下肢筋における迷路性誘発筋電図の研究†

前 田 正 徳・時 田 喬・宮 田 英 雄
高 木 恭 也・伊 藤 八 次・森 芳 郎
村 上 力 夫・小 島 俊 己・小 泉 光
山 田 剛 寛

I はじめに

迷路性直立制御機構を検査する目的で直立検査、重心動揺検査、迷路平流通電刺激で現われる重心動揺の検査が行なわれている。我々は、前庭脊髄系の構造と機能との関係が把握できる検査を意図して迷路性誘発筋電図検査法を開発した。

本法は被験者を重心動揺計の上に直立せしめ、迷路を平流電気で刺激し、刺激で現われる重心動揺、ひらめ筋活動を記録するものである。陰極刺激側ひらめ筋には潜時約 100 ms で約 300~500 ms 続く筋活動の増加とそれに続き通電中持続する筋活動の低下を認める。反対側ひらめ筋にはほぼ同じ潜時で一過性の筋活動の減少とそれに続く持続性の筋活動の増加を認める。我々は、潜時約 100 ms の一過性の反応を初期反応 (Initial Response, IR) と呼び、それに続き通電中持続する反応を偏位反応 (Deviation Response, DR) と呼び、前者は前庭脊髄系の直接の反応、後者は全身に現われた迷路性偏倚をささえるための筋活動と解釈した。そして、初期反応を指標として、ヒトの迷路性脊髄反射の両側支配、迷路性ひらめ筋支配における抑制優位、頭位による迷路反射の変化などを明らかにした。

本研究では、迷路性誘発筋電図がひらめ筋とともに下肢諸筋にどのように現われるか観察し、直立姿勢制御における迷路性脊髄反射の性質につき検討を加えた。

II 方 法

1 検査の概要 (図 1)

被験者を重心動揺計の上に両足を揃えて、閉眼にて直立せしめ、迷路に平流電気刺激を加え、刺激により生ず

る重心動揺ならびに下肢筋活動をシグナルプロセッサーに入力し、10回の刺激に対する反応を加算平均し、結果を陰極線管、ハードコピーに表示した。

2 重心動揺記録

重心動揺計として日本電気三栄製 1 G 06 を使用した。通電で生じる前後および左右への重心動揺を日本電気三栄製シグナルプロセッサー 7 T 17-S (SP) に入力した。サンプリングは間隔 5 ms で1024点とした。データ長は5.12秒となる。較正には、重心動揺 5 cm の偏倚 (500 mV) を SP に入力し重心偏倚の大ききの基準とした。

3 筋活動の記録

右および左のひらめ筋、腓腹筋、前脛骨筋、大腿直筋、大腿二頭筋、大臀筋の検査を行なった。筋活動は 1.5 cm 離して貼付した2個の表面電極で捉えた。記録電極の上部すなわち上腿または胴に電極糊を浸した布をバンド状に巻き接地電極とし、頭部通電によるアーティファクトが記録に乗らないようにした。筋活動は電極ボックスを介して日本光電製ポリグラフ PMP-6008 に入力し生体現象増幅器および積分器を介して積分筋電図として SP に入力した。増幅器の時定数は0.003秒、積分の時定数は 0.1 秒を用いて、入力波形の絶対値を積分した。SP に入力した信号は重心動揺と同じ条件でサンプリングした。筋電図の較正はポリグラフより 0.1 mV の較正電圧を入力し筋活動記録と同じ条件で SP に入力し、筋電図振幅の基準とした。

なお、SP 装置が8現象記録であったので検査は次の3つに分けて行なった。

- (1)重心左右・前後動揺、左右ひらめ筋、腓腹筋、前脛骨筋活動 (下腿筋検査)
- (2)重心左右・前後動揺、左右ひらめ筋、大腿直筋、大腿二頭筋活動 (上腿筋検査)
- (3)重心左右・前後動揺、左右ひらめ筋、大腿直筋、大臀筋活動 (腰筋検査)

重心動揺、ひらめ筋活動は基準としてすべての検査で

†Studies on Vestibulo-spinal Reflexes by Examination of Labyrinthine-evoked EMGs of Lower Limbs Masanori Maeda, Takashi Tokita, Hideo Miyata, Kyoya Takagi, Yatuji Ito, Yoshirou Mori, Rikio Murakami, Toshimi Kojima, Hikaru Koizumi and Takahiro Yamada

岐阜大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図1 検査システム

図2 正面位の左右・前後重心動揺, 左右前脛骨筋・腓腹筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応), DR: Deviation Response (偏位反応)

記録した。そして IR を中心に検討した。

4 刺激

被験者の右および左乳突部に直径 1 cm の電極を貼付し、日本光電製電気刺激装置 SEN-3201 を用いて右耳陰極、左耳陽極にて 1 mA、3 秒間の両極両耳通電を行った。刺激は常に右陰極、左陽極とし、その逆の刺激は行なわなかった。これは、被験者の負担を軽くするためと、極性を逆にして通電すれば全く逆の反応を生ずるので、一方を行えば迷路反応の性質を捉えうると考えたためである。なお、両極両耳通電を用いた理由は誘発筋電図の出現の有無の検討を第一目的としたので、単極単耳刺激より筋活動の出やすい本法を用いた。約 10 秒の間隔で 10 回の刺激を行なったが、先行する刺激による身体動揺が治まった時点で次の通電をスタートした。通電開始の信号は刺激器から SP のトリガー端子に入力した。この入力信号で波形の走引が開始されるが、陰極線管には刺激の 0.64 秒 (128 点 $\times$ 5 ms) 前から波形が表示されるように SP の作動条件を設定した。陰極線管表

示は 1024 点なので反応記録はこれだけ短くなっている。

5 データ処理

10 回の平流刺激に対する応答の加算平均を日本電気三栄製加算平均プログラムを用いて行なった。結果は陰極線管、ハードコピーに表示した。

6 検討事項

重心動揺、下肢筋電図を上述の如く 3 回に分けて検査したが、各々の検査において、頭部正面位、頭部右回転位、頭部左回転位の 3 つの条件で検査した。

III 被 験 者

平衡機能に異常のない健康成人男子 9 名。被験者は検査毎に異なっている。

IV 成 績

1 下腿筋検査

(1) 代表例の成績

(a) 頭部正面位 (図 2)

上段が重心動揺を示している。左が左右動揺、右が前後動揺である。2 段目以下が筋電図である。筋電図は左

図 3 右回転位の左右・前後重心動揺、左右前脛筋・腓腹筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応), DR: Deviation Response (偏位反応)

図4 左回転位の左右・前後重心動揺，左右前脛骨筋・腓腹筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR : Initial Response (初期反応)，DR : Deviation Response (偏位反応)

表1 下腿筋検査，兩極兩耳刺激（陰極右，陽極左）1 mA，3 sec

頭位		正面位						右回転位						左回転位					
被験者	筋	ひらめ筋		腓腹筋		前脛骨筋		ひらめ筋		腓腹筋		前脛骨筋		ひらめ筋		腓腹筋		前脛骨筋	
	左右	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
1		↑	↓	↑	↓	—	—	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	—
2		↑	↓	↑	↓	↑	—	↓	↓	—	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	—
3		↑	↓	↑	↓	↑	—	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	—	—
4		—	—	—	—	—	—	↓	↓	—	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	—
5		—	—	↑	↓	—	—	↓	↓	—	—	↑	↑	↓	—	—	—	—	—
6		↑	—	—	—	—	—	↓	↓	↓	↓	—	—	↑	↑	↑	↑	—	—

↑0.01mV以上，↑0.01mV，↑0.01mV以下，—無反応

が右下腿、右が左下腿の記録である。2段目が前脛骨筋、3段目が腓腹筋、4段目がひらめ筋である。縦軸は振幅を示す。縦の点線は刺激時点を示す。横軸は時間経過を示し1区画 500 msec である。

重心左右動揺では潜時約 200 msec で右への初期反応 (IR) を認め、IR に続き刺激中持続する左への偏位反応 (DR) を認めた。前後動揺では潜時約 200 msec で後方への IR を認め、続いて前方への DR を認めた。

ひらめ筋においては潜時約 100 msec で右側の一過性の筋活動 (IR) の増加を認め、IR に続き刺激中持続する筋活動の低下 (DR) を認めた。それに対応する左側での筋活動 (IR) の低下を認め DR の増加を認めた。

腓腹筋でも同じく右側の IR の増加と、左側の低下を認めた。

前脛骨筋においては IR は明瞭でなかった。

(b) 頭部右回転位 (図 3)

重心左右動揺では潜時約 200 msec 右への IR を認め、前後動揺では潜時約 200 msec で後方への IR を

認めた。

ひらめ筋では潜時約 100 msec で IR の低下を両側に認めた。

腓腹筋もひらめ筋と同じ結果を認めた。

前脛骨筋ではひらめ筋に対応する IR の増加を両側に認めた。

(c) 頭部左回転位 (図 4)

重心左右動揺では IR は明瞭でなく、前後動揺では潜時約 200 msec で前方への IR を認めた。

ひらめ筋、腓腹筋とも右回転位とは逆に IR の増加を両側に認めた。

前脛骨筋では IR の低下を右側に認めた。

即ち迷路に対する刺激は同じでも頭位を変えることにより誘発される筋活動は変化する。

(2) 被験者 6 名の成績 (表 1)

6 名の成績を表 1 に示した。太い矢印は筋活動の振幅が 0.01 mV より大きいことを、細い矢印は 0.01 mV より小さいことを、— は無反応をあらわしている。

図 5 正面位の左右・前後重心動揺、左右大腿直筋・大腿二頭筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応), DR: Deviation Response (偏位反応)

図6 右回転位の左右・前後重心動揺, 左右大腿直筋・大腿二頭筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応), DR: Deviation Response (偏位反応)

ひらめ筋においては, 正面位では右側は増加4名, 無反応2名, 左側は低下3名, 無反応3名であった。右回転位ではすべて両側低下を認めた。左回転位では両側増加5名, 右側低下, 左側無反応1名であった。

腓腹筋においては, 正面位では右側は増加4名, 無反応2名, 左側は低下4名, 無反応2名であった。右回転位では両側低下3名, 両側無反応3名であった。左回転位では, 両側増加5名, 両側無反応1名であった。

前脛骨筋においては, 正面位では右側は増加2名, 無反応4名, 左側は全て無反応であった。右回転位では右側は増加4名, 低下1名, 無反応1名, 左側は増加5名, 無反応1名であった。左回転位では右側で低下1名, 他は全て無反応であった。前脛骨筋はひらめ筋と拮抗的に働くと考えていたが, 正面位で同時に筋活動が増加した例があった(2名)。

2 上腿筋検査

(1) 代表例の成績

(a) 頭部正面位 (図5)

ひらめ筋では右側の IR の増加を認め, 左側の IR の低下を認めた。大腿直筋では IR の低下を左側に認めた。大腿二頭筋では IR は明瞭でなかった。

(b) 頭部右回転位 (図6)

ひらめ筋では IR の低下を両側に認めた。大腿直筋ではひらめ筋に対応する IR の増加を両側に認めた。大腿二頭筋では IR の低下を左側に認めた。

(c) 頭部左回転位 (図7)

ひらめ筋では IR の増加を両側に認めた。大腿直筋ではひらめ筋に対応する IR の低下を両側に認めた。大腿二頭筋はひらめ筋と同じ結果を認めた。

ひらめ筋, 大腿二頭筋に対する大腿直筋の IR は拮抗的に出現した。

(2) 被験者5名の成績 (表2)

5名の成績を表2に示した。

大腿直筋においては, 正面位では右側は低下3名, 無反応2名, 左側は増加3名, 低下1名, 無反応1名であった。右回転位では右側は増加4名, 無反応1名, 左側は全

図7 左回転位の左右・前後重心動揺，左右大腿直筋・大腿二頭筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応)，DR: Deviation Response (偏位反応)

表2 上腿筋検査，両極両耳刺激（陰極右，陽極左）1mA，3 sec

頭位		正面位						右回転位						左回転位					
被験者	筋左右	大腿直筋		大腿二頭筋		ひらめ筋		大腿直筋		大腿二頭筋		ひらめ筋		大腿直筋		大腿二頭筋		ひらめ筋	
		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
1		—	↓	↑	—	↑	↓	↑	↑	—	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑
2		↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	—	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑
3		↓	↑	—	↓	—	↑	—	↑	—	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑
4		↓	—	↓	—	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	—	↑	↑	↑
5		—	↑	—	—	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	—	↑	↑	—

↑0.01mV以上，↑0.01mV，↑0.01mV以下，—無反応

図8 正面位の左右・前後重心動揺, 左右大臀筋・大腿直筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応), DR: Deviation Response (偏位反応)

て増加を認めた。左回転位では全て両側低下を認めた。

大腿二頭筋においては、正面位では右側は増加1名、低下2名、無反応2名、左側は増加1名、低下1名、無反応3名であった。右回転位では右側は増加1名、低下1名、無反応3名、左側はすべて低下を認めた。左回転位では右側は増加3名、無反応2名、左側は全て増加を認めた。

3 腰筋検査

(1) 代表例の成績

(a) 頭部正面位 (図8)

ひらめ筋では IR の右側の増加と左側の低下を認めた。大臀筋ではひらめ筋と同じ結果を認めた。大腿直筋では左側のみ IR の低下を認めた。

(b) 頭部右回転位 (図9)

ひらめ筋では IR の両側低下を認めた。大臀筋でもひらめ筋と同じ結果を認めた。大腿直筋ではひらめ筋とは逆に両側の IR の増加を認めた。

(c) 頭部左回転位 (図10)

ひらめ筋では IR の両側増加を認めた。大臀筋では右側のみ IR の増加を認めた。大腿直筋では右側のみ IR の低下を認めた。ひらめ筋、大臀筋に対する大腿直筋の IR は拮抗的に出現した。

(2) 被験者5名の成績 (表3)

5名の成績を表3に示した。

大臀筋においては、正面位では右側は増加4名、低下1名、左側は増加1名、低下2名、無反応2名であった。右回転位では右側は増加1名、低下3名、無反応1名、左側は低下4名、無反応1名であった。左回転位では右側増加4名、左側増加3名、あとは無反応であった。

4 まとめ

(1) 筋の協同について

下腿筋、上腿筋、腰筋検査をまとめて表4に示した。正面位、左右回転位において、ひらめ筋、腓腹筋、大腿二頭筋、大臀筋は協同的に働き、前脛骨筋、大腿直筋は協同的に働いている。すなわち下肢背側の筋が協同で働き、下肢腹側の筋が協同で働いた。この結果は左右回転

図9 右回転位の左右・前後重心動揺，左右大臀筋・大腿直筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応)，DR: Deviation Response (偏位反応)

表3 腰筋検査，両極両耳刺激（陰極右，陽極左）1 mA，3 sec

頭位		正面位						右回転位						左回転位					
被験者	筋 左 右	大臀筋		大腿直筋		ひらめ筋		大臀筋		大腿直筋		ひらめ筋		大臀筋		大腿直筋		ひらめ筋	
		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
1		↓	—	—	↓	—	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑
2		↑	↓	—	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	—	↓	—	↑	↑
3		↑	↓	↓	↑	↑	—	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑
4		↑	—	↓	↑	↑	↓	—	—	—	↑	↓	↓	↑	—	↓	↓	—	↑
5		↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	—	↑	—	↓	↑	—

↑0.01mV以上，↑0.01mV，↑0.01mV以下，—無反応

図10 左回転位の左右・前後重心動揺，左右大臀筋・大腿直筋・ひらめ筋の迷路性誘発筋電図
IR: Initial Response (初期反応)，DR: Deviation Response (偏位反応)

表4 迷路性誘発筋電図一下肢筋一，兩極兩耳刺激（陰極右，陽極左）1 mA，3 sec

頭 位		正 面 位									右回転位									左回転位								
被検者番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ひらめ筋	右	○	○	○	—	—	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○
	左	●	●	●	—	—	—	●	●	—	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	—	○	○	—	—
腓腹筋	右	○	○	○	—	○	—				●	—	●	—	—	●				○	○	○	○	—	○			
	左	●	●	●	—	●	—				●	—	●	—	—	●				○	○	○	○	—	○			
前脛骨筋	右	—	○	○	—	—	—				○	○	●	○	○	—				—	●	—	—	—	—	—	—	—
	左	—	—	—	—	—	—				○	○	○	○	○	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—
大腿直筋	右	—	—	●			●	●	—	○	○	○			—	○	○	○		●	●	●		●	●	●	—	
	左	●	●	○			○	—	○	○	○	○			○	○	○	○		●	—	●		●	●	●	●	●
大腿二頭筋	右	○		●			—	●	—		—	—			—	○	●			○	○			○	—	—		
	左	—		○			●	—	—		●	●			●	●	●			○	○			○	○	○		
大臀筋	右	●	○	○			○			○	●	●	●		—			○		○	○	○		○		—		—
	左	—	●	●			—			○	●	●	●		—	●				○	—	○		—			○	○

○ 筋活動増加 ● 筋活動低下 — 無反応 空欄 検査非施行

表5 初期反応の潜時の平均 (msec)

頭 位	正 面 位	右回転位	左回転位
ひ ら め 筋	右 ↑106	↓122	↑113
	左 ↓113	↓108	↑125
腓 腹 筋	右 ↑104	↓118	↑118
	左 ↓133	↓128	↑153
前 脛 骨 筋	右 ↑104	↑118	—
	左 —	↑124	—
大 腿 直 筋	右 ↓113	↑122	↓125
	左 ↑129	↑116	↓118
大腿二頭筋	右 ↑118	—	↑128
	左 ↓118	↓118	↑124
大 臀 筋	右 ↑111	↓147	↑104
	左 ↓104	↓97	↑118

↑筋活動増加、↓筋活動低下、—無反応

位で明確だった。

(2)潜時について

初期反応の潜時を表5に示した。同一被験者で同じ筋検査が重複している場合まず個人の平均を計算した。そして被験者9名の平均を計算した。このとき表4に示す如く一定の頭位に対して、一つの筋は一定の筋活動の変化を認めた。この傾向と異なる反応を示した例は除外した（例えば被験者5の左回転位の右ひらめ筋活動）。従って筋活動増加、筋活動減少は別々に計算されている。遠位筋、近位筋とも潜時に差は認めがたかった。また正面位、左右回転位でも潜時に差は認めがたかった。

(3)個人差について

正面位において次の点で被験者による特異性があった。

(a)大腿直筋、大腿二頭筋に現われる筋活動の変化が一定していなかった。大腿直筋、大腿二頭筋の左右偏倚に対する役割が強くなるためと解釈した。

(b)前脛骨筋は反応を示さない被験者が多かったが、被験者2、3では右ひらめ筋の筋活動の増加とともに、右前脛骨筋の筋活動の増加を示した。刺激に対して下肢を前後より固定して姿勢を維持するためと解釈した。

V 考 察

1 迷路性誘発筋電図について

迷路性脊髄系の研究に筋電図は広く利用されてきた。頭位の変化による四肢筋活動の変化¹⁾、回転・温度・電気刺激に対する姿勢の変化^{2)~4)}、直線・傾斜に対する姿勢の変化の観察が筋電図を用いておこなわれてきた^{5)~7)}。しかし、これらは必ずしも迷路から直接誘発された筋活動を観察したものではない。例えば金谷³⁾は直立した被験者において一側冷水刺激を加えると重心移動と一致して刺激側と同側のひらめ筋活動の増加と反対側の減少を

認めている。これは重心移動に一致した筋活動の変化である。

前庭脊髄系の神経機構の解析を目的とする場合には、一定の迷路刺激に対して一定の潜時をもって出現する一過性の筋活動、すなわち迷路性誘発筋電図を観察する必要がある。

ヒトにおいて迷路に平流通電刺激を加えた時、下腿三頭筋にあらわれる一過性筋活動については Nashner and Walfson⁸⁾、Mano, et al⁹⁾、Tokita, et al^{10)~12)}が報告している。

Nashner らは迷路に平流通電を行い、一過性に出現する筋活動を両側ひらめ筋活動の和と両側前脛骨筋活動の和によって観察し、頭部正面位では刺激による筋活動は出現しなかったと報告している。これは左右のひらめ筋活動の加算の結果と思われる。Mano らは迷路に平流通電を行なった時の身体動揺を重心動揺とひらめ筋活動で観察し、単耳刺激にて重心は約 200 ms の潜時で後方への偏倚を示し、つづいて前方への偏倚を示すことを、そしてひらめ筋は重心の後方偏倚において一過性の筋活動の減少を生ずることを観察している。この研究は持続的放電による前庭脊髄系の検討が中心で、一過性の筋活動の変化の記載はあるが極性と関係が明確でなく、前庭脊髄系の構造と対比させた検討も行なわれていない。Tokita, et al は迷路に平流通電を行い、重心動揺、左右のひらめ筋の誘発筋電図を記録し、頭部正面位において、陰極刺激側ひらめ筋の一過性の筋活動の増加（初期反応、IR）とそれに続き通電中持続する筋活動の低下（偏位反応、DR）を明らかにし、これを迷路性誘発筋電図と名づけ、その性質を前庭脊髄系の神経構造と対比させ検討した。

我々はさらにひらめ筋以外の他の下肢筋に誘発筋電図がえられるかどうか下腿筋・上腿筋・腰筋の検査を行ない、ひらめ筋・腓腹筋・前脛骨筋・大腿二頭筋・大腿直筋・大臀筋の誘発筋電図を観察しえた。

2 誘発筋電図の頭位による変化

頭位により迷路性脊髄反射は変化する。Mitrinowicz-Modrzejewska¹³⁾ は、左耳の陰極刺激で正面位では右に転倒傾向を示すが、右回転位では後方に転倒傾向を示すことを述べている。Hlavacka and Njiokiktjen¹⁴⁾ は迷路に平流電気刺激を行い、これによる身体動揺が頭位により変化することを報告している。Nashner らは頭位を 90° 回転して陽極電極が後に位置する時、両側ひらめ筋活動の和は一過性に増加（潜時 100 ms）し、反対側に 90° 回転して陽極電極が前に位置する時、両側ひらめ筋活動の和は一過性に減少（潜時 100 ms）し、前脛骨筋では筋活動が出現しなかったことを観察している。早野・時田¹⁵⁾ は右回転位では両側ひらめ筋の

IR の低下, 左回転位では両側ひらめ筋の IR の増加を観察している。すなわち同じ迷路刺激でも筋活動が全く逆になり, 身体偏位方向の変化は筋活動の変化に基づくことを明らかにした。この結果は前庭脊髄系は頸部自己受容器から送られる情報を計算した上で反射を発現することを示している。前田ら¹⁶⁾は左右 30° 45° の回転位を加えて, ひらめ筋・前脛骨筋の誘発筋電図を観察した。その結果, 迷路性脊髄反射は頭位の角度に応じたひらめ筋・前脛骨筋のパターンを認め, 角度に応じた連続した変化を示すことを明らかにした。

今回我々は同じ刺激でも頭位により下肢筋の迷路性誘発筋電図が変化することを明らかにした。すなわち右回転位では, 両側ひらめ筋・腓腹筋・大腿二頭筋・大臀筋の筋活動が減少し, 両側前脛骨筋・大腿直筋の筋活動が増加した。左回転位では両側ひらめ筋・腓腹筋・大腿二頭筋・大臀筋の筋活動が増加し, 両側前脛骨筋・大腿直筋の筋活動が減少した。同じ迷路刺激でも左右回転位で下肢筋に誘発される筋電図が逆転した。その場合下肢背側の筋が協同し, 下肢腹側の筋が協同し, その働きは相対するものであった。

この反応は平流通電刺激を直線加速度刺激に置き換えてみると, 直線加速度刺激により身体に反対方向への代償的偏位運動をおこす性質と一致する。

3 迷路脊髄反射の自己受容性反射との協同について

上述の如く迷路反射は頭位により変化する。頸部深部受容器からの入力により筋活動は変化した。このことは迷路脊髄反射は自己受容器からの入力を計算して出現することを示している。

また初期反応の潜時を計測すると遠位筋, 近位筋で差を認めた。また正面位, 左右回転位でも差を認めた。このことは迷路脊髄反射は頸部自己受容器からの入力を計算して脊髄レベルで反応の型を setting して, 刺激に適応した pattern として出現しているものと考えている。

4 下肢誘発筋電図に関する神経機構

迷路性誘発筋電図を用いた前庭脊髄系の検討において, 頭部正面位では刺激側のひらめ筋・腓腹筋・大腿二頭筋・大臀筋の筋活動の増加, 反対側では筋活動の低下を認めた。Brodal, et al¹⁷⁾は外側前庭脊髄路が同側の脊髄を下行し同側伸筋に対して促進的に働くことを報告している。迷路の平流刺激で現われた同側下肢筋活動の増加はこの神経路を介するものと解釈できる。しかし反対側の抑制は外側前庭脊髄路だけでは説明がつかない。前庭神経核よりの反対側支配については次の経路があげられる。Hongo, et al¹⁸⁾は外側前庭脊髄路は同側の脊髄を下行するが脊髄内交連細胞を介して対側の抑制を生じると報告している。網様体脊髄路も反対側を抑制するとさ

れている。Brodal¹⁹⁾は延髄網様体路に同側並びに反対側に行き抑制することを報告している。小脳を介する反対側抑制も存する。Pompeiano²⁰⁾は前庭神経核よりオリブ核, 反対側小脳前葉に至り, 抑制する系をあげている。これらの系が反対側抑制に働くと思われる。

全く同一の迷路刺激を加えても, 頭位により下肢筋反応が全く逆に変化することは, 前庭脊髄反射の発現様式が自己受容器よりの入力により規定されていることを示している。自己受容性入力による前庭脊髄反射の変化について次のような報告がある。Mergner, et al²¹⁾は大脳皮質の前庭ニューロンで前庭入力と体性感覚入力の収束がみられ, 体性入力は頸部と四肢の自己受容器から上行すると述べている。Boyle and Pompeiano²²⁾は前庭神経核ニューロンで前庭入力と頸部からの入力の収束がみられ, これが頭部と身体の姿勢制御に働く可能性があることを述べている。Brink, et al²³⁾は腰仙髄の介在ニューロンが頸自己受容器からの入力を受けていると述べている。Suzuki, et al²⁴⁾は迷路と頸部自己受容器からの入力が腰仙髄の介在ニューロンに収束し spinal neuron's vector の方向を決定していると報告している。以上の報告より我々は頭位による前庭脊髄反射の変化は脊髄レベルの機構によるものと考えている。

VI ま と め

迷路性誘発筋電図がひらめ筋以外の下肢諸筋(前脛骨筋・腓腹筋・大腿二頭筋・大腿直筋・大臀筋)にどのように現われるか観察し, 直立姿勢制御における迷路性脊髄反射の性質について検討した。

1. ひらめ筋・腓腹筋・前脛骨筋・大腿二頭筋・大腿直筋・大臀筋にも誘発筋電図が観察された。すなわち迷路性誘発筋電図はひらめ筋のみならず下肢筋にも発現する。

2. 同じ迷路刺激でも左右回転位では, 下肢筋の筋活動が逆転した。その場合下肢背側の筋が協同で働き, 下肢腹側の筋が協同で働いた。そしてその働きは相対するものであった。このことは平流通電刺激を直線加速度刺激に置き換えてみると, 迷路が直線加速度刺激と反対方向への代償的偏位をおこす性質と一致する。

3. 迷路性脊髄反射は頸部自己受容器からの入力を計算して脊髄レベルで反応の型を setting して, 刺激に適応した pattern として出現しているものと考えている。

4. 下肢背側筋において刺激側に対する促進は外側前庭脊髄路を介するものと解釈できる。しかし反対側の抑制は外側前庭脊髄路では説明がつかない。網様体脊髄路, 脊髄の介在ニューロン, 小脳が, 複雑に関与しているものと考えている。

文 献

- 1) Tokizane T, Murano M, Ogata T, et al : Electromyographic studies on tonic neck, lumbar and labyrinthine reflexes in normal persons. *Jap J Physiol* 2 : 130-146, 1951
- 2) 森本正紀 : 迷路脊髓反射と筋電図. 時実利彦, 吉井直三郎編. 筋電図, その臨床的応用. 262-275頁, 永井書店, 大阪, 1954
- 3) 金谷健史, 白戸 勝, 海野徳二 : 温度刺激下におけるヒト直立姿勢の解析. *耳鼻臨床* 78 : 2649-2655, 1985
- 4) 内海貞夫 : 筋電図からみた迷路機能と頭位. 吉井直三郎, 堀 浩編. 最新の筋電図学. 142-157頁, 永井書店, 大阪, 1956
- 5) 福田 清 : 運動と平衡の反射生理. 医学書院, 東京, 1957
- 6) 藤原宏寿 : 振子様直線運動刺激に対する姿勢反応に関する研究. *耳鼻臨床* 77 : 171-195, 1984
- 7) 松原茂規 : 傾斜に対する姿勢応答. *Equilibrium Res Suppl* 3 : 105-124, 1988
- 8) Nashner LM, Wolfson P : Influence of head position and proprioceptive cues on short latency postural reflexes evoked by galvanic stimulation of the human labyrinth. *Brain Res* 67 : 255-268, 1974
- 9) Mano T, Hibino R, Mitarai G, et al : Electrophysiological study on vestibulo-spinal reflex in man. *Aggressologie* 17 A : 71-76, 1976
- 10) Tokita T, Miyata H, Ito Y, et al : Diagnosis of otolith and semicircular-canal lesions by galvanic nystagmus and spinal reflexes. In ed Graham MD and kemink JL. *The vestibular system : Neurophysiologic and clinical research.* pp. 305-313, Ravan Press, New York, 1987
- 11) Tokita T, Ito Y, Miyata H, et al : Labyrinthine control of upright standing posture in humans. *Progr Brain Res* 76 : 291-295, 1988
- 12) Tokita T, Ito Y, Takagi K : Modulation by head and trunk positions of the vestibulo-spinal reflexes evoked by galvanic stimulation of the labyrinth. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 107 : 327-332, 1989
- 13) Mitrinowicz-MA : Vestibular-Chronaxie und ihre Bedeutung für die Untersuchung des taubstummen Kindes. *Arch Ohren-usw Heilk u Z Hals-usw Heilk* 172 : 175-179, 1957
- 14) Hlavacka F, Njikiktjen CH : Postural responses evoked by sinusoidal galvanic stimulation of the labyrinth. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 99 : 107-112, 1985
- 15) 早野洋司, 時田 喬 : 迷路性誘発筋電図による前庭脊髄系の研究. *Equilibrium Res Suppl* 3 : 132-141, 1988
- 16) 前田正徳, 時田 喬, 宮田英雄, 高木恭也, 伊藤八次, 他 : 頭位と迷路反射. *Equilibrium Res* 49 : 292-300, 1990
- 17) Brodal A, Pompeiano O, Walberg F : The vestibular nuclei and their connections, anatomy and functional correlations. pp 109-126, Oliver and Boyd, Edinburgh, London, 1962
- 18) Hongo T, Kudo N, Tanaka R : The vestibulospinal tract : crossed and uncrossed effects on hindlimb motoneurons in the cat. *Exp Brain Res* 24 : 37-55, 1975
- 19) Brodal A : The reticular formation of the brain stem. Anatomical aspects and functional correlation. pp 12-31, Oliver and Boyd, Edinburgh, London, 1957
- 20) Pompeiano O : Experimental central nervous system lesions and posture. In ed Igarashi M and Black O. *Vestibular and visual control on posture and locomotor Equilibrium.* pp 218-231, Karger, Basel, 1985
- 21) Mergner T, Becker W, and Deeke L : Canal-neck interaction in vestibular neurons of the cat. *Exp Brain Res* 61 : 94-108, 1985
- 22) Boyle R and Pompeiano O : Convergence and interaction of the neck and macular vestibular inputs on vestibulospinal neurons. *J Neurophysiol* 45 : 852-868, 1981
- 23) Brink EE, Suzuki I, Timerick SJB and Wilson VJ : Directional sensitivity of neurons in the lumbar spinal cord to neck rotation. *Brain Res* 323 : 172-175, 1984
- 24) Suzuki I, Timerick SJB and Wilson VJ : Body position with respect to the head or body position in space is coded by lumbar interneurons. *J Neurophysiol* 54 : 123-133, 1985

Abstract

Evoked electromyograms (EMGs) of the muscles of the lower limbs were induced by galvanic stimulation of the labyrinth in this study of vestibulospinal reflexes.

A subject was asked to stand with his eyes closed and his feet close together on a stabilometer and

was stimulated with a galvanic current of 1 mA for 3 s by the bipolar-biaural method. In this study, all examinations were carried out with the cathode on the right ear and the anode on the left ear. Evoked EMGs in the soleus, gastrocnemius, tibialis anterior, biceps femoris, rectus femoris and gluteus maximus muscles were observed with the head facing forward and with the head turned to the right and the left.

With the head facing forward, the activities of the soleus, gastrocnemius, biceps femoris and gluteus maximus muscles increased on the right side and decreased on the left side. The activities of the rectus femoris muscles decreased on the right side and increased on the left side. The activities of the tibialis anterior muscles increased on the right side and could not be observed on the left side. With the head turned to the right, the activities of the soleus, gastrocnemius, biceps femoris and gluteus maximus muscles decreased on both sides and the activities of the tibialis anterior and rectus femoris muscles increased on both sides. With the head turned to the left, the activities of the soleus, gastrocnemius, biceps femoris and gluteus maximus muscles increased on both sides and the activities of the tibialis anterior and rectus femoris muscles

decreased on both sides.

The muscles of the dorsal surfaces of the lower limbs, such as the gluteus maximus, biceps femoris, gastrocnemius and soleus muscles, showed synergic action, and the muscles of the front of the lower limbs, such as the rectus femoris and tibialis anterior muscles, acted synergically.

These muscle activities were modulated by the head position in spite of having the same galvanic stimulation. The result indicates that when the stimulation is replaced with stimulation by linear acceleration, body deviation occurs in a counter direction to the linear acceleration at any head position. The compensatory body deviation serves to maintain balance.

The modulation of the labyrinthine-evoked EMGs of the lower limbs by the head position indicates that the vestibulo-spinal reflexes are regulated by input from the neck proprioceptors.

Key words: vestibulo-spinal system, standing posture, head position, vestibular-neck interaction

(原稿到着：平成2年9月27日
別刷請求先：前田正徳
〒500 岐阜市司町40
岐阜大学医学部耳鼻咽喉科教室)