

重量負荷による前方外乱に対する平衡反応

藤原 勝夫¹⁾・外山 寛¹⁾・山科 忠彦²⁾
浅井 仁³⁾・吉野 安之¹⁾・沼 哲夫¹⁾

Balance response to forward disturbance of standing posture using weight-load

Katsuo Fujiwara¹⁾, Hiroshi Toyama¹⁾, Tadahiko Yamashina²⁾
Hitoshi Asai³⁾, Yasuyuki Yoshino¹⁾ and Tetsuo Numa¹⁾

(Received April 28, 1989)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the balance response to forward disturbance of standing posture using weight-load. Five male subjects, aged from 20 to 41 years, stood on a force plate on which a bar was jointed. The bar was able to incline in anteroposterior direction. The position of the weight-load on the bar was at shoulder level. The balance response was examined three times with elbow flexion and elbow extension respectively. In each trial the following was measured: the pressure on the force plate, the center of pressure, the angle of the bar and the EMGs of m. gastrocnemius, m. tibialis anterior, m. biceps femoris, m. rectus femoris, m. erector spinae, m. triceps brachii and m. biceps brachii. The motion of balance response was photographed using a video camera.

The results were:

1) In the advanced stage of learning, the muscle activity after weight-load started more earlier at the back muscles of the trunk and lower extremity than at m. biceps brachii on elbow flexion trial, and at m. erector spinae than at the back muscles of lower extremity on elbow extension trial. In the back muscles, the lower the position of the muscle, the earlier the start of activity. Such a muscle activity was correlated to the protection against external force to act rapidly on the whole body by elbow extension on elbow flexion trial and by trunk rotation on elbow extension trial. Since these muscle participating in postural control showed shorter latency than reaction times, it was considered that such a postural control was done anticipatively.

¹⁾ 金沢大学教養部保健体育科 Department of Health and Physical Education, College of Liberal Arts, Kanazawa University

²⁾ 金沢医科大学 Kanazawa Medical College

³⁾ 金沢大学医療技術短期大学部 School of Allied Medical Professions, Kanazawa University

2) With the advancing of learning, the backward movement of the center of pressure and the activity of m. tibialis anterior were neuromuscularly recognized before the moment of weight-load. These had a strong influence on the balance response after weight-load.

3) In the motion of balance response after weight-load, the subjects who did windsurfing used knee flexion and the other subjects didn't use it. The degree of elbow extension motion on elbow flexion trial showed a big difference among the subjects. These differences had a strong influence on the balance response.

Key Word : Postural control—Balance response—EMG—Weight-load

1 緒 言

姿勢調節機能を検討するに当って、外乱刺激を負荷し生体の応答特性を分析することがなされている。私どもは、そのような方法として、立位時に床を水平に振動する方法を採用してきた⁹⁾。この他に、床を水平に一過性に移動する方法や、床を周期的及び一過性に傾斜する方法がある^{4),10),11),13),16),21),23)}。

実際の運動場面では、足関節より上体に直接力が加わることが多く、そのような状況下での姿勢調節を検討することも重要と考えられる。このような力を加える方法として、腰部や頭部をロープなどで牽引することや^{6),9)}、重りを振り子運動させ体に衝撃を与えることなどがなされている¹⁷⁾。この場合に、身体の対応の仕方によって負荷される力が大きく異なる。すなわち、身体に一定の力を加えることができにくいために、身体の応答特性を分析することを極めて困難にしているようである。そこで本研究では、立位にて上肢を前方に挙上し足関節の高さに回転軸を有する棒を手で支え、棒の上部に重りを急激に負荷し身体の前方への回転モーメントを増加させ、そしてその後も重りを除去しないという方法を採用することにした。

ところで、随意運動の学習が進むにつれて、意図的運動に伴う姿勢調節が自動的になされるように変化することが知られている^{2),15)}。その姿勢調節は、意図的運動に先行して予測的に開始されることが報告されている^{3),13),22)}。身体のある部位に外力が加わった場合の姿勢調節においても、予測制御が関与することが推察される。予測制御の証拠は、上肢に力が加わった場合には、上肢運動の主働筋よりも姿勢調節に関与する下肢や体幹の筋活動が先行することなどがあげられている^{12),22)}。しかし、これらの筋活動パターンがどのような機能的意味を有するかについては、明確にされていないように思われる。

本研究は、このような予測制御の機能的意味について検討するとともに、重量負荷実験を行う際に配慮すべき条件を明確にすることを目的とする。

2 方 法

重量負荷には、前後に回転する棒を床反力計上に取り付け、その棒から前方に重り受けが突

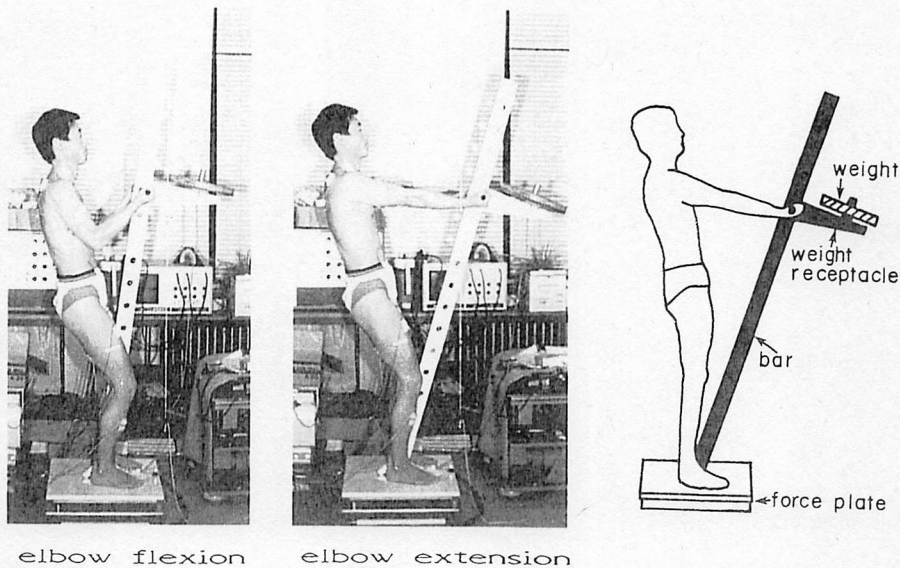


Fig. 1 Posture and apparatus for experiment

き出した装置を用いた(図1, ワミー製)。回転棒には重り受けが出ている箇所につ手が付いている。棒の回転軸は、床反力計上4cmの高さに位置する。重りは、その中心が回転棒の前方25cmになるように重り受けに乗せる。

被験者は、足の内果点を棒の回転軸に一致させ、足の内側を平行に16cm離し、棒の取っ手を両手で持ち、閉眼にて立つ。被験者の上肢は、肘90°屈曲位と伸展位とした。重りは10kgとし、重りの位置は回転棒を垂直に立て被験者の肩の高さとした。重量負荷は、検者が「用意」と合図してから3秒以内に、各肘位で3回ずつランダムに行った。その際に転倒せずに安定したバランスを保つように被験者に指示した。

検出した項目は、床反力計に加わる全圧力変動とその圧中心動揺、棒の回転角、上腕二頭筋、上腕三頭筋、脊柱起立筋(腰部前弯部)、大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の表面筋電図である。分析は、これらの項目の時間変動を中心に、「用意」の合図から4秒間のデータをA/D変換したデータを用い、マイクロコンピュータ(NEC, PC9801VX)によって行った。A/D変換のサンプリング間隔は2msとした。

また、平衡反応動作を、身体の側面よりビデオ撮映し、動作解析装置(ソニー, SMC-70)を用いて分析した。ビデオのコマ送りは60回/秒とした。分析は、重量負荷時に豆電球を点燈させるなどの工夫をして行った。

被験者は成人男子5名(20~41歳)からなり、うちY. Y, T. T, S. Mの3名は5年以上のウィンドサーフィンの経験者であり、他の2人は未経験者である。表1に彼らの形態値と年齢を示した。なお、統計計算のt検定の有意水準は5%とした。

Table 1 Age, height and weight of the subjects

name	age (years)	height (cm)	weight (kg)
Y. Y	41	168	61.3
T. N	39	175	70.5
S. M	28	178	83.0
K. K	20	163	55.6
H. T	31	167	55.2
\bar{X}	30.4	170.2	65.12
S. D	6.34	5.49	10.510

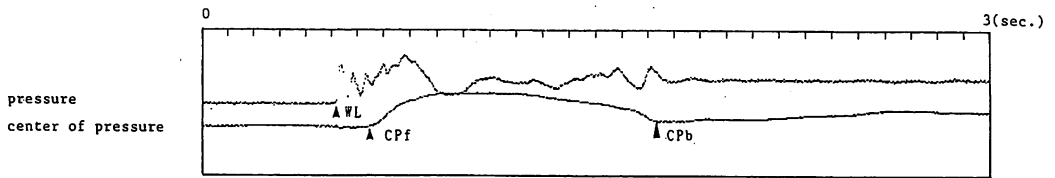


Fig. 2 Typical record of the pressure and the center of pressure

3 結 果

重量負荷時に床反力計に加わる圧力が急増する(図2, WL点)。その後、圧中心は前方に移動しはじめ(図2, CPf点)、しばらくして後方に一旦戻り(図2, Cfb点)、動揺しながら一定の位置を保っている。表2には、被験者ごとにWL点からCPf点までの時間(WL~CPf)、及びCPf点からCPb点までの時間(CPf~CPb)の平均値を示した。肘屈曲時にはWL~CPfの全被験者の平均値は0.126秒であり、CPf~CPbのそれは0.7206秒であった。肘伸展時には、それぞれ値は0.1052秒と1.0732秒であり、肘屈曲時に比べて前者は有意に短く、後者は有意に長かった。

次に圧力変動、圧中心動揺、棒の回転角及び筋電図の記録を示す。平衡反応動作は、被験者S. MはT. Nに、被験者K. KはH. Tに類似していた。

図3は、被験者T. Nの肘屈曲2回目の例である。重量負荷0.280秒前から圧中心が後方に移動し、外乱に備えていることが解る。これと並行して前脛骨筋の活動が認められる。その他重量負荷前から活動している筋は、上腕二頭筋、脊柱起立筋であった。圧中心は、重量負荷の0.115秒後に前方に移動を開始し、約1.4秒後に後方に一旦戻った。棒も圧中心と同時に前方に回転しはじめた。重量負荷後の筋活動については、上腕二頭筋が0.065秒後から活動量が減少し、0.196秒後に活動量が増加した。脊柱起立筋は、0.050~0.145秒の間活動が停止し、その後活動量が増加した。腓腹筋と大腿二頭筋の活動は脊柱起立筋と上腕二頭筋に先行して増大しており、増大開始時間は腓腹筋が0.080秒後、大腿二頭筋が0.090秒後であった。

図4は、被験者Y. Yの肘屈曲3回目の例である。重量負荷前の圧中心、棒及び前脛骨筋活動の変動は、被験者T. Nに類似していた。重量負荷後の圧中心の前方移動開始は0.110秒後であり、一旦後方に戻るのは0.607秒後であった。また、上腕二頭筋は重量負荷後の活動量の減少は顕著でないが、0.255秒後に顕著な活動量の増加が認められた。それに先がけて、重量負荷後腓腹筋が0.100秒後、大腿二頭筋が0.200秒後に活動量が増大した。脊柱起立筋は、被験者N. Yのような重量負荷後の活動停止は認められなかった。

図5は、被験者H. Tの肘屈曲3回目の例である。重量負荷前の圧中心と棒の顕著な後方移動は認められなかった。しかし、前脛骨筋には、重量負荷前の活動が認められた。重量負荷後については、圧中心は0.135秒後に前方移動を開始し、0.875秒後に後方に一旦戻った。その間棒は大きな変動を示さなかった。重量負荷後の筋活動は、ウインドサーフィンの経験者と大きく異なり、上腕二頭筋は0.050秒後から増加し始め、0.120秒後に急増し始めた。脊柱起立筋は

Table 2 Changes of the pressure on force plate and the center of pressure after weight-load

name	elbow flexion		elbow extension	
	WL~CPf (ms)	CPf~CPb (ms)	WL~CPf (ms)	CPf~CPb (ms)
Y. Y	128	498	96	1205
T. N	123	702	109	1055
S. M	126	681	106	780
K. K	138	727	110	1723
H. T	155	995	105	603
\bar{X}	126.0	720.6	105.2	1073.2
S.D	7.46	159.25	4.96	386.52

0.090秒後に顕著な活動を示した。腓腹筋は0.070秒後から増加し、顕著な活動増加は0.120秒後であった。大腿二頭筋は0.125秒後に顕著な活動が認められた。

図6は、被験者 T. N の肘伸展1回目の例である。重量負荷前に、圧中心の後方移動及び前脛骨筋の活動が認められた。重量負荷後については、圧中心は0.110秒後に前方移動を開始し、1.185秒後に一旦後方に戻った。棒は0.210秒後に前方に回転し始め、そして圧中心とはほぼ同時に一旦後方に戻った。上腕二頭筋は、重量負荷前から活動し、負荷後も0.175秒まで活動し、その後0.410秒まで活動が著しく減少した。背面の筋についてみると、重量負荷後、腓腹筋、大腿二頭筋、脊柱起立筋の順に活動が開始あるいは増加し始めた。その時間は、それぞれ0.095秒後、0.145秒後、0.150秒後であった。その後の試行でも同様の傾向を示した。

図7は、被験者 Y. Y の肘伸展3回目の例である。重量負荷前の圧中心の後方移動と前脛骨筋の活動が認められた。重量負荷後については、圧中心の前方移動は0.140秒後に開始し、1.170秒後に一旦後方に戻った。上腕二頭筋には、被験者 N. T と異なり重量負荷後の活動停止は認められない。そして、重量負荷の0.195秒後に急激な活動増加が認められた。それに先がけて、腓腹筋は0.080秒後、大腿二頭筋は0.145秒後に活動の急増が認められた。脊柱起立筋は、重量負荷の0.250秒後から急増した。以上の筋活動の急激する順は、腓腹筋が最も早く、次いで大腿二頭筋、上腕二頭筋、脊柱起立筋であった。

図8は、被験者 H. T の肘伸展3回目の例である。重量負荷前の圧中心の後方移動と前脛骨筋の顕著な活動が認められた。重量負荷後については、0.010秒後という早い時間に圧中心の前方移動が認められ、1.105秒後に一旦後方に戻った。また、棒の前方回転はほとんど認められず、0.575秒後に後方移動を開始した。また上腕二頭筋の活動量は、重量負荷後もほとんど変化が認められなかった。背面の筋は、腓腹筋、大腿二頭筋、脊柱起立筋の順に急激な活動増加があり、その時間は、重量負荷の0.150秒後、0.025秒後、0.065秒後であった。

図9は、被験者 H. T の肘伸展2回目の平衡を失った例である。重量負荷前については、圧中心の後方移動と前脛骨筋の活動が認められなかった。むしろ、圧中心は前方に移動した。また、重量負荷前に腓腹筋の活動が認められた。重量負荷後については、圧中心の前方移動の前に腓腹筋と脊柱起立筋の活動がほぼ同時に急増した。その時間は重量負荷の0.075秒後であっ

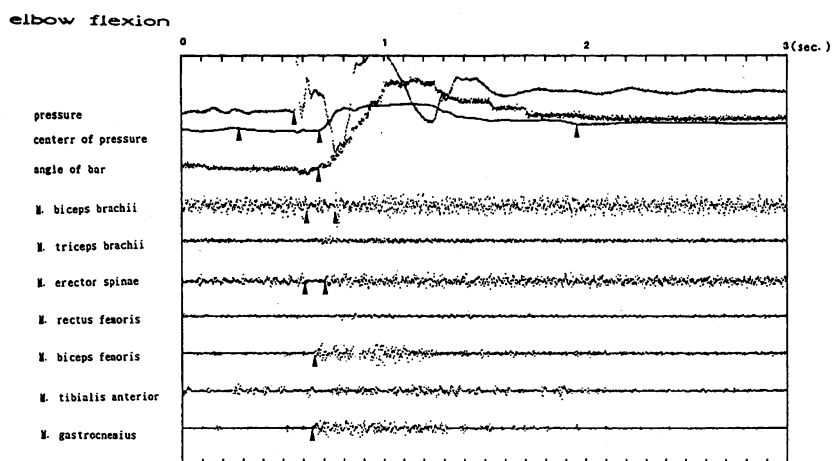


Fig. 3 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the third trial with elbow flexion (subject T. N)

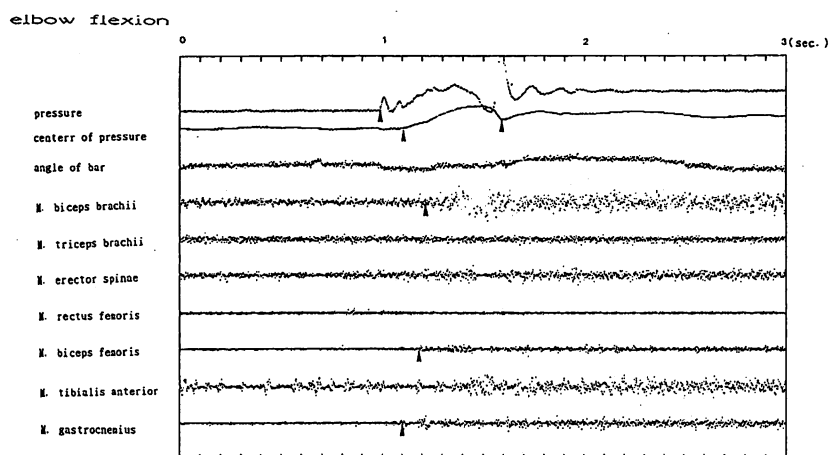


Fig. 4 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the third trial with elbow flexion (subject Y. Y)

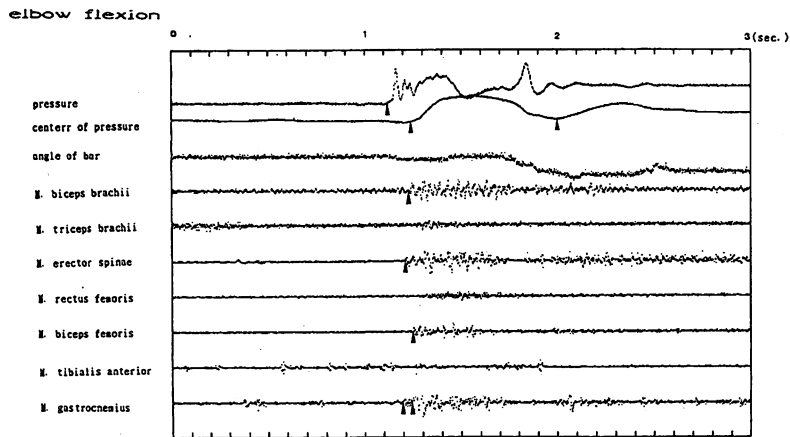


Fig. 5 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the third trial with elbow flexion (subject H. T)

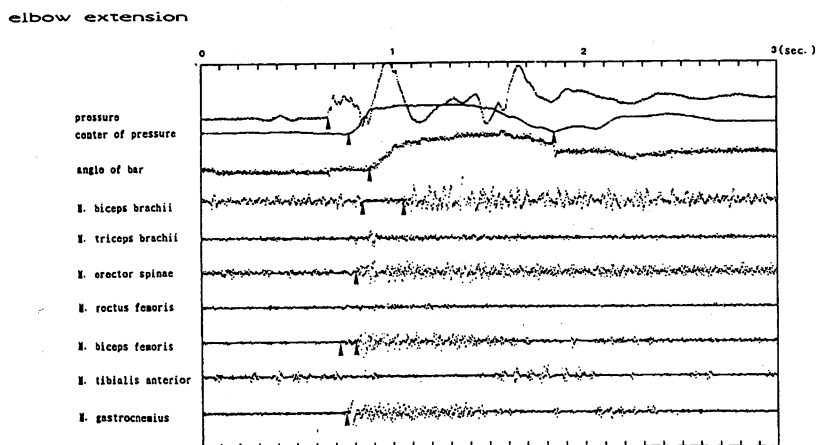


Fig. 6 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the first trial with elbow extension (subject T. N)

elbow extension

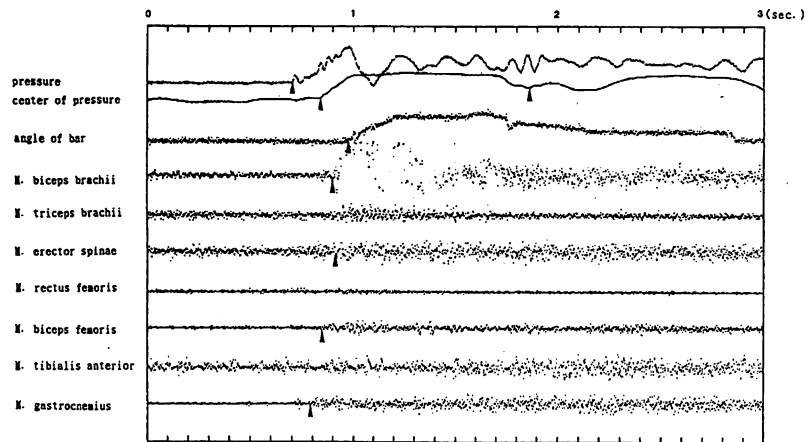


Fig. 7 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the third trial with elbow extension (subject Y. T)

elbow extension

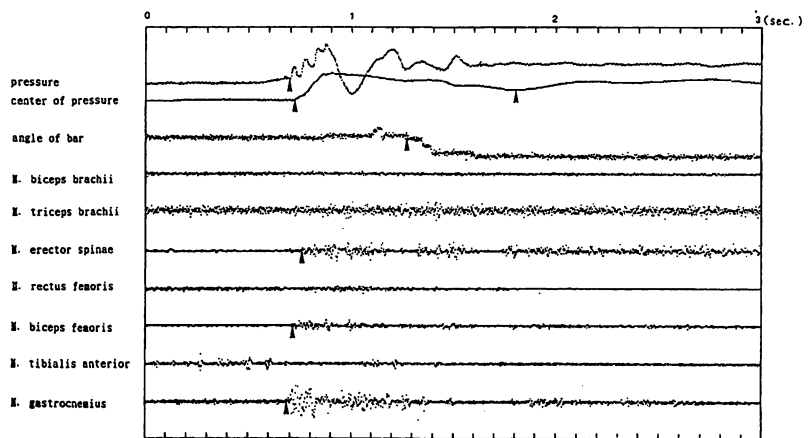


Fig. 8 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the third trial with elbow extension (subject H. T)

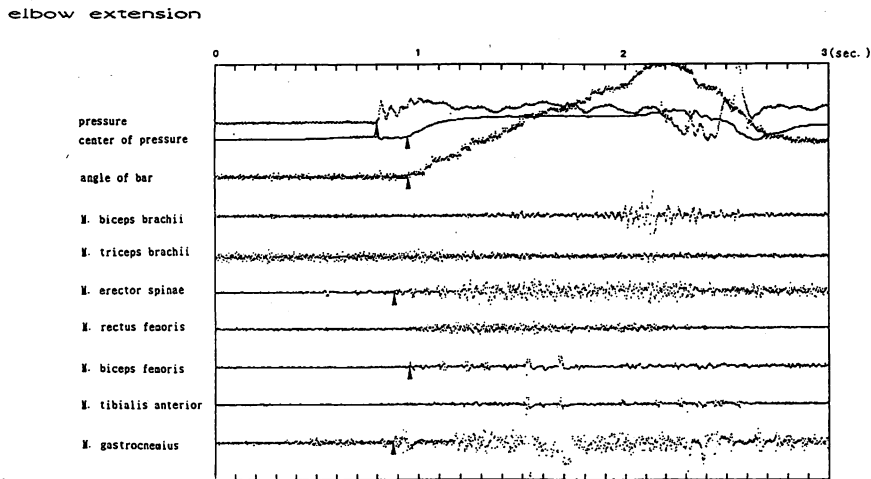


Fig. 9 Record of pressure, center of pressure, angle of bar and EMGs in the second trial with elbow extension (subject H. T)

た。圧中心と棒の前方移動はほぼ同時に始った。その時間は重量負荷の0.150秒後であった。大腿二頭筋の活動増加は、重量負荷の0.155秒後であった。

次に上述した各試技における動作様式について、ビデオ映像をトレースしたもので示す。各図中の数字は、重量負荷時からの時間である。図10は、被験者 T. N の肘屈曲の例である。重量負荷時に既に膝が若干屈曲していた。その後0.333秒時点では肘が伸展し、膝が大きく屈曲し、体幹が後方に移動していた。その度合は1.667秒時点で大きくなっていた。図11は、被験者 Y. Y の肘屈曲の例である。重量負荷時には、肘の屈曲の度合が強まり、重りの位置が身体に近づいた。その後0.667秒時点では肘が若干伸展し、膝の屈曲と体幹の後傾が認められた。1.667秒時点では肘は若干屈曲し、膝の屈曲と体幹の傾斜の度合が若干増していた。図12は、被験者 H. T の肘屈曲の例である。重量負荷時に肘の若干の伸展が認められる。その後0.333秒時点では、膝が若干伸展し、体幹が若干前方に移動していた。この時肘の伸展の度合が若干増していた。0.666秒時点では、膝は若干屈曲し、体幹の前方移動は進んでいた。1.000秒時点では、重量負荷時とほぼ同じ姿勢になっているが、膝は伸展していた。このように肘屈曲位の試技では、肘の伸展動作が認められることは共通しているが、ウインドサーフィンの経験者では膝の屈曲を使った体幹の後方移動が認められ、未経験者ではそれが認められなかった。

図13は、被験者 T. N の肘伸展の例である。重量負荷時に既に膝が屈曲していた。0.333秒時点では膝が伸展し、体幹が前傾していた。0.667秒時点では、体幹の前傾度が増し、膝が屈曲していた。1.333秒時点では、膝の屈曲の度合が増し、体幹の前傾の度合は減少していた。図14は、被験者 Y. Y の肘伸展の例である。重量負荷時に膝の屈曲は認められなかったが、被験者 T. N の場合と同様の動作を示した。図15は、被験者 H. T の肘伸展で平衡が保たれた例である。重量負荷時に体全体が後方にそっていた。0.667秒時点では、下肢と体幹が一直線に

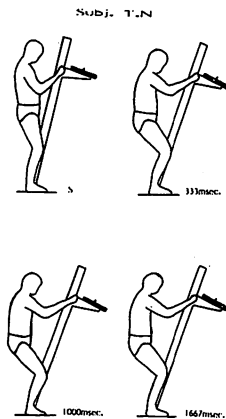


Fig. 10 Response motion to forward disturbance in the third trial with elbow flexion (subject T. N)

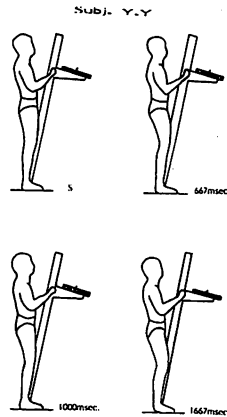


Fig. 11 Response motion to forward disturbance in the third trial with elbow flexion (subject Y. Y)

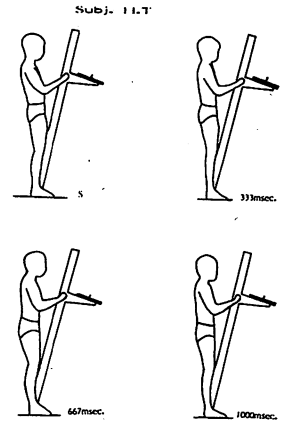


Fig. 12 Response motion to forward disturbance in the third trial with elbow flexion (subject H. T)

なり前方に移動していた。その後体全体が後方に移動し平衡を保った。図16は、被験者 H. T の肘伸展で平衡を失った例である。重量負荷時の体全体のそりが少なく、そのために重量負荷後の体幹の前方移動が大きくなった。しかし、膝の屈曲動作は認められなかった。

重量負荷前の圧中心の後方移動と前脛骨筋の活動は、重量負荷による前方への平衡失調を予測し、それに抗する機能の現われと考えられる。表3に、全被験者の全試行におけるそれらの現象の有無を示した。全試行の最初に行なわれた肘屈曲での試行一回目では、被験者 Y. Y 以外は、2つのいずれの現象も示さなかった。肘屈曲2回目では、被験者 H. T と K. K を除いて、2つのいずれの現象も認められた。肘屈曲3回目には、被験者 K. K と H. T においても前脛骨筋の活動が認められた。肘伸展1回目では、肘屈曲1回目と異なり、ウィンドサーフィンの経験者には、いずれかの現象が認められた。肘伸展2回目では、被験者 H. T のみに2現象とも認められなかった。肘伸展3回目では、全被験者がいずれかの現象を示した。

4 考 察

1) 重量負荷後の筋活動と平衡反応動作との機能的連関

被験者 H. T の場合、肘屈曲3回目において、重量負荷後に脊柱起立筋の活動が活発化し、次いで上腕二頭筋、腓腹筋、大腿二頭筋の活動がほぼ同時に活発化した。そして最終試行である肘伸展3回目には、重量負荷後の上腕二頭筋の活動には変化が認められなかったが、腓腹筋、大腿二頭筋、脊柱起立筋の順に下方の筋活動の活発化が先行した。このような筋活動の変化は、学習によってもたらされたものと考えられる。ウィンドサーフィンの経験者は、今回用いた重量負荷に類似した負荷刺激を多く経験し、それに対応した平衡反応動作の学習がより一

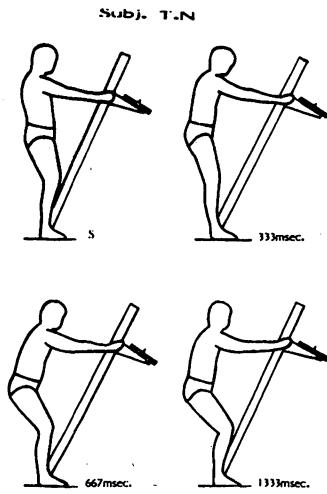


Fig. 13 Response motion to forward disturbance in the first trial with elbow extension (subject N. T)

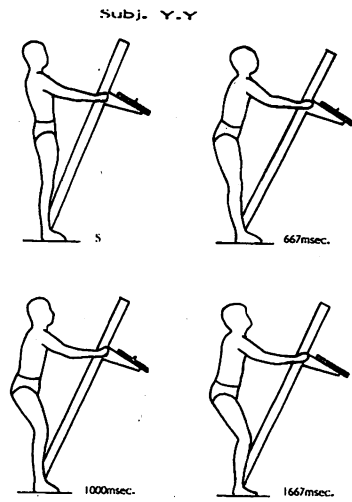


Fig. 14 Response motion to forward disturbance in the third trial with elbow extension (subject Y. Y)

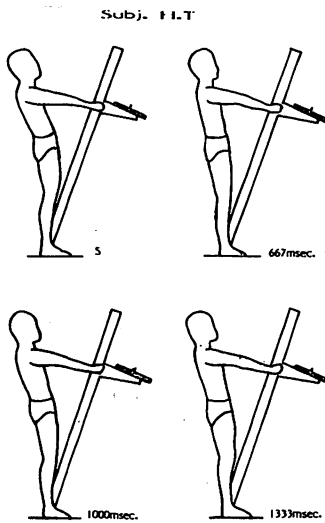


Fig. 15 Response motion to forward disturbance in the third trial with elbow extension (subject H. T)

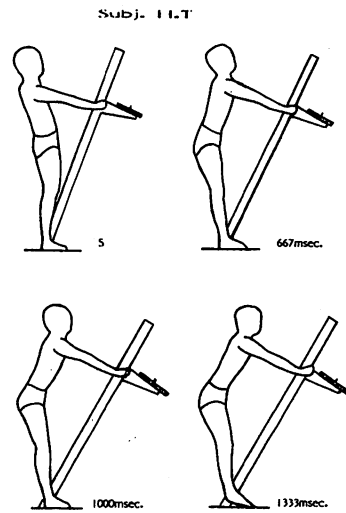


Fig. 16 Response motion to forward disturbance in the second trial with elbow extension (subject H. T)

Table 3 The presence (0) or absence (X) of the backward movement of the center of pressure (CP) and the activity of m. tibialis anterior (TA) preceded the weight-load

		Subject									
		Y. Y		T. N		S. M		K. K		H. T	
		CP	TA	CP	TA	CP	TA	CP	TA	CP	TA
elbow flexion	1	X	0	X	X	X	X	X	X	X	X
	2	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X
	3	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0
elbow extension	1	X	0	0	0	X	0	X	X	X	X
	2	X	0	X	0	X	0	0	0	X	X
	3	0	0	X	0	X	0	X	0	0	0

屈進んでいるものと考えられる。彼らにおいては、試行の初めから重量負荷後に、上腕二頭筋に先がけて腓腹筋、大腿二頭筋、脊柱起立筋の順に背面の筋の活動が下方から上方へ活発化した。肘伸展位では腓腹筋、大腿二頭筋、脊柱起立筋の順に、背面の筋の活動が下方から上方へ活発化した。

学習が進んだと考えられる重量負荷後の平衡反応動作では、肘屈曲位では肘の伸展動作があり、それに並行して体幹部の後方移動があった。肘伸展位では体幹部の前方への回転動作があり、これと並行して腰部の後方移動があった。これに加えてウインドサーフィンの経験者は、肘屈曲位と肘伸展位のいずれでも膝の屈曲動作が認められた。被験者 H. T の肘屈曲 3 回目においては、重量負荷後の肘の伸展動作はなく、足関節を軸として全身が前方へ回転した。

学習が進んだ段階でのこのような筋活動と平衡反応動作には、次のような機能的連関が考えられる。すなわち重量負荷によって、全身が前方に回転し平衡を失うのを防ぐために、肘屈曲位では質量の小さい上腕を前方に受動的に移動させ、上肢以外の部位に力が及ぶのを遅らせ、その間に下肢や体幹部の背面の筋が活動し、下肢や体幹部を後方の適度な位置に移しているものと考えられる。同様に肘伸展位では上肢を更に伸展できないので、体幹を受動的に前方に回転し、全身に力が及ぶのを遅らせている間に、下肢筋を活動させ、腰部を含む下肢を適度に後方に回転し平衡を保っているものと考えられる。これでは、質量の大きい体幹部の前方回転を利用しているがゆえに平衡を失う可能性が高く、難しい平衡反応動作と考えられる¹⁰⁾。重量負荷後の圧中心が、肘屈曲位に比べて肘伸展位の方が前方移動が早く、後方に戻るのが遅いことは、これを示唆していると言えよう。膝の屈曲動作は、体重心を下げ物理的な安定性を増すという意味があると考えられる。膝の屈曲動作では、大腿二頭筋と腓腹筋が協同筋であり、下肢の後方への回転動作と連動していると考えられる。また、立位は重心を高位に保っているがゆえに、膝の屈曲動作は物理的な位置エネルギーを利用しても行うことができ、その場合には効率のよい動作となろう。このように身体に力が加わった場合に物理的に肘が伸展したり、体幹が前方に回転している時間を利用した姿勢調節は、多くの分節が層状構造をなす立体姿勢調節の一大特徴であると考えられる。

手に機械的刺激があった場合の反応動作における上肢筋の活動の潜時は0.108~0.190秒であり^{1),16)}下肢筋のそれはこれよりも0.030秒遅れると報告されている²⁰⁾。学習が進んだ段階での肘屈曲位での上腕二頭筋の活動の活発化の潜時、及び肘伸展位での脊柱起立筋のその潜時は、反応時間以上の値であった。それに対し、それ以下の背面の筋活動活発化の潜時は、反応時間よりも著しく短く、予測的に調節されたものであると考えられる。

2) 重量負荷実験で配慮すべき条件

学習が進んだ段階になると、重量負荷前に圧中心が後方移動することや前脛骨筋の活動が認められた。前脛骨筋の活動は、後傾姿勢を保持していることを示していると考えられる。適度な後傾姿勢は、前方外乱に対する構えの姿勢であり、外乱刺激による平衡の乱れの程度及び外乱刺激のタイミングを予測してとられるものであろう。被験者 H. T の場合、重量負荷後に物理的に肘を伸展したり、体幹を前方に回転している時間を利用した姿勢調節を行っていないがゆえに、重量負荷前の姿勢調節が重要な意味を有していた。例えば、肘伸展位において、圧中心の後方移動があった場合には平衡を保ち、それがなかった場合には平衡を失った。また、平衡を保持できた場合には、姿勢保持に関与する筋に、反応とみなされるよりも極めて短い潜時での活動の活発化があった。足圧中心の後方移動は、20歳代では踵から足長の約20%の位置までは可能である⁷⁾。したがって、重量負荷のタイミングを予測することの難易度や、重量負荷前の圧中心位置を考慮した実験を行う必要があると考えられる。

重量負荷後の平衡反応において、ウィンドサーフィンの経験者と未経験者との間に膝の屈曲動作の有無という大きい違いがあった。前述したように膝の屈曲動作は、体重心高を下げ、物理的な安定性を増すように作用するであろう。また、経験者の中でも肘屈曲位からの肘伸展動作の程度に大きい違いが認められた。このような違いは、筋活動パターンや圧中心の変動パターンに差異を生じた。例えば肘屈曲位での CPf-CPb 時間は、被験者 Y. Y に比べ T. N の方が著しく長かった。また、被験者 T. N のみが、肘屈曲位で重量負荷後に上腕二頭筋の活動量の減少及び脊柱起立筋の活動停止を示した。また、被験者 H. T の肘屈曲位で、重量負荷後の圧中心の前方移動が0.010秒という極めて短い潜時で生じたこと、それと対応して平衡反応に関与する全被検筋がほぼ同時に極めて短い潜時で活動を活発化した。これは、全身を1本の杵のようにして予測的に姿勢調節を行っていることの表われとみなされる。ここに掲げた以外にも平衡反応動作様式がいくつか考えられる。そして、動作様式の違いが圧中心動揺や筋活動などの平衡反応様式を変えることから、重量負荷法を用いた平衡機能の測定では、動作様式をある程度規定することが必要と考えられる。

5 結 論

1) 学習が進んだ段階においては、重量負荷後の筋活動の活発化は、肘屈曲位では上腕二頭筋に比べて体幹と下肢の背面の筋が先行し、肘伸展位では体幹筋に比べて下肢の背面の筋が先

行した。その中でも遠位筋の活動が早かった。このような筋活動様式は、物理的に肘を伸展させたり、体幹を前方に回転させたりして、全身に外力が作用するのを防いでいる間に、姿勢調節を行っていることに関連した現象ではないかと考えられた。そして姿勢調節に関与する筋の重量負荷後の活動潜時が反応時間よりも短いことから、予測的姿勢調節がなされているものと考えられた。

2) 学習が進むにつれて、重量負荷前に圧中心が後方移動することや前脛骨筋が活動することが多くなった。この現象は予測的姿勢調節の現われであり、この現象の有無が重量負荷後の平衡を大きく左右した。したがって、重量負荷のタイミングの予測の難易度や、重量負荷前の圧中心位置を考慮した実験を行うことが必要と考えられた。

3) 運動負荷後の平衡反応動作において、ウィンドサーフィンの経験者と未経験者との間に、膝の屈曲動作の有無という大きい違いがあり、また経験者の中でも肘屈曲位からの肘伸展動作の程度に大きい違いが認められた。そして、動作様式の違いが圧中心動揺や筋電図などの反応様式を変えることから、重量負荷法を用いた平衡機能の測定では、動作様式をある程度規定することが必要と考えられた。

参 考 文 献

- 1) Brebner, J. M. T. and Welford, A. T. (1980) An historical background sketch, In Welford, A. T. (Ed), Reaction times, Academic Press, New York, pp. 1—23.
- 2) Brooks, V. B. (1986) The neural basis of motor control, Oxford University Press, New York.
- 3) Cordo, P. J. and Nashner, L. M. (1982) Properties of postural adjustments associated with rapid arm movement, *Journal of Neurophysiology*, 47 (2) : 287—301.
- 4) Debu, B. and Woollacott, M. (1988) Effects of gymnastics training on postural responses to stance perturbations, *J. Motor Behavior*, 20 (3) : 273—300.
- 5) Diener, H. C., Horak, F. B. and Nashner, L. M. (1988) Influence of stimulus parameters on human postural responses, *Journal of Neurophysiology*, 59 (6) :
- 6) Dietz, V., Horstmann, G. A. and Berger, W. (1988) Fast head tilt has only a minor effect on quick compensatory reactions during the regulation of stance and gait, *Exp. Brain Res.*, 73 : 470—476.
- 7) 藤原勝夫, 池上皓夫 (1984) 床振動時の立位姿勢の応答特性, *体育学研究*, 29 (3) : 251—261.
- 8) 藤原勝夫, 池上皓夫, 岡田守彦, 小山吉明 (1982) 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与, *人類誌*, 90 (4) : 385—400.
- 9) Kobayashi, K. and Miura, M. (1975) A study of stability of standing posture, In Nelson, R. C. and Morehouse, C. A. (Eds), *Biomechanics IV*, Macmillan, Baltimore, pp. 53—59.
- 10) Gurfinkel, V. S., Lipshits, M. I., Mori, S. and Popov, K. (1981) Stabilization of body position as the main task of postural regulation, *Human Physiology*, 7 (3) : 155—165.
- 11) 日比野隆一, 古池保雄, 小野田嶺雄, 橋本真言, 飯田光男 (1980) 直立姿勢制御系の入出力応答について, *脳波と筋電図*, 7 (3) : 222—229.
- 12) Horak, F. B. and Nashner, L. M. (1986) Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations, *Journal of Neurophysiology*, 55 (6) : 1369—1381.
- 13) Keshner, E. A., Woollacott, M. H. and Debu, B. (1988) Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans, *Exp. Brain Res.*, 71 : 455—466.
- 14) Lee, W. A. (1980) Anticipatory control of postural and task muscles during rapid arm flexion, *J. Motor Behavior*, 12 (3) : 185—196.
- 15) Marsden, C. D., Merton, P. A. and Morton, H. B. (1972) Servo action in human voluntary

- movement, *Nature*, 238 : 140—143.
- 16) Moore, S. P., Rushner, D. S., Windus, S. L. and Nashner, L. M. (1988) Human automatic postural responses : Responses to horizontal perturbation of stance in multiple direction, *Exp. Brain Res.*, 73 : 648—658.
 - 17) Morgan, C. T. (1948) Response, In Boring, E. G., Langfeld, S. and Weld, H. P. (Eds), *Foundations of Psychology*, J. Wiley, New York, pp. 40—63.
 - 18) 奈良勲, 井上真理恵, 村上紀子, 薬師八重子, 辛島修二 (1986) 下肢関節固定時の立位重心動揺に及ぼす外力の影響, *理・作・療法*, 20 : 190—192.
 - 19) Okada, M. and Fujiwara, K. (1984) Relation between sagittal distribution of the foot pressure in upright stance and relative EMG magnitude in some leg and foot muscles, *J. Human Ergol.*, 13 : 97—105.
 - 20) Seashore, S. and Seashore, R. H. (1941) Individual differences in simple auditory reaction times of hands, feet and jaws, *J. Exp. Psychol.*, 29 : 342—345.
 - 21) Shumway-Cook, A. and Woollacott, M. H. (1985) The growth of stability : postural control from a developmental perspective, *J. Motor Behavior*, 17 (2) : 131—147.
 - 22) Traub, M. M., Rothwell, J. C. and Marsden, C. D. (1980) Anticipatory postural reflexes in parkinson's disease and other kinetic-rigid syndromes and in cerebellar ataxia, *Brain*, 103 : 393—412.
 - 23) Woollacott, M., Dedu, B. and Mowatt, M. (1987) Neuromuscular control of posture in the infant and child : Is vision dominant ? , *J. Motor Behavior*, 19 (2) : 167—186.