで、その程度によつて症状が違います。重症ですと常に痛いのですが、軽い場合には症状に波がありますから、特に悪い時期には水が溜まりますし炎症が起こるので、痛みも強くなります。それが治まつてしまうとある程度、変形は残つていても、そんなに炎症を起こさなければあまり痛みません。多少変形があつても、そのまま行ける人もいます。ただ、ある時期からまた変形が進んで更に悪くなることもあるので、パーセンテージはその変形が今現在どのくらいあるかによると思います。

動きはフルに動きますか?——「はい」。そうしたらずまず大丈夫でしょう。診もせずに無責任なこと言え

ませんが……。本当にひどくなつてくると動きが悪くなつてくるので、伸びきらないとか正座ができないとかなつてきます。それができているうちはまずそんなにひどい変形ではないので多分いけると思います。

質問 B 先生はインターネットで拝見いたしますと医学博士と工学博士と両方の学位をお取りになつていらつしやる。そうしますとそういう学際的な何かこういうことをご研究なさつていらつしやるのではないかと思うのですが、その方面でどういうことをやつていらつしやるのか。

例えば、こういうあれで無重力の所へ行きますと骨がなくなるといふようなこと。軟骨に破骨細胞と造骨細胞が関わつて形成されていくときに何かこういう病気のときに治す方法をご研究されていらないかどうか。ちよつと雑駁な質問で申し訳ありませんが、そういうことで何か面白いお話がございましたら。

松本 面白いかどうかわかりませんが……。工学博士はイギリスにいるときに膝の動きについての研究で頂きました。膝の前十字靭帯という靭帯が切れますと膝がガクツとずれる現象が起こります。その現象が「ど

のよう原因で起こるのか」というのがあまりよく分かっていませんでした。それを屍体膝を使っていろいろ測定したのですが、その時に工学的な知識が非常に必要になるので、それを勉強して工学博士号を頂きました。英国で頂いた学位ですが、変形性膝関節症とはあまり関係ありません。

軟骨細胞のお話は変形性膝関節症をどうやって治していくかということの根本的な治療に関わる大切なポイントですね。現在の人工関節はあくまでも傷んだ部分を切り取って、人工物で代用する手術です。関節を、特に細胞レベルでもっと若返る方法がないかとかいうような研究も行われています。

ただこれはアンチエイジングの話になるので、年をとってくると細胞自体も年をとってくる。「フェロミア」という単語を聞いたことがあるかと思いますが、細胞自体があと何回分裂できるかということも決まっていますと言われています。細胞も年をとってくる、膝も年をとってくる、身体も年をとってきます。地球上の人類全員が皆若返って生き残っちゃったたら大変なことになっちゃうので、年をとることもそれなりの意味がある

のかなとは思いますが、研究としてはその細胞を取って培養して若返らせて戻すというようなことも行われています。

生まれた途端に自分の若い細胞を取って置いて、それを冷凍保存しておいて、年をとってその冷凍した細胞を培養して戻してやるというような研究もされています。ただ倫理的には、やっぱり年とったらだんだんに皆いなくなつたほうがいいのかなと：(笑)。

質問 C 先程、変形性膝関節症のために大腿四頭筋の筋力補強が大切だということ、その方法を一つ事例としてお教えいただきましたけれども、スクワットができる状況であればそのほうがいいのでしょうか。

松本 スクワットはあまりお薦めしません。特にハーフスクワット、膝関節の屈曲が九十度以内でやるのであればまだよいのですが、九十度以上超えたところから膝を伸ばす力を加えると膝蓋大腿関節(膝は大腿骨と脛骨の間の関節のほかに膝蓋骨(お皿)と大腿骨の間の関節もあります)に、大きな負担がかかります。変形性膝関節症の時は通常、この膝蓋大腿関節にも変形がありますから、九十度以上曲げた状態、つまり椅

子に深く座つたところから立つような動作では、かなり大きな力がかかります。膝蓋大腿関節が傷んでなければいいのですが、大体的場合傷めているので、深いスクワットをやると返って痛くなってしまふ可能性があります。やるのでしたらハーフスクワット、九十度から伸展位の間でやっていた方がいいが安全だと思います。

司会 最後に、長澤常務理事より、ご挨拶申し上げます。

長澤常務理事

昔、交詢社の副理事長で、その方はもう亡くなりましたが、典型的なO脚の人がいたんです。膝関節症が始めた頃、その人は大変ゴルフが好きでしたが、まずゴルフをやめました。その次は、朝の散歩が好きで毎日天気がいいときは日比谷公園とか皇居前広場を散歩して、それから出勤してくるということとで有名な人でしたけれども、その朝の散歩をやめました。だんだん痛みが激しくなってきた、ついに最後はよちよち歩きというか、本当に歩幅が小さいといえますか、見ていても気の毒

になるぐらいな歩き方をしていました。あるとき、どうしても痛くて耐えられないから手術することにしようと言われました。「手術ってどういう手術ですか」「よくわからないけど手術すれば医者がよくなると思うからやるんだよ。」そう言って手術をされました。一カ月ぐらいたって出てこられました、どうですかと聞いたら、いや本当によくなった。普通に歩くのには全然痛くなくなったと言っておられました。どういう手術だったのかなと思つたんですが、結局人工関節を入れたらんだと思うんです。その人工関節というのはどういうものかということとを先程、絵でも見せていただき非常によくわかりました。私が覚えておられますが手術したら劇的によくなったということとでございしますが今日のお話は皆さんにも参考になったのではないかと思います。

松本先生は、四十年間膝一筋に研究をしてこられた方で、恐らく膝に関しては日本で一番のお医者さんなのではないかと思えます。またスポーツ選手も膝が悪くなると松本先生の所へ来られるということで、大変お忙しい先生だと思えます。そのお忙しい中を本日は

■ 特集「足底挿板の基礎と臨床」

膝関節について

畔柳裕二¹⁾ 名倉武雄²⁾ 須田康文³⁾稲城市立病院整形外科¹⁾, 慶應義塾大学医学部運動器生体工学寄付講座²⁾, 同整形外科³⁾

要旨 内側型の変形性膝関節症に対する外側楔状補高足底挿板（以下足底挿板）の治療は世界に先駆けて本邦で始められ、医療経済の観点から近年注目されている。膝関節内側の負荷・疼痛を軽減させ、有効性を支持する報告が散見される。また、足関節固定バンド、パッドなどと組み合わせることで、効果が大きくなることも報告されている。足底挿板に対する理解を深め、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。

Abstract Lateral wedged insole which is used as an orthopedic device in patients with medial knee osteoarthritis is developed in Japan and the first report was published in 1975. The lateral wedged insole does not correct the lower limb alignment, however it shifts the weight bearing axis laterally and the joint load in medial knee compartment decreases consequently. Several biomechanical papers showed the load transmitted to the medial compartment in knee joint decreased when the insole was applied and some practical reports exhibited its effectiveness to relieve the pain. Therefore, the insole is spread to other countries as an effective device. The combination of the insole and an ankle strap band was reported to be more effective to relieve pain clinically and some papers supported the effect biomechanically.

However, it is not easy to prescribe a lateral wedged insole properly. The inclination of the wedge would affect the clinical result and medial knee joint load increases in some cases. The treatment with the insole is non invasive and inexpensive. I believe it is important to understand the treatment correctly and to have a skill to prescribe it properly.

Key words : 足底挿板 (insole), 変形性膝関節症 (osteoarthritis)

はじめに

足底挿板の膝関節への治療は主に変形性膝関節症（以下膝 OA）で行われている。本稿では OA に対する足底挿板の治療として述べさせていただく。

膝 OA は軟骨などの構成体の慢性かつ退行

性疾患であり、65 歳以上の 30% が罹患しているとの報告もある¹⁾。わが国でも ROAD (research on osteoarthritis against disability) study によると患者数は 1000 万人に及ぶとされており、身体的・経済的な負担は膨大である。

患者の多くは内側型の膝 OA であることか

The effect of insole in patients with knee osteoarthritis

Yuji KUROYANAGI, MD, Takeo NAGURA, MD, PhD and Yasunori SUDA, MD, PhD

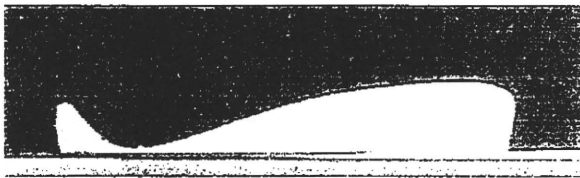
連絡先 : 〒206-0801 東京都稲城市大丸 1171 稲城市立病院整形外科 畔柳裕二 電話 042-377-0931



足底挿板をホルダーに入れて使用



足底より見たところ



ホルダーの中身 (右が外側, 7mmの補高)

図1

ら、膝関節内側の負荷および疼痛の軽減を目的に、足部の外側に楔状の足底挿板による治療が1975年に戸祭らによって世界に先んじてわが国で報告された²⁾。外側楔状補高足底挿板(以下足底挿板)による治療は、Yasuda, Sasakiらによって欧米にも紹介され^{3,4)}、



図2 足関節固定バンド付足底挿板

近年医療経済の観点から広がりを見せ、その基礎的また臨床的な報告も増加している。本稿では、主に海外で報告された論文を基に、足底挿板の有用性について述べる。

足底挿板の種類

内側型膝OAの治療として外側の補高は7-12mm、または 5° - 10° のものが一般的に用いられている。材質は、比較的柔らかいウレタン製などのものから、シリコンラバー・エチルビニールアセテートなどの比較的硬いものなどが使用されている。靴の中に挿入する、文字通りの足底挿板ばかりでなく、屋内でも使用できるホルダーによる固定式のものも用いられている(図1)。補高の方法も、後足部のみ補高するもの、中足部のみ補高するもの、外側を踵部より趾まで補高するものといくつかの種類がある。外側の楔状補高に加えて、足関節をバンド固定するタイプの足底挿板(距骨下関節固定型足底挿板)がTodaらによって開発され⁵⁾、良好な臨床成績が報告されている(図2)。

足底挿板の基本的なメカニズム

一般に足底挿板では大腿骨脛骨角(FTA)

は変化しない、つまり足底挿板は下肢のアライメントを改善させる効果をもたないとされている。Yasudaらは、外側楔型補高により、踵骨が距骨下関節で外反し、下肢機能軸を内側より外側へ移動させるが内反を矯正する作用はないと報告し³⁾、現在広く支持されている。それに対して、Todaらによって開発された足関節のバンド固定を併用した足底挿板は下肢アライメントの矯正が可能である⁵⁾。アライメントの評価として、内側型膝 OA 患者に対して、6.35 mm (約 5°) の外側補高に弾性バンドで足関節を固定すると、立位 X 線より計測された FTA が 3.1° 改善したと報告した⁶⁾。

基礎的な研究の報告

足底挿板の動作中の基礎的研究は 1997 年 Ogata ら⁷⁾ によって初めて報告された。彼らは、足底挿板の使用により歩行時の lateral thrust が減少したと報告した。動作時の関節負荷の観点から見た足底挿板の効果については 2000 年 Crenshaw ら⁸⁾ によって報告された。健常膝に対して足底挿板装着、非装着で歩行し、それぞれの歩行におけるパラメータを調査したところ、膝内反モーメントが約 7% 減少したと報告した。膝内反モーメントとは、歩行時に膝を内反させようとするモーメントのことであり、関節負荷の指標として用いられており、以後膝内反モーメントを解析した報告が続いた。内側型膝 OA 患者に対しては 2002 年に Kerrigan⁹⁾ らは 5°、10° の足底挿板を用いることによってそれぞれ約 6%、約 8% の膝内反モーメントが減少したと報告した。

筆者らは内側型膝 OA 患者に対する足底挿板・足関節バンドの有効性を調査した。裸足と比べて、足底挿板使用時には約 8%、足関

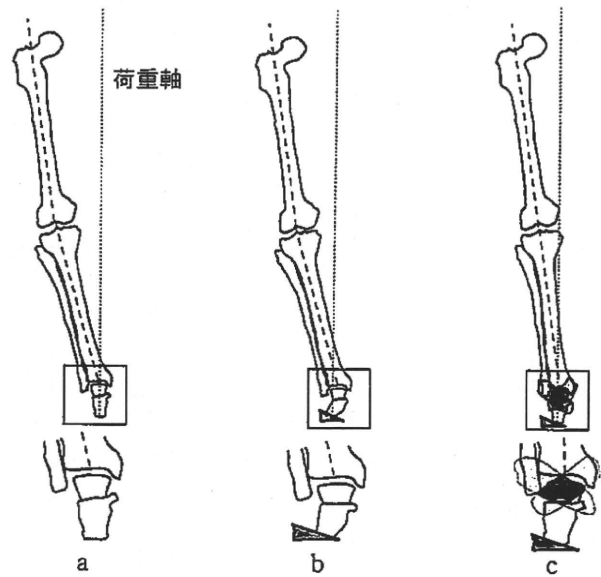


図3 足底挿板使用によって荷重軸がシフトし、膝関節内側の負荷が軽減する。足関節を固定するとアライメントが改善し、膝関節内側の負荷がより軽減する。a: 裸足, b: 足底板使用時, c: 足関節固定バンド付足底挿板使用時 (文献 10, Kuroyanagi et al, Osteoarthritis Cartilage 2007 より)。

節バンドを加えると約 13% 膝内反モーメントの減少を認め^{10,11)} (図 3)。Toda らの報告を支持する結果となった。

Kakihana らは 6° の足底挿板を用いると、健常者で約 13%、膝 OA 患者で 5.6% 膝内反モーメントが減少したと報告し¹²⁾。Nakajima らは健常者で 7.7% 膝内反モーメントが減少したと報告した¹³⁾。材質、形がさまざまな足底挿板で、さまざまな被検者に対して行われた研究にもかかわらず、おおむね 6-8% の膝内反モーメントが減少したとの結果となったのは非常に興味深い。

Shimada らは、重症膝 OA よりも軽症膝 OA のほうが膝内反モーメントをよく低下させたと報告した¹⁴⁾。一方、Kakihana らは 18% の内側型膝 OA 患者では足底挿板によって逆に膝内反モーメントが増加したと報告している¹⁵⁾。臨床では足底挿板で効果が不十分なことがしばしば認められるが、どのような症

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った。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、痛みが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 laterallywedged 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) Shakoor 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—。 *Geriatr 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±6.7kg，身長1.74±0.05m）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。

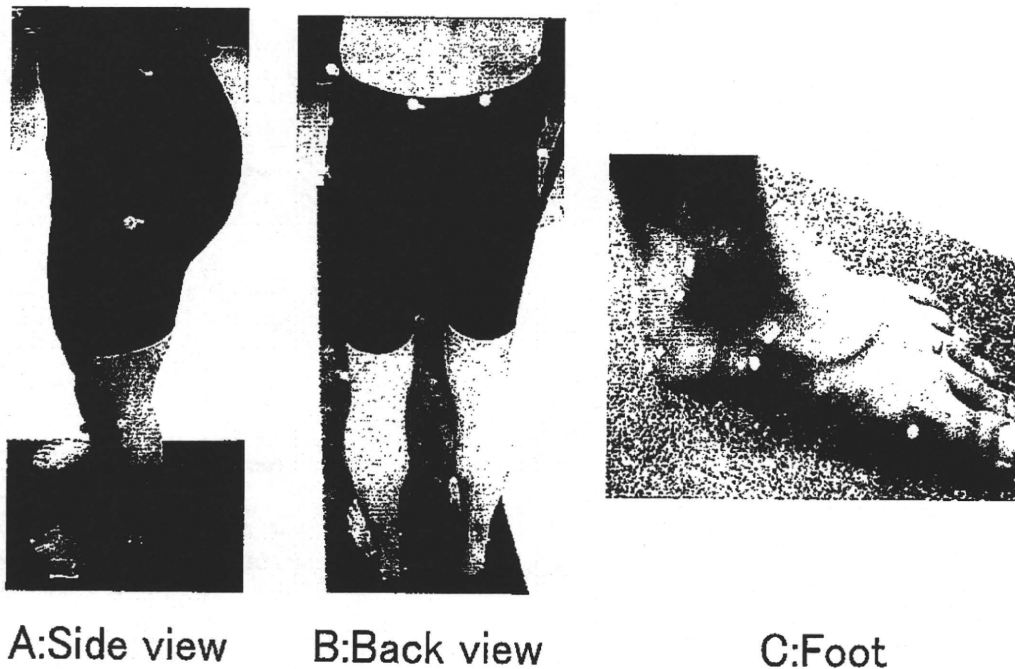


図1. Thirteen reflective markers were attached to the skin of the hip, knee, and ankle joints and foot of each subject.

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

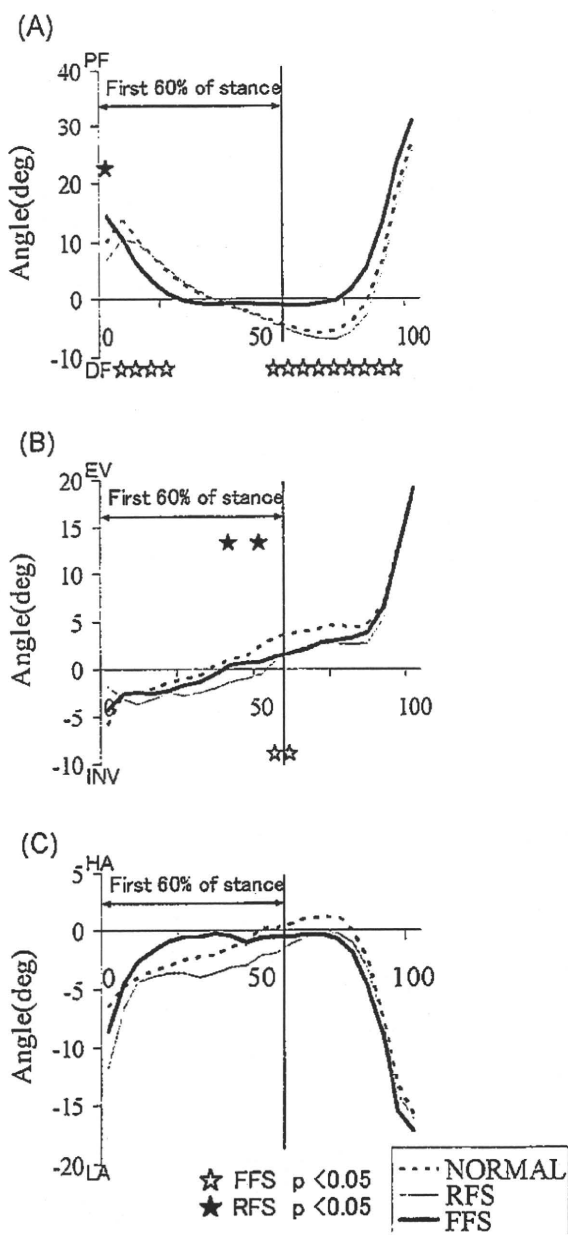


図2. (A) Ankle joint sagittal plane kinematics (PF = Plantarflexion, DF = Dorsiflexion) during walking. (B) Ankle joint frontal plane kinematics (INV = Inversion, EV = Eversion) during walking. (C) Changes of MLA (HA = High Arch, LA = Low Arch) during walking. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot strike.

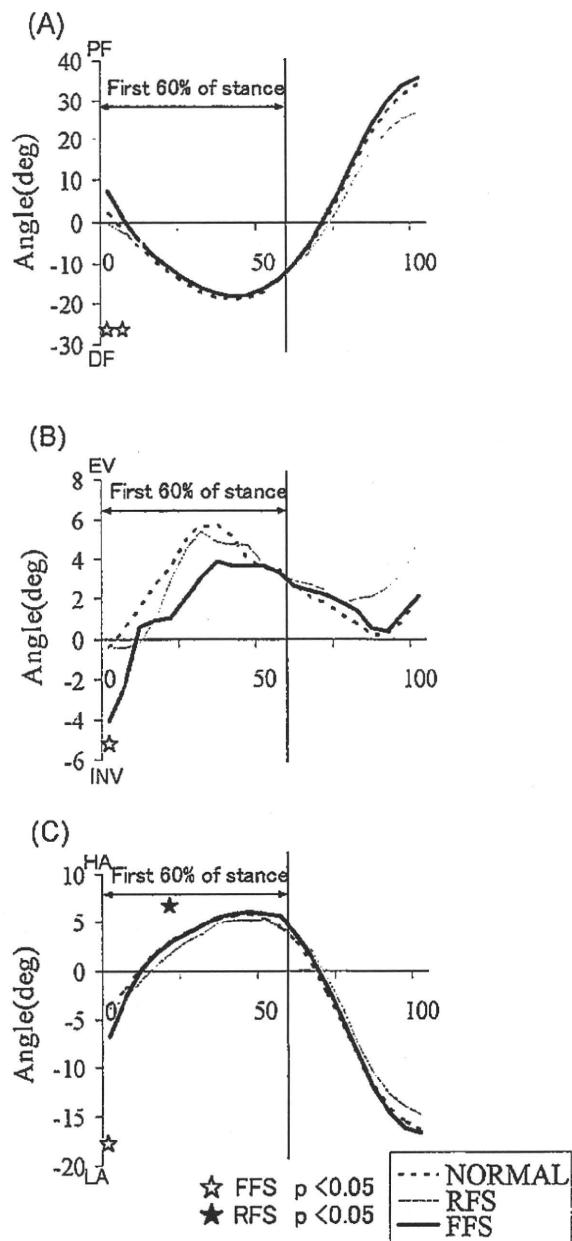


図3. (A) Ankle joint sagittal plane kinematics (PF = Plantarflexion, DF = Dorsiflexion) during running. (B) Ankle joint frontal plane kinematics (INV = Inversion, EV = Eversion) during running. (C) Changes of MLA (HA = High Arch, LA = Low Arch) during running. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot strike.

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

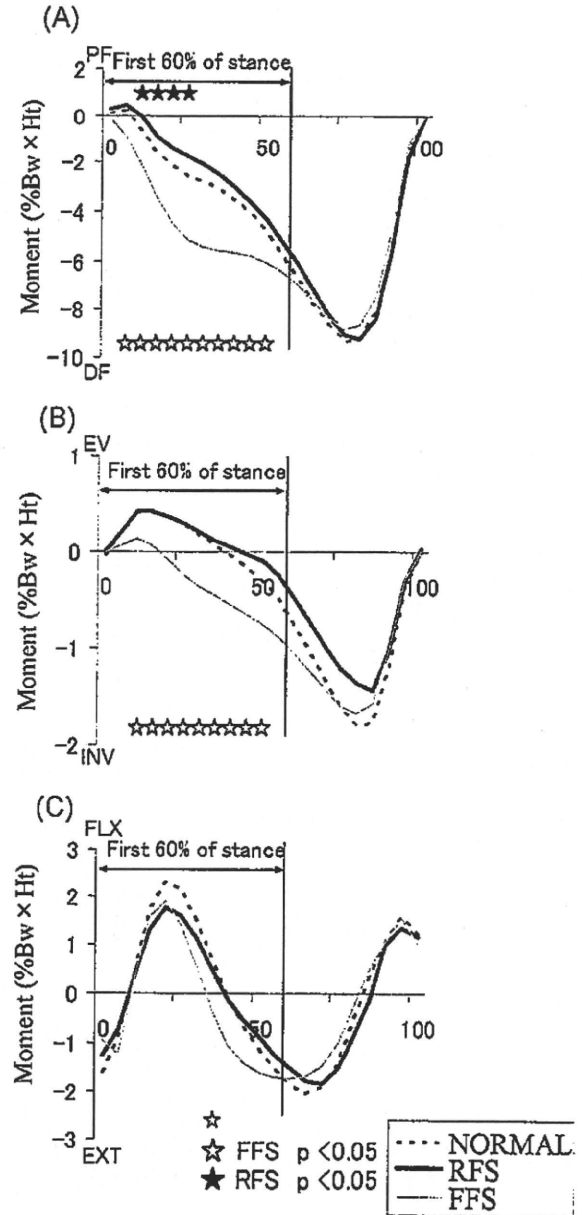


図4. (A) Ankle joint sagittal plane moment (PF = Plantarflexion, DF = Dorsiflexion) during walking. (B) Ankle joint frontal plane moment (INV = Inversion, EV = Eversion) during walking. (C) Knee joint sagittal plane moment (FLX = Flexion, EXT = Extension) during walking. RFS=Rearfoot strike, FFS=Forefoot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

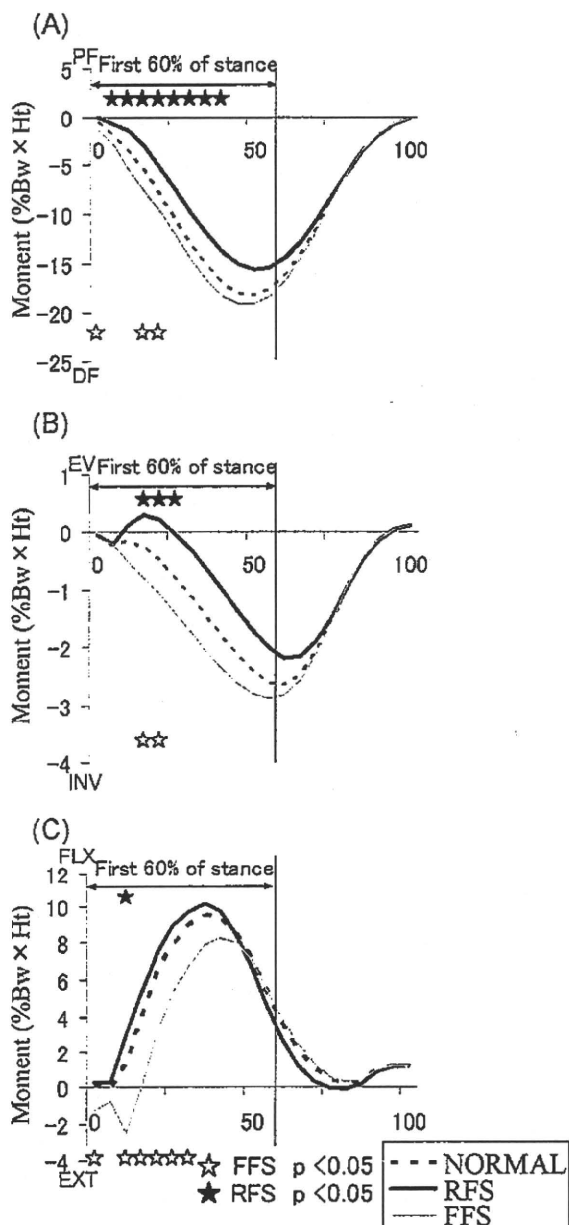


図5. (A) Ankle joint sagittal plane moment (PF = Plantarflexion, DF = Dorsiflexion) during running. (B) Ankle joint frontal plane moment (INV = Inversion, EV = Eversion) during running. (C) Knee joint sagittal plane moment (FLX = Flexion, EXT = Extension) during running. RFS = Rearfoot strike, FFS = Forefoot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