

The investigation of the perception of the position where the somatosensory information changes sharply with forward and backward leaning

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-02-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Asai, Hitoshi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00057006

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



KAKEN
2000
27

立位にて前・後傾した場合に体性感覚情報が 急変する位置の知覚に関する検討

(研究課題番号：11835011)

平成11～12年度科学研究費補助金【基盤研究(C)(2)】

研究成果報告書

平成13年3月

研究代表者 浅井 仁
(金沢大学医学部助教授)

はしがき

これまで共同研究者の藤原らは先の研究において、安静立位を20回繰り返して保持した場合に、前後方向における立位位置は大きく変動し、その範囲は足長の約12~15%の範囲であることを報告した。また、我々はその後の研究で、前後方向における立位位置の再現能力から位置知覚能について検討した結果、踵から足長の30% (30%FL) より後方、および60%FLより前方の位置における再現能力は、多くの人々が安静立位を保持する40~50%FL付近よりも優れていることを明らかにした。これらのことは、安静立位を保持する位置の知覚がしにくく、30%FLより後方、および60%FLより前方の位置の知覚がしやすいことを示唆するものと考えられる。

前傾位や後傾位などにおいては、重力方向に対する立位位置の違いによって足関節回りのモーメントが変化することによって、立位を保持するための筋活動の様相、および足底の圧分布などが異なり、しかもある位置から急激に変化する場合があることが知られている。すなわち、筋感覚情報や足底圧情報などの体性感覚情報は、前庭系情報とは異なり立位位置の違いに対応して変化することが考えられる。具体的には、30数%FLから後方で前脛骨筋が活動し出すことや、60%FLより前方で足指屈筋の筋活動や足指への圧が急激に増加することや第1中足指節関節部への圧がピークに達することが報告されている。また、350余名を対象に実施した体の傾きの知覚に関するアンケートにおいて、足底圧情報の急激な変化によって体の傾きを知覚している者が最も多く、次いで下肢筋からの情報であることが明らかとなった。

以上のことからすると、前述したような立位位置の変位に対応して急変する情報をもとにして立位位置を知覚しているならば、30%FLより後方、および60%FLより前方の位置での位置知覚能が良好であることの理由の一つとして考えることができよう。そのためには、位置によって急変する情報が正確に知覚できるかどうか、あるいはこれらの情報を操作した場合に、立位位置の錯覚等の位置知覚に対する影響について検討することが必要と考える。

脳血管障害などによる中枢神経疾患患者の理学療法は、立位能力および移動動作能力の改善を目的に行われる。この場合の立位能力とは、安静に立位を保持する能力だけではなく、立位で行う動作を安定して遂行する能力も含まれる。動作を安定して遂行するためには、動作中のCFP位置の変動をできるだけ少なくすることが必要である。すなわち、重力方向に対する身体位置を知覚し、知覚した位置に対応した運動プログラムを用いて、身体への外乱を抑える必要がある。位置の知覚が誤っている場合には、実際の位置に対応しない運動プログラムを作動させることにより、外乱が大きくなり転倒のリスクが増すことが充分考えられる。

こうした中で、健常者を対象に立位位置の違いによる位置知覚能力の違いについて検討し、位置知覚の手がかりになる体性感覚情報のある程度特定することは、患者に対して位置を知覚するために代償が可能な情報を選択し指導することなど、効率的な治療方法を確立するために重要なことと考える。

そこで、平成11年度は前後方向の立位位置の変位に対応して急変する情報が正確に知覚できるかということ、足底圧情報と筋感覚情報とについて検討した。平成12年度は足底を冷却することによって足底圧情報を低下させた場合の位置知覚に対する影響について明らかにし、立位位置を正確に知覚するためには立位位置の変位に対応して急変する情報が手がかりとなり得るかということを検討した。

研究組織

研究代表者 : 浅井 仁 (金沢大学医学部保健学科理学療法学専攻)
研究分担者 : 藤原 勝夫 (金沢大学医学部医学科国際医療保健学講座)

研究経費

平成11年度	1,800千円
平成12年度	1,100千円
合 計	2,900千円

研究発表

未発表 (平成13年度発表予定)

目 次

要約	-----	1
緒言	-----	3
対象と方法	-----	6
対象	-----	6
実験機材	-----	6
手順	-----	8
分析	-----	9
結果	-----	12
実験 1	-----	12
実験 2	-----	14
実験 3	-----	16
考察	-----	17
実験 1	-----	17
実験 2	-----	18
実験 3	-----	20
文献	-----	22

要約

要約

前傾や後傾にともなう足底圧情報や筋感覚情報などの体性感覚情報の急激な変化に焦点を当て、その知覚特性について検討した。まず初めに、前傾時にみられる母指球圧の極大値、母指圧および母指外転筋活動の最初の急増（初期急増）、そして後傾時にみられる大腿直筋および前脛骨筋活動の初期急増の知覚における正確性について検討した。次に、母指球、母指、および踵の足底を冷却し圧感覚情報を減少させ、前述した知覚能の変化について検討した。さらに、母指球および母指を冷却し前傾した場合の母指圧、母指球圧の連続的な知覚強度の変化について検討した。被験者は11名の男子大学生である。知覚の正確性は、圧および筋活動の急激な変化を示した足圧中心位置と、知覚した時点の足圧中心位置との差によって評価した。圧強度の知覚は、母指球、母指のそれぞれにおいて、安静立位時の圧から前傾位の最大圧までを10段階に分割し知覚させた。そして、各強度毎の相対圧についてコントロール条件と冷却条件とで比較した。特定部位の冷却時間は40分とし、冷却したい部位を電子冷却効果により1℃に保たれた冷却板に接触させた。各測定は冷却を継続しながら行った。実験によって次のような結果が得られた。1) 母指球圧の極大値は全員が知覚できた。これに対して、母指圧の初期急増は全員が知覚できず、足底圧が母指球から母指に移り母指圧が再度急増する後期急増を初期急増として誤知覚した。母指外転筋、大腿直筋、前脛骨筋のいずれにおいても11名中3名は筋活動の初期急増を正確に知覚することができたが、残りの被験者は初期急増の後にみられる後期急増を初期急増として誤知覚した。2) 母指球圧の極大値の知覚は、母指球を冷却した場合、母指を冷却した場合のいずれも有意な影響を受けなかった。母指圧の後期急増の知覚は、母指よりも母指球を冷却した場合に有意な影響を受けた。母指外転筋活動の後期急増の知覚は、母指を冷却した場合に有意な影響を受けた。大腿直筋活動の急増の知覚では、踵の冷却による影響に個人差が認められた。前脛骨筋の後期急増の知覚では、踵の冷却による有意な影響が認められなかった。3) 母指圧強度の知覚では、母指を冷却した場合には母指圧の初期急増以降の位置で、母指球を冷却した場合には母指球圧の極大値を過ぎた直後の位置で、それぞれ有意な影響が認められた。母指球圧強度の知覚では、母指球を冷却した場合にはほぼ全ての強度

において有意な影響が認められたが、母指を冷却した場合の影響はわずかであった。以上のことをもとに、体性感覚情報の急増や圧強度の知覚における各情報の役割および連携について考察した。

緒 言

緒言

ヒトの立位時における身体動揺は安定した姿勢を保持している場合にも絶えず観察されることが、古くから報告されている(34)。この動揺の調節には、自動的なフィードバック制御が主に働いていると考えられている(20、23、28)。これに対して安定性が大きく崩れた位置では、位置の知覚に基づいた随意性のより高い制御がなされ、この場合、上位中枢の関与の度合いが高くなるものと考えられている(20、22、23)。姿勢制御が安定性の維持を目的としてなされていることが数多く報告されている。Fujiwara, *et al.* (14)は、立位時の前後重心位置によって安定性が大きく変化することを報告した。さらに、安定性が低い立位位置では位置知覚能が高いことを明らかにした(16)。このことから、立位位置は、立位姿勢の安定性との関係で知覚されていることが十分考えられる。

立位位置の知覚においては、体性感覚情報に加え前庭器官からの情報、視覚情報が、統合・処理されていることが報告されている(22、25、26、27、29、36)。前・後傾に伴う下腿部や足部の筋の活動パターン、および足底の圧分布パターンは、以下のように報告されている。すなわち、前脛骨筋と腓腹筋の活動交代は足圧中心が足長の踵から30数%の位置にあるときにみられる(14)。安静立位時の足圧は、そのほとんどが足底部に負荷されており、足指部への負荷はわずか数%である(13)。足底部圧は、足部のアーチ構造によって前後に分散され(5、7、8、21、24)、前傾では中足骨頭の、後傾では踵の圧がそれぞれ増加する。そして、足圧中心が足長の踵から60%の位置より前方に移動した場合に足指圧および母指外転筋の筋活動が急増し、これに伴い足底部位圧の増加は鈍化する(13)。これらのことから立位位置の知覚においては、関節受容器からの情報のように変位に対応して連続的に増加あるいは減少する情報(6、10)だけではなく、特定の位置において情報量が急変する感覚情報も手がかりにしている可能性が考えられる。Fujiwara, *et al.* (17)も、体幹の前屈時の位置知覚能が高い位置においては、脊柱起立筋や大腿二頭筋の筋活動量が体幹前屈にともなって急激に変化する位置であることを報告した。

各種の感覚知覚は、意識された感覚内容が過去の経験や学習に基づいて意味のあるものと解釈され、なされる(35)。その経験や学習に個体差があり、位置知覚様式にもある程

度の個人差がある可能性が推察される。しかし、前述したように立位位置に対応した足圧や筋活動の変動パターンは個人間に共通していることから、身体傾斜の知覚にも個人間に共通した様式があることも十分予想される。我々は先に、350 余名を対象に閉眼において身体が前方あるいは後方に大きく傾いたことを知覚した際の感覚情報の身体投射部位についてアンケート調査を実施した(18)。この結果、投射部位は多岐にわたったが、足底圧情報に関すると思われる部位（母指、母指球、および踵）についての解答が最も多く、これに筋感覚情報に関すると思われる下腿部が続いた。これに対して、前庭からの情報に関すると思われる部位についての解答は非常に少なかった。

これらのことからすると、多くの被験者が前傾では母指圧や母指外転筋活動などが急激に増加することおよび母指球圧が極大となることを、後傾では大腿直筋や前脛骨筋の活動が急激に増加することを立位姿勢の安定性との関係において意味のあるものと解釈し、身体の位置を知覚しているものと考えられる。その場合に、足底圧情報や筋感覚情報などの複数の情報が密接に連携して特定の位置情報をもたらしていることが予想される(1, 2, 13)。しかしこれまで、こうした体性感覚情報の急激な変化の知覚について、立位位置の知覚と関連づけて検討された報告は見当たらない。足底圧情報は、立位位置の知覚において有効であると考えられ、このことは足底圧情報を操作した先行研究結果からも支持されよう。すなわち、足底全体の圧情報を増加させた場合に身体動揺が減少すること(31)、足底圧情報を局所的に増加させた場合にこの増加に一致するような立位位置の移動がみられること(15)が報告されている。一方、足底を冷却することによって踵からの足底圧情報を減少させた場合に最後傾位置が知覚しにくくなること(2)、冷却する部位によって姿勢調節への影響が異なること(3, 33)が報告されている。これらのことから、足底圧情報には立位位置の知覚における機能的特異性があること、および前述したことにより他の感覚情報との連携性があることが示唆される。そこで、足底を冷却し圧情報を低下させることによってこのような特異性や連携性を検討することにする。

前傾における立位位置の知覚においては、立位姿勢の安定性との関係において母指圧の急増および母指球圧の極大を知覚することが重要であると考えられる。これに加えて、前

傾にともなう連続的な圧の増加に対する知覚の様相、およびこの圧増加の知覚における母指圧情報と母指球圧情報との連携性についても検討することが重要であり、これらは母指および母指球をそれぞれ冷却することによって明確にすることができるものと考えられる。

そこで、今回は以下の3点について検討する。

1. 身体傾斜にともなう足底圧および筋活動の急激な変化を正確に知覚できるか。
2. 足底の特定の部位を冷却し圧感覚情報を減少させた場合に、足底圧や筋活動の急激な変化の知覚がどのように変わるか。
3. 母指、あるいは母指球からの圧情報を冷却によって減少させた場合に、それぞれの部位における圧強度変化に対する知覚はどのように変わるか。

対象と方法

対象と方法

1) 対象

被験者は、研究の主旨を説明して同意が得られた金沢大学医学部保健学科に在籍する 21.1 ± 1.7 歳（平均値±標準偏差、以下同様に表示する）の男子学生 11 名であった。被験者の身長は 170.5 ± 4.8 cm、体重は 66.7 ± 8.4 kg であった。また、被験者は神経学および整形外科的既往のない者であった。

2) 実験機材

本研究は 3 つの実験（それぞれ実験 1、実験 2、および実験 3 とする）からなり、以下に述べる計測機器を用いた。

右側足部の骨格形態を、足部形態測定器(12)を用いて計測した。

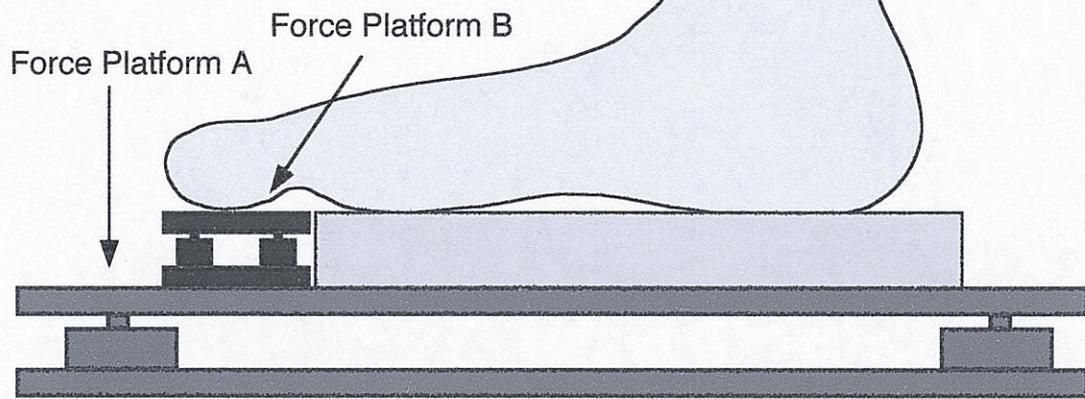
Force Platform A (WAMI WA1001) と自作の Force Platform B とを用いた (図 1)。いずれも 3 つのロードセルを搭載している。Force Platform A は前後方向の足圧中心位置を検出するために用いた。Force Platform B は局所の垂直荷重量 (圧) を検出するもので、これによって右側の母指、母指球、および踵の垂直荷重量 (圧) を測定した。荷重を受ける部分の大きさは、足底接触面の大きさに合わせて変えることができる。

右側の母指外転筋、大腿直筋、前脛骨筋から表面電極により活動電位を双極誘導した。電極は、使い捨て銀・塩化銀電極 (直径 9 mm) を用い、Perotto (32) の報告に従い運動点上に 2 cm 離して貼付した。電極の入力抵抗は $10\text{k}\Omega$ 以下とした。電極からの信号は、筋電アンプ (NEC Medical Systems, BIOTOP 6R12) を用いて増幅 ($\times 4000$) し、バンドパスフィルター (0.5 Hz-1.5 kHz) を通した。

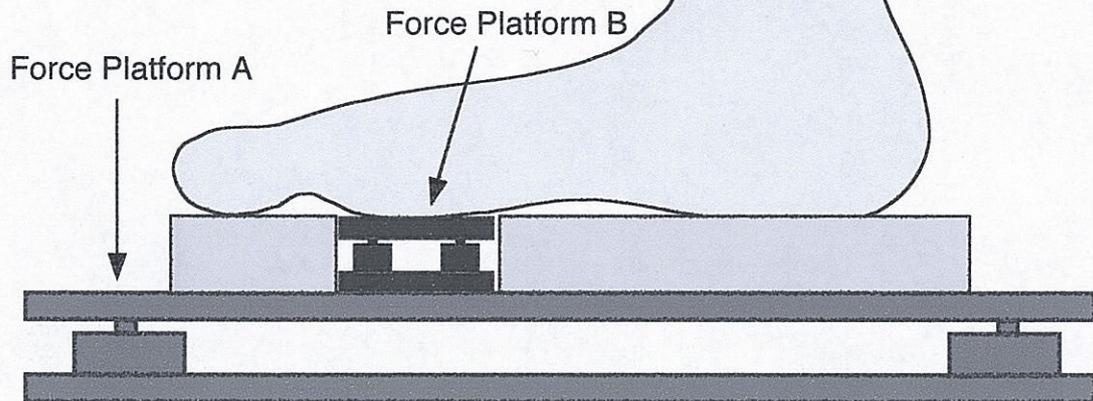
また、被験者の右手には、圧情報や筋感覚情報が変化したことを申告するための重さ 20g の小型スイッチを持たせた。スイッチを押すことにより、振幅 1.5 V の矩形波が発生する。

Force Platform A からの信号、Force Platform B からの信号、筋電図、およびスイッチの信号は、データレコーダー (TEAC RD-200T) に入力し、オフラインでパーソナルコンピュータ (NEC PC-9821Xa20) に A/D コンバーター (COMTEC AD12-16U(98)EH) を介して 12

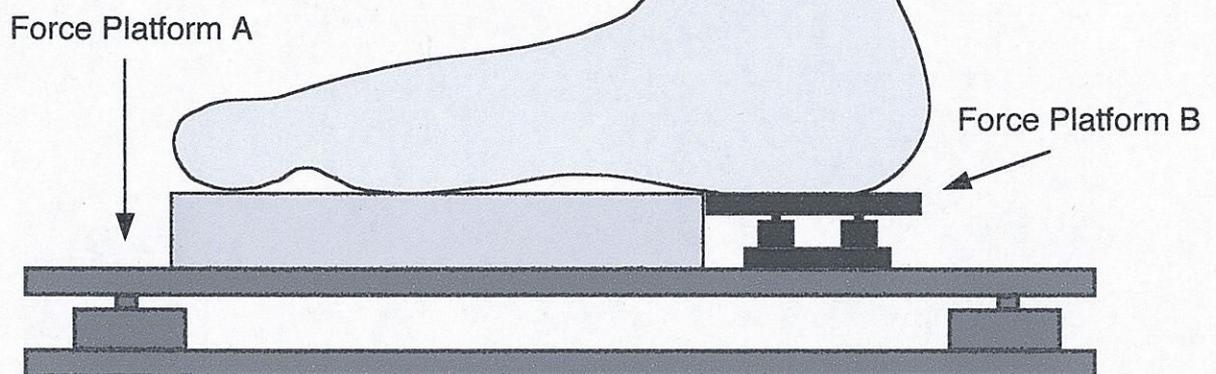
First Toe



First Metatarsal Head



Heel



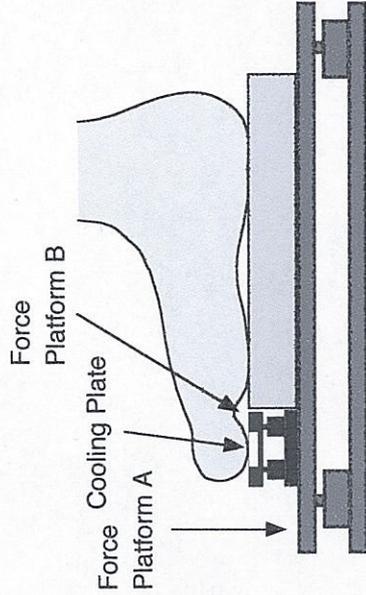
ビットの分解能、サンプリング周波数 1000Hz で入力した。

また、オンラインで Force Platform A からの信号を、分解能が 12 ビットの A/D コンバーター (I/O データ PI0-9045) を介してコンピューター (NEC PC-9801 RX) に入力し、以下の二つの用途に用いた。一つは、立位位置を測定するためであり、もう一つは安静立位を保持させるためである。立位位置を測定する場合には前後方向の足圧中心の信号を 20Hz でサンプリングした。安静立位を保持させる場合にはこの信号を 1000Hz でサンプリングし、足圧中心が安静立位位置の前後 1cm の範囲にあるときにコンピューターからピープ音を発生させ、このピープ音を手がかりに安静立位を保持させた。

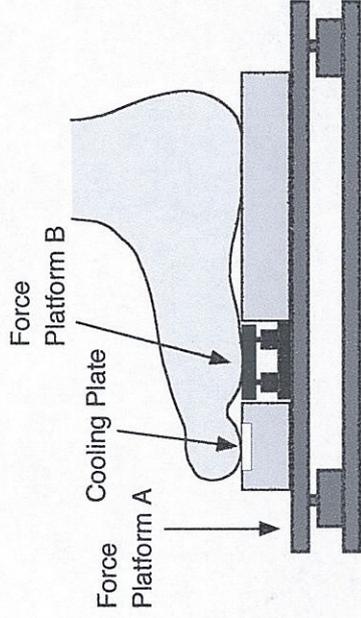
実験 1 と実験 2 においては、試行に際して前傾、後傾にともなう足底の部分圧または筋活動の変化をグラフ化し、プリントして被検者に提示した。このために X-Y レコーダー (WATANABE WX1100) 、および筋電図波形演算装置 (NEC-Sanei 1322) を用いた。足圧中心位置と部分圧との関係を提示する際には、X-Y レコーダーの X 軸に Force Platform A からの信号を入力し、Y 軸に Force Platform B からの信号を入力した。足圧中心位置と筋活動量との関係を提示する際には、Y 軸に筋電図演算装置によって整流された筋電信号を入力した。

実験 2 と実験 3 においては、床反力計の横に設置した足底冷却装置 (Hiruta ME HN-899) を用いて両側の母指、母指球、および踵を部位毎に、椅子座位にて 40 分間冷却した。この装置は、4 つの電子冷却ユニットを厚さ 15 mm のアルミ板の下面に取り付け、この板全体が 1℃ となるように冷却するものである。冷却したい部位のみが冷却されるように断熱材料を足底とアルミ板との間に挿入した。冷却による感覚能の低下は以下の方法で確認した。すなわち、足底を冷却した場合に二点閾値が 30% 上昇すること (33) を参考にし、母指の接地面積を考慮して、各部位毎に冷却前の長軸方向における二点閾値の 1.3 倍の値が二点として知覚できるか否かを 10 分毎にチェックした。そして、全員が 40 分の間にこの値を二点として知覚できなくなることを確認した。40 分の冷却の後、実験を開始した。実験中も冷却を持続するために、冷却部位の大きさに合わせた厚さ 2mm の鉄板を 0℃ に冷却し、これを床に埋め込んだ。この鉄板は 1 試行毎に交換した。また、実験終了直後にも上記と同

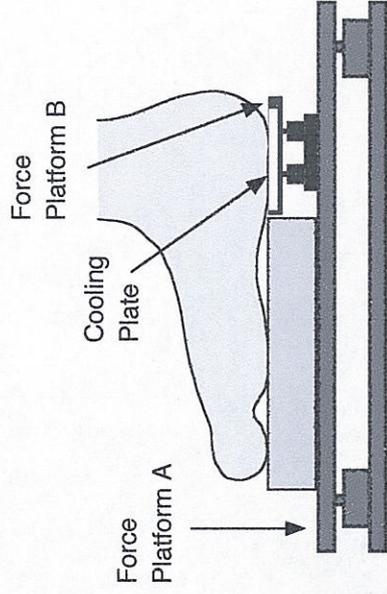
A



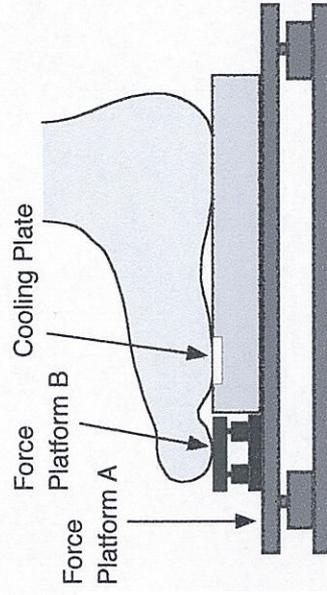
B



C



Force Platform B
Cooling Plate



Force Platform B
Cooling Plate

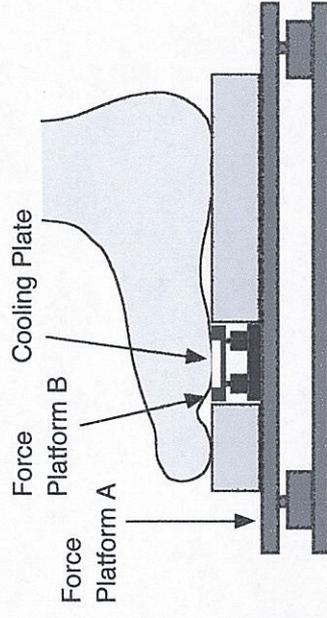


图2

様の方法で二点閾値を測定し、知覚能が改善していないことを確認した。

3) 手順

(1) 実験 1

A) 足部の形態測定

右足部の足長を測定した後、第一中足骨骨頭部、第五中足骨骨頭部、舟状骨粗面、内果下端、外果下端の各骨格点の踵点からの距離を測定した。

B) 安静立位位置および最前傾、最後傾位置の測定

安静立位時における前後方向の足圧中心位置を休息を入れながら10秒間ずつ5回測定し、この平均位置を以下に述べる試行における安静立位位置とした。その後、最前傾位置および最後傾位置を10秒間ずつ、それぞれ3回測定し、その平均値を各被験者の代表値とした。

C) 圧感覚情報および筋感覚情報が急激に変化することを知覚した位置の測定

前傾では、身体傾斜にともなう母指球圧の極大、および母指圧、母指外転筋活動の最初の急増（以下、初期急増とする）を知覚させた。後傾では、同じく踵圧、大腿直筋および前脛骨筋活動の初期急増を知覚させた。

各試行ともに、左右の下肢への荷重を均等にし、安静立位位置から最前傾あるいは最後傾までの所要時間が10から15秒間となるように被験者に指示した。さらに、安静立位時と同じ身体各部位の幾何学的相互関係を保ちながら、足関節を軸として身体をゆっくり傾斜させた。その際に踵や足指を床面から離さないように指示した。実験前に十分な練習をさせ、このときに得られたデータをもとに、身体の傾斜にともなう圧あるいは筋活動量の変化することをグラフ化し、被験者に提示し理解させた。図3は、前傾についての提示例であり、矢印が急変箇所を示す。そして、その変化が、ある位置で初めて大きくなること（図3A、C）、もしくは極大になること（図3B）を指摘し、この指摘内容を知覚したときにスイッチを押すように指示し、さらに数回の練習を行わせた。試行は、各項目毎に5回ずつ課した。最初に、コンピューターからのピープ音を手がかりに安静立位位置を3秒間保持させた。その後、安静立位位置から能動的に最前傾、あるいは最後傾まで傾斜させ、

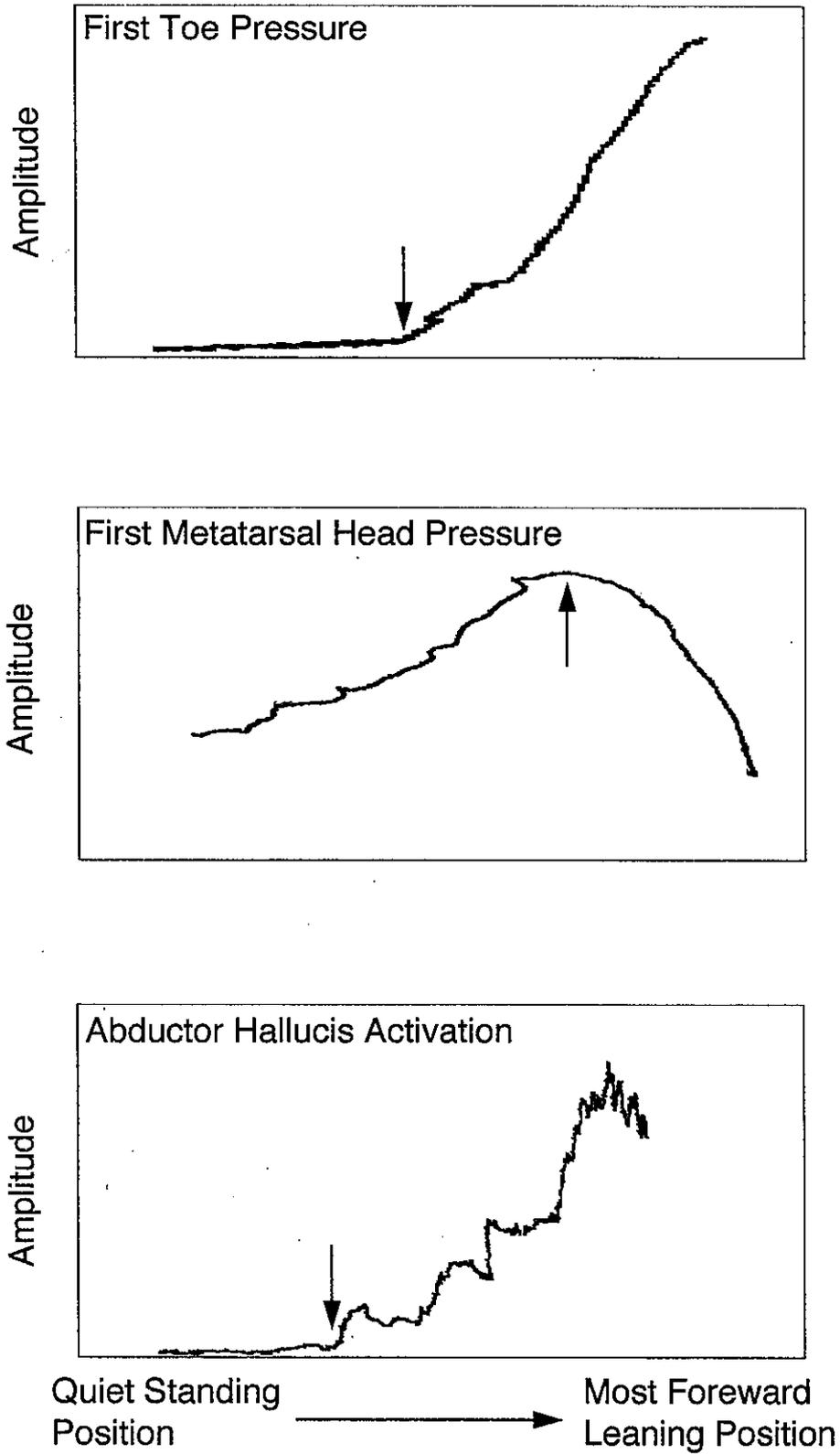


图3

この身体傾斜中に前述した極大あるいは急増を知覚した場合にスイッチを押させた。

(2) 実験 2

実験 1 と同じ手順の実験を、母指、母指球および踵をそれぞれ冷却し実施した。それぞれの部位の冷却順はランダムとし、2 日から 7 日の間隔を開けた。母指および母指球の冷却では、母指球圧の極大、母指圧の初期急増、母指外転筋活動の初期急増を知覚させた。踵の冷却では、大腿直筋の初期急増および前脛骨筋の初期急増を知覚させた。

(3) 実験 3

この実験は、実験 1 および実験 2 においてあわせて実施された。安静立位位置から前傾させた際に、母指圧、母指球圧ともに安静立位位置において加わっている圧から最大の圧までを 10 段階に分割し知覚させた。すなわち、安静立位を 3 秒間保持した後、身体を前傾させながら連続的に変化する圧強度を知覚させ、その段階を口頭で申告させると同時にスイッチを押させた。この試行も十分な練習の後に行なった。それぞれの圧の知覚について、冷却しない場合、母指を冷却した場合、および母指球を冷却した場合について 5 回ずつの試行を課した。

4) 分析

データを A/D 変換した後、各信号は BIMUTAS-E version E2. 20 (Kissei Comtec Co., Ltd.) を用いて処理した。数値近似および統計計算は Excell 98 (Microsoft) を用いた。

筋電図は、20Hz のハイパスフィルターを通し、全波整流した。

母指球圧の変化は、横軸に足圧中心位置、縦軸に母指球圧をプロットしたグラフによって示した。そして、母指球圧が極大値を示した部分を中心にその前後を 4 次関数で近似し、近似値が極大値となった位置を母指球圧極大位置とした。母指圧および筋活動の初期急増は、以下のように求めた。横軸に足圧中心位置、縦軸に圧もしくは筋活動量をとったグラフを描き、初期急増部分について 4 次関数で近似した。そして、この近似式から圧変化お

よび筋活動量変化の足圧中心位置に対する加速度を求め、この値が正となる位置を初期急増位置とした。

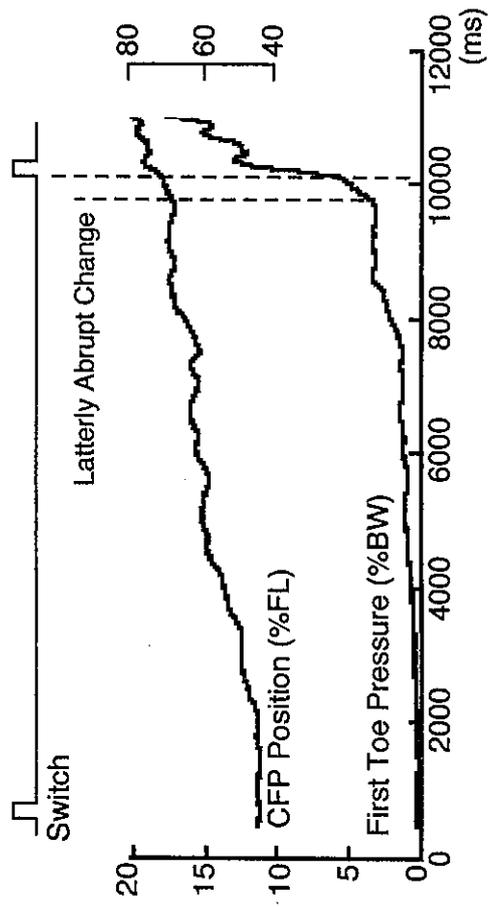
知覚位置の検出にあたり、予備実験で得られた個人毎の圧刺激に対する反応時間と、筋の伸張刺激に対する反応時間とを用いた。スイッチを押した時点から、母指圧および母指球圧の場合は圧刺激に対する反応時間分だけ戻り、筋の場合は筋の伸張刺激に対する反応時間分だけ戻った、それぞれの時点の足圧中心位置を知覚位置とした。

また、母指圧および各筋活動については、必要に応じて初期急増の後にさらに急激な増加を示した位置(後期急増位置)を以下の方法で求めた。母指圧では初期急増を知覚したことを申告するためにスイッチを押した時点から 100ms 戻った時点と、同じくスイッチを押した時点から個人毎の反応時間+3SD 戻った時点との間において、母指圧が一度減少したか、もしくは漸増した後に急激な増加に転じたときの足圧中心位置を求め、この位置を母指圧の後期急増位置とした(図 4-A)。この後期急増は、位置の変化に対する圧の変動(図 4-B)から確認できる。筋活動では、筋電図波形を整流した後に積分し、母指圧の後期急増を求めるときと同じように検索する時間範囲を決定した。この範囲の中で積分波形の傾きが急増し始めた時点の足圧中心位置を求め、この位置を後期急増位置とした。

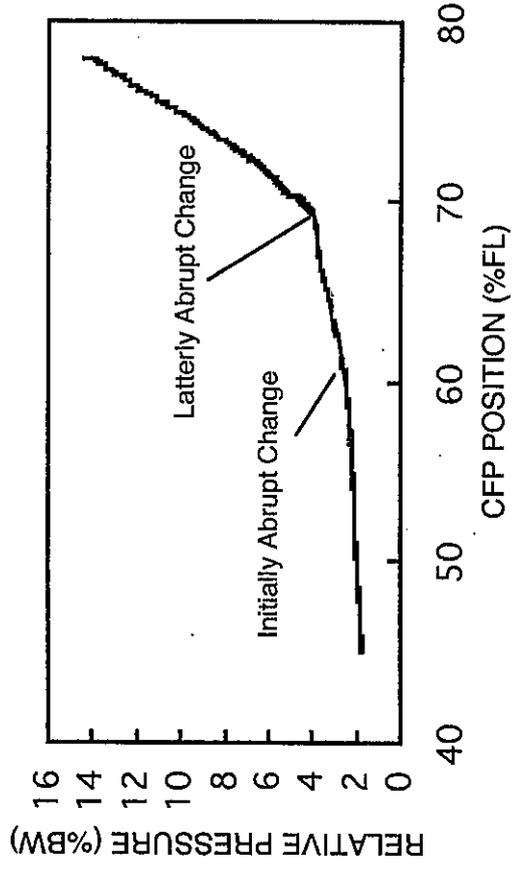
各骨格点、安静立位位置、最前傾位置、最後傾位置、母指球圧極大位置、母指圧および各筋活動の初期急増位置、後期急増位置、知覚位置は、足長に対する踵点からの相対位置(%FL)で表した。圧や筋活動が急激に変化した位置と知覚位置との差の絶対値を知覚誤差(%FL)とした。母指および母指球における圧は、体重に対する相対値(%BW)で表わした。筋活動量は筋電図の振幅(mV)で示した。

実験 2 においては、母指球では極大値を知覚できた被験者数とできなかった被験者数を、母指圧および各筋活動では初期急増と後期急増のそれぞれについて知覚できた被験者数とできなかった被験者数を、実験 1 をコントロールとし、これと各冷却条件との間で比較した。

実験 3 は、各部位毎に強度「1」から「10」の各知覚強度においてスイッチを押した時点から圧刺激に対する反応時間分だけ戻った時点における荷重量を求めた。そして、各強



A



B

度における相対圧を以下の式により求め、コントロールと各冷却条件との間で比較した。

$$\text{相対圧 (\%)} = \frac{\text{((各強度を知覚した時の圧) - 開始時圧)}}{\text{((強度「10」を知覚した時の圧) - 開始時圧)}} \times 100$$

検定は、分散分析、平均値の差の検定、および χ^2 検定を用い、有意水準は5%とした。

結 果

結果

実験 1

1. 足部の形態および最前傾、最後傾位置

足長は 25.2 ± 0.6 cm であった。内側縦足弓の先端にあたる第 I 中足骨骨頭部は $74.4 \pm 1.2\%$ FL、外側縦足弓の先端にあたる第 V 中足骨頭部は $63.2 \pm 1.6\%$ FL であった。舟状骨は $37.1 \pm 3.7\%$ FL、内果下端は $25.7 \pm 2.2\%$ FL、外果下端は $19.3 \pm 2.0\%$ FL であった。

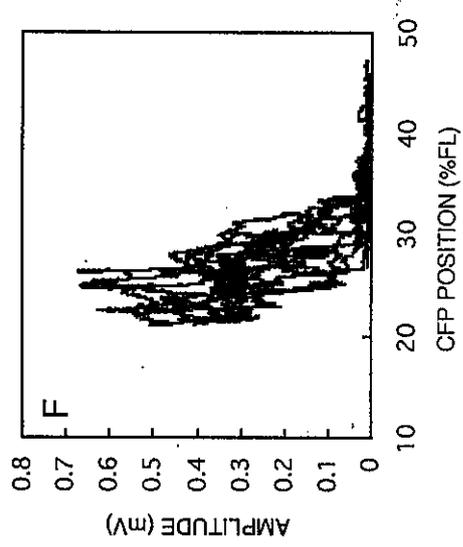
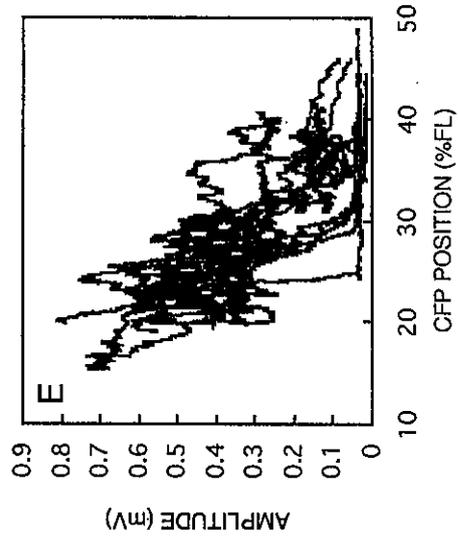
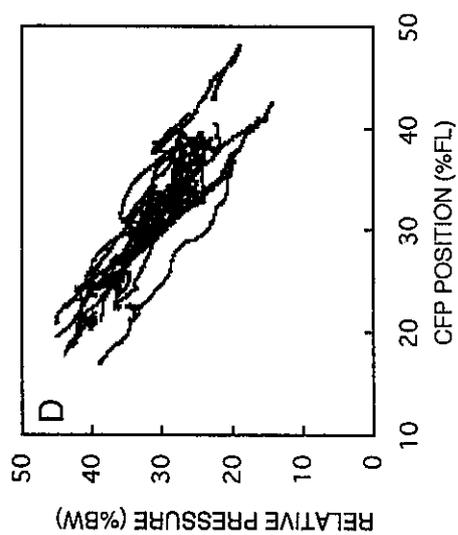
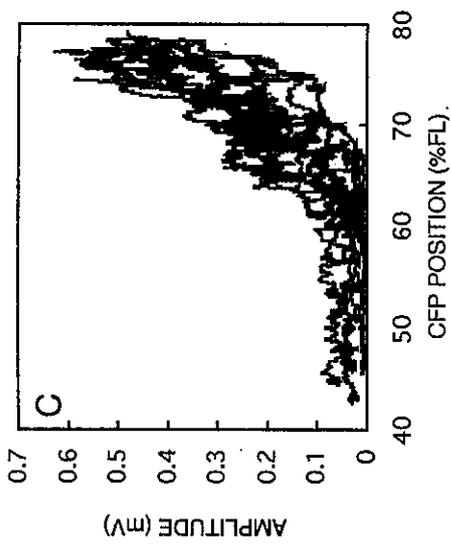
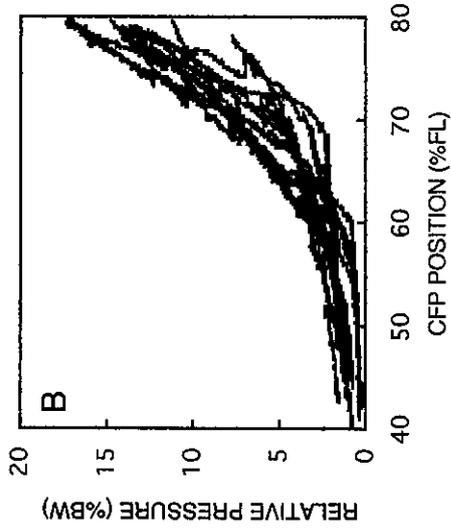
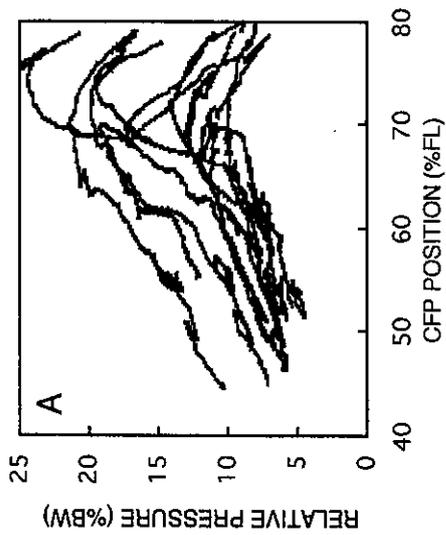
最前傾位置は $83.5 \pm 1.6\%$ FL で、最後傾位置は $17.4 \pm 2.1\%$ FL であった。

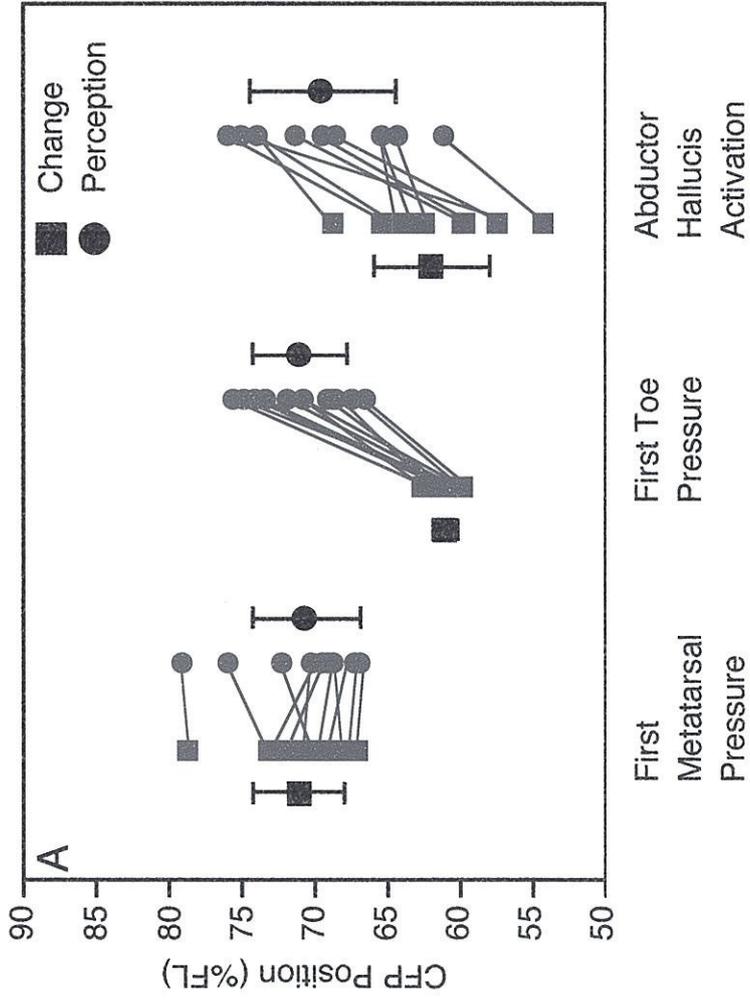
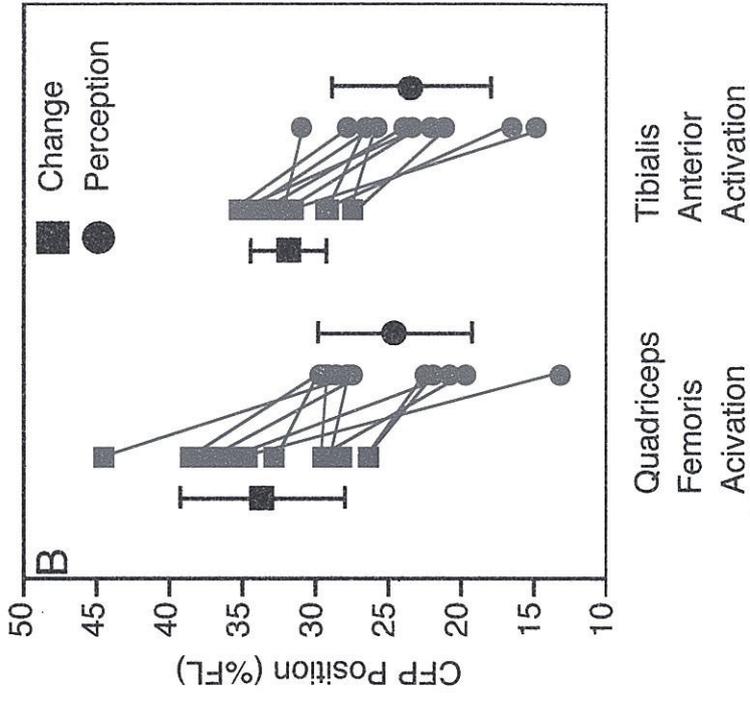
2. 身体傾斜にともなう圧および筋活動の急変とその位置

図 5 は、安静立位位置からの前傾、後傾にともなう足底圧および筋活動の変化の様相について、各被験者毎の平均的な波形を示したものである。踵圧 (図 5-D) は、後傾に伴う明らかな急変パターンが認められなかったため、分析対象から除外した。しかし、踵圧以外は、身体傾斜に伴う明らかな変化が確認できた。母指球圧は $71.0 \pm 3.1\%$ FL の位置に極大値が認められた (図 5-A、6-A)。一方、母指圧、母指外転筋活動、大腿直筋活動および前脛骨筋活動では初期急増が観察された。母指圧では $60.9 \pm 0.8\%$ FL の位置で観察され、個人差が少なかった (図 5-B、6-A)。母指外転筋では、母指圧とほぼ同様の $61.9 \pm 4.0\%$ FL の位置で観察されたが、母指圧と比べるとやや大きな個人差が認められた ($p < 0.0001$) (図 5-C、6-A)。大腿直筋では $33.5 \pm 5.6\%$ FL の位置で観察され、安静時から活動がみられる被験者とそうでない被験者がいるなど、活動の様相の個人差は母指圧と比べると大きかった ($p < 0.0001$) (図 5-E、6-B)。前脛骨筋では $31.7 \pm 2.6\%$ FL の位置で観察され、個人差は大腿直筋と比べると小さかった ($p < 0.05$) (図 5-F、6-B)。

3. 圧および筋活動の変化に対する知覚

母指球圧の極大値に対する知覚位置は $70.5 \pm 3.7\%$ FL で、極大位置との知覚誤差は $1.6 \pm 1.1\%$ FL と非常に小さく、有意差が認められなかった (図 6-A)。また、両者の間には有意な高い相関関係 ($r = 0.86$, $t = 5.01$, $p < 0.001$) が認められた (図 7)。すなわち、母指球





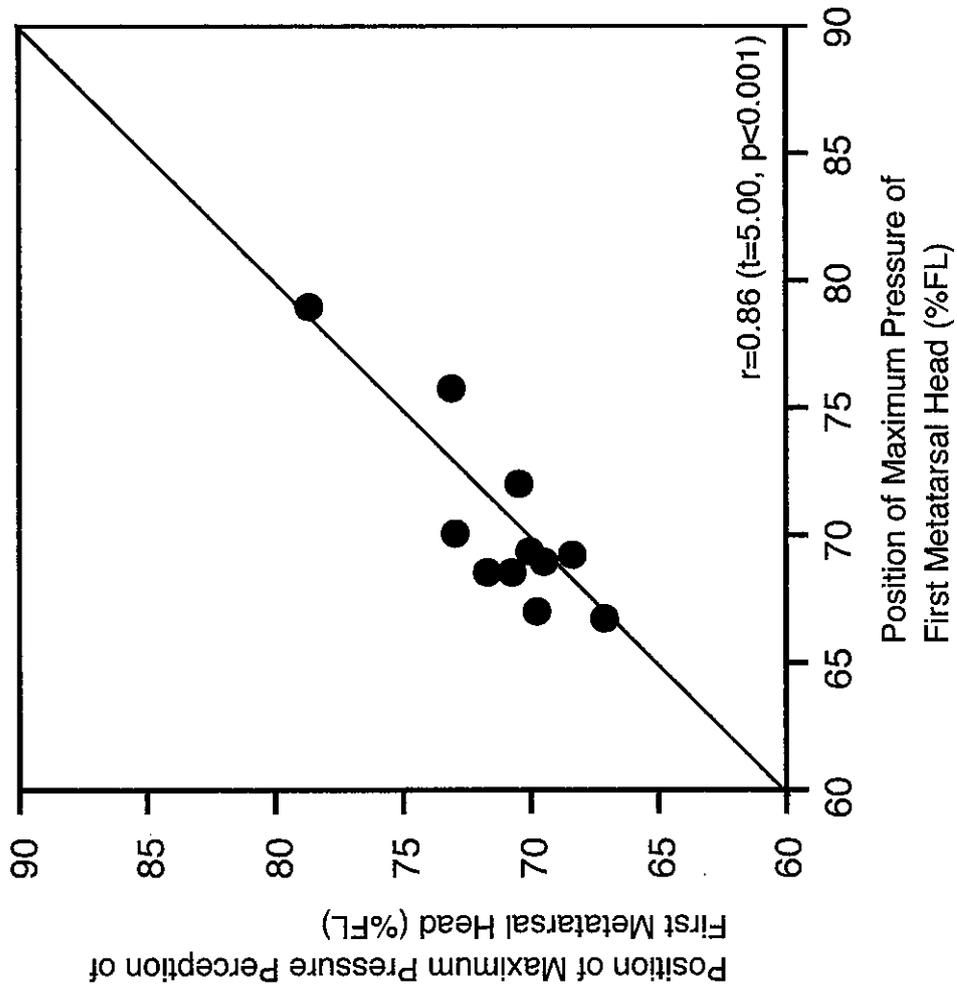


图7

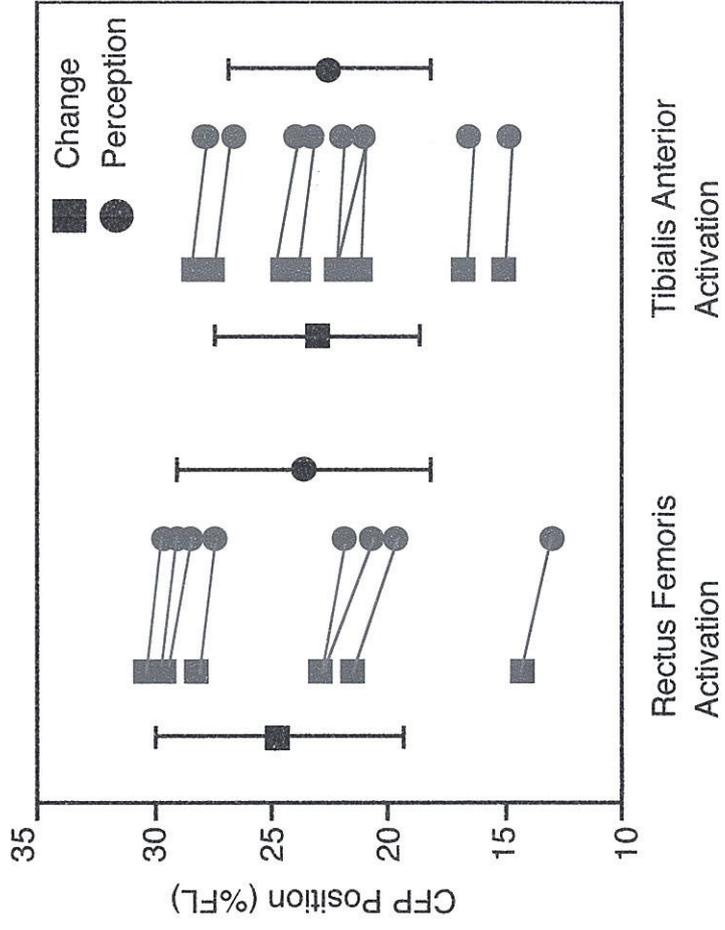
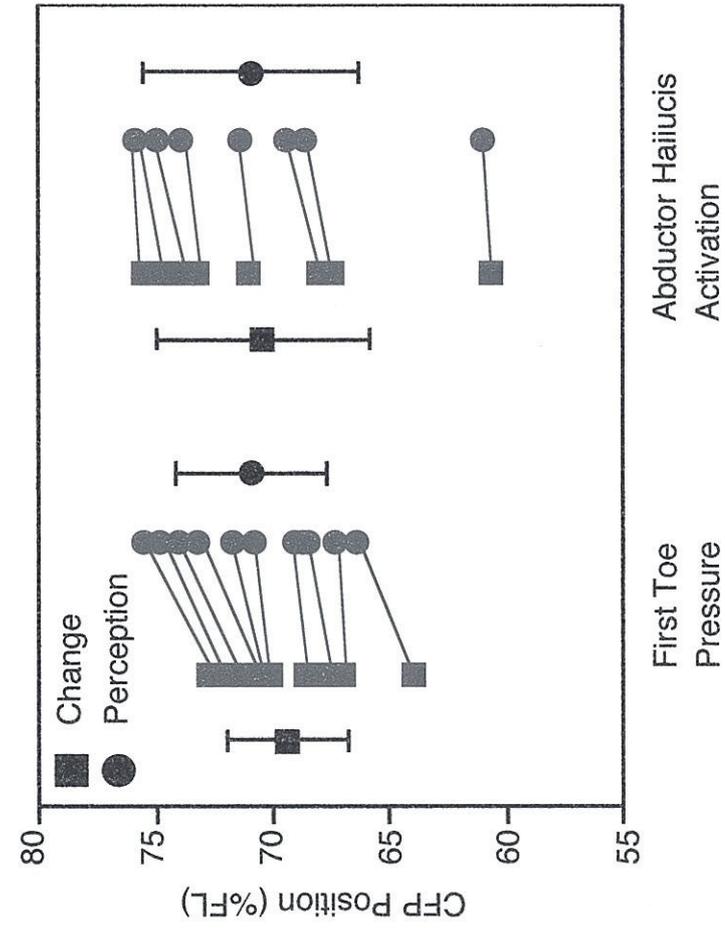
圧の極大値については、全被験者が正確に知覚できたことが確認できた。

そこで、母指球圧の極大値における知覚誤差の平均値+2SD ($=1.6+2 \times (1.1) =3.8\%FL$) を基準値とし、これを個人毎の母指圧、および各筋活動の知覚誤差と比較し、基準値以下であれば知覚可、基準値以上であれば知覚不可とした。また、初期急増の知覚が不可と判断された場合には、後期急増に対する知覚について検討した。

初期急増の知覚位置は、母指圧では $70.9 \pm 3.2\%FL$ 、母指外転筋活動では $69.4 \pm 5.0\%FL$ 、大腿直筋活動では $24.4 \pm 5.3\%FL$ 、前脛骨筋活動では $23.6 \pm 4.8\%FL$ であった。個人毎の知覚誤差からすると、母指圧は全員が、母指外転筋活動、大腿直筋活動および前脛骨筋活動はそれぞれ8名の被験者が初期急増の知覚が不可能であると判断された(図6-A、B、表1)。なお、母指外転筋、大腿直筋、および前脛骨筋において初期急増の知覚が可能と判断されたそれぞれ残りの3名のうち2名は同じ被験者であった。

初期急増の知覚が不可能と判断された被験者について後期急増位置を求めたところ、母指圧では $69.2 \pm 2.6\%FL$ 、母指外転筋活動では $71.8 \pm 3.1\%FL$ 、大腿直筋活動では $23.4 \pm 5.5\%FL$ 、前脛骨筋活動では $22.2 \pm 4.4\%FL$ であった。そして、それぞれの後期急増位置との知覚誤差、および後期急増位置と知覚位置との相関を求めると、母指圧では知覚誤差が $1.8 \pm 0.9\%FL$ 、相関係数が $r=0.92$ ($t=7.23$, $p<0.001$)、母指外転筋活動では同じく $0.8 \pm 0.9\%FL$, $r=0.99$ ($t=32.64$, $p<0.0001$)、大腿直筋活動では同じく $0.9 \pm 0.7\%FL$, $r=0.98$ ($t=11.95$, $p<0.0001$)、および前脛骨筋活動では同じく $0.5 \pm 0.3\%FL$, $r=0.99$ ($t=22.52$, $p<0.0001$) であった(図8-A、B)。すなわち、それぞれ知覚誤差が基準値以下であり、相関も高かった。これは、母指圧および各筋活動において初期急増が知覚できなかった被験者の全員が、後期急増を初期急増として誤知覚したことを意味する。

母指球圧の極大位置、母指圧の初期急増位置、および母指外転筋活動の初期急増位置の間には、有意な違いが認められ ($F_{10, 32}=50.81$, $p<0.001$) (図6-A)、多重比較検定の結果、母指球圧の極大位置と、母指圧および母指外転筋活動の初期急増位置との間に有意差が認められた。母指圧の初期急増位置と母指外転筋活動のそれとの間には有意差がなく、 $r=0.66$ ($t=2.60$, $p<0.05$) の有意な相関が認められた。また、母指球圧の極大位置、母指圧の後



期急増位置および母指外転筋活動の後期急増位置は、それぞれ近接しており有意差が認められなかった。この中で、母指圧の後期急増位置と母指外転筋活動のそれとの関係をみると、 $r=0.72$ ($t=2.51$, $p<0.05$) の有意な相関が認められた。また、同一試行内において、母指圧および母指外転筋活動の足圧中心位置に対する変化の様相が類似していたため、試行毎に 50%FL から 80%FL までの両者間の相互相関係数を求めたところ、 $r=0.94$ (z 値= 1.82 ± 0.17) と高い相関が示された。

知覚位置間の相関をみると、母指圧の急増の知覚位置と母指外転筋活動のそれとの間に $r=0.61$ ($t=2.29$, $p<0.05$) の有意な相関が認められた (図 9)。

一方、大腿直筋と前脛骨筋との間では、初期急増位置および知覚位置ともに有意差、および有意な相関関係が認められなかった。同じく後期急増位置にも有意差、および有意な相関関係が認められなかった。

実験 2

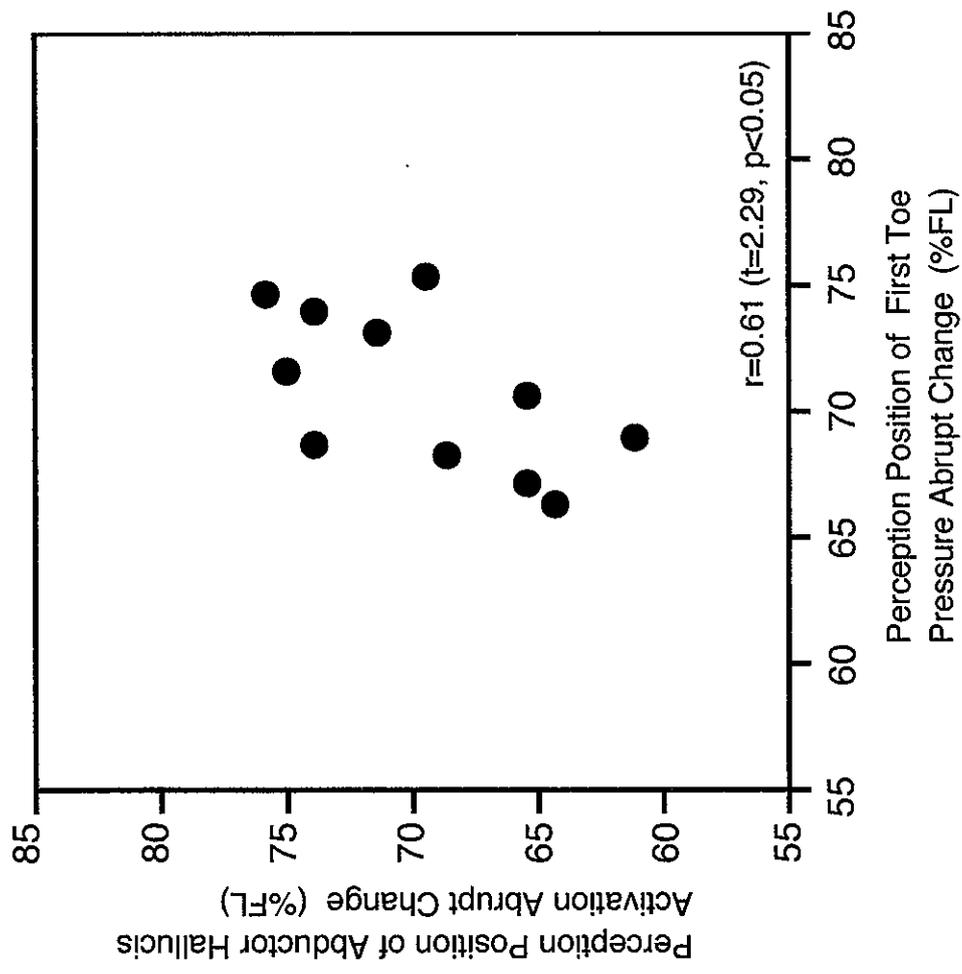
1. 前傾、後傾にともなう圧および筋活動の急変位置に対する冷却の影響

母指球圧の極大位置、母指圧の初期急増位置、および各筋の初期急増位置は、足底を冷却してもコントロールと比べて有意な違いが認められなかった (図 10)。

2. 母指球圧極大値の知覚能への冷却の影響

母指球を冷却した場合は 3 名が、母指を冷却した場合は 1 名が、それぞれ極大値の知覚ができなかった (表 1)。しかし、これらの被験者数は、いずれもコントロールと比べても有意な違いではなかった。極大値が知覚できなかったこれらの被験者の知覚位置をみると、母指球の冷却では 1 名が極大値よりも手前の 67.8%FL であり、2 名が最前傾位置に近い平均 77.7%FL であった。母指の冷却での 1 名は 66.9%FL であり、この被験者は母指球を冷却した場合に極大値よりも手前で知覚した被験者であった。

3. 初期急増および後期急増の知覚能への冷却の影響



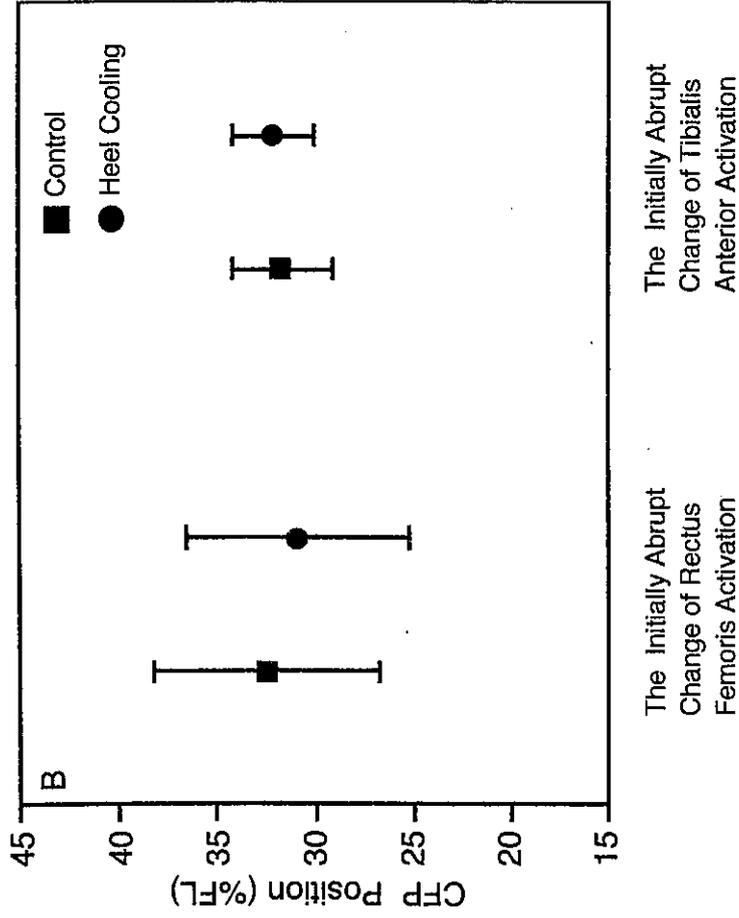
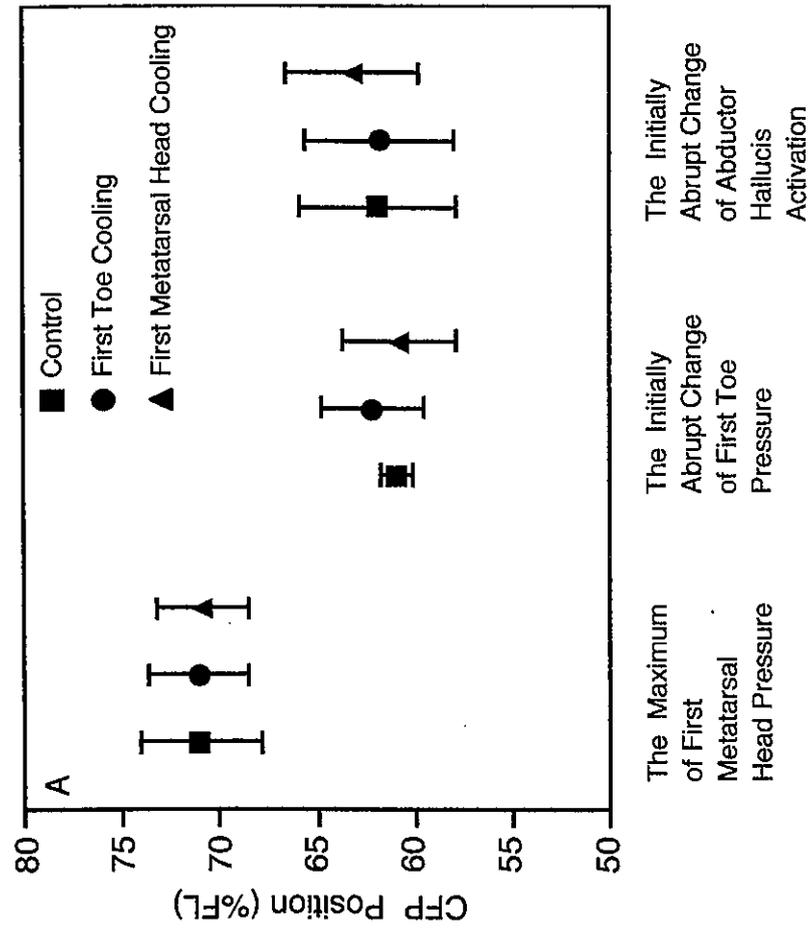


表1

		母指球圧最大
コントロール	知覚可	11
	知覚不可	0
母指冷却	知覚可	10
	知覚不可	1
母指球冷却	知覚可	8
	知覚不可	3

1) 母指圧

母指を冷却した場合および母指球を冷却した場合ともに、コントロールと同様に全員の被験者が初期急増の知覚ができなかった（表 2）ので、後期急増の知覚について分析した。母指を冷却した場合は後期急増が知覚できなかった被験者が 2 名となった。ところが、母指球を冷却した場合にはこの数は 5 名となり、コントロールと比較すると有意に多かった（ $\chi^2=6.47$ 、 $p<0.05$ ）（表 2）。母指を冷却した場合に後期急増が知覚できないと判断された被験者の知覚位置は 77.0%FL であり、母指球の冷却でのそれは 77.6%FL で、いずれも最前傾位置に近かった。

2) 母指外転筋活動

母指を冷却した場合に、初期急増が知覚できた被験者は 3 名であり、このうち 2 名はコントロールでも初期急増が知覚できた。初期急増ができなかった被験者は 8 名で、このうち後期急増も知覚できなかった被験者は 4 名のぼり、コントロールと比較すると有意な違いが認められた（ $\chi^2=5.33$ 、 $p<0.05$ ）（表 2）。母指球を冷却した場合に初期急増が知覚できた被験者は 5 名であり、このうち 2 名はコントロールでも初期急増が知覚できた。残りの 6 名は初期急増が知覚できず、このうち 2 名は後期急増も知覚できなかったが、この数はコントロールと比較しても有意な違いではなかった（表 2）。母指の冷却で後期急増が知覚できないと判断された被験者の知覚位置は 75.7%FL であり、母指球の冷却でのそれは 82.0%FL であった。

3) 大腿直筋

踵を冷却した場合に初期急増が知覚できた被験者は、コントロールと比べて倍増し 6 名となった。このうち 3 名はコントロールでも初期急増が知覚できた者であった。残りの 5 名は初期急増が知覚できなかった。このうち 4 名は後期急増も知覚できず、この数はコントロールと比べると有意な違いであった（ $\chi^2=9.24$ 、 $p<0.01$ ）（表 2）。踵の冷却で後期急増が知覚できないと判断された被験者の知覚位置は 18.6%FL と最後傾位置に近かった。

4) 前脛骨筋

踵を冷却した場合に全員が初期急増を知覚できなかった。このうち後期急増も知覚でき

表2

	条 件	初期急増		後期急増	
母指圧	コントロール	知覚可	0		
		知覚不可	11	知覚可	11
	母指冷却	知覚可	0	知覚不可	0
		知覚不可	11	知覚可	9
	母指球冷却	知覚可	0	知覚不可	2
		知覚不可	11	知覚可	6
				知覚不可	5
母指外転筋	コントロール	知覚可	3		
		知覚不可	8	知覚可	8
	母指冷却	知覚可	3 (2)	知覚不可	0
		知覚不可	8	知覚可	4
	母指球冷却	知覚可	5 (2)	知覚不可	4
		知覚不可	6	知覚可	4
				知覚不可	2
大腿四頭筋	コントロール	知覚可	3		
		知覚不可	8	知覚可	8
	踵冷却	知覚可	6 (3)	知覚不可	0
		知覚不可	5	知覚可	1
				知覚不可	4
前脛骨筋	コントロール	知覚可	3		
		知覚不可	8	知覚可	8
	踵冷却	知覚可	0	知覚不可	0
		知覚不可	11	知覚可	8
				知覚不可	3

() はコントロールにおいて知覚可であった被験者数。* : $p < 0.05$

なかった被験者は3名いたが、コントロールと比較しても有意な違いではなかった（表2）。踵の冷却で後期急増が知覚できないと判断された被験者の知覚位置は16.4%FLであった。

実験3

1) 母指圧強度変化に対する知覚

コントロールにおいて母指圧の強度を知覚させた場合の各知覚強度に対する相対圧は、指数関数様の変化を示し、いずれも10等分した場合の目標相対圧（強度1では10%、強度2では20%、・・・、強度9で90%）を下回っていた。母指を冷却した場合の相対圧は、強度1から3までコントロールとほぼ同じ値を示した。しかし、強度4から9にかけてはコントロールと比べて小さくなる傾向があり、強度5から9で有意差が認められた（図11）。強度5に対応する位置は、コントロールにおいては初期急増後の68.1%FLであり、強度9のそれは79.1%FLであった。一方母指球を冷却した場合には、強度7において相対圧がコントロールと比べて有意に小さくなった（ $p < 0.05$ ）（図11）。この位置は、コントロールにおいては平均75.6%FLで、ほぼ全員の被験者において母指球の圧が極大値を示した後であり、圧が母指へ移行する位置である。

2) 母指球圧強度変化に対する知覚

コントロールにおいて母指球圧の強度を知覚させた場合の各強度に対する相対圧は、強度1を除いて、ほぼ目標通りの値を示し直線的に増加した。これに対し、母指あるいは母指球を冷却した場合は相対圧が目標値を越える傾向が示され、母指球を冷却した場合は強度8を除く全域でコントロールとの有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）（図12）。母指を冷却した場合は強度2、4、6で有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）（図12）。

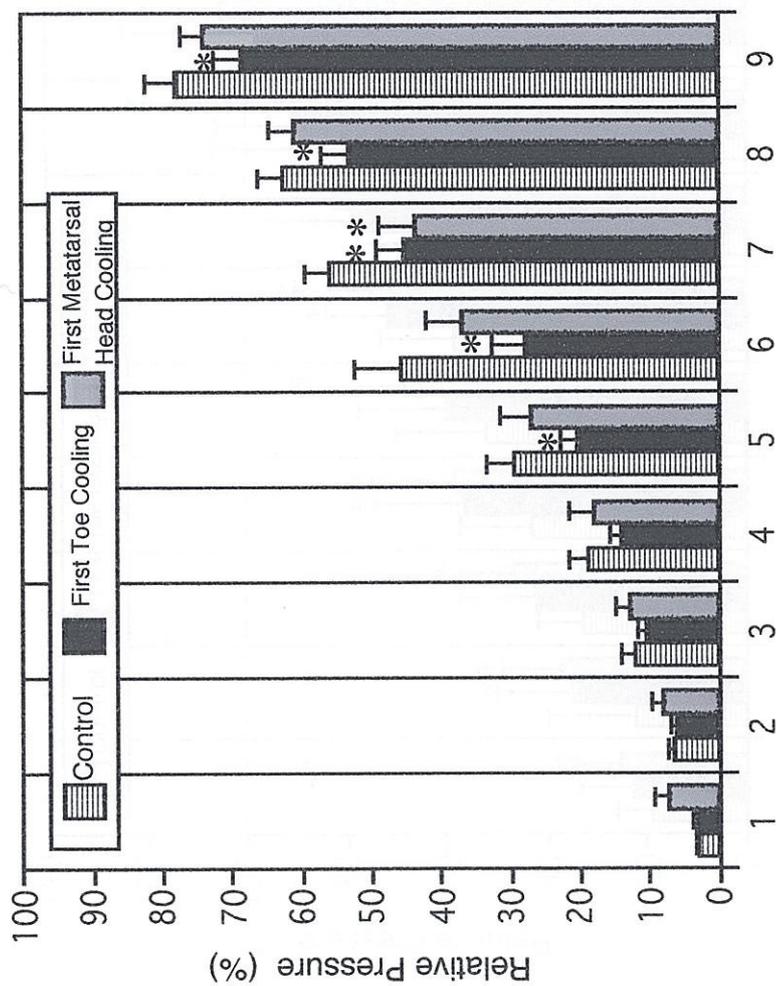


图 11

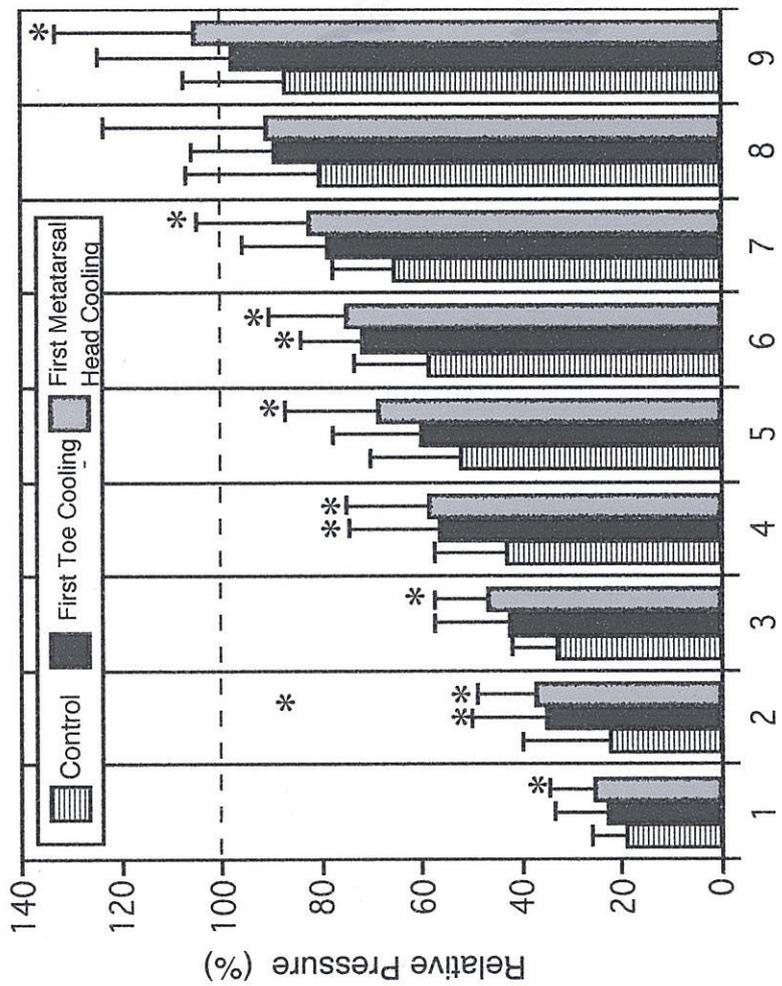


图12

考 察

考察

実験1

今回のように母指圧では全員が、筋活動では大半の被験者が、初期急増の知覚が不可能であったということは、初期急増が多く被験者にとって意味付けを必要とするほど重要な情報ではないことを示唆するだろう。これに対し、後期急増は意味付けが必要である重要な情報であると考えられる。前傾、後傾時の各初期急増位置は、それぞれ立位時の安定域(14)のほぼ前端と後端にあたる。ところが、前傾時の後期急増位置は70%FL付近、後傾時のそれは20数%FLにあり、それぞれ最前傾、最後傾位置に対して、5から10数%FL中心寄りに位置し、身体が最前傾あるいは最後傾に至らないように、積極的に調節をすべき位置であると意味付けされている可能性が考えられる。ただし、それぞれの筋において初期急増が知覚できる被験者が3名ずつみられ、そのうち2名は同一人物であり、筋活動の初期急増が知覚できる被験者は、複数の筋活動について知覚できる傾向があった。すなわち、筋活動の知覚が特異的に優れている被験者が存在することを示唆するものと考えられる。これは、バレエダンサーの膝関節の位置覚が一般のヒトと比べて優れていること(4)と同じように、これらの被験者が過去の日常生活において筋活動を知覚する必要性が高かったためと考えられる。

母指球圧の極大を知覚した位置と、母指圧の初期急増として誤知覚した後期急増の知覚位置とは、ほぼ同じであった。また、足圧中心位置に対する母指圧の変化パターンと、母指外転筋活動のそれとは相関が高く、両者間の後期急増位置および知覚位置もそれぞれほぼ同じであった。前傾にともなう足底圧の変化パターンからすると、母指球圧が極大となることについての情報と、この直後に母指圧が再度増加することについての情報とは連携しており、この連携をもとに母指球圧の極大および母指圧の後期急増が知覚されているものと考えられた。加えて、母指圧情報と母指外転筋活動の情報は、それぞれの後期急増を知覚する際に互いに連携していることが考えられた。このことは、我々が先に報告した前後方向における立位位置の知覚についての研究(16)で、70%FLの位置における知覚能が高かったことを支持する重要な所見となろう。

一方、後傾時に活動する大腿直筋と前脛骨筋をみると、それぞれの筋活動の後期急増位置がほぼ同じであったことから、両筋の後期急増には共通した要因があるものと推察される。これらの後期急増位置は、前後方向の足部骨格位置では内果点と外果点との中点付近に相当する。このことからすると、両筋の後期急増は足関節の位置と何らかの関係があるのかもしれない。ただし、両筋の後期急増位置の間には相関が認められなかったことから、両筋の関係には個体差がある可能性が示唆された。その個体差の要因の一つとして、両筋における起始・停止位置の違いなどの解剖学的な違い、および前脛骨筋は足関節回りのモーメントに対応して活動するのに(30)に対し、大腿直筋は足関節から離れた股関節、膝関節の動きに対応して活動することなどの運動学的な違いが考えられた。

実験 2

足底を冷却した場合の母指球圧極大位置と母指圧および各筋の初期急増位置は、コントロールと比べて有意差が認められなかった。我々は、両下肢への荷重を均等にして立位を保持し、前・後傾した場合の、片側足部における圧中心の移動パターンについて確認している。今回の結果は、我々の確認したこの圧中心の移動パターンが足底を冷却してもコントロールと比べて大きな違いがなかったことを示すものと考えられる。

母指圧の後期急増の知覚において、母指を冷却しても有意な影響が認められなかった。Ferrell, et al (11)は、特定の感覚情報を操作した場合の知覚特性は他の感覚情報の代償などによって変化することから、その操作効果はその感覚情報の機能を表し得ないと報告している。このことからして、通常時にも母指圧情報が使われていないとは断言できないであろう。一方、母指球を冷却した場合に有意な影響が認められたことからすると、母指圧の後期急増の知覚にとって母指球圧情報が、他の情報では補償できない程、重要なサポート情報であったことが示唆される。このように、足底の特定の部位を冷却した結果により、実験1の考察で述べた情報間の「連携」について詳細に検討できるものとする。母指球圧の極大値の知覚においては、母指球を冷却した場合、および母指を冷却した場合にも有意な影響が認められなかった。これは、母指球圧情報と母指圧情報との連携に基づ

いて、いずれの情報のみで母指球圧の極大値が知覚できることを意味しており、母指球圧が極大値に達したことを単独に知覚するのではなく、母指圧の急増に投影して知覚していることを示唆していると考えられる。さらに、母指外転筋の後期急増の知覚が母指の冷却により有意な影響を受けたこと、実験1において母指外転筋の後期急増位置が母指圧のそれと同じで、しかも両者の間に有意な相関が認められたことからすると、母指外転筋活動の後期急増の情報も母指圧の後期急増の知覚に投影されると考えられる。

足底の特定の部位を冷却することによって、筋活動の知覚能に冷却前と比べて違いが生じたことは重要な所見であると考えられ、筋活動の急増の知覚が筋情報だけを基にしてなされているのではなく、圧情報も関与し得る可能性が示唆された。筋別にみると、前述した母指外転筋の他に、大腿直筋においては踵を冷却した場合に後期急増の知覚能が高まる被験者と逆に低くなる被験者とに分かれた。この場合、知覚能が高まる被験者は、低下した踵圧情報を筋情報と分離することによって、筋情報単独の知覚能を高めることができたものと推察された。これに対して知覚能が低くなる被験者は、低下した踵圧情報を分離することができず、筋情報に誤った圧情報が干渉した可能性が示唆された。前脛骨筋においては、踵を冷却しても活動の知覚に有意な影響が認められず、しかも後傾で活動する筋でありながら大腿直筋と比べると踵冷却による知覚能への影響が異なっていた。このことからすると、筋活動の急増を知覚する際に、筋情報と圧情報との連携の様相が筋によって異なることが示唆された。この理由として少なくとも以下のことが考えられよう。すなわち、母指外転筋は母指基節骨に停止し(19)、母指とほぼ同一部位にあり筋情報と圧情報との高い連携性が示された。しかし、大腿直筋および前脛骨筋は踵から空間的に離れており、筋情報と圧情報との連携性もそれぞれ異なっていた。このことからすると、筋活動の急増を知覚する筋の付着部位と、この筋が活動し身体が傾斜した場合に圧が増加する足底部位との空間的位置関係が、その筋活動急増の知覚における筋情報と圧情報との連携性に影響していると推察される。

また、足底を冷却することによって母指球圧の極大値、母指圧および各筋の後期急増が知覚できなくなった被験者のほとんどは、最前傾あるいは最後傾位置に近い位置でスイッ

チを押していた。これは、これらの位置情報が極大値あるいは後期急増と誤知覚されたか、もしくは立位保持の限界を知覚する位置に至るまでに情報の変化が知覚できなかったことを示すに違いない。

実験 3

母指圧強度の知覚では、母指を冷却した場合に母指圧が高まる位置以降で、有意な影響が認められた。これは、母指圧強度を知覚する場合には、母指圧が高まる位置では母指からの圧情報が重要であることを示すものと考えられる。一方、母指球を冷却した場合には足底圧が母指球から母指へ移るところでのみ有意な影響が認められ、母指球圧情報は母指圧強度の知覚において圧が母指球から母指へ移行する位置でのみ、重要な意味を持つものと考えられた。ところが、圧強度の低い安静立位姿勢に近い位置では、強度と相対圧との関係が一致せず、しかも冷却の影響が認められなかったことから、そのような位置では母指圧情報の重要性は低いものと考えられた。

母指球圧強度の知覚では、母指球圧を冷却した場合にほぼ全部の強度で有意な影響が認められ、母指球圧情報が強度の低いところから極大となる位置までの強度の知覚において重要であることが示唆された。しかし、母指を冷却した場合に強度 2、4、6 で有意な影響が認められたことから、母指圧情報も母指球圧情報ほどではないが何らかの影響を持っているものと考えられた。しかし、実験 2 においては、母指球を冷却しても母指球圧極大の正確な知覚が可能であることが示された。これらのことからすると、母指球圧の連続的な変化を知覚する場合と、極大値のようなある状況のみを知覚する場合とでは、圧情報の使われ方が異なる可能性が示唆された。すなわち、母指球圧強度を連続的に知覚するためには母指球からの圧情報が重要であるが、母指球圧の極大だけを知覚するためには足底圧が母指へ移った情報があればよいものと考えられた。

本研究における考察をまとめると以下のようなになる。

足底の圧感覚が通常の場合には前傾を強めていくと、母指球圧は増加し続け極大値を示しその直後に圧が母指へ移行し、母指圧の急増が認められる。それらの情報は連携され、

その連携をもとに母指および母指球の圧の急変が知覚されたものと考えられる。このことは、母指および母指球を冷却した場合の結果からも強く支持された。母指球圧の極大および母指圧の後期急増は、その位置からして姿勢の安定性を維持するために生体にとって重要な情報であるがゆえに、筋感覚情報も含めた多重の情報系により確実に知覚できるような機構が作り上げられていることが推察された。一方、連続的な圧変化の知覚においては、必ずしも複数の情報の関連性をもとになされているとは言えない。前傾にともない母指球から母指へ圧が移行するところでは母指球圧と母指圧との連携が重要であるが、これより手前の位置、以降の位置ではそれぞれ母指球圧情報、母指圧情報が、単独で重要な意味を持つことが示唆された。すなわち、圧情報の急変を知覚する場合と、連続的な変化を知覚する場合とでは、手がかりとする情報および情報間の関連のさせ方が異なるものと考えられる。

後傾では、大腿直筋および前脛骨筋活動の後期急増には、両筋に共通した要因があるが、後期急増位置の関係には個体差があることが示唆された。さらに踵を冷却した場合の結果から、筋活動の急増を知覚する際に、筋情報と圧情報との関連の様相が筋によって異なること、および大腿直筋のようにその関連性の様相が個人によって大きく異なる筋があることが示唆された。

今回の結果から、急増の知覚位置および情報の連携における個人差は、前傾では小さく、後傾では大きいことが明かとなった。前傾では、足底から足指に圧が急激に移動する構造が個体間に共通して存在すること、さらに前傾での姿勢調節の機会が多いことから、位置知覚様式が被験者間に共通している可能性も考えられる。これに対して後傾では、後傾時に活動する筋と踵とが空間的に離れており、しかも後傾における姿勢調節は被験者により経験の度合い、内容が異なると考えられることから、情報間の連携、および知覚内容における個人差が大きくなるものと考えられる。

文 献

文献

1. ASAI, H., FUJIWARA, K., TOYAMA, H., YAMASHINA, T., NARA, I., & TACHINO, K. (1990) The influence of foot soles cooling on standing postural control. In Brandt, T., Paulus, W., & Bles, W. (Ed.) *Disorders of posture and gait*. Pp. 198-201. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
2. ASAI, H., FUJIWARA, K., & TACHINO, K. (1994) Limiting factor for movable range of the center of foot pressure in backward direction. In Taguchi, K., Igarashi, M., & Mori, S. (Ed.) *Vestibular and neural front*. Pp. 525-528. Elsevier. Tokyo.
3. ASAI, H., & FUJIWARA, K. (1995) [Change of postural control in cooling of the each plantar surface of the feet]. [*Japan Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*], 44, 503-512.[English abstract]
4. BARRACK, R. L., SKINNER, H. B., & COOK, S. D. (1984) Proprioception of the knee joint. *American Journal of Physical Medicine*, 63, 175-181.
5. BENNETT, P. J., & DUPLOCK, L. R. (1993) Pressure distribution beneath the human foot. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 83, 674-678.
6. CARLI, G., FARABOLLINI, F., FONTANI, G., & MEUCCI, M. (1979) Slowly adapting receptors in cat hip joint. *Journal of Neurophysiology*, 42, 767-778.
7. CAVANAGH, P. C., RODGERS, M. M., & IIBOSHI, A. (1987) Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot and Ankle*, 7, 262-276.
8. CAVANAGH, P. R., MORAG, E., BOULTON, A. J. M., YOUNG, M. J., DEFFINER, K. T., & PAMMER, S. E. (1997) The relationship of static foot structure to dynamic foot function. *Journal of Biomechanics*, 30, 243-250
9. DIENER, H. C., & DICHGANS, J. (1988) On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Progress in Brain Research*, 76, 243-251
10. FERRELL, W. R. (1980) The adequacy of stretch receptors in the cat knee joint for signalling joint angle throughout a full range of movement. *Journal of Physiology*, 299, 85-99.

11. FERRELL, W. R., GANDEVIA, S. C., & MCCLOSKEY, D. I. (1987) The role of joint receptors in human kinaesthesia when intramuscular receptors cannot contribute. *Journal of Physiology*, 299, 85-99.
12. FUJIWARA, K., IKEGAMI, H., OKADA, M., & KOYAMA, Y. (1982) [Contribution of age and muscle strength of lower limbs to steadiness and stability in standing posture]. [*Journal of the Anthropological Society of Nippon*], 90, 385-400. [English abstract]
13. FUJIWARA, K., IKEGAMI, H., & OKADA, M. (1984) [The position of the center of foot pressure in an upright stance and its determining factors]. [*Japan Journal of Human Posture*], 4, 9-16. [English abstract]
14. FUJIWARA, K., IKEGAMI, H., & OKADA, M. (1985) [The relationship between the postural stability and the relative muscle load of lower limbs in upright stance]. [*Bulletin of Health and Sports Sciences University of Tsukuba*], 8, 165-171.
15. FUJIWARA, K., TOYAMA, H., ASAI, H., & YAMASHINA, T. (1992) Role of foot pressure sensation in standing position. In Woollacott, M. H., & Horak, F. B. (Ed.) *Posture and gait: control mechanisms*. Pp. 117-120. Eugene: University of Oregon Books.
16. FUJIWARA, K., ASAI, H., TOYAMA, H., & KUNITA, K. (1999) Perceptibility of body position in anteroposterior direction while standing with eyes closed. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 581-589.
17. FUJIWARA, K., MIYAGUCHI, A., TOYAMA, H., KUNITA, K., & ASAI, H. (1999) Starting position of movement and perception of angle of trunk flexion while standing with eyes closed. *Perceptual and Motor Skills*, 89, 279-293.
18. FUJIWARA, K., TOYAMA, H., ASAI, H., & MIYAGUCHI, A. (2001) inpress
19. GRAY, H., WILLIAMS, P. L., & BANNISTER, L. H. (1995) *Gray's Anatomy* (38th ed.) New York: Churchill Livingstone.
20. GURFINKEL, V. S., IVANENKO, Y. U., LEVIK, Y. S., & BABAKOVA, I. A. (1995) Kinesthetic reference for human orthograde posture. *Neuroscience*, 68, 229-243.
21. HICKS, J. H. (1955) The foot as a support. *Acta Anatomica*, 25, 34-45.

22. HORAK, F. B., SHUPERT, C. L., & MIRKA, A. (1989) Components of postural dys-control in the elderly: a review. *Neurobiology of Aging*, 10, 727-738.
23. KAVOUNOUDIAS, A., GILHODES, J. C., ROLL, R., & ROLL, J. P. (1999) From Balance regulation to body orientation: two goals for muscle proprioceptive information processing? *Experimental Brain Research*, 124, 80-88.
24. KEITH, A. (1929) The history of the human foot and its bearing on orthopaedic practice. *Journal of Joint and Bone Surgery*, 11, 10-32.
25. LACKNER, J. R. (1992) Multimodal and motor influences on orientation: implications for adapting to weightless and virtual environments. *Journal of Vestibular Research*, 2, 307-322.
26. LACKNER, J. R., & DIZIO, P. (1993) Multisensory, Cognitive, and motor influences on human spatial orientation in weightlessness. *Journal of Vestibular Research*, 2, 307-322.
27. MASSION, J., & WOOLLACOTT, M. H. (1996) Posture and equilibrium. In Bronstein, A. M., Brandt, T., & Woollacott, M. H. (Ed.) *Clinical disorders of balance posture and gait*. Pp. 1-18. London: Arnold.
28. MAURITZ, K. H., & DIETZ, V. (1980) Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Experimental Brain Research*, 38, 117-119.
29. NASHNER, L. M., SHUPERT, C. L., & HORAK, F. B. (1988) Head-trunk movement coordination in the standing posture. *Progress in Brain Research*, 76, 243-251.
30. OKADA, M., & FUJIWARA, K. (1983) Muscle activity around the ankle joint as correlated with the center of foot pressure in an upright stance. In Matsui, H., & Kobayashi, K. (Eds) *Biomechanics VA, human kinetics publ. Champaign, III*, Pp. 209-216.
31. OKUBO, J., WATANABE, I., & BARON, J. P. (1980) Study on influences of the plantar mechanoreceptor on body sways. *Agressologie*, 21(D), 61-69.
32. PEROTTO, A. O. (1994) *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*. (3rd ed.) Springfield, IL: Thomas.

33. PERRY, S. D., MCILROY, W. E., & MAKI, B. E. (2000) The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Research*, 877, 401-406.
34. REYNOLDS, E., & LOVETT, R. W. (1909) A method of Determining the position of the center of gravity in its position to certain bony landmarks in erect position. *American Journal of Physiology*, 24, 286-293.
35. SCHMIDT, R. E. (1986) *Fundamentals of sensory physiology*. Berlin: Springer-Verlag.
36. ZIMMERMAN, M. (1989) The somatovisceral sensory system. In R. F. Schmidt & G. Thews (Eds.) *Human physiology*. (2nd ed.) Berlin: Springer-Verlag. Pp. 196-222.