

荷物の持ち方が身体の平衡に及ぼす影響

京都大学 山下 謙 智

(共同研究者) 同 万井 正 人

同 井 街 悠

神戸大学 中 林 稔 堯

京都大学 笹 山 哲

The Effect of the Loading Condition of Weights on Static and Dynamic Equilibrium in Upright Posture

by

Noriyoshi Yamashita, Masando Man-i, Yu Imachi

Kyoto University

Toshitaka Nakabayashi

Kobe University

Satoshi Sasayama

Kyoto University

ABSTRACT

In order to explore the effect of the loading condition of weights on static and dynamic equilibrium, observation and analysis were performed a) body sway on upright stance and rapid arm push, b) balancing time on a laterally rotatable balancing board in a standing posture, and c) moving length and degree of revolution on the stepping test (with eyes closed). Loading was achieved by giving weight were loading (10, 20 or 30% of body weight) to both hands (2H), a hand (1H), a shoulder (1S), back (B) or top of the head (Hd). The values measured were compared with the respective ones of the no loading condition (NL).

The results obtained were as follows ;

1) In any loading conditions of the 1 H, the 1 S, and the B with 10%, the values of the area (ABS) and the total shift length (LBS) of the body sway on the upright stance, and the balancing time on the rotatable balance board were not significantly different from the respective values of the NL.

2) The values of the LBS for the 1 H ($P < 0.05$), the 1 S ($P < 0.05$) and the Hd ($P < 0.01$) with 20%, and the ABS for the 1 S ($P < 0.01$) and the Hd ($P < 0.01$) with 20% on the upright stance were significantly greater than the respective values of the NL.

3) The peak amplitude of the forward sway on the rapid arm push at the loading condition of the B with 20% were significantly smaller ($P < 0.01$) than that of the NL.

4) Some examples of the moving length and the degree of revolution on the stepping test at the B with 10% and 30% were also smaller than those of the NL, although no statistical analysis was made.

要 旨

荷物(体重の10, 20あるいは30%)を両手, 片手, 片肩, 背あるいは頭に負荷して安静立位, バランスボード上で立位維持, 遮眼でその場足踏み, および立位で上肢の押し動作を行ったときの平衡機能を, 負荷なしでそれぞれの検査を行ったときと比較, 検討し, つぎのような結果を得た.

1) 10%の負荷では片手, 片肩, 背のいずれに負荷した場合も, 負荷なしと比較して, 重心動揺の総移動距離と面積, およびバランス維持時間のいずれにおいても有意な差は認められなかった.

2) 20%の負荷を片手 ($P < 0.05$), 片肩 ($P < 0.05$), あるいは頭 ($P < 0.01$) に負荷したときの重心動揺の総移動距離, および片肩 ($P < 0.01$) あるいは頭 ($P < 0.01$) に負荷したときの動揺面積は, 負荷なしと比較して有意に大きな値を示した.

3) 20%の荷物を背に負荷して, 立位で上肢の押し動作をできるだけ素早く行ったときの前方最大動揺幅は, 負荷なしで同様の動作を行ったときに比較して, 有意に ($P < 0.01$) 小さな値を示した.

4) 遮眼でその場足踏みを行った場合, 負荷10%および30%における移行距離は10例中5例および10例中6例, 回転角は9例中7例および9例中6例において, それぞれ負荷なしと比較して(統計処理は行っていないが) 小さな値を示した.

はじめに

われわれが二本足で立位が維持でき, さらに運動を遂行できるのは, 多関節構造など人体の解剖学的特徴による姿勢のくずれに対して, 視器, 迷路, 自己受容器の刺激による立ち直り反射が働き, それに大脳, 小脳, 脳幹の中樞神経系が関与することによって, くずれを防ぐのに必要な筋の

緊張を引き起こす一連の平衡機能が作用することによる。このような不安定状況下で荷物を持てば、さらに不安定度が増し、身体の平衡に影響を及ぼすことが予想される。

一方、荷物は高所作業や通学する子供達だけでなく、登山、ハイキング、キャンプなどのスポーツ活動をする人たちにとっても、それぞれの活動を遂行するための必需品である。その際、常に荷物を持つことによる姿勢の乱れを正し、姿勢調節を行うことによって平衡を維持しながら、歩いたり、走ったり、登ったり、下ったりといった運動を続けなければならない。そこで荷物の重さや持ち方は、それらスポーツ活動の疲労や安全性に影響を与えることになる。これまで、調節機能の障害⁵⁾、環境照度の低下²⁾、あるいは音刺激⁴⁾により、身体動揺が増大することが報告されているが、荷物の重さや持ち方が平衡機能に及ぼす影響について検討した報告はほとんど見あたらない。

本研究の目的は、そのような課題に対する基礎資料を提供するために、荷物を持たないとき、持ったとき、持ち方を変えたとき、および重さを変えたときの、各条件下の平衡機能を比較、検討することである。

1. 検査方法

健康成人（18～22歳）18名について、安静立位時と上肢の押し動作時における重心動揺検査、バランスボード上でのバランス維持検査および足踏み検査を、下述した負荷条件および検査手順で行った。そのとき得られた値と、負荷なしで各検査項目を行ったときのそれぞれの値を比較、検討した。

1.1 負荷条件

図1に示したように、負荷の場所は両手、片手、片肩、背および頭で、負荷量は体重の10%、20%および30%である。これらの条件を各種組み合わせで上述した検査を実施した。

1.2 検査手順

重心動揺検査：平衡機能計（日本電気三栄，1 G 06）上で裸足（5 cm の開足）で、約2 m 前方の眼の高さにある指標を注視しながら直立させた（図2，A）。検査項目の一つは、両上肢を体側に下げて1分間立位姿勢を維持する「安静立位」で、そのときの重心動揺の総移動距離および面積を、パーソナルコンピュータと平衡機能解析ソフト（日本電気三栄，MDS 98022）を用いて測定した。他は、図7に示したように、自発的に片上肢をで

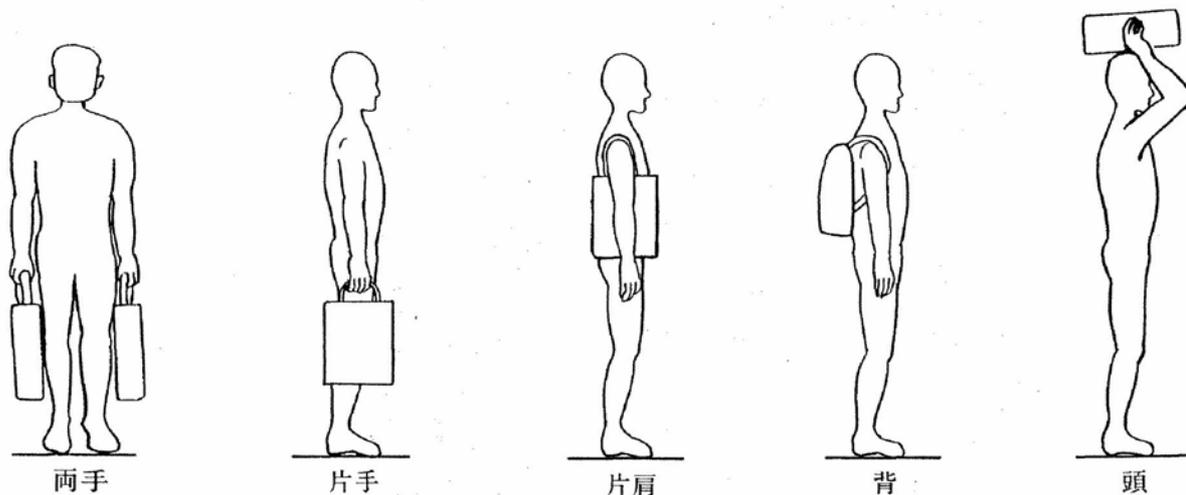
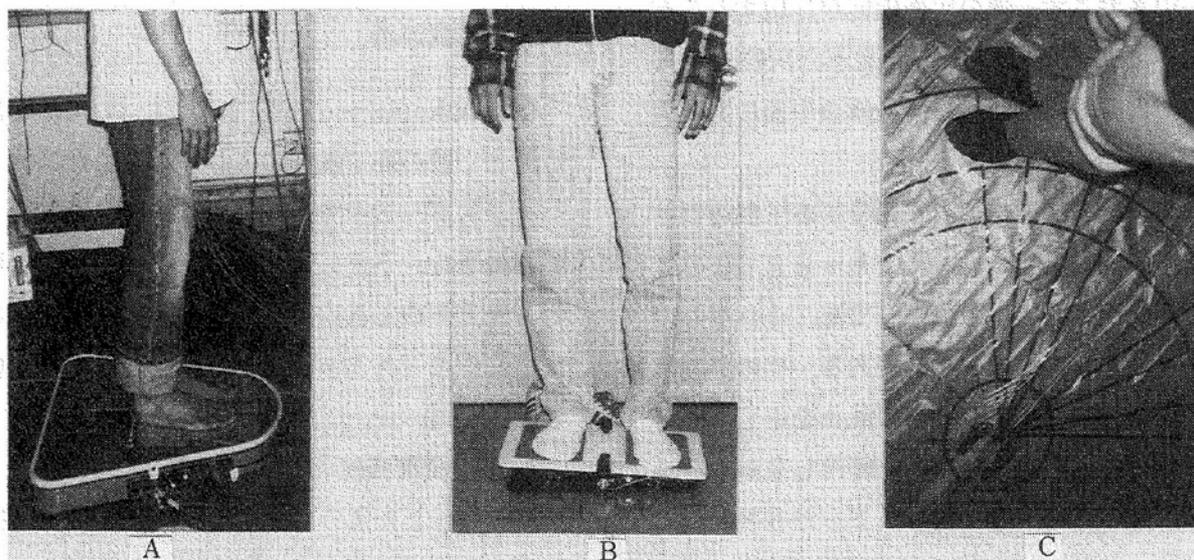


図1 荷物の負荷部位



A：重心動揺検査 B：バランス維持検査 C：その場足踏み検査

図2 検査項目

きるだけ素早く前方に伸展し、伸展した姿勢を数秒間保持する「上肢の押し動作」で、一人につき1分間の休憩をはさんで8回ずつ計16回実施した。そのときの前方最大動揺幅（図7上右、BS-FP）を測定した。

バランス維持検査：図2，Bに示したような左右に回転する軸に設置されたバランスボード上で30秒間「立位姿勢を維持」する。バランスボードにはマイクロスイッチとタイマーが設置され、ボードが床に対して左右いずれの方向へも5度傾くとマイクロスイッチが作動してタイマーが止まり、5度以内に平衡を回復すれば再びタイマーが作動する仕組みになっている。つまり、立位で30秒間のうちバランスボードをほぼ水平に維持する合計時間を測定することになる。このバランスボードは、共同研究者の一人である万井の指導のもとに、京都異業種交流「にじの会」が平成6年に試作したものである。

足踏み検査：アイマスクで遮眼し、両上肢体側位で、歩行調（1分間に110歩内外）で「その場足踏み」を100回行う³⁾。被験者には、その場を移動しないで、また向きを変えないで足踏みを行

い、終わればその位置に立っておくように指示した（図2，C）。そのときの、足踏み開始から終了位置までの移行距離およびその間の身体の回転角度を測定した。

1.3 検査内容

検査内容は以下のとおりである。すなわち、1)「安静立位」を18名について、負荷なしと10%の荷物を片手、片肩、背に負荷したとき、また7名について、負荷なしと20%の荷物を両手、片手、片肩、背、および頭に負荷したとき、2)「上肢の押し」を4名について、負荷なしと20%の荷物を背に負荷したとき、3)「バランス維持」を18名について、負荷なしと10%の荷物を片手、片肩、背に負荷したとき、および4)「その場足踏み」を10名について、負荷なしと10%あるいは30%の荷物を背に負荷したときについてである。

2. 結果

2.1 重心動揺の総移動距離と面積

各種負荷条件（負荷なしと10%）における安静立位時の結果を図3（総移動距離）および図4（面積）に示した。負荷なし、片手、片肩、背に負

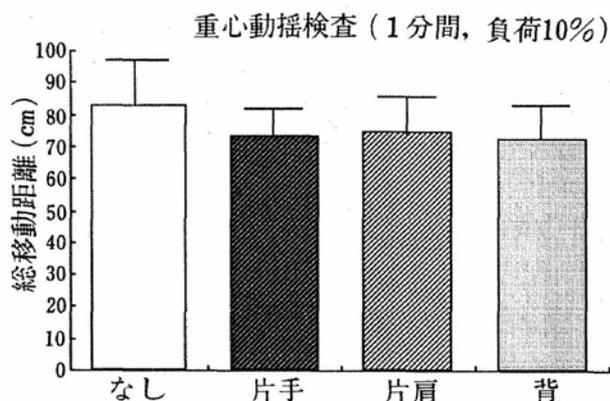
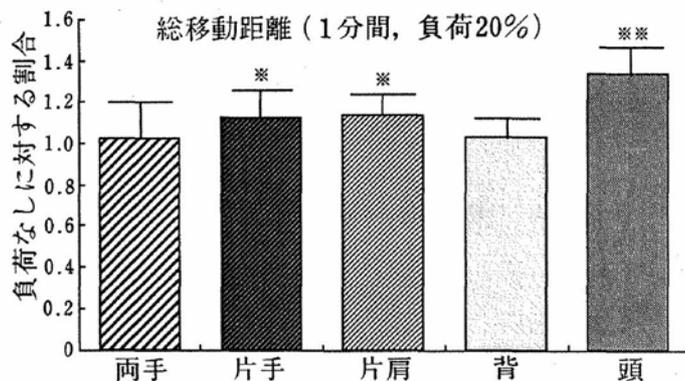


図3 重心動揺の総移動距離 (負荷10%) の結果



負荷なしとの有意差:

* P < 0.05 ** P < 0.01

図5 動揺総移動距離 (負荷20%) の結果

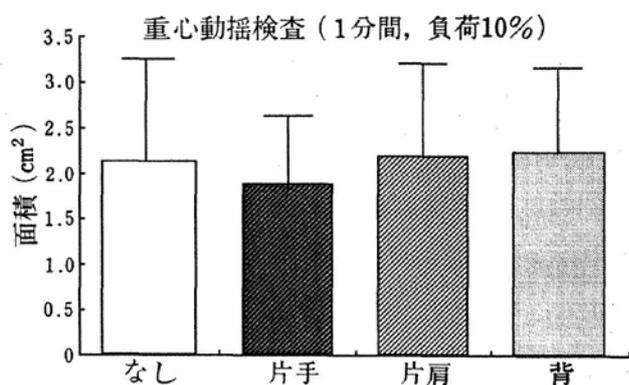
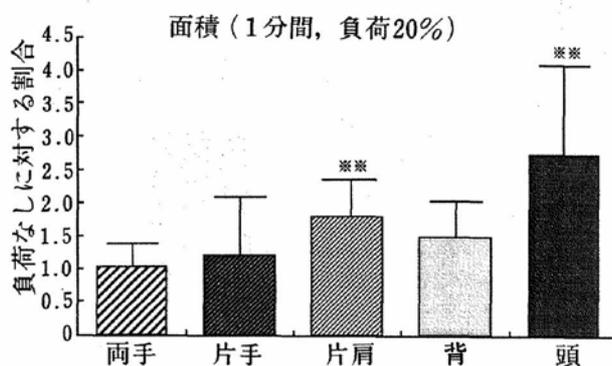


図4 動揺面積 (負荷10%) の結果



負荷なしとの有意差: ** P < 0.01

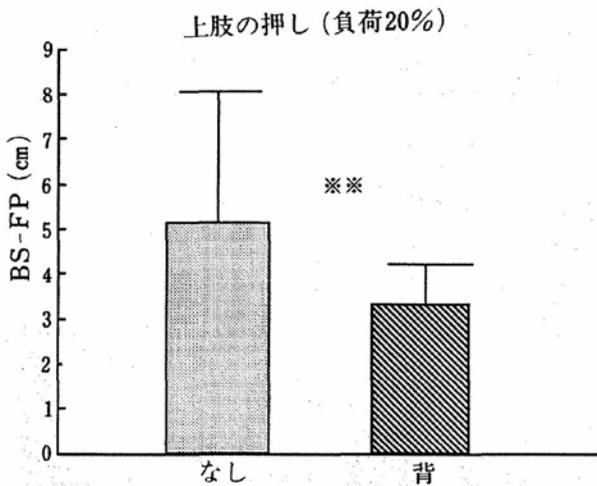
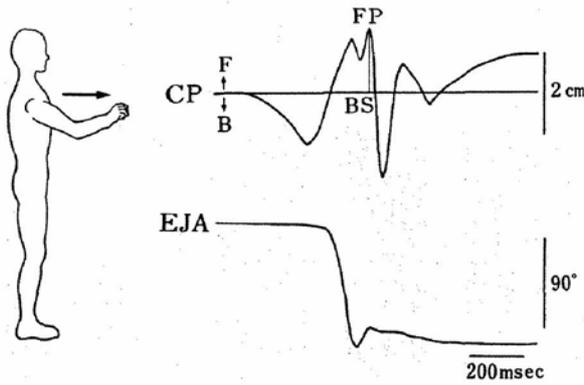
図6 動揺面積 (負荷20%) の結果

荷の順に、総移動距離は 83.1 ± 14.1 , 73.5 ± 8.20 , 75.0 ± 11.9 , 72.8 ± 10.0 cm, 面積は 2.14 ± 1.13 , 1.89 ± 0.77 , 2.21 ± 1.01 , 2.25 ± 0.93 cm² という値を示し、総移動距離および面積とも、負荷なしといずれの負荷条件における値との間にも有意な差は認められなかった。

図5および図6は、20%を両手、片手、片肩、頭に負荷したときの結果で、各負荷条件における測定値の、負荷なしにおける測定値に対する割合を示したものである。その結果、片手 (P < 0.05)、片肩 (P < 0.05) および頭 (P < 0.01) における総移動距離の値が、また片肩 (P < 0.01) および頭 (P < 0.01) における面積の値が、負荷なしに比較してそれぞれ有意に大きな値を示した。ところが、同じ重さの荷物を両手あるいは背に負荷した

ときの総移動距離、および両手、片手、あるいは背に負荷したときの面積は、負荷なしのときと有意な差が認められなかった。

「上肢の押し動作」を行ったときの身体重心位置は、図7に示したように動作開始前に後方への動揺を開始し、図のような経過を経て動作終了後に安静位にもどる。その間、動作終了付近で前方動揺のピーク (FP) を示した。負荷なし、および背に20%の荷物を負荷したときの、前方最大動揺幅 (BS-FP) を測定した結果、負荷時の前方最大動揺幅 (2.89 ± 0.85 cm) は負荷なし (5.16 ± 3.34 cm) に比較して有意に小さな値を示した (P < 0.01)。



上左：検査動作 上右：前後方向の足圧中心 (CP) および肘関節角度 (EJA) の変化 F：前方 B：後方 BS：基線 FP：前方動揺のピーク 下：前方最大動揺幅 (BS-FP) の結果
 ※※P<0.01

図7 上肢の押し動作

2.2 バランス維持時間

各種負荷条件におけるバランス維持時間の結果を図8に示した。その結果、負荷なし、片手、片肩、背に10%負荷の順に 17.4 ± 1.97 , 17.6 ± 2.24 , 17.1 ± 1.89 , 17.8 ± 2.16 sec という値を示した。その結果、いずれの負荷条件における値も負荷なしと有意な差が認められなかった。

2.3 移行距離および回転角度

負荷なしと、10%あるいは30%を背に負荷したときのその場足踏みにおける移行距離、および回転角は、被験者間で測定値のバラつきが大き

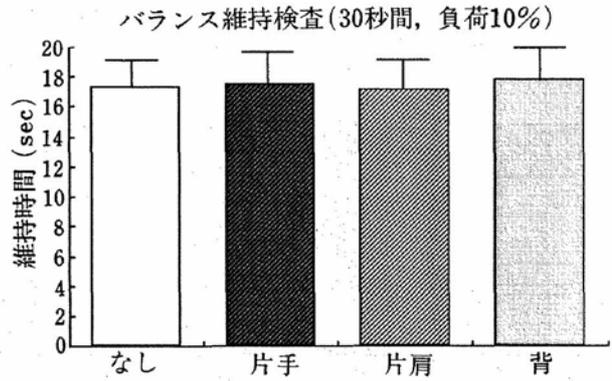


図8 バランス維持時間 (負荷10%) の結果

く、一定の傾向を示さなかったため、統計処置を行わず結果を表1に示した。この結果のうち、負荷10%および30%のときの移行距離は、10例中5例および10例中6例において、また回転角は9例中7例および9例中6例において、それぞれ負荷なしに比べて小さな値を示した。

3. 考 察

今回、解剖学的に不安定な立位姿勢で、さらに荷物を負荷することによって、姿勢のくずれあるいは動揺量が大きくなるかどうか、また負荷する部位の違いによってそれらが異なるかどうかについて検討した。

渡辺⁹⁾らは、立位で、3、6、9kgのおもりを、前腕で (身体前方で) 保持した場合および背中にさげた場合 (前腕保持は12kgも) のいずれにおいても、負荷の大きさに比例して動揺の総移動距離および面積が大きくなる傾向を示すことを報告したが、有意差は認めていない。

今回のわれわれの結果においては、20%の負荷を片手、片方の肩、あるいは頭に負荷して安静立位を維持したときの重心動揺の総移動距離、および肩あるいは頭に負荷したときの動揺面積は、負荷なしに比較して有意に大きな値を示した。ところが、荷物の重さが体重の10%の場合、たとえ負

表1 その場足踏みにおける移行距離と回転角の測定結果

その場足踏み	負荷なし		負荷 (10%)		負荷 (30%)	
	移行距離 (cm)	回転角 (度)	移行距離 (cm)	回転角 (度)	移行距離 (cm)	回転角 (度)
K. H.	7	90	16.5	—	18	—
M. B.	62.5	122	60.5	44	62.5	26
T. T.	11	108	16	42	18	35
A. I.	13	78	6	63	12	15
K. D.	19.5	79	36.5	80	33	95
S. K.	22	180	9.5	105	5.5	92
K. Y.	68	80	56	23	15.5	8
S. I.	48	110	54.5	78	47	38
M. U.	29	65	38.5	50	21	90
S. K.	30	0	8.5	30	6.5	12

荷部位が上述と同じ（両手と頭を除く）であっても、負荷なしにおける重心動揺と有意な差はなく、平衡機能に影響を及ぼさなかった。また、負荷 10% の場合、バランス維持時間も負荷なしと有意な差が認められなかった。このことは、10% の負荷においては、姿勢調節作用が姿勢のくずれを上回り、負荷が姿勢調節に影響を及ぼさないことを示している。

運動を行えば、安静立位時よりさらに不安定度が増し、身体動揺も大きくかつ複雑になるため（図7）、復元のための、さらに大がかりな調節作用が必要となる。この点に関して、立位で急速な運動を行うと、意図した運動の開始に先行して、その運動によって生じるであろう動揺を最小限に抑えるための姿勢調節（見越し姿勢調節）が行われることが報告されている^{1,9)}。その際、主運動開始前に身体局部が動き、それに伴う身体動揺が発現する。

今回上肢の押し動作を行った際も、身体動揺は動作開始前から開始し、終了後に停止した。そのうち、20% の荷物を背に負荷したときの、運動終

了付近にあらわれる前方最大動揺幅（図7、BS-FP）が、同動作を負荷なしで行ったときに比較して有意に減少した。また、統計処理は行っていないが、「その場足踏み」を行ったときの移行距離および回転角は（背さげで、負荷 10% および 30% のいずれにおいても）、測定例の半数あるいはそれ以上の例において、負荷なしのときに比べて小さな値を示す傾向が見られた。

これらの結果は、追加的負荷による質量の増加が慣性に影響を与え、身体動揺量が抑えられたためと考えられる。これまで、運動様式などの違いによって見越し姿勢調節量が少なくなれば、それが運動成果に好影響を及ぼすことが報告されている^{7,8,10,11)}。これらのことを考え合わせれば、追加的負荷が身体動揺量を減少させ、そのことが意図した運動の成果に好影響を与える場合もあり得ることを示唆している。

4. まとめ

荷物なし、荷物を両手、片手、片方の肩、背あるいは頭に負荷して、安静立位、バランスボード

上での立位維持, 遮眼その場足踏み, 立位で上肢の押し動作を行ったときの平衡機能について検討した。

その結果, 荷物を負荷したことによって重心動揺量が有意に増したのは20%の荷物を片方の肩, あるいは頭頂に負荷したとき(総移動距離は片手に負荷したときも)で, 10%の荷物の場合, 片手, 片方の肩, 背のどの部位に負荷しても静的および動的平衡機能に影響を与えなかった。また, 20%の荷物を背に負荷したときの動的平衡機能(上肢の押し動作およびその場足踏み検査)においては, むしろ動揺量が少なくなる例が認められた。

要するに, 同じ負荷量でも負荷部位が異なれば, また同じ負荷部位でも負荷量が異なれば, 平衡機能への影響の仕方が異なること, および動的平衡においては, 荷物を負荷することによって, 身体動揺量がむしろ減少する場合もあり得ることが明らかになった。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 多大な御助言, 御協力を賜った伊東太郎先生(英知大学)および東隆史先生(相愛大学非常勤講師)に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Belen'kii, V. Ye. et al. ; Elements of control of voluntary movements, *Biophysics*, **12**, 154-161 (1967)

- 2) 河合 学, 稲村欣作, 間野忠明; 立位姿勢における身体動揺の環境照度, *姿勢研究*, **9**, 25-32 (1989)
- 3) 日本平衡神経科学会編; 平衡機能検査の実際, pp 138, 南山堂, 東京 (1988)
- 4) 新関泰男; 音刺激と身体動揺, *姿勢研究*, **9**, 1-6 (1989)
- 5) 田口拓雄; 起立時身体動揺の研究—正常例ならびに迷路障害者例を中心に, *耳鼻臨床*, **70**, 1065-1112 (1977)
- 6) 渡辺興作, 横山清子, 高田和之, 竹内伸也; 荷重負荷時の直立姿勢動揺の解析, *人間工学*, **23**, 233-240 (1987)
- 7) 山下謙智, 梶谷信之; 立位随意運動において運動条件が見越し姿勢調節および運動成立時間に及ぼす影響, 第8回バイオメカニズム学術講演会, **A 33**, 95-96 (1987)
- 8) 山下謙智, 西山 潤, 梶谷信之; 立位で上肢の運動を行った時の運動の対称性が下肢筋に現れる見越し放電と主動筋 EMG 反応時間に及ぼす影響, *体力科学*, **36**, 538 (1987)
- 9) Yamashita, N., Moritani, T.; Anticipatory changes of soleus H-reflex amplitude during execution process for heel raise from standing position, *Brain research*, **490**, 148-151 (1989)
- 10) Yamashita, N., Nakabayashi, T., Moritani, T.; Inter-relationships among anticipatory EMG activity, Hoffmann reflex amplitude and EMG reaction time during voluntary standing movement, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **60**, 98-103 (1990)
- 11) 山下謙智; 立位つま先立ち動作における初期重心位置が反応時間および予測性姿勢調節に及ぼす影響, 第12回日本バイオメカニクス学会大会論文集「生体・運動のシステム —スポーツスキルの向上」, (印刷中)