

OST Magazine 2/2002 pp.26-33 (OST紙の転載記事)

Der Einfluss der Beweglichkeit des oberen Sprunggelenkes auf das Laufverhalten

足関節可動域の ランニングパターンへの影響

Björn Gustafsson, Michael Siewers, Arne Tesch

測定可能な足関節背屈・底屈制限があるランナーは、ランニング中も可動域制限を示すのだろうか？この可動域制限はランニング特有筋群の柔軟性減少と関連があるのだろうか？そして足関節可動域制限は歩長にどのように影響するのだろうか？これらの質問はこの論文の中で研究されている。

この研究の目的は、足関節の可動域制限によりトレッドミル上でのランニングまたは歩行パターンが変化を示すかどうかの調査である。この背景から、研究に参加した被験者グループはランニング特有の能力レベル、足関節可動域、ランニングに関係する下肢筋群の柔軟性に基づき分類された。質問の決定的な鍵となったのは、歩長と膝及び足関節角度の決定であった。

特にランナーは特有の荷重パターンにより、下肢領域で筋の機能的短縮を持つ傾向がある（1993年Wangら、2001年Steinackerら）。今まで行われた研究では、支持運動機構、特にアキレス腱の傷害を含む徴候と足関節可動域制限の関連は再三示されていた。これにより、特に下腿三頭筋の不十分な柔軟性は、可動域制限の作動スイッ

チとしてみなすことができる（1993年Haglund-AkelindとEriksson、1999年Kaufmanら、1995年Segesserら）。その上にMillironとCavanagh（1990年）は、短縮したふくらはぎにより荷重時に足関節背屈制限が生じ、それにより歩長に影響が生じると推測した。

開始条件と方法

合計40名の被験者がこの研究に参加した。下記に示す人体測定学的データ及び平均BMI（体格指数、キログラム体重をメートル身長²で割る）が 22.97 ± 1.57 であることにより、この研究グループは等質であるとみなすことができる（テーブル1）。

テーブル1：全グループの人体測定学的データ(総数:40)

	年 齢	身長(m)	体重(kg)
中間値	29	1.80	75.3
標準偏差	4.09	0.06	7.54
幅	22~36	1.69~1.97	60~90

被験者全員が余暇にランニングスポーツをしていると述べた。40名中25名がランニングまたはトライアスロンを主たるスポーツとしていると述べた。残りの15名は他のスポーツをしていた。被験者全員の典型的スポーツ活動は、一週間に 8.1 ± 4.3 時間行われていた。ランニング訓練距離は一週間に 29 ± 15.5 キロメートルであった。

被験者グループ全員は二つの異なったサブグループに以下のように三度分けられた。

一番目にスポーツ特有の視点から、ランナー及びトライアスリートのグループと、他のスポーツを行うグルー

ブという二つのサブグループに分けられた。

二番目に足関節可動域制限での走行パターン調査目的から、足関節可動域制限サブグループ (OSGV) と、足関節可動域正常サブグループ (OSGN) を作った。サブグループOSGVでは、ニュートラルゼロ法 (足底と下腿軸が直角) により背屈は20度未満とした。サブグループOSGNの足関節背屈は20度以上とした。このグループ分けは、Kapandji (1992年) とDebrunner (1988年) の正常可動域ガイドラインを参照して行われた。背屈検査はWirth (1992年) により、二関節筋である腓腹筋の伸張作用を除外するために膝関節屈曲で行われた (図1)。

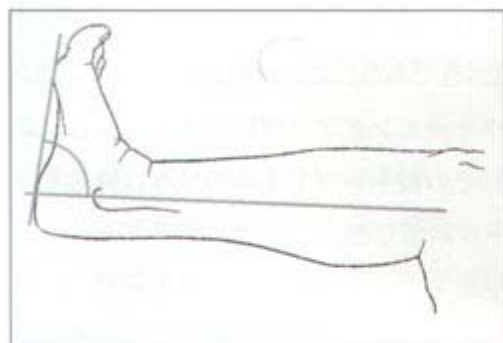


図1
足関節角度の測定

三番目にランニング特有筋の運動を考慮し、筋柔軟性減少サブグループ (MDV) と筋柔軟性正常サブグループ (MDN) の二つに分けられた。これはTittel (2000年) により述べられた伸筋屈筋ループの機能パターンに基づいている。サブグループMDVでは、同文献にある正常値より小さいものを筋柔軟性の「減少」とみなした。Kendall (1988年) によると一関節である腸腰筋では、股関節屈曲は80度である。二関節筋で股関節を屈曲させる大腿直筋の正常可動域は215度である。ハムストリングは、一関節筋の大腿二頭筋短頭と、二関節筋の半膜様筋と大腿二頭筋長頭が共に正常の伸張力で可動域は220度である。Kendall (1998年) によると、二関節筋の柔軟性決定には、関与する両関節の可動域を加える。例えば大腿直筋では、股関節屈曲80度 + 膝屈曲135度 = 合計可動域215度 (写真2~4) となる。



写真2
腸腰筋の柔軟性テスト



写真3
大腿直筋の柔軟性テスト



写真4
ハムストリングの柔軟性テスト

この研究参加の基本前提条件は、ランニング及び歩行荷重において傷害やその徴候がないことである。これは徴候・傷害を補うためパターンを変化させることによる誤った結果を排除するためである。被験者達はあらかじめトレッドミルに慣れるよう訓練をして、十分な運動経験をつまなければならなかった。下肢領域の手術は4ヶ月以上前に行われたものでなければならなかった。

トレッドミルのセットアップ試行

この研究のため、Callis社の幅50センチ、使用可能長155センチのトレッドミルを使用した。トレッドミルの速度は毎秒0から4.9メートルまでスムーズに調整できた。踵の接地が速度調節に与える影響はごくわずかで、それは1キロワット直流モーターにより保証された。トレッドミルの表面はShore55の硬さがあり、大体森の地面の衝撃吸収に相当した。

被験者は一ヶ所に固定されたビデオカメラで撮影された。このカメラはソニーのDCR-VX1000Eで、画像周波数は50ヘルツ、露出は1000分の1秒であった。カメラは撮影対象に向かって、3.5メートルの距離で走行方向に対し直角に設置された。

短い露出時間を可能にするため、トレッドミル表面は10個の200ワットハロゲンライトで照らされた。7つのライトはトレッドミル上にUの字に配置され、2つはバン

下の脇に、1つは走行バンドを後方から直接照らした(図5)。

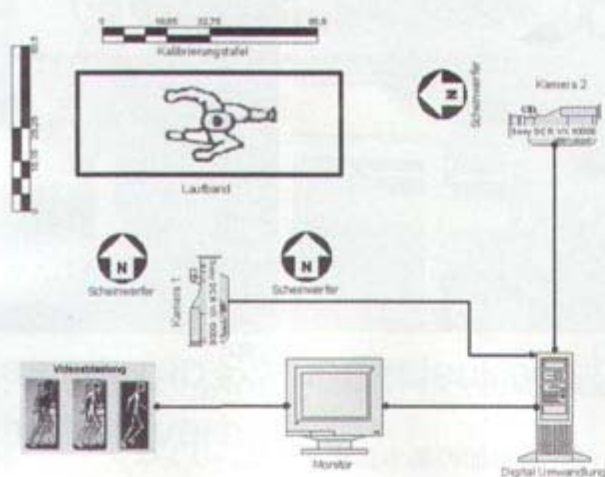


図5 トレッドミルのセットアップ試行

セットアップ試行と実施

足関節可動域と左下腿筋の柔軟性検査のため、被験者はまず仰臥位となった。Kendall (1998年) により、足関節可動域はニュートラルゼロ法で、Bauerfeind社の標準角度計を用いて測定された。足関節背屈測定では、被験者の測定側膝関節は屈曲とした。大腿直筋、腸腰筋、ハムストリングの柔軟性検査も、Kendall (1998年) によった(テーブル2)。

テーブル2: 参照ポイント
(ラインはSIMI Motion 6.0により描かれた)

1	大転子(股関節)
2	大腿骨外顆(膝)
3	外果
4	踵骨隆起(踵)
5	第5趾中足趾骨関節



基準ポイント(写真6)は左側だけの下肢軸にマーキングされた。基準ポイントの順はSimi Motionデータファイルに基づき、下肢の矢状軸に沿って仮定上の股関節軸基準ポイントとなる大転子に始まり、Nietert (1975年)

により膝関節軸ポイントを大腿骨外顆上顆とし、外果、踵骨隆起、第五趾の中足趾骨関節とした。

測定はドイツ・キールのKriwat GmbHの運動研究室で行われた。データ収集の障害を可能な限り小さくするため、研究はプロトコルにのっとって行われた。

研究の始めに人体測定学的データが集められ、左側下肢可動域検査の結果はデータシートに記録された。続いて被験者の左下肢にマーキングをした。短い打ち合わせの後、トレッドミルをスタートさせ、被験者はまず5分間の慣らし期を時速8キロ(秒速2.2メートル)で走った。これによりトレッドミル表面上に関する万が一の不確定性の減少が保証され、検査に関与する筋のウォーミングアップがなされるべきである。この比較的緩慢なランニング速度のため、ウォーミングアップ時の疲労効果は計算に入れていない。その後トレッドミルの速度は時速12キロ(秒速3.3メートル)とした。

データ収集と評価

デュアルベンチウムⅢ(800kHz)ハードドライブに保存されたデジタルビデオデータファイルは、Simi Motion6.0ソフトを用いて更に加工された。Simiソフト(プログラムメニューとデータ記録)はビデオファイルに記録された個々の基準ポイントの調整をデジタル化した。その目的のため2つのサンプルファイルが作成された。1つは身体マーキングのための詳述データファイルで、もう1つは測定のための関連システムであった。これらには基準ポイントの正確な順序とその名前が含まれた。詳述データファイルは関与する基準ポイントと運動分析に必要な関係を定義した。セグメント間の関係は角度により確定した。デジタル化される必要のある基準ポイントが定義された。測定値を評価し、表示するためにSimi Motion6.0が用いられ、運動学的値を基準ポイントの詳述に基づいて、あらかじめ決定された順序に自動的に認識された。結果として得られたポイントデータファイルは、

バスポイントシステムに基づいてコンピューターで実際の調整へと計算された。二次元未加工データを用いて、足や膝関節角度のような全運動学的値は計算された。

Simi Phaserファイルを用いて、ランニング運動はGustaffson (2000年) に基づき、接地期、支持期、踏み切り期、遊脚期に分けられ、それぞれの時間が記録された(テーブル3)。

テーブル3：左下肢のランニング運動の期分類

期	説明
接地期	最初の地面との接触時点(踵または前・中足部)から足全体の接地まで
支持期	接地期の終わりから踵の持ち上げまで
踏み切り期	支持期の終わりから前足部の最後の地面との接触まで
遊脚期	踏み切り期の終わりから接地期の始めまで

膝及び足関節角度のデータ収集の時間ポイントには、ランニング運動の相応する期の最後のフレームが使用された。特に支持期では、荷重時の足関節背屈の最大値が保証されているべきだった。

写真7はSimi Motion6.0プログラムでのデータ評価の概観である。このプログラムは多種の運動評価の可能性を提供する。運動表示の隣には線モデルに基づき、ダイアグラム、ビデオ画像、テキストデータの同時表示が可能である。

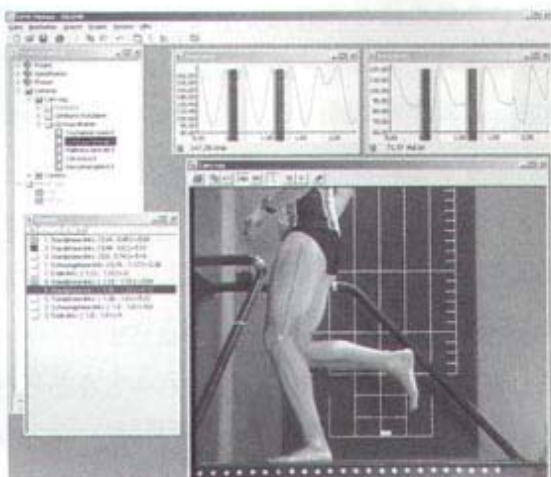


写真7 Simi Motion 6.0プロジェクトのコンピューター上の映像

統計的分析

ランニング特有パラメータと運動学の変数は、算術中間値と標準偏差の統計的平均調査を通し、上述された全サブグループに描写された。

各被験者の連続運動から2つの代表されたステップサイクルが選ばれ、テスト再テスト依存が調査された。この目的のためにピアソン照合が一歩めと二歩めのデータ間で行われた。各サブグループの中間値の偏差を統計的に確認可能とするため、独立乱数検査のため一側学生t検定が使用され、統計的有意は $p=0.05$ と決定された。

結果

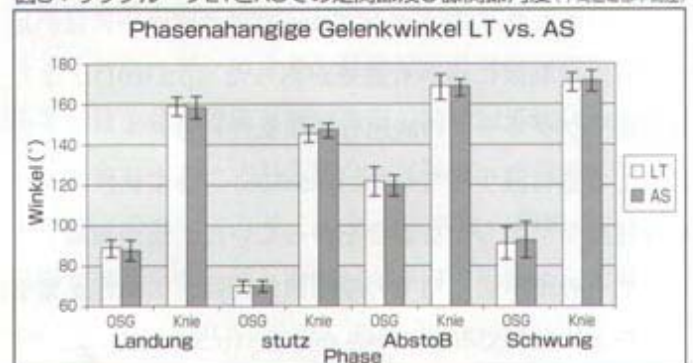
1. アスリート・トライアスロン (LT) と他のスポーツ (AS) の比較 (テーブル4及び図8)

全運動学変数評価の後、サブグループLTとASの間では「背屈」も「歩長」も有意差がないことが示された。更にASと比較してLTは筋肉の柔軟性が減少しているとは、この研究では確証できなかった。

テーブル4：サブグループLTとASでの統計(中間値と標準偏差) (* $p \leq 0.01$)

	総数 (n)	年齢	身長 (m)	下肢長 (m)	体重 (kg)	BMI	ランニング距離 (km/週)*	スポーツ時間 (h/週)
LT	25	29.04±3.9	1.80±0.1	0.92±0.0	75.6±7.2	23.2±1.4	35.2±14.7	8.6±5.6
AS	15	28.9±4.3	1.81±0.1	0.92±0.1	74.8±8.0	22.6±1.8	18.7±10.5	7.3±2.5

図8：サブグループLTとASでの足関節及び膝関節角度(中間値と標準偏差)



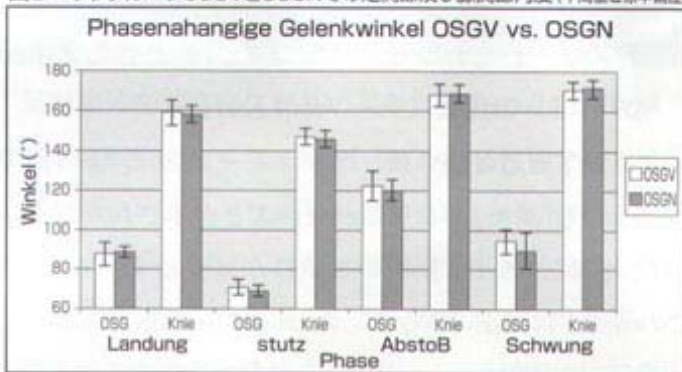
2. 足関節可動域制限 (OSGV) と足関節可動域正常 (OSGN) の比較 (テーブル5 及び図9)

全変数の評価で、始めにニュートラルゼロ法を用いて確認された足関節運動と調査された支持期の背屈運動に関して、有意差がサブグループ間で示された。足関節可動域制限を持つランナーはこの結果より、ランニング荷重下でも有意に減少した背屈を呈した ($p \leq 0.05$)。その上調査された筋の短縮と足関節可動域制限には関連があった。サブグループOSGVのランナーは大腿直筋の柔軟性減少の傾向を示し ($p \leq 0.01$)、腸腰筋が類似した関連を示した ($p \leq 0.05$)。

テーブル5: サブグループOSGVとOSGNでの統計 (中間値と標準偏差)

	総数 (n)	年齢	身長 (m)	下腿長 (m)	体重 (kg)	BMI	ランニング距離 (km/週)*	スポーツ時間 (h/週)
OSGV	17	27.6±3.5	1.80±0.0	0.90±0.0	75.2±8.7	23.2±1.8	29.5±18.9	8.8±3.4
OSGN	23	30.0±4.4	1.81±0.0	0.92±0.0	75.3±7.1	22.9±1.4	28.6±13.3	7.7±5.1

図9: サブグループOSGVとOSGNでの足関節及び膝関節角度 (中間値と標準偏差)



3. 筋柔軟性減少 (MDV) と筋柔軟性正常 (MDN) の比較 (テーブル6 及び図10)

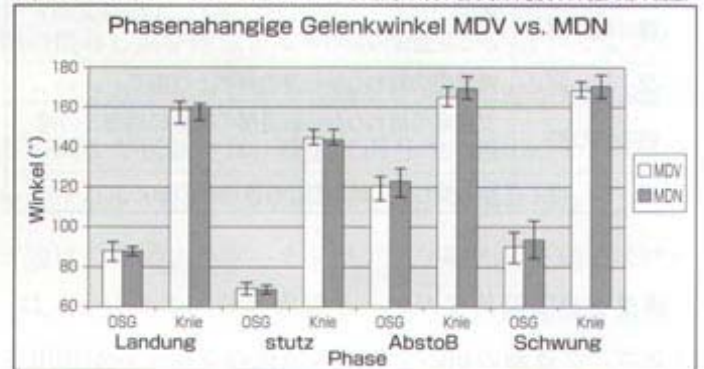
MDNランナーとMDVランナーの比較で、足関節可動域制限とテストされた筋群の柔軟性減少には関連があることが示された。MDVサブグループのランナーには、足関節可動域制限に高い有意差があった ($p \leq 0.01$)。また筋短縮サブグループの底屈も筋柔軟性正常グループと比較して有意に減少していた ($p \leq 0.05$)。筋柔軟性減少は走行運動学に明らかな影響を持っていた。筋が短縮したランナーの踏み切り期での膝関節角度は、柔軟性正常ランナーと比較して有意に小さかった ($p \leq 0.05$)。つまり、「短縮」ランナーの下肢は、柔軟性ランナーの下肢と同程

度には伸展されていなかったのだ。それに加えて、「短縮」ランナーの踏み切り期での足関節可動域制限傾向は、はっきりと認識できた ($p \leq 0.05$)。

テーブル6: サブグループMDVとMDNでの統計 (中間値と標準偏差)

	総数 (n)	年齢	身長 (m)	下腿長 (m)	体重 (kg)	BMI	ランニング距離 (km/週)*	スポーツ時間 (h/週)
MDV	26	29.1±4.6	1.81±0.0	0.92±0.0	75.8±8.4	23.2±1.8	26.7±17.5	7.5±4.2
MDN	14	28.8±3.2	1.81±0.0	0.92±0.0	74.4±6.1	22.6±1.1	33.2±11.0	9.3±4.8

図10: サブグループMDVとMDNでの足関節及び膝関節角度 (中間値と標準偏差)



考 察

最初に立てた仮説に反して、特有の走行トレーニングをしたスポーツ者が有意に異なったランニングパターンを呈するという結果はこの研究で示せなかった。しかし特有のパラメータについて足関節可動域制限と短縮した筋は関連を示した。

最初のサブグループ間での比較は、長距離ランナーとトライアスリート (LT) が機会ランナー (AS) と比較して柔軟性が有意に小さい筋群を持っているとは確認できなかった。それにより、この結果は1993年のWangらと2001年のSteinackerらの結果をカバーしなかった。膝及び足関節の可動域制限は観察されなかった。サブグループ間の比較では、LTランナーとASランナーの間で歩長の違いは示されなかった。ASグループの週あたりのランニングトレーニングは有意に少なかったが、走行運動学に関係のある運動パターンの違いはみられなかった。

この認識により結論付けると、機会ランナーと真剣ラ

ンナーの間にはランニング特有の運動パターンの相違は存在しなかった。この場合他の能力制限要素、例えば筋持久力のようなものは有効であるという推測がでてくる。更に、より長い運動距離それだけでは経済的なランニングスタイルはできず、均整の取れたランニングトレーニングは、例えばランニング特有筋の機能的強化と柔軟性を伴ったランニングのいろはという特有技術下で、運動の流れに影響を与えることが推測可能だ（1996年Wessinghage、1998年Wessinghage、2001年Meyerら参照）。

二番めのサブグループ間の比較では、足関節背屈制限のあるランナーは、支持期での足関節角度と有意な関連がみられた。つまり、減少した受動的足関節背屈は負荷下でも減少するということだ。これは短縮したふくらはぎにより生じたのだろうか、また1990年のMillironとCavanaghの足関節可動域制限についての主題は支持されたのだろうか。しかしながらこの研究で示せなかったのは、足関節可動域制限により歩行期が短縮し、そしてそれにより歩長が短縮することだった。速い速度は大部分が長い歩長とある程度が歩頻度により達成されるが（1990年MillironとCavanagh参照）、その速い速度下では足関節背屈制限により支持期が短縮し、それにより歩長が短縮するのが予期できるだろう。

サブグループOSGNとの比較で、足関節背屈制限ランナーには大腿直筋と腸腰筋の柔軟性減少がみられた。この結果により、伸筋屈筋ループ領域の筋短縮は足関節可動域を小さくするかもしれないと解釈できる。短縮した伸筋ループへの伸展力の増加が、腓腹筋と大腿直筋の参加により、アキレス腱への伸展力負担も増加する（1997年Schnack参照）。しかしながら足関節背屈は腓腹筋の関与なしに検査されたので、筋柔軟性の他の要素も可動域制限に責任があるだろう。例えば特有の足タイプ（ハイアーチ）、または足関節複合体の結合組織の堅さ（1991年Lohrer、1992年Kapandji参照）により生じることがある。

三番めのサブグループ間の比較で筋柔軟性の影響については、MDV被験者の背屈及び底屈が有意に減少していた。明らかに伸展及び屈曲筋群の柔軟性減少が一般的な関節の運動制限結果としてあり、それが上述した足関節

複合体への影響要因の原因となり得るかもしれない。

筋サブグループの比較ではランニング運動学への影響が発見された。踏み切り期でMDVランナーは後方の下肢をより小さく伸展した。つまり、この期に検査された膝関節角度はMDNランナーと比較して明らかに小さかった。その上MDVサブグループのランナーは踏み切り期に、正常柔軟性ランナーより減少した足関節可動域を持ち、それはTittel（2000年）による筋ループ機能により説明可能であった。特に二関節筋群の特徴として、踏み切り期で後方のハムストリングが認められ、柔軟性制限が膝関節の大きな伸展の可能性を小さくした。大腿骨前面にある大腿直筋の柔軟性減少は、踏み切り期の伸展に反して働く。柔軟性が減少した腸腰筋は一関節筋として、踏み切り期での股関節伸展に影響することができ、大腿は生理学的に後方に伸展不可能となり、遊脚期での能動的股関節屈曲は早く開始しすぎる（1998年Kendall参照）。

結 語

まとめると、足関節可動域制限と下肢筋の柔軟性の間には明らかに関連が存在する。これは走行運動学に影響を持つ。改善した足関節可動域と筋柔軟性は、走行時の可動域に対して好ましいことが示された。

これまでの研究との関連で、損傷または疼痛の予防と治療にランナーは関節可動域と筋柔軟性を最大限に活用することにより、ランニング由来の傷害や症状の予防と治療に役立てると推奨できる。

運動を最大限に活用し、ゆえに足を安定させる整形外科インレーゲンにより、足関節可動域制限の歩行への影響の最小化が達成可能である。特に回外傾向のあるリジッドなハイアーチ足を持つ（足外側への荷重）ランナーには、それにより生じるアキレス腱の問題に対して、適切なインレーゲンの装用が予防と治療として働くことができる（1991年Lohrer、2001年Meyerら）。

〔訳：多賀聡子、カール・ハインツ・ショット〕