急速上肢挙上時の立位姿勢調節に対する身体重心の 前後方向の位置と重量負荷の影響

藤原勝夫* 外山 寛* 浅井 仁** 山科忠彦***

EFFECTS OF A SAGITTAL POSITION OF THE BODY GRAVITY CENTER AND MANUAL WEIGHT-LOAD ON POSTURAL CONTROL DURING RAPID ARM-LIFTING

KATSUO FUJIWARA, HIROSHI TOYAMA, HITOSHI ASAI
and TADAHICO YAMASHINA

Abstract

A study was conducted to investigate the effects of a sagittal position of the body gravity center (GCP) and manual weight-load on postural control during rapid arm-lifting. The subjects were five males aged 21 to 36 years. They stood on a force plate while maintaining the GCP at 30%, 45% and 60% from the heel, regarding the foot length as 100%, and anteriorly lifted both arms spontaneously as rapidly as possible. These trials were carried out ten times under a 5 kg weight or no weight. EMGs of the biceps femoris muscle (BFM) and anterior deltoid muscle (ADM), the fluctuation of the center of foot pressure (CFP) and body motion were analyzed by focusing on their time sequences.

At 45% and 60% GCP the BFM action started prior to the ADM action, whereas at 30% GCP it tended to lag behind. The lag times under no weight were 13.9 ± 12.75 ms (mean $\pm$ SD) at 30% GCP, -32.7 ± 18.18 ms at 45% GCP and -46.0 ± 19.40 ms at 60% GCP. Those under 5 kg weight were 15.0 ± 11.40 ms at 30% GCP, -22.0 ± 6.74 ms at 45% GCP and -28.9 ± 7.63 ms at 60% GCP. These results indicate that the anticipatory action of the muscle related to postural control arises only at specific GCPs.

The difference of starting points for BFM action to ADM action showed no significant difference between 45% and 60% GCP for either as 5 kg or no weight. The CFP position moving in a forward direction during arm-lifting showed a marked difference between 45% and 60% GCP. The time for arm-lifting showed a marked difference between 5 kg and no weight. These results suggest that the starting point of anticipatory muscle action related to postural control does not change according to the magnitude and time course of the distance to the body equilibrium as a result of arm-lifting.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1991, 40 : 355~364)

key words : Standing posture, Anticipatory postural control, Rapid arm lifting, Gravity center, Weight load

I. 緒 言

身体の一部を随意的に運動した際に、全身の平衡が乱れるのを防ぐような姿勢調節がなされると

いうことは、古くから指摘されている^{3,4,13)}。平衡が乱される第一の理由として、身体の一部の運動によって全身の幾何学的位置関係が変化し、その結果身体重心の位置が変化することがあげられ

*金沢大学教養部

〒920 金沢市丸の内1-1

**金沢大学医療技術短期大学部

〒920 金沢市小立野5-11-80

***金沢医科大学

〒920-02 金沢市河北郡内灘町1-1

College of Liberal Arts, Kanazawa University, 1-1 Marunouchi, Kanazawa, 920 Japan

School of Allied Medical Professions, Kanazawa University, 5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa, 920 Japan

Kanazawa Medical College, 1-1 Uchinadamachi Kahokugun, Kanazawa, 920-02 Japan

る。第二に、例えば運動している上肢は身体の残りの部位によって支持され、運動行為と関係した動的力は作用反作用の法則にしたがって支持部位に作用することがあげられる。随意運動時の姿勢調節については、予測制御の観点からの研究が上記の文献以外にも数多く報告されている^{1,2,5,6,8,9,16,20~24,26,30)}。その主なものは、立位姿勢において、上肢を前方に急速に挙上する運動を取り上げ、その主働筋である三角筋の活動に先行して、大腿二頭筋などの姿勢調節に関係する筋が活動することを報告している。この機能的意味として、上肢運動の結果身体の平衡が乱れるのを防ぐための筋の予備緊張が有力視され、反射性のもではなく上位の中樞でプレプログラムされたものであると考えられている^{5,9,20,22)}。その特性を示す現象として、反応動作として上肢を急速に挙上する場合よりも、任意のタイミングで急速に挙上する場合の方が、三角筋に対する姿勢調節に関係する筋の活動開始の先行時間が長いと報告されている¹⁶⁾。また、一旦開始した上肢挙上動作を途中で変更する場合には、不随的な姿勢制御に関係する筋活動の変更が伴うことが、El'ner⁹⁾によって報告されている。上肢挙上運動としては、目的に応じて側面ないし両側同時の運動が取り上げられているが、両者に共通して予測的姿勢調節は認められている^{5,6)}。

このような筋活動が平衡維持のための合目的な機能の現れであるとするならば、上肢挙上の際に平衡が乱れないような条件下では、姿勢調節の予測的筋活動は消失することも十分予想される。このような条件の一つに、上肢挙上前の前後方向の重心位置があげられよう。安静立位姿勢を繰り返し保持した場合に、前後方向の重心位置が試行毎に大きく変動することが知られているが¹¹⁾、重心位置を規定して行った研究は見あたらない。更に、一侧の上肢挙上において、おもりを持った場合と持たない場合では、姿勢調節の予測的筋活動の様相が変化することが認められているが^{5,6,16)}、両側上肢挙上でのそうした研究は見あたらない。

そこで本研究では、任意のタイミングでの急速両側上肢挙上において、挙上前の前後方向の重心

位置を規定した場合、及び手におもりを持った場合に、どのように上肢挙上時の立位姿勢の調節が変化するかについて検討した。

II. 方 法

被験者は健康成人男子5名(21~36歳)からなる。彼らの形態値は、身長 171.1 ± 2.15 cm (平均値 $\pm$ 標準偏差値)、体重 66.4 ± 6.02 kg、足長 24.4 ± 0.72 cmであった。また、彼らは20秒間の安静立位姿勢の保持を椅座位を挟んで5回反復したところ、その重心位置は踵から足長の40%~55%の範囲に分布していた。上肢挙上の実験では、被験者には、床反力計上で、大腿前面に両手を軽く接触させ、体重を両足に均等に寄せ、閉足位にて、前後方向の特定の重心位置で立位姿勢を保持させた。重心位置は、踵から足長の30%、45%、60%とした。それぞれの位置は、床反力計で検出される前後方向の足圧中心(CFP)位置の情報をブザー音によって被験者にフィードバックして定めた(ヒルタ ME 製)。ブザー音は、それぞれの所定の位置の ± 1.0 cmの範囲内に、CFP位置が存在する時にのみ鳴るようにした。被験者には、ブザー音が鳴っているのを確認させ、任意のタイミングで、可能な限り速いスピードで両側上肢を前方の水平位に挙上させ、水平位を数秒間保持させた。各位置での試行回数は、10回とした。上肢挙上は、5 kgのおもりを持った場合(負荷)と持たない場合(無負荷)に分けて行った。したがって、全試行回数は60回となる。各試行の間には、30秒間の立位による休憩を挟んだ。

検出項目は、手首に装着した加速度計(共和, AS-2C)からの電気信号、床反力計(パテラ, S110)によって得られる前後方向のCFPの変動、テレメータ筋電計(日本光電, ZB-241 G)によって導出される右側の三角筋と大腿二頭筋の表面筋電図、及びビデオ動作解析装置(SONY)による身体各部位(手首、肘、肩、腰、膝、外果、頭)の変位である。なお、この場合の筋活動については、両側の同名筋の活動が同期することが報告されている⁶⁾。筋電図記録の時定数は0.015秒とし、高域遮断周波数を1000 Hzとした。また電極間の抵抗

は $10\text{ k}\Omega$ 以下になるようにした。前4項目はデータレコーダ(共和, RTP-501 AL)に収録した。データレコーダには、ビデオ撮影時のタイマーのスタート信号も記録した。再生したデータの記録には、ユニコーダ(日本電子, T-938)を用いた。また、前4項目の時系列の分析にはストレージスコープ(岩通, DS 6612)を用いた。その分解能は 2 msec とした。

本研究で用いた統計処理の有意水準は 5% とした。

III. 結 果

初めに代表的なデータについて概観し、次いで統計処理した結果について述べる。

図1は、45%の重心位置での試行例である。無負荷時では、初めに大腿二頭筋の活動が開始し、次いで三角筋の活動開始、CFPの後方移動開始、手首の移動開始と続いた。CFPが後方から前方へ移動方向を変えたのは、手首が正の最大加速度を示してから 32 msec 後であった。そして、手首が負の最大加速度を示してから 18 msec 後に、CFP

は再び後方に移動方向を変えた。上肢が水平の位置に達するのは、手首が負の最大加速度を示す時点であった。負荷時の筋活動及び手首の移動開始の順序は、無負荷時に類似していた。しかし、無負荷時において手首が動き始める直前に開始したCFPの後方移動は、負荷時には認められなかった。ただし、膝・腰・肩の後方移動は、手首が正の最大加速度を示した時点で認められた。その他に負荷時の方が、上肢運動開始前的大腿二頭筋の活動量が大きいが特徴的であった。

図2は、60%の重心位置での試行例である。各データの時系列は、45%の位置での試行とはほぼ類似していた。ただし、無負荷時に、手首が動きだしてから負の最大加速度を示すまでの間にCFPが45%の重心位置に比べて大きく後方に移動した。負荷時に45%の重心位置での試行と違っていたのは、手首が負の最大加速度を示した後のCFPの後方移動が小さいということであった。

図3は、30%の重心位置での試行例である。これにおいては、45%及び60%の重心位置での試行とは大きく異なる点があった。その一つは、負荷

Fig. 1. Typical records of the acceleration of wrist (Ac), the center of foot pressure (CFP) and EMGs of anterior deltoid muscle (ADM) and biceps femoris muscle (BFM), and stick pictures of motion during arms lifting with the sagittal position of the gravity center (GCP) at 45% of foot length. Numbers in stick picture correspond to those which indicate time sequence in records.

Fig. 2. Typical records of Ac, CFP and EMGs of ADM and BFM, and stick pictures of motion during arms lifting with GCP at 60%. Numbers in stick picture correspond to those which indicate time sequence in records.

Fig. 3. Typical records of Ac, CFP and EMGs of ADM and BFM and stick pictures of motion during arms lifting with GCP at 30%. Numbers in stick picture correspond to those which indicate time sequence in records.

時・無負荷時共に大腿二頭筋の活動開始が三角筋の活動開始と同時に、あるいはむしろ遅れる傾向があるということであった。また、無負荷時にも上肢挙上運動開始時の CFP の後方移動が認められなかった。また負荷時には、手首の負の最大加

速度が示された後に CFP が最前方に達するが、その移動距離は最も大きかった。その後 CFP は後方に移動するが、その移動距離は45%の重心位置での試行に比べて小さかった。

以下、時系列データについて10試行の平均値を

各被験者の代表値とし、全被験者の平均値及び標準偏差値 (SD) を示した。

図4に、大腿二頭筋と三角筋の活動開始の時間差について示した。いずれの被験者にも共通した傾向が認められ、無負荷時の30%の重心位置では三角筋に対して大腿二頭筋の活動開始が遅れることが多く、早い場合でもわずかであった (5人の

平均値が +13.9 msec, 以下同様)。また、45%と60%の重心位置では、ほとんどの試行において三角筋に先行して大腿二頭筋の活動が開始した(45%: -32.7 msec, 60%: -46.2 msec)。負荷時においても同様の傾向を示した。その時間差の5人の平均値は、30%では +15.5 msec, 45%では -22.0 msec, 60%では -28.9 msec であった。負荷時・

Fig. 4. Time differences of starting points of BFM action to ADM action during arms lifting under no weight or 5 kg weight.

Fig. 5. CFP-positions which move in forward direction during arms lifting under no weight or 5 kg weight.

無負荷時共に, 45%と60%の重心位置での値は, 30%の重心位置での値に対して有意差を示した. 45%と60%の重心位置での値の間には有意差は認められなかった. 無負荷時と負荷時の値の間にも, 有意差は認められなかった.

上肢挙上に先行して認められる三角筋と大腿二頭筋のうち, 早い方の活動開始時点での CFP の位置は, いずれの被験者も目標とした重心位置と2%未満の違いであった. 図5に, 上肢挙上運動が停止するまでの間に, CFP が達した最前方の位置を示した. 5人の平均値及びSDは, 無負荷時には, 30%の重心位置では $37.9 \pm 6.13\%$, 45%では $59.8 \pm 3.34\%$, 60%では $75.5 \pm 5.10\%$ の位置であった. 負荷時には, 30%の重心位置では $43.6 \pm 2.97\%$, 45%では $66.6 \pm 4.00\%$, 60%では $78.0 \pm 3.72\%$ の位置であった. 30%と45%の重心位置では, 無負荷時に比べて負荷時の方が有意に前方に位置した. 60%の重心位置ではその差は有意でなかった.

三角筋が活動を開始してから手首が動き出すまでの時間の平均値及びSDは, 無負荷時には, 30%の重心位置では 70.1 ± 5.51 msec, 45%では 71.3 ± 3.62 msec, 60%では 68.7 ± 7.61 msec であり, 負荷時の30%の重心位置では 91.2 ± 14.12 msec, 45%では 87.1 ± 11.24 msec, 60%では 85.1 ± 7.82 msec であった. 無負荷時に比べて負荷時の

方が有意に大きい値を示した. 重心位置による有意な値の差は認められなかった.

手首が動き始めてから手首の加速度が負の最大値を示すまでの時間の平均値及びSDは, 無負荷時には30%の重心位置では 224.6 ± 23.61 msec, 45%では 232.3 ± 33.49 msec, 60%では 231.4 ± 21.51 msec であった. 負荷時には, 30%の重心位置では 368.0 ± 37.00 msec, 45%では 389.9 ± 30.61 msec, 60%では 383.0 ± 44.51 msec であった. 無負荷時に比べて負荷時の値の方が有意に長かった. 重心位置による有意な値の差は認められなかった.

IV. 考 察

床反力計によって検出される CFP は, 質量 m の身体が水平方向に α の加速度を生じた場合, その時点の重心点に加わる力 $m\alpha$ と重力加速度による mg との合力の作用線が, 床と交わる点である. α が g に比して極めて小さい場合には, 重心から床に下した垂線の位置と CFP とは近似する. 本研究のように上肢挙上運動と姿勢変化がある時相では, 両者は大きく異なったものとなる. 立位姿勢の安定性は, 足関節回りのモーメントにより大きく左右されることが知られているが, その大きさは CFP の位置に対応して変化する^{12,17)}.

最も安定する安静立位姿勢における前後方向の重心位置の平均値は, 成人では踵から足長の40数

%であると報告されている^{10,14,15,29)}。距腿関節の軸の内側の位置は、内果下端の後方 $1\pm4\text{mm}$ であると報告されている¹⁸⁾。また、内果下端の位置は、足長の約26%である¹⁰⁾。それゆえに日常生活で保持する立位姿勢の多くは、足関節を基軸として前方に回転するのに抗して保持されている姿勢であるといえよう。そのために、身体の背面の筋が主働筋となっている。本研究の被験者の安静立位における重心位置は、足長の40~55%の範囲に分布していることを確認した。

45%の重心位置で上肢を挙上した場合に、CFPは無負荷時には約60%の位置まで、負荷時には約67%の位置まで移動した。足長の60%という位置は、第5中足骨骨頭に近く、これより前方の重心位置では、足指に加わる圧力が急増し、足指の屈曲筋の活動が急増し、身体動揺が大きくなり不安定になることが知られている^{10,12)}。60%の重心位置での試行では、上肢挙上によって、CFPは無負荷時に約76%の位置まで、負荷時には78%の位置まで移動した。このように、上肢挙上によってCFPは安静立位姿勢の重心位置よりも極めて大きく前方に移動しており、上肢挙上運動が大きな外乱刺激となっていることを示唆している。本研究では、このCFPの前方移動を小さくするような姿勢調節が認められた。すなわち、負荷時・無負荷時のいずれにおいても、上肢を除く身体部位の後方移動が存在することが、スティックピクチャーとCFPの動きから明らかになった。CFPに関しては、無負荷時の場合には、手首が動き出す直前に後方に移動を開始し、上肢が最大加速度を示すころまで後方に移動した。負荷時の場合には、CFPのそのような後方移動は認められなかった。これは上肢部に重量が負荷され、その部位の運動によって前方に相対的に大きな足関節回りのモーメントが生じたためと考えられる。本研究でも、45%と60%の重心位置では、これまでの報告と同様に、三角筋の活動に先行する大腿二頭筋の活動が認められた。このような大腿二頭筋の活動は、CFPの前方移動を小さくすることに関係したものであると推測される。負荷時に大腿二頭筋のそのような活動が、無負荷時に比べて増大するとい

う結果は、それを裏付けるものであろう。

それに対して、30%の重心位置では、それらの筋活動開始が同時かあるいは大腿二頭筋の活動開始が三角筋よりも遅かった。このような結果は、これまでに報告されていない。この重心位置での試行では、上肢挙上によって、CFPは無負荷時に約38%の位置まで、負荷時に約44%の位置まで移動している。30%という重心位置は安静立位姿勢の重心位置からかなり偏倚したものであり、不安定な姿勢であるとも見ることできる。そして上肢挙上によって、CFPは安定した安静立位姿勢の重心位置に近づくか達しており、上肢挙上運動によってむしろ立位姿勢の安定性は増大すると考えることができよう。40%と60%の重心位置での試行で、無負荷時に上肢挙上に先行して認められたCFPの後方移動は、30%の重心位置での試行では無負荷時にも認められなかった。これらのCFPの動態に、上述した大腿二頭筋の活動は対応していると考えられる。

このような本研究の結果は、上肢挙上前の前後方向の重心位置によって、上肢挙上によって全身の平衡が乱れるかどうかが大きく左右され、上肢挙上によって平衡が乱れる挙上前の重心位置でのみ、意図した運動の主働筋(三角筋)の活動に先行して、姿勢調節に関係する筋(大腿二頭筋)が活動を開始することを示唆するものであると考えられる。

上肢挙上時に三角筋の活動に先行して大腿二頭筋が活動するということは、上肢挙上が外乱となってその情報がフィードバックされ制御された結果ではなく、フィードフォワード的に制御された結果を示すものであると考えられている^{6,20,21)}。30%の重心位置では、大腿二頭筋の三角筋に対する先行活動は認められないが、これにおいても手首が動く前に大腿二頭筋が活動を開始しており、フィードバック制御ではなく、フィードフォワード制御がなされていると考えることができよう。そして、本研究結果より三角筋に対する大腿二頭筋の活動開始のタイミングは、上肢挙上前の重心位置に関する情報を基に決定されるものと推察される。

一方、三角筋に対する大腿二頭筋の活動開始のタイミングは、45%と65%の重心位置での試行間でも、また負荷時と無負荷時の間でも統計的に有意な差が認められなかった。上肢挙上によって前方に到達する CFP 位置は、45%と60%の重心位置では大きく異なっていた。これは、足関節回りのモーメントの違い、すなわち姿勢に加わる外乱の大きさの違いを定性的に示すものであろう。負荷時にも45%の重心位置においては、著しく前方に CFP が移動している。また、上肢挙上に要する時間は、負荷時には無負荷時に比べて、約 170 msec 長かった。これは、外乱の加わる時間経過が、重量負荷の有無で大きく異なることを示すものである。こうした結果は、姿勢に加わる外乱の大きさ及び時間経過の違いによって、三角筋に対する大腿二頭筋の活動開始の先行時間の長短が、影響されないことを示唆していると考えられる。

一側上肢をゆっくりと挙上した場合には、姿勢調節の予測的筋活動は認められなくなるとの報告もある¹⁶⁾。一側上肢挙上運動においては、負荷によって三角筋に対する姿勢調節に関係する筋活動の先行時間が延長すると報告されている^{6,16)}。両側の場合には、無負荷において三角筋に対するこのような筋活動の先行時間は、一側の場合 (40~55 msec) よりも 10~20 msec 短いと報告されている⁶⁾。一側の場合には、姿勢調節の予測的筋活動は主に左右の不平衡に抗して、腰の回転を誘発する機能を有すると考えられ、両側の場合には、上肢挙上によって生じる前方への不平衡に抗して、身体重心の前方移動を減少させる機能を有すると考えられている^{5,6)}。本研究で示された上肢挙上時の体幹部及び下肢の後方移動は、その機能の現れと解することができよう。このような一側と両側の上肢挙上における姿勢調節の機能の違いと、上述したような姿勢調節の予測的筋活動との関係については解明されていない。今後の課題とした。

以上のことから、上肢挙上時の姿勢調節に関与する筋活動の研究では、上肢挙上前の前後方向の重心位置を考慮することが、重要であると考えられる。これまでの上肢挙上に伴う姿勢調節に関す

る研究では、このような重心位置の考慮がなされていない。子供の場合には、重心位置が成人よりも後方にあると報告されている^{15,16)}。Riach & Hayes²⁸⁾ は、上肢挙上時の姿勢調節の発達について検討しているが、上肢挙上前の重心位置は考慮されていない。これを規定した場合には、得られる結果も大きく変わることも十分予想される。また、成人では立位姿勢を繰り返し保持した場合に、重心位置が足長の15%も変化することが報告され¹¹⁾、またその分布が足長の30%に近いところに位置している者も認められており¹¹⁾、本研究結果から判断して、そのような人には姿勢調節の予測的筋活動が認めがたくなることも十分予想される。いずれも、今後十分な検討を要する課題である。

V. 結 論

1) 上肢挙上時の三角筋に対する大腿二頭筋の活動開始のタイミングは、負荷時・無負荷時共に、上肢挙上前の前後方向の重心位置によって異なった。45%と60%の重心位置では、大腿二頭筋の活動の方が先行した。それに対して30%の重心位置では、それらの筋の活動開始が同時か、あるいは大腿二頭筋の活動開始の方が遅かった。45%と60%の重心位置での試行では、CFP が上肢挙上によって大きく前方に移動しており、上肢挙上運動が立位姿勢の大きな外乱刺激となっていることが示唆された。それに対して、30%の重心位置での試行では、上肢挙上によって CFP が安静立位姿勢での重心位置に到達するかあるいは近づいた。これらの結果から、上肢挙上前の前後方向の重心位置によって、上肢挙上によって全身の平衡が乱れるかどうかが大きく左右され、上肢挙上によって平衡が乱れる重心位置でのみ、姿勢調節に関与する筋が予測的に活動するものと考えられた。

2) 上肢挙上時の三角筋に対する大腿二頭筋の活動開始のタイミングは、45%と60%の重心位置での試行間に、また負荷時と無負荷時の試行間に有意差が認められなかった。このような重心位置では、上肢挙上によって CFP が前方に到達する

位置が大きく異なり、また重量負荷の有無では上肢挙上に要する時間が大きく異なっていた。このことから、上肢挙上による外乱の大きさ及び時間経過の違いによって、姿勢調節の予測的筋活動の開始時点は、変化しないことが推察された。

3) 以上のことから、上肢挙上時の立位姿勢調節に関する研究では、上肢挙上前の前後方向の重心位置を考慮することが、重要であると考えられた。

(受付 平成2年8月28日)

参 考 文 献

- 1) Badke, M. B. and Fabio, R. P. D. (1985) : Effects of postural bias during support surface displacements and rapid arm movements. *Physical Therapy*, **65**, 1490-1495.
- 2) Bazalgette, D., Zattara, M., Bathien, N., Bousset, S. and Rondot, P. (1986) : Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements in patients with Parkinson's disease. *Advances in Neurology*, **45**, 371-374.
- 3) Belen'kii, V. Y., Gurfinkel, V. S. and Pal'tsev, Y. I. (1967) : Elements of control of voluntary movements. *Biophysics*, **12**, 135-141.
- 4) Bouisset, S. and Zattara, M. (1967) : A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neuroscience Letters*, **12**, 185-196.
- 5) Bouisset, S. and Zattara, M. (1981) : A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neurosci. Letters*, **22**, 263-270.
- 6) Bouisset, S. and Zattara, M. (1986) : Anticipatory postural adjustments and dynamic asymmetry of voluntary movement, In Gurfinkel, V. S., Ioffe, M. E., Massion, J. and Roll, J. P. (Eds), *Stance and motion*, Plenum Press, New York, 177-183.
- 7) Cord, P. J. and Nashner, L. M. (1982) : Properties of postural adjustment associated with rapid arm movements. *J. Neurophysiol.*, **47**, 287-302.
- 8) Crenna, P., Massion, J., Pedotti, A. and Deat, A. (1986) : Forward and backward axial movements: Two modes of central control, In Gurfinkel, V. S., Ioffe, M. E., Massion, J. and Roll, J. P. (Eds), *Stance and motion*, Plenum Press, New York, 195-201.
- 9) El'ner, A. N. (1973) : Possibilities of correcting the urgent voluntary movements and the associated postural activity of human muscles. *Biofizika*, **18**, 907-911.
- 10) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦(1984) : 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.
- 11) 藤原勝夫(1984) : 身体動揺からみた立位姿勢の調節および安定性. 筑波大学教育学博士論文.
- 12) 藤原勝夫, 池上晴夫, 岡田守彦(1985) : 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.
- 13) Gelfand, I. M., Gurfinkel, V. S., Tsetlin, M. L. and Shik, M. L. (1966) : Problems in analysis of movements, In Gelfand, I. M., Gurfinkel, V. S., Fomin, S. V. and Tsetlin, M. L. (Eds), *Models of the structural functional organization of certain biological systems* (Amer. translation, 1971), M. I. T. press, Cambridge, 330-345.
- 14) Hellebrandt, F. A., Tepper, R. H., Braun, G. L. and Elliott, M. C. (1937) : The location of the cardinal anatomical orientation planes passing through the center of weight in young adult women. *Am. J. Physiol.*, **121**, 465-470.
- 15) 平沢弥一郎, 青木賢一(1967) : 直立姿勢の研究. 静岡大学教養部研究報告, **7**, 89-100.
- 16) Horak, F. B., Esselman, P., Anderson, M. E. and Lynch, M. K. (1984) : The effects of movement velocity, mass displaced and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J. Neurol. Neurosurg. Psych.*, **47**, 1020-1028.
- 17) 石田明允(1978) : 任意波形で水平加振できる床反力計. *医用電子と生体工学*, **16**, 385-389.
- 18) Isman, R. E. and Inman, V. T. (1969) : Anthropometric studies of the human-foot and ankle. *Bull. Prosthet. Res.*, **10**, 97-129.
- 19) 小島幸枝, 竹森節子(1980) : 小児の身体平衡の発達について—正常児, 起立位を中心に—. *耳鼻臨床*, **73**, 865-871.
- 20) 小宮山伴与志, 笠井達哉(1989) : 上肢挙上反応動作に伴う大腿および腰部筋群の筋放電開始順序. *姿勢研究*, **9**, 15-23.

- 21) Lee, W. A. (1980) : Anticipatory control of postural and task muscles during rapid arm flexion. *J. Motor Behav.*, **12**, 185-196.
- 22) Lipshits, M. I., Mauritz, K. and Popov, K. E. (1981) : Quantitative analysis of anticipatory postural components of a complex voluntary movement. *Hum. Physiol.*, **7**, 165-173.
- 23) Marsden, C. D., Merton, P. A. and Morton, H. B. (1978) : Anticipatory postural responses in human subjects. *J. Physiol. (Lond.)*, **275**, 47-48.
- 24) Massion, J. (1984) : Postural changes accompanying voluntary movements : Normal and pathological aspects. *Human Neurobiol.*, **2**, 261-267.
- 25) Murray, M. P., Seireg, A. A. and Sepic, S. B. (1975) : Normal postural and steadiness : quantitative assessment. *J. Bone Joint Surg.*, **57(A)**, 510-516.
- 26) Traub, M. M., Rothwell, J. C. and Marsden, C. D. (1980) : Anticipatory postural reflexes in Parkinson's disease and other akineticrigid syndromes and in cerebeller ataxia. *Brain*, **103**, 393-412.
- 27) Pal'tsev, Y. I. and El'ner, A. M. (1967) : Preparatory and compensatory period during voluntary movement in patients with involvement of the brain of different localization. *Biophysics*, **12**, 161-168.
- 28) Riach, C. L. and Hayes, K. C. (1990) : Anticipatory postural control in children. *J. Motor Behavior*, **22**, 250-266.
- 29) Whitney, J. R. (1962) : The stability provided by the feet during manouvers whilst standing. *J. Anat.*, **96**, 103-111.
- 30) Woollacott, M. H., Bonnet, M. and Yabe, K. (1984) : Preparatory process for anticipatory postural adjustment : Modulation of leg muscles reflex pathways during preparation for arm movements in standing man. *Exp. Brain Res.*, **55**, 263-273.