

報 告

極低温空気による足底冷却が安静時立位姿勢調節及び有効支持基底面の広さに及ぼす影響*

浅井 仁¹⁾ 奈良 勲¹⁾ 立野勝彦¹⁾
藤原勝夫²⁾ 山下美津子³⁾

要旨

足圧受容器の働きを知る目的で足底を冷却して足圧情報入力を減少させたときの静止立位時足圧中心動揺及び、支持基底面の広さについて検討した。その結果足底の7分間の冷却により、以下のように対照群との違いが認められた。

- 1) 静止立位時の足圧中心位置は有意に後方に位置していた。
- 2) 足圧中心動揺面積は有意な増加が認められた。
- 3) クロステストでは前後方向で、前方、後方とも移動可能点が、後方に位置していた。

以上のことから、足底からの圧情報は前後方向の位置の把握と身体動揺の大きな調節に関与していることが確認できた。

キーワード 足圧受容器, 極低温空気, クロステスト

はじめに

立位姿勢における安定性の規定因子として支持基底面の広さがあげられ、この面内において足圧中心（以下、CFPと略す）を随意的に移動できる範囲をもって有効支持基底面としている¹⁾。この有効支持基底面の規定因子として、迷路（前庭）機能、固有受容器機能、視覚機能、触受容器機能などの神経系の調節、更には足底筋の最大筋力、足部の解剖学的構造などが考えられる。またこの中でも圧受容器の機能については、1926年に

Magnus²⁾ がヒトでは、四足動物と異なり、足底の圧情報が非常に重要であろうと述べている。またその後、足底からの圧情報とCFP位置の関係について、いくつかの報告がなされている³⁻¹⁰⁾。その中で大久保ら³⁾⁶⁾は、足底からの圧情報を増加させる目的でショットガンボールを敷き詰めた床を用い、足底からの圧情報が静止立位時のCFP動揺および有効支持基底面の広さにどのような関与をしているかを検索している。これに対し大久保⁶⁾、萩野⁹⁾、Ring⁹⁾、Ratliff¹⁰⁾らは、足底の圧受容器からの情報入力を減少させる目的でポリウレタンフォームを使用してCFP動揺検査を行っている。しかし、この方法では足底からの圧情報の何らかの変化に加え、足部に対する床からの力学的特性がポリウレタンフォームの介在により静止立位時とは著しく異なるのではないかという疑問が生じる。そこで今回われわれは足底に -150°C の極低温空気による寒冷刺激を加えて足底感覚能を低下させる方法を新たに採用した。そしてグラビコーダー上に裸足で立たせ、静止立位時のCFP動揺の測定と、平沢¹¹⁾が考案し月村が脳性麻痺児に応用しているクロステストを用いて検討した。

* The effect of cooled soles by cold air on standing postural control and extent of valid supporting base

- 1) 金沢大学医療技術短期大学部
Hitoshi Asai, RPT, Isao Nara, RPT, Ph D, Katsuhiko Tachino, MD: School of Allied Medical Professions, Kanazawa University
- 2) 金沢大学教養部保健体育研究室
Katsuo Fujiwara, DEd: Dept. of Health and Physical Education, College of Liberal Arts, Kanazawa University
- 3) 石川整肢学園
Mitsuko Yamashita, RPT: Ishikawa Children's Orthopaedic Center
(受付日 1989年11月29日/受理日 1990年7月30日)

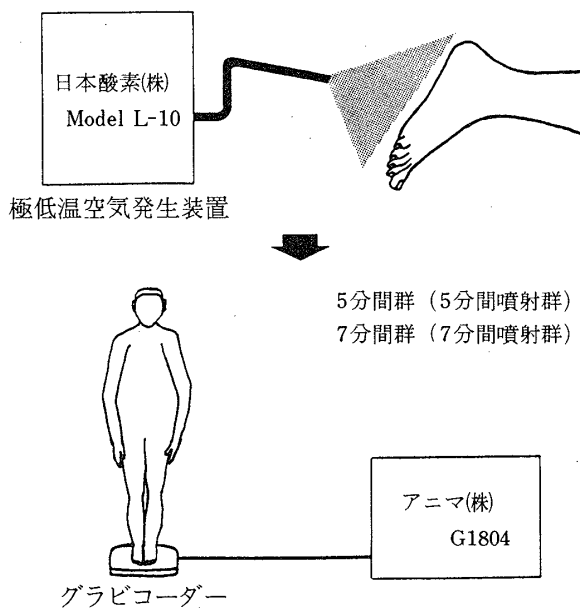


図1 実験装置概要

I 対象と方法

1. 対象

対象は、19歳～29歳 (21.4 ± 2.9 歳)の健常な一般男子大学生 20名で、身長の前平均値および標準偏差値は 171.6 ± 4.8 cm (以下、同様の表示)、体重は 64.5 ± 10.3 kgであった。

2. 方法

今回使用した機器は、液体窒素を利用して極低温空気を発生させる日本酸素(株)製 Model L-10 とアニマ(株)製グラフィコーダー G 1804 (図1)、そしてタカラサーミスタ製の皮膚温度計 HD 111 であった。

実験は最初に被験者をグラフィコーダー上に閉足位で 1.5 m 前方の直径 3 cm の黒点を注視させながら静止立位を 20 秒間保持させ、続いてクロステストを行なった。クロステストは、図2に示すように前後方向、左右方向に被験者が CFP を移動することでグラフィコーダーに接続する X-Y レコーダーに『十字型』の CFP の軌跡を描かせるものである。以上の測定を①極低温空気の非噴射の場合 (以下、対照群とする)、②極低温空気を足底部全体に 5 分間噴射した場合 (以下、5 分間群とする)、③極低温空気を足底部全体に 7 分間噴射した場合 (以下、7 分間群とする) の 3 条件で行なった。今回使用した極低温空気の温度は -150°C で、噴射ノズルを皮膚より 10 cm 離し、極低温空気を足底全体に均一に噴射した。尚、極低温空気の噴射に際しては、寒冷刺激効果を考慮してそれぞれの群の実験は実施日を改めて施行した。

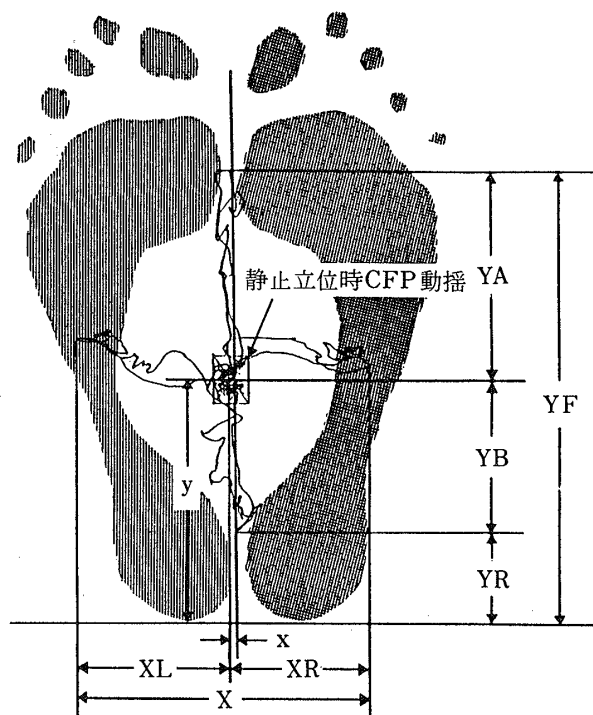


図2 クロステスト

また今回は被験者の中から 5 名を無作為に選び、足底に 5 分間と 7 分間の極低温空気を噴射した直後の皮膚温を測定した。測定した部位は、踵部、母指球部、小指球部、母指部、小指部の 5 か所であった。

分析項目は、静止立位時の CFP 動揺中心位置、CFP 動揺面積、CFP 動揺距離と、クロステストによる前後・左右方向の CFP 移動範囲であった。クロステストによる分析は、前後方向の CFP 移動は、両踵部を結んだ線を基準線とし、足部の前後長の百分率で計算した。また左右方向の CFP 移動は、両足の中央線を基準線とし、両側の足幅の百分率で計算した。静止立位時 CFP 動揺の中心位置を左右方向では x 、前後方向では y とした。クロステストの前後方向では最前部 CFP 移動点を YF とし、最後部 CFP 移動点を YR とした。また静止立位時の CFP 中心位置からの前後方向の最大移動範囲の大きさとしては、前方を YA 、後方を YB とした。左右方向では、中心線より右方向最大移動点を R 、左方向最大移動点を L とし、 x より右方向最大移動点を XR 、同じく X より左方向最大移動点を XL とした。

II 結果

1. 静止立位時の CFP 中心位置

静止立位時の CFP 中心位置は、前後方向については、対照群が $45.7 \pm 4.7\%$ 、5 分間群が $45.8 \pm 4.7\%$ 、7 分間

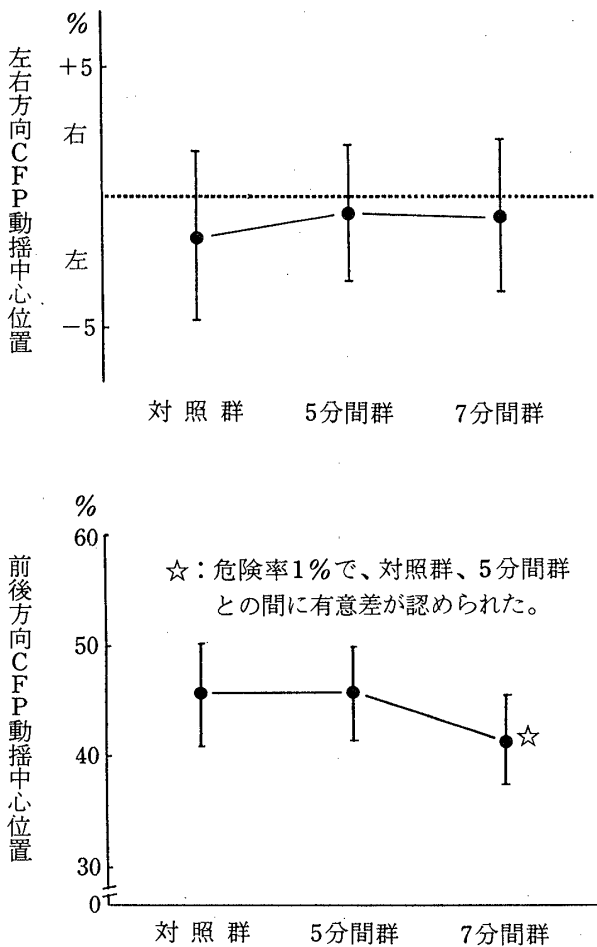


図3 静止立位時CFP動揺中心位置

群が $41.0 \pm 4.4\%$ で、対照群、5分間群ともに7分間群との間に危険率1%で有意差が認められ、7分間群の静止立位時CFP中心位置が後方に位置することが確認できた(図3)。左右方向については右方向を(+), 左方向を(-)とすると、対照群は $(-)1.5 \pm 3.3\%$ 、5分間群は $(-)0.6 \pm 2.7\%$ 、7分間群は $(-)0.7 \pm 2.9\%$ で、各群間に有意差は認められなかった。

2. 静止立位時のCFP動揺(面積・距離)

静止立位時のCFP動揺面積は、対照群が $3.5 \pm 1.1 \text{ cm}^2$ 、5分間群が $4.8 \pm 4.8 \text{ cm}^2$ 、7分間群が $5.3 \pm 4.1 \text{ cm}^2$ で、対照群と7分間群の間において危険率5%で有意差が認められた(図4)。CFP動揺距離は、対照群が $304.3 \pm 66.5 \text{ mm}$ 、5分間群が $303.5 \pm 107.8 \text{ mm}$ 、7分間群が $330.9 \pm 118.8 \text{ mm}$ で、各群間に有意差は認められなかった。

3. クロステスト—CFP中心位置より測定した左右方向最大移動点

対照群ではXRが $35.4 \pm 4.7\%$ 、XLが $36.7 \pm 6.1\%$ 、

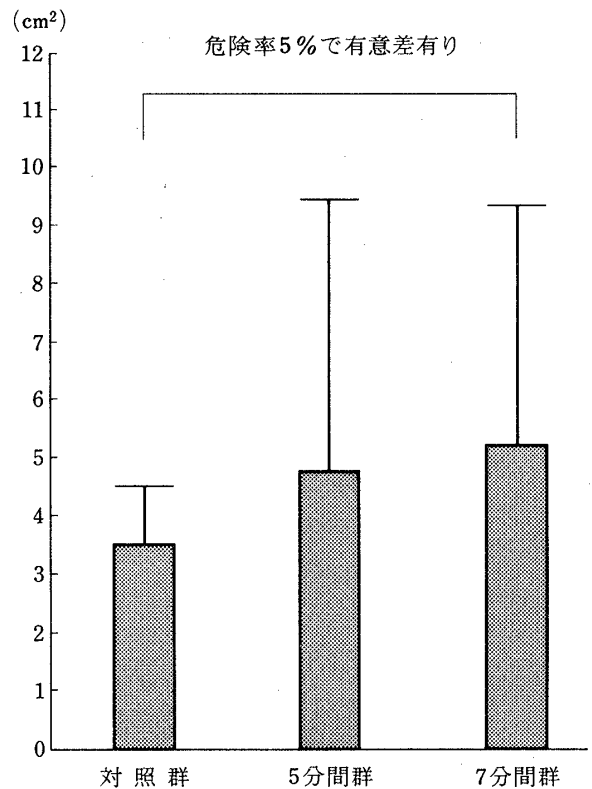


図4 静止立位時CFP動揺面積

5分間群ではXRが $33.9 \pm 4.2\%$ 、XLが $35.1 \pm 4.6\%$ 、7分間群ではXRが $34.0 \pm 5.7\%$ 、XLが $36.3 \pm 6.0\%$ であった。両足中心線より測定した左右方向最大移動点と同様に、同一方向における各群間、同一群内での左右の各方向間のすべてにおいて有意差は認められなかった。

4. クロステスト—前方最大移動点(YF)と後方最大移動点(YR)

前方最大移動点は対照群では $85.8 \pm 5.2\%$ 、5分間群では $83.2 \pm 5.9\%$ 、7分間群では $77.2 \pm 6.2\%$ であり、対照群と7分間群の間、5分間群と7分間群の間においてどちらも危険率1%で有意差が認められた。

後方最大移動点は対照群では $19.8 \pm 3.6\%$ 、5分間群では $19.9 \pm 3.9\%$ 、7分間群では $13.9 \pm 4.8\%$ であり、前方最大移動点と同様に、対照群と7分間群の間、5分間群と7分間群の間において双方とも危険率1%で有意差が認められた(図5)。

5. 極低温空気噴射直後の足底各部の皮膚温について
踵部は7分間群で $14.0 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、5分間群で $15.4 \pm 1.6^\circ\text{C}$ 、母指球部は7分間群で $15.2 \pm 2.6^\circ\text{C}$ 、5分間群で $15.9 \pm 3.1^\circ\text{C}$ 、小指球部は7分間群で $17.1 \pm 1.3^\circ\text{C}$ 、5分間群で $17.8 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、母指部は7分間群で $13.8 \pm 3.2^\circ\text{C}$ 、5分間群は $15.9 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、小指部は7分間群で

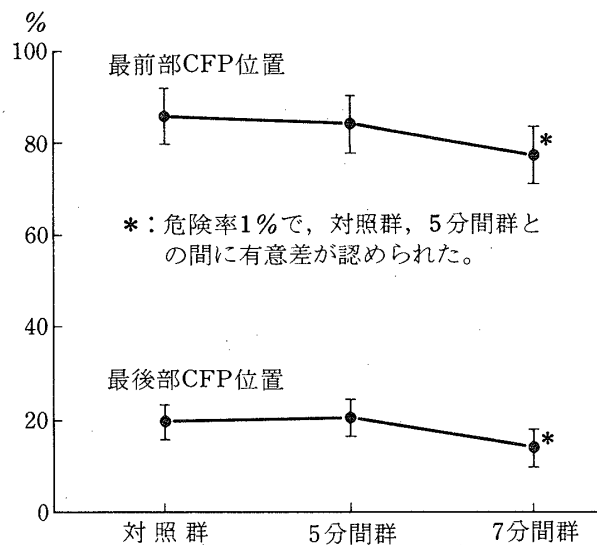


図5 クロステスト～前後方向

14.8 ± 3.0°C, 5分間群で 15.6 ± 0.4°C であった。各部分とも7分間群と5分間群の間に有意差は認められなかった(図6)。

III 考 察

1. 冷却が圧感覚情報に与える影響について

冷却が圧感覚情報に与える影響について以下のように考察する。一番目に、極低温空気の噴射後に神経伝導速度が明らかに遅延する¹⁰⁾という報告があること。二番目に、局所皮膚温が20°C以下では神経興奮時に神経終末から放出されるアセチルコリンが減少し、10°C以下では神経活動電位の大きさが減少する¹⁰⁾という報告があること。三番目に、本研究の前に行なった極低温空気噴射前後での足底の二点閾値の計測で、噴射後の二点閾値が噴射前の閾値の約1.5倍から2倍に閾値が上昇したという結果を得た。以上のことから、今回得られた皮膚温の結果と考え併せると、足底の極低温空気による冷却により足底からの圧感覚情報入力に減少したものと考えられる。

2. 静止立位時のCFP中心位置およびCFP動揺について

静止立位時の前後方向のCFP中心位置は対照群が45.7 ± 4.7%であり、これまで報告されてきた値とほぼ同様であった。これに対し7分間群の値(41.0 ± 4.4%)は、対照群と比較すると危険率1%で有意差が認められた。これは足底からの圧情報の減少によりCFP中心位置が後方へ移動したことを示すものである。また、前

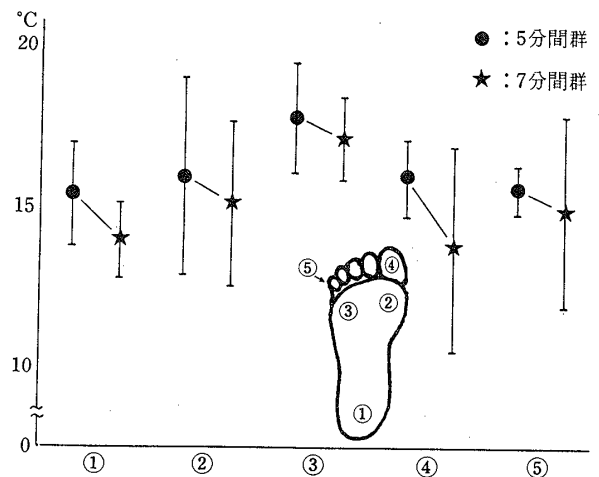


図6 冷却直後の足底各部位の皮膚温度

回の我々の報告¹⁰⁾では足指免荷状態で静止立位時のCFP中心位置が後方へ偏位する結果を得ている。以上のことから、藤原¹²⁾が報告しているように静止立位時の足指圧は2.1 ± 0.49 kgで、その体重比は3.0 ± 0.81%と比較的小さいが、これらの結果より足指は前後方向のCFP動揺位置決定に重要な役割を持つものと考えられる。

左右方向のCFP動揺中心位置については各群とも有意な違いが認められなかった。これは左右方向は足底の冷却による圧情報入力の減少の影響が少なかったというので、左右均等に冷却されたためと考えられる。

前後方向で冷却後に違いがみられ、左右方向では冷却後に違いがみられなかったことから、前後方向については足底に足指部、中足指節関節部、踵部などの部分的機能の違いがあることが示唆された。

CFP動揺面積は対照群の3.5 ± 1.1 cm²と7分間群の5.3 ± 4.1 cm²との間に危険率5%で有意差が認められた。しかしCFP動揺距離については各群間で有意な違いは認められなかった。CFP動揺面積は低周波成分の影響が大きいとされていることから、冷却によりCFP動揺面積が増加したことにより、低周波成分の増加が示唆された。これは足底からの圧情報が低周波成分に関与するという過去の報告を支持するものである。

3. クロステストの左右方向と前後方向について

クロステストにおいては、冷却前後で前後方向においては有意差を認めたものの左右方向において有意差は認めなかった。

左右方向についてはMooreら¹⁴⁾が外側方向への一過性の床振動刺激を与えると股関節周囲筋が最初に活動し

股関節が姿勢調節に関与していると報告していること。Kapteyn¹⁵⁾ がヒトを側方に揺らすと、揺れた側の股関節外転筋が伸張され（股関節が内転位になり）、次に股関節を外転することで安定性を保つと報告していること。更に Jonsson¹⁶⁾ がロンベルグ立位では大腿筋膜張筋の筋活動が増え、左右方向の安定性に貢献していると報告している。このことから左右方向の値に有意差が認められなかったことについては、股関節周囲部の筋活動が優位でそれらの筋の固有受容器からの情報入力豊富なことが予想される。本研究結果と考え併せると、その感覚情報は圧情報に比較して左右方向の位置決定に強く関与していることが示唆され、そのため足底からの圧情報の減少は左右方向の位置知覚には影響を及ぼさないためと考えられる。

前後方向の前方最大移動点については7分間群が、対照群及び5分間群と比較して有意に後方に位置していた。また後方最大移動点も7分間群が、対照群及び5分間群と比較して有意に後方に位置していた。これらの結果の中でも特に後方最大移動点があり、有意に後方に位置したことに注目すべきであると考えられる。

藤原¹²⁾ は CFP を前方へ移動させると足指へ加わる圧が増加すると報告している。今回の結果では冷却により前方への移動範囲が減少した。これは足指や足指と同様に CFP の前方移動で圧が増加すると考えられる中足指関節部からの圧情報入力が増加したためと考えられる。また、藤原¹⁷⁾ は母指外転筋は足指の屈筋群の一つであり、足長の 75% から前方の CFP 位置では姿勢保持の筋としての働きが著しく増大すると報告している。このことから、CFP の前方移動においては足指の屈筋や足底の筋の筋力が一つの因子として考えられる。今回は、足底全体の冷却であったため、足指の屈曲に関与する筋や足底腱膜などが同時に冷却され、筋出力が低下し前方への移動範囲が減少した可能性が示唆される。

ヒトは静止立位時において足長の 43% 付近で CFP を保持している。後方への CFP の移動は解剖学的にはかなり後方まで可能なはずである。しかし実際には 20% 台が限度であり、CFP が 30% より後方になると前脛骨筋だけが著明な活動を示す¹²⁾ が、相対的な筋負担度が大きいために足関節は不安定である。しかし冷却後の後方最大移動点があり、有意に後方に位置し、冷却前では考えられない点まで移動した。そして足関節が著明に背屈した例や後方へのステップング反応が出現した例がみられた。CFP の後方移動により踵部からの圧情報と前脛

骨筋からの筋感覚情報が CFP の後方移動の抑制のために働くと考えられる。今回は前脛骨筋については刺激を加えず、踵部は冷却されている。その結果後方への CFP の移動範囲が増加した。このことから、CFP を後方へ移動したときに圧の加わる踵部からの圧情報入力後方の CFP 位置の決定に重要であることが示唆された。更に前回の報告¹³⁾ で足指を免荷した状態で後方への CFP 移動を試みたところ免荷前よりも移動範囲が拡大する結果を得ている。これにより後方への CFP 移動においては足指からの感覚情報の関与の可能性についても示唆され、次回検討したいと考える。

4. 冷却時間による違いと皮膚温について

今回極低温空気の噴射を5分間と7分間の2回行なったが、得られた結果から7分間噴射の方が有意な影響を及ぼしていたと言える。また皮膚温については両群間に有意差は認められなかったが、冷却による筋出力あるいは筋感覚の影響も考えられたので、今後は深部温度についてもモニターする必要があると考える。

IV ま と め

今回足圧受容器の働きを知る目的で、足底を冷却し足底からの情報入力を減少させたときの静止立位時の CFP 動揺や支持基底面の広さへの影響について検討し以下の結果を得た。

1. 静止立位時の CFP 動揺中心位置は前後方向では7分間群が最も後方に位置し、他の2つの群との間に有意差が認められた。
2. 静止立位時の CFP 動揺面積は7分間群が対照群と比較して有意な増大が認められた。CFP 動揺距離は各群間に有意差は認められなかった。
3. クロステストでは前後方向で移動可能点が前方、後方とも7分間群が他の2群と比較して有意に後方に位置した。左右方向では各群間に有意差は認められなかった。

以上のことから足底の冷却によって、①圧情報が前後方向の位置知覚に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。②圧情報は低周波成分の身体動揺調節に関与していることが判明した。

本論の要旨は第24回日本理学療法士学会（盛岡）にて口演した。

文 献

- 1) 中村隆一, 齊藤 宏: 「基礎運動学—第3版—」医歯薬出版, 1986, pp. 289-309.
- 2) Magnus, R.: Some results of studies in the physiology of posture, *Lancet*, 211: 585-588, 1926.
- 3) 大久保 仁, 渡辺 勲, Baron, J. B.: 足圧受容器が重心動揺に及ぼす影響について, *耳鼻臨床*, 72: 1553-1562, 1979.
- 4) 片平清昭, 岩崎祥一, 塚原 進, 阪場貞夫・他: 立位姿勢における身体動揺と足底部位圧, *姿勢研究*, 7: 7-12, 1987.
- 5) 稲村欣作, 河合 学, 青木賢一, 天岸祥光・他: スタビログラムの低周波成分について, *姿勢研究*, 6: 1-11, 1986.
- 6) 大久保 仁: 足蹠受容器の立ち直りに関する役割について, *耳鼻臨床*, 補7: 26-32, 1986.
- 7) Okubo, J., Watanabe, I., Baron, J.: Study on influences of the plantar mechanoreceptor on body sways, *Agressologie*, 21: 61-69, 1980.
- 8) 荻野 仁, 松永 亨: マットレス上の重心動揺について, *日災害医誌*, 25: 284-288, 1977.
- 9) Ring, C., Nayak, L., Isaacs, B.: Balance function in elderly people who have and who have not fallen, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 69: 261-264, 1988.
- 10) Ratliffe, K. T., Alba, B. M., Hallum, A., Jewell, M. J.: Effects of approximation on postural sway in healthy subjects, *Phys. Ther.*, 67: 502-506, 1987.
- 11) 平沢弥一郎: ひとの「軀立ち」と重心図, *姿勢シンポジウム論文集*, 姿勢研究所, 1971, pp. 43-61.
- 12) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦: 立位姿勢における足圧中心位置およびその規定要因に関する一考察, *姿勢研究*, 4: 9-16, 1984.
- 13) 浅井 仁, 奈良 勲, 立野勝彦, 山下美津子: 立位姿勢保持における足指の作用に関する研究, *PTジャーナル*, 23: 137-141, 1989.
- 14) Moore, S. P., Rushmer, D. S., Windus, S. L., Nashner, L. M.: Human automatic postural responses: Responses to horizontal perturbations of stance in multiple directions, *Exp. Brain Res.*, 73: 648-658, 1988.
- 15) Kapteyn, T. S.: Afterthought about the physics and mechanical of the postural sway, *Agressologie*, 14 (C): 27-35, 1973.
- 16) Jonsson, B., Steen, B.: Function of the hip and thigh muscles in Romberg's test and "standing at ease" an electromyographic study, *Acta Morpholog. Neerland. Scandi.*, 5: 269-276, 1963.
- 17) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦: 立位姿勢の安定性と下肢筋の相対的筋負担度との関係, *筑波大学体育科学系紀要*, 8: 165-171, 1985.
- 18) 北原 宏, 中川武夫, 勝呂 徹, 中村 勉・他: Cryotherapy (寒冷療法) —基礎的研究および臨床例の検討, *総合リハ*, 8: 209-215, 1980.
- 19) Hainess, J. E.: A survey of recent development in cold therapy, *Physiotherapy*, 53: 222-229, 1967.

〈Abstract〉

**The Effect of Cooled Soles by Cold Air on Standing Postural Control and
Extent of Valid Supporting Base**

Hitoshi ASAI, RPT, Isao NARA, RPT, Ph D, Katsuhiko TACHINO, MD

School of Allied Medical Professions, Kanazawa University

Katsuo FUJIWARA, DEd

Dept. of Health and Physical Education, College of Liberal Arts, Kanazawa University

Mitsuko YAMASHITA, RPT

Ishikawa Children's Orthopaedic Center

The purpose of this study was to know the function of mechanoreceptor in soles. Therefore, we cooled the soles at the temperature of -150°C to make them less sensitive with a use of synthetic cryo-air transpire (Nippon Sanso Co., Ltd.). Then Hirasawa's cross-test was used when the subjects stood on the gravicoder to measure the center of pressure at the soles and the base of support. The duration time when the cold air was applied to the soles was classified in three conditions as follows : A) Not cooled as control, B) cooled for five minutes, and C) cooled for seven minutes.

The subjects were twenty healthy males. They were 19 to 29 years old with an average age of 21.4 years. Their mean height and weight were 171.6 cm and 64.5 kg, respectively.

The results were as follows : 1) With respect to the center of gravity in natural standing posture, the condition C) revealed the greatest backward displacement in fore-aft sway among all, then followed in order by conditions A) and B). 2) The sway area of condition C) was greater than other conditions and statistically significant. The distance of sway, however, revealed no significant differences among three conditions. 3) Cross-test in which the subjects could remain in standing posture in lateral movement revealed no significant differences among three conditions. However, the backward sway was significant in fore-aftward displacement.

Through these results, following two findings can be stated : 1) The pressure sensation might affect fore-aftward displacement. 2) The pressure sensation might participate in low frequent ingredient of postural control.