

ヒトの起立姿勢制御に関する多感覚と筋活動との関係の調査

○小川 広晃 (東京大学), 千葉 龍介 (首都大学東京), 高草木 薫 (旭川医科大学),
浅間 一 (東京大学), 太田 順 (東京大学)

Research on the relationship between muscle activity and multimodality of human posture control

○Hiroaki OGAWA (the Univ. of Tokyo), Ryosuke CHIBA (Tokyo Metropolitan Univ.),
Kaoru TAKAKUSAKI (Asahikawa Medical Univ.), Hajime ASAMA (the Univ. of Tokyo),
Jun OTA (the Univ. of Tokyo)

Abstract: Human posture control is a very complicated mechanism with integrating multi-inputs and outputting correct motion. In this research, we aim to clarify the mechanism of posture control by inhibition experiment that is to inhibit senses of vision and equilibrium. We measured electromyogram and investigated the relation of sensory-input and muscle-activate-output.

1. 序論

ヒトの姿勢制御は複数の感覚入力を適切に統合し、全身の各筋に出力をする多入力・多出力となる複雑なメカニズムによって行われている。そのため、現状では、様々な姿勢制御疾患に対し、構成論的な説明は困難であり、姿勢制御時の脳機能のモデルを推定することは医学的・生物学的にも非常に有意義である。

しかしながら、脳機能のモデル化に関しては脳内の神経活動を直接観察することが困難であること、および複数の感覚刺激によって脳活動が変容することが問題となる。そのため、脳機能の推測を行うためには、複数の各感覚と筋活動との関係を調査し、その関係を表現する Fig.1 のようなモデルを構築することが重要になる。なぜならヒトの姿勢制御は神経系に作用された筋によって行われることから、筋活動を考慮することで脳機能を推測可能と考えられるからである。

従来の姿勢制御の研究として Nashner らの姿勢制御のストラテジー[1]や, Bottaro らの間欠制御仮説[2]があるが、これらの研究では複数の感覚と筋活動との関係の調査が不十分であり、感覚刺激による脳活動について推測するためには不十分である。



Fig. 1 複数感覚と筋活動のモデル

従って本研究では脳機能のモデル化のために各感覚と筋活動との関係を調査することを目的とする。このとき感覚入力を変化させる方法と調査方法の確立が課題となる。そこで本稿ではカロリックテストや外部からの接触による感覚阻害および強調による感覚入力の変化方法ならびに t 検定による筋活動比較法を提案する。

2. 提案手法

2.1 感覚阻害・強調方法

ヒトが姿勢を制御する上で重要と考えられる感覚として視覚・平衡感覚・体性感覚が挙げられる。なぜならヒトはこれらの感覚を用いてフィードバック制御を行い、重力に対して姿勢を維持していると考えられるからである。この姿勢制御には神経系が深く関与している。詳しくは後述するが、この 3 種の感覚の変化により、容易に姿勢を変化させることが可能である。

視覚に関しては、閉眼によって感覚を阻害可能である。平衡感覚においては冷水を耳に注ぐ平衡感覚を狂わせるカロリックテスト (温感検査) を用いることで感覚を阻害可能である。体性感覚は外部から体の一部に触れることで感覚を強調可能である。

立位姿勢で上記感覚を阻害・強調した際に現れる姿勢変化は以下ようになる。

- 目を開いていて、耳に冷水を注入した平衡感覚のみの阻害状態では立位姿勢が維持される (Fig. 2A)。
- 目を閉じ、視覚を阻害すると冷水を注いだ耳

側に傾く (Fig. 2B).

- 上記平衡感覚・視覚障害時に体に触れ体性感覚が強調されると姿勢の傾きが元に戻り立位姿勢が維持される (Fig. 2C).

このように感覚入力の変化に対して明らかな姿勢の変化を生じることから、視覚・平衡感覚・体性感覚の姿勢制御に対する重要性が理解可能である。脳内での各感覚の処理によって上記姿勢変化が生じていると考えられるため、本手法は脳機能について推測を行うために有効であると考えられる。

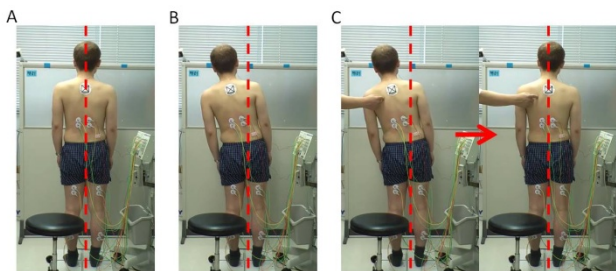


Fig. 2 平衡感覚障害時の姿勢変化

2.2 比較を行う条件

平衡感覚障害時に被験者は左右に傾く傾向がある。従って、感覚の変化に対する筋活動の変化以外に、姿勢を支えるための筋活動も出力される。そのため測定を行う障害・強調による感覚変化以外に、左右に傾くということに対しての筋活動の比較を行うために、被験者自ら能動的に傾く実験も行うよって Table.1 に示す次の 7 つの条件で測定を行う。ここで、全感覚が健全な状態 (条件〇〇〇) を基準として比較を行う。

Table 1 測定を行う感覚条件

順序：視覚・平衡感覚・体性感覚

○：通常，×：障害，◎：強調，傾：自ら傾く

		視覚			
		開ける		閉じる	
平衡	通常	〇〇〇		×〇〇	
	注	〇〇〇傾		×〇〇傾	
感覚	水	〇×〇	体性感覚	通常	××〇
				接触	××◎

2.3 t 検定による比較方法

上記の感覚障害・強調時の筋活動及び姿勢変化を筋電図と両足元に設置した床反力計によって測定を行う。ここで、筋電図に対し t 検定を行うことで基準 (〇〇

〇) との筋活動の差分を抽出する。測定によって得られた筋電データを整流化し、各条件に対し、測定を行った区間を 120 の区間に分割し、各区間の積分平均値をそれぞれ求め、得られた値 (各区間 120 個) を基準と比較する。t 検定の両側検定によって 5% の有意差で増加する筋、減少する筋、有意差がない筋を抽出し、それぞれ、+1, -1, 0 とプロットする。

ここで、平衡感覚障害時の被験者の動きには左右方向への揺れのみならず、前後方向への揺れが含まれている場合がある。左右方向への傾きは自ら能動的に傾く条件 (〇〇〇傾) との比較で、障害・強調の影響を推定可能であるが、前後方向の動きに対して筋活動が変化する筋かつ重心が前後方向の動いている条件では、筋活動に前後方向の動きに対する変化も含まれている可能性がある。そこで、前後方向に対し相関がある筋の抽出し、床反力計により前後方向に揺れや傾きが観察された条件を比較から除く。前後方向に対して筋活動の相関がある筋は、測定を行った全条件を合わせ前後の重心位置と筋活動との相関係数を求め、閾値を 0.4 として相関係数が 0.4 以上のものを抽出する。揺れや傾きが観察された条件とは、各条件での重心位置に対して f 検定および t 検定を用いて基準条件と比べ、どちらか一方でも有意差があったものとする。

3. 実験

3.1 実験条件

20 代の健全な男性 5 名の被験者に対して、Fig.3 の示す各筋肉の筋電図を測定する。

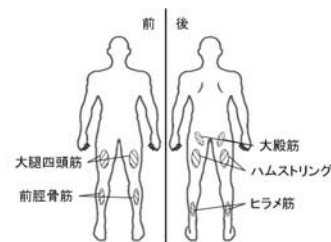


Fig.3 測定箇所

3.2 実験手順

感覚障害条件を〇〇〇30[s]→〇〇〇傾 10[s]→×××30[s]→×××傾 10[s]と変化させ測定を行う。その後、平衡感覚障害を行い、条件を〇×〇→×××→〇×〇→×××→×××◎の順にそれぞれ約 10[s]の測定を行う。

3.3 実験結果

Fig.4 に筋電図の測定結果の例として一人の被験者の基準条件 (A) と平衡感覚阻害時 (B) の筋電図および重心位置を示す。上から 14 番目までが筋電図を、下の 2 つが重心位置を表している。筋電図は測定された筋電位を整流化して 1/64[s]の区間で積分した。また平衡感覚阻害条件の被験者の t 検定の結果を Table 2 に示す。ここで、この被験者では阻害側 (左) の大腿四頭筋が前後方向に対して相関関係がある筋として抽出され、条件××○, ××◎において前後方向の揺れまたは傾きか抽出されたため t 検定の結果からは除外した。

被験者全体での t 検定結果の平均値, 分散値を Table 3 に示す。Table 3 の値は上が平均値, 下が分散値である。ただし、明らかにノイズなどにより基準の計測値が誤っていると判断された筋は除いた。ここで、○○○ (基準), ×○○, ○×○, ××◎は被験者が直立姿勢を維持できた条件であり, ○○○傾, ×○○傾, ××○は被験者が傾いている条件である。Fig.4 の下から 2 番目の左右方向の重心位置を見ると被験者が左に傾いていることが見て取れる。

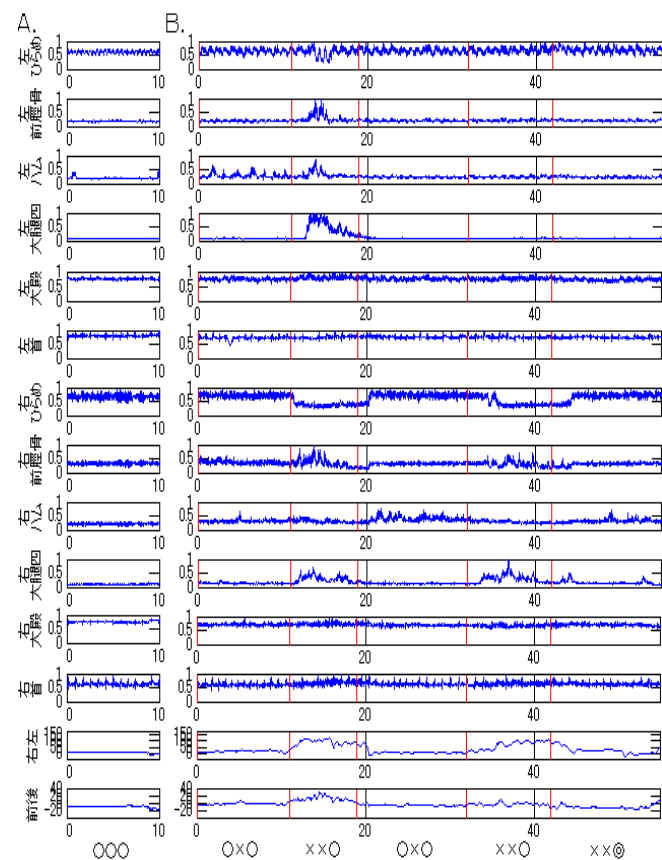


Fig. 4 基準, 平衡感覚阻害時の筋電図と重心位置

Table 2 基準との t 検定の結果

1 : 増加, -1 : 減少, 0 : 差なし, - : 除外

		○○○	××○	○×○	××○	××◎
阻害側 (左)	ひらめ	0	0	1	1	1
	前脛骨	0	1	0	1	1
	ハム	0	0	0	0	0
	大腿四	1	-	1	-	-
	大殿	0	1	0	0	-1
	首	-1	-1	-1	-1	-1
反対側 (右)	ひらめ	0	-1	0	-1	0
	前脛骨	1	1	0	0	0
	ハム	1	1	1	1	1
	大腿四	1	1	1	1	1
	大殿	-1	0	-1	-1	-1
	首	0	0	0	0	0

3.4 考察

Table 3 の結果から、傾いていない条件では×○○は基準とあまり違いはないが、○×○, ××◎は同じ姿勢でも基準とは異なる筋活動を示している。

傾いている条件で比較をすると、自ら能動的に傾いた時の条件 (○○○傾および×○○傾) では、筋活動の増減に対し同じ傾向が存在する。具体的には傾いた側のひらめ筋・前脛骨筋・大腿四頭筋の活動が上がり、反対側のひらめ筋・前脛骨筋・大殿筋の活動が下がる。これは左右への姿勢 (傾き) による筋活動の変化として妥当であると考えられる。××○では同じ傾く条件であるにも拘らず、先ほど述べた通り反対側のひらめ筋・前脛骨筋の活動は減少せず、変化しないと考えられる反対側のハムストリングの活動が増加している。この結果から平衡感覚阻害により傾くという現象は能動的に傾くのと全く異なる筋活動によって現れるということが示されたと考えられる。

○○○と×○○, ○×○と××○の比較により視覚による影響を考察すると、○×○と××○の比較では増減する筋に関しては同じ傾向がみられる。従って、視覚は筋活動の増化するのか減少するののかに関してはほとんど影響を与えることがないと考えられる。○×○, ××○には増減する筋に関してほとんど違いがな

いため、これらの条件で被験者の姿勢（傾き）が変化したのは Fig.4 のデータを含めて考えると筋活動が増加・減少する量が条件間で異なるからであると考えられる。従って平衡感覚は増減させる筋を決め、視覚は量に対して影響を与えると推測される。

また、Fig.4 の筋電図から、各条件によって筋活動が変化していることが観察される。更に前後方向の重心位置より前後方向の動きが××○、××◎のときに存在している。ここで Fig.4, Table 2 より基準に対する t 検定の調査では筋活動の増減は捉えていると考えられるが、筋活動の量に関しては考慮できていない。例えば右大腿四頭筋では、○×○と××○では××○の方が筋活動はより増加していると Fig.4 から考えられるが、t 検定の調査ではどちらも増加するという結果のみとなっている。よって定量的な比較法を確立させることが課題となる。

この被験者では前後方向に対して相関関係がある筋は大腿四頭筋が抽出されている。しかし、Fig.4 を見るとこの筋の相関係数は高くなったのは、前後移動とは異なる要因により筋活動が非常に大きく増加したものと前後方向への移動が重なってしまったからという可能が考えられる。よって相関関係がある筋は全感覚が健全な状態での筋活動と重心移動を測定することで抽出するのがよりよいと考えられる。そのためには前後方向へ能動的に動く実験を行う必要がある。

Table 3 の平均値は各筋活動が増加・減少する確率、分散値は被験者間での個人差について示していると考えられる。平衡感覚障害時の結果にはまだ分散（個人差）が大きく存在しているため被験者の数を増やす必要があると考える。

4. 結論

本研究では各感覚と筋活動との関係を調査するために感覚障害および強調による実験方法と t 検定による比較方法を提案した。また提案手法により実験を行い各条件間における筋活動が増加・減少する確率を示した。その結果、平衡感覚障害時には傾いていなくてもこのなる筋活動であること、障害によって傾くという現象は能動的に傾くのと全く異なる筋活動による現象であるということ、視覚は本条件での筋活動の増減

少という 2 値に関してはほとんど影響を与えないという可能性を示すことができた。今後は被験者の数を増やすとともに、定量的な比較手法を確立させ、筋活動の増減する変化量が条件間で異なることを示すことが課題となる。

Table 3 各条件での筋活動変化の平均値と分散値
平均値(上)は確率、分散値(下)は個人差を表す。

		○○○傾	×○○	×○○傾	○×○	××○	××◎
阻 害 側	ひらめ	0.75 0.3	0 0.0	0.75 0.3	-0.38 0.6	-0.25 0.5	0 0.7
	前脛骨	0.75 0.3	0 0.0	0.5 0.3	-0.13 0.1	0.25 0.2	0.5 0.3
	ハムスト リング	0 0.0	0 0.0	0 0.0	-0.17 0.6	0 0.0	0 0.0
	大腿四	0.5 0.5	0 0.0	0.5 0.5	1 0.0	1 0.0	1 0.0
	大殿	0.67 0.3	0.33 0.3	0.33 0.3	0.5 0.6	0.67 0.3	0.33 1.3
	首	-0.2 0.7	0 0.0	-0.2 0.7	0 0.7	0 0.7	0 0.5
	反 対 側	ひらめ	-1 0.0	-0.25 0.3	-0.75 0.3	0.25 0.5	0.13 0.7
前脛骨		-1 0.0	-0.25 0.3	-0.25 0.9	0.38 0.8	0.38 0.8	0 0.7
ハムスト リング		0.33 0.3	0.33 0.3	0.33 0.3	0.63 0.6	0.83 0.2	1 0.0
大腿四		0 0.0	0 0.0	0.25 0.3	0.11 0.9	0.13 0.7	-0.25 0.9
大殿		-0.5 0.3	0.5 0.3	-0.5 0.3	0.11 0.9	0.25 0.5	0.5 1.0
首		0.2 0.2	0 0.0	0.2 0.2	0.1 0.3	0.1 0.3	0.2 0.2

参考文献

- [1] Nashner LM, et al. : The organization of human postural movements : A formal basis and experimental synthesis. The Behavioral and Brain Sciences, 8 : 135-172, 1985.
- [2] Bottaro A, Yasutake Y, Nomura T et al. : Bounded stability of the quiet standing posture : an intermittent control model. Human Movement Science.