

別添資料：研究報告書詳細

1. 目的

本研究では、履物の違いが下肢の血行動態、筋活動、歩行動作に与える影響を把握する。

2. 方法

2.1 実験内容

被験者は膝下の空いたハーフパンツを着用し、足部の寸法計測および各測定装置の電極を貼り付けた後、10 分間仰臥位（仰向けで寝た姿勢）で安静にさせた。その後、それぞれの測定条件（図 1）についてウォーキングマシンを使用して 3 分間の歩行を行い、再度 10 分間仰臥位で安静にさせ、これをすべての条件が終わるまで繰り返し行った（図 2、図 3）。実験時はウォーキングマシンの歩行速度は 3km/h に設定し、測定条件は提示順序がすべての被験者で異なるように調整した。被験者は 12 名（表 1）で、実験時の室内環境は温度 $23.5 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $43.5 \pm 5.7\%$ であった。

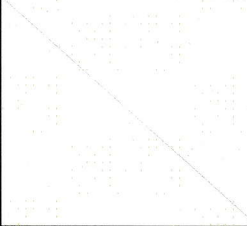
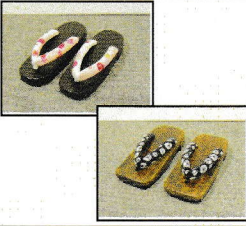
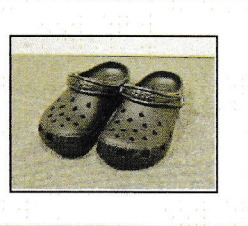
	条件1	条件2	条件3	条件4
写真				
名称	裸足	下駄	サンダル	五本指下駄 (GETAL)
備考	靴下等を履かない裸足の条件	性別に合わせて男性用、女性用の下駄をそれぞれ素足で着用させた。	23～27cm(1cm刻み)のサンダルの中から足のサイズに合ったものを素足で着用させた。	全ての被験者で同じサイズのものを素足で着用させた。

図 1 測定条件（実験に使用した履物）

	実験準備	臥位安静 (10分)	歩行 (3分)	臥位安静 (10分)	歩行 (3分)	臥位安静 (10分)	歩行 (3分)	臥位安静 (10分)	歩行 (3分)	臥位安静 (10分)	実験終了
測定項目	・足寸法測定 ・温湿度記録	・赤外線サーモ ・血流	・加速度 ・筋電図	・赤外線サーモ ・血流	・加速度 ・筋電図	・赤外線サーモ ・血流	・加速度 ・筋電図	・赤外線サーモ ・血流	・加速度 ・筋電図	・赤外線サーモ ・血流	・温湿度記録
備考	実験説明・同意書 電極貼付	裸足	履物①	裸足	履物②	裸足	履物③	裸足	履物④	裸足	電極取外し 聞き取り調査

図 2 実験の流れ

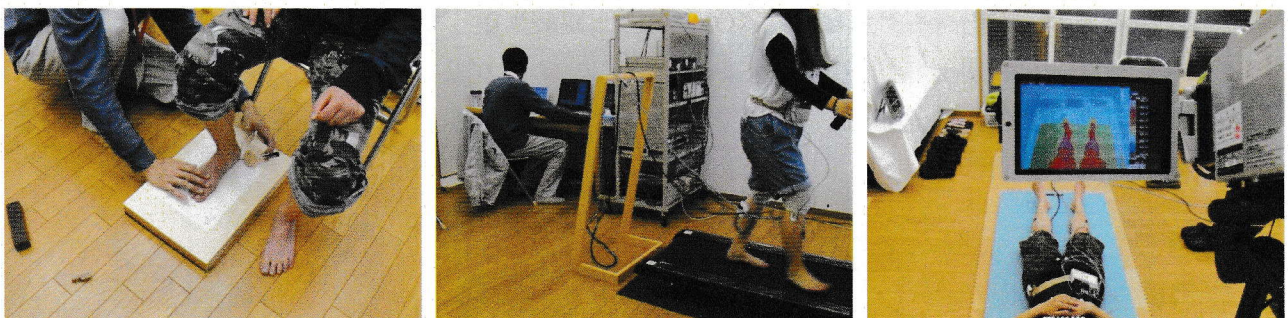


図 3 実験風景（左：足部測定、中：歩行時の測定、右：安静時の測定）

表 1 被験者の身体特性

被験者ID	性別	年齢	身長	体重	足長	足幅	ボール幅	ボール高	外側ボール高	足幅/足長(%)
1	男性	31	1700	55	247	96	93	36	21	38.9
2	男性	45	1730	68	237	95	92	34	24	40.1
3	女性	31	1600	52	226	84	82	32	21	37.2
4	女性	46	1600	43	224	100	94	37	24	44.6
5	女性	36	1480	57	205	89	84	33	22.5	43.4
6	女性	35	1520	45	215	94	90	33	22	43.7
7	男性	44	1640	54	224	95	92	38	22	42.4
8	女性	45	1540	50	211	87	84	29	18	41.2
9	女性	47	1560	47	236	91	90	31	24	38.6
10	女性	36	1530	43.5	221	83	81	33	22	37.6
11	男性	36	1750	65	250	100	96	38	26	40.0
12	女性	32	1670	52	227	96	90	31	15	42.3

2.2 測定項目

1) 歩行時の測定 1 : 加速度測定

履物の違いが歩行動作に与える影響を調べるため、膝部、腰部の左体側部に小型無線ハイブリッドセンサ (WAA-006 クレスコワイヤレス) を貼り付け、サンプリング周波数 100Hz で測定を行った。測定結果については 30 秒ごとの加速度の区間平均、および 30 秒間ごとの加速度のばらつき (区間標準偏差) を算出した。

2) 歩行時の測定 2 : 表面筋電図測定

歩行時の筋活動を把握するため、マルチテレメータシステム (WEB-9500 日本光電) を使用し、左右腓腹筋 (主に足関節の底屈に関わる筋肉) および左右前脛骨筋 (主に足関節の背屈に関わる筋肉) の筋電位の測定を行った。腓腹筋については、血流測定用プローブと測定部位が重なるため、通常の電極貼付部位より約 30mm 上方に電極を貼付した。測定時のサンプリング周波数は 2kHz とし、測定結果についてはノイズ除去のため 5Hz のハイパスフィルタ処理を行った後、筋活動量の指標として 30 秒ごとの区間積分値を算出した。

3) 安静時の測定 1 : 赤外線サーモグラフィ

足部の指先や甲の温度変化を調べるため、赤外線サーモグラフィによる体表面温度の測定を行った。測定にはサーモトレーサ (TH9260 日本アビオニクス) を使用し、臥位安静時に 5 分間隔で熱画像を記録した。記録したデータをもとに足の甲での最高温度 (以下、足甲温度)、足の親指の指先での最低温度 (以下、足指温度) を抽出した。

4) 安静時の測定 2 : 血流測定

下肢の血行動態を把握するため、組織血液酸素モニタ (BOM-LITRW オメガウェーブ) を使用し、左右腓腹筋での酸素化ヘモグロビン量 (OXY-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン量 (deOXY-Hb)、総ヘモグロビン量 (total-Hb) の変化を近赤外線分光法によりサンプリング周波数 1Hz で測定した。測定結果については OXY-Hb を動脈血、deOXY-Hb を静脈血の血流量、total-Hb を総血流量を示す指標とし、それぞれ 1 分間ごとの区間平均を算出した。

3. 結果と考察

3.1 歩行時の測定結果

1) 加速度の測定結果

膝部、腰部それぞれの加速度の区間平均、及び区間標準偏差について、履物の種類と時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、膝部の前後方向の加速度、膝部と腰部の上下方向の加速度のばらつきについては履物の主効果が認められ ($p<0.05$)、時間の主効果および交互作用は認められなかった。

このことから、履物の違いにより、膝の前後方向の動きは異なり、裸足やサンダルの場合では膝の前後方向の加速度が大きく、下駄や GETAL は小さいことが確認された (図4)。これは、膝の前後方向の動作の違いを示しており、裸足やサンダルの場合では勢いよく前後に膝を動かすのに対し、下駄や GETAL では緩やかに動かしていた。

また、膝や腰の加速度のばらつきは動きの不安定性を示していると考えられた。サンダルは他の条件と比較して、膝の上下の動きが不安定であり (図5)、その動きが腰に伝わることで腰の上下の動きが不安定となる傾向があり (図6)、GETAL は膝の上下の動きは安定しているが (図5)、腰の上下の動きが不安定な傾向があると考えられた (図6)。

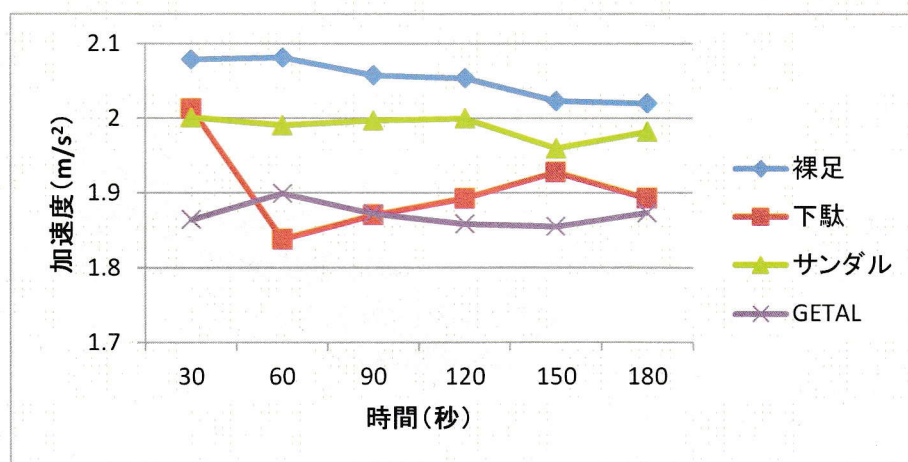


図4 膝の前後方向の加速度の30秒毎の平均

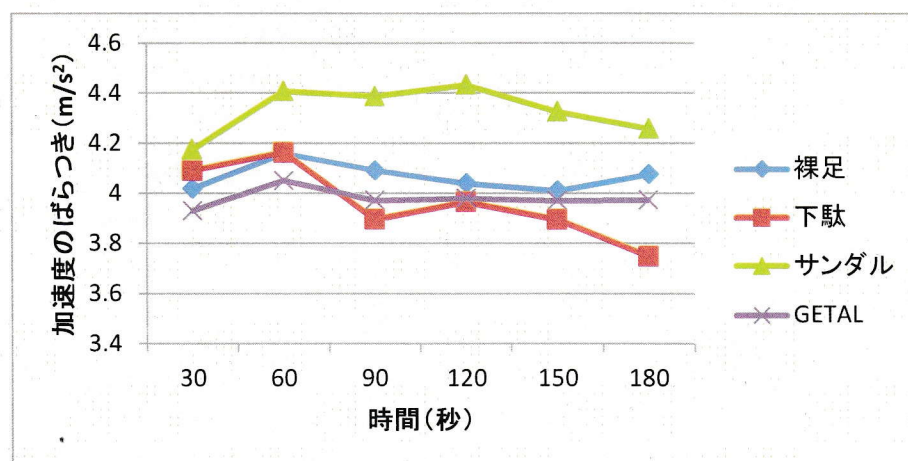


図5 膝の上下方向の加速度の30秒毎のばらつき

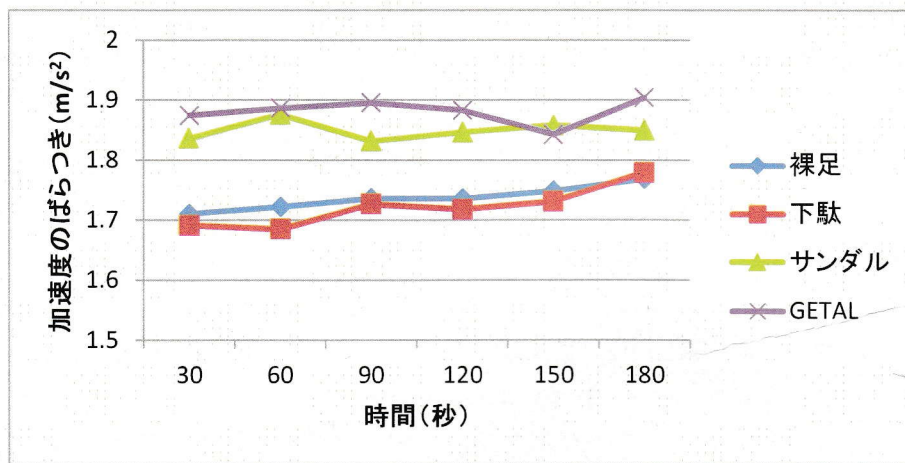


図6 腰の上下方向の加速度の30秒毎のばらつき

2) 表面筋電図の測定結果

左右腓腹筋および左右前脛骨筋について、履物の種類と時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、いずれの筋についても履物や時間の主効果は認められなかった。このことから、今回の実験では、履物の違いや歩行時間は筋活動に影響を与えなかったことが確認された。

3.2 安静時の測定結果

1) 赤外線サーモグラフィの測定結果

足甲温度について、履物および時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、履物と時間に主効果が認められ（履物の主効果 $p < 0.01$ 、時間の主効果 $p < 0.05$ ）、さらには交互作用が認められた（ $p < 0.01$ ）。これは臥位安静後の時間経過、歩行時の履物の違いが足の甲の温度変化に影響を与えていることを示しており、GETALは他の条件と比較して足の甲の温度が高い傾向が見られた（図7）。交互作用については、時間による温度変化の傾向が履物により異なることを示しており、今回の実験では裸足の条件が他の条件と比べて温度変化が小さかったことが影響したと考えられた。

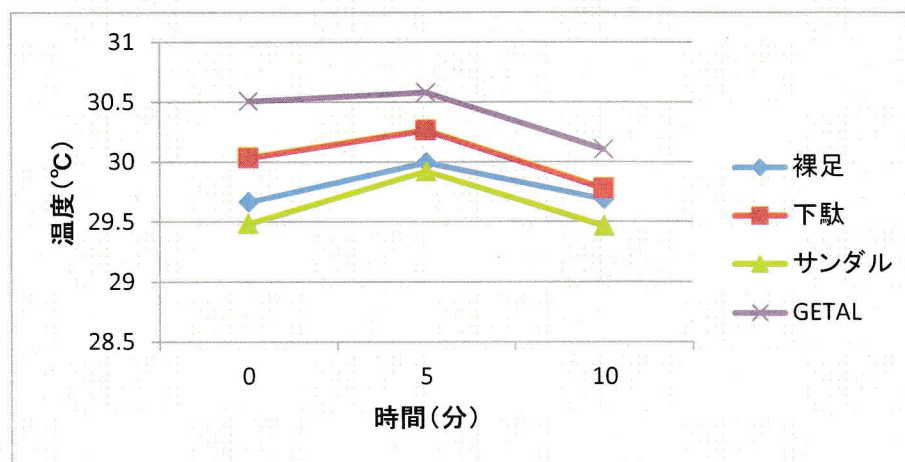


図7 足甲温度の変化

足指温度について、履物および時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、履物の主効果が有意傾向（ $p < 0.1$ ）で交互作用が認められた（ $p < 0.05$ ）。今回の実験では統計的に明らかな結果は見

られなかったが、裸足の条件が他の条件と比較して足の指先の温度が高く、GETAL は、温度変化が他の条件と異なる傾向が見られた（図8）。これは、他の条件と比較して GETAL では足の甲の温度が高かったため、安静直後は影響がなかったものの、徐々に足の甲の温度が足の指先に伝わったために起きた変化だと考えられた。

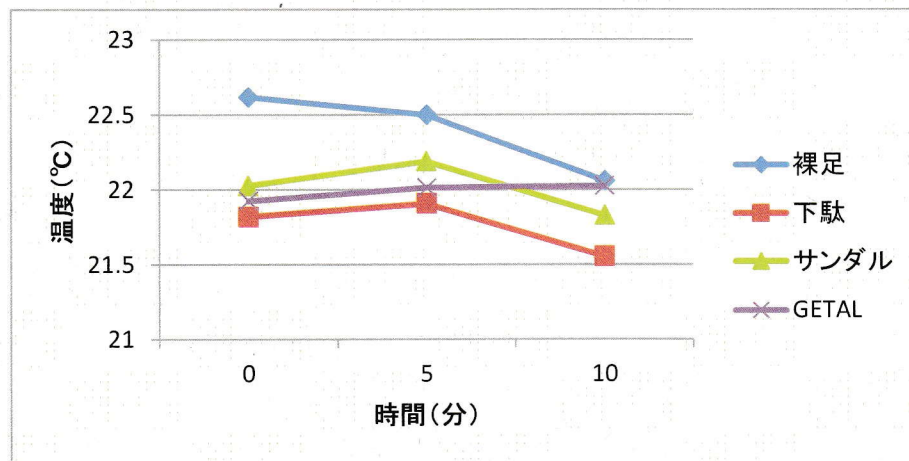


図8 足指温度の変化

2) 血流測定の結果

左右腓腹筋での OXY-Hb、deOXY-Hb、total-Hb について、履物および時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、すべての項目について時間の主効果は見られたものの ($p<0.01$)、履物の主効果が見られなかった。このことから、下肢の血液循環は歩行直後から安静状態になったことで変化するが、履物の違いによる影響は受けないことが確認された。

4. まとめ

結果の概要を以下に示す。

- ・歩行動作は履物の違いの影響を受けた。

GETAL は裸足やサンダルに比べて膝の前後の動きが緩やかで、安定しているが、腰の上下の動きが安定しない傾向がみられた。

- ・歩行時の筋活動は、履物の違いによる影響を受けなかった。
- ・安静時の足部の温度は履物の違いの影響を受けた。

GETAL は他の条件と比較して足の甲の温度が高い傾向が見られ、それに伴い、時間経過による足の指先の温度低下が抑制されたと考えられた。

- ・安静時の下肢の血流は履物の違いによる影響を受けなかった。

今回の実験から五本指下駄「GETAL」の着用は、足甲の温度を上昇させ、足指温度の低下を防ぐ効果があると考えられた。しかし、腓腹筋での筋活動や血流に関しては他の条件と比較して差がなく、温度上昇の原因については明らかにならなかった。現状では測定の困難な足部での血流量や履物素材の熱伝導率に起因する足部の熱放散量の低下など、今後検討の余地が残る。

また、GETAL は足指の付根付近を締め付ける可能性があることから、うっ滞による足部の温度上昇も原因として考えられたが、歩行直後の足指温度についてはサンダルや下駄と比較して差がなく、足指付近での血流障害は特に発生していないと考えられた。