重心動揺検査と積分筋電図の相関について†

長 山 郁 生・瀧 口 哲 也・中 川 士 郎

重心動揺検査はめまい患者の訴えるめまい感またはフラフラ感を身体の動揺として客観的に記録し、病状を神経耳科学的に説明するために有用であり、その簡便さからひろく臨床検査に利用されている。本方法の原理は、床反力の作用の中心点即ち、足圧中心の移動を記録するものである。足圧の移動を駆動するためには、筋肉の収縮が働いており、したがって筋収縮と重心動揺検査との間に何らかの関係が存在するものと推測される。我々は、下腿筋電図と重心動揺軌跡の同時記録を行い、両者の間に相関関係が存在することを見いだしたので報告する。

対 象

被検者は正常者 10 名、内耳性めまい 9 名、中枢性平衡障害 5 名、めまい症 13 名であり、めまい症は末梢性めまいの寛解状態である。

方 法

1. 重心動揺検査：重心動揺検査は直立閉足位とし、開眼および閉眼について検査を行い、検査時間は各々 60 秒間である。

2. 筋電図検査：下腿三頭筋のうち、腓腹筋直上の皮膚に表面電極を貼布し、表面筋電図を測定した。電極は両足に設置し左右の筋電図を同時記録した。時定数 0.03 sec、感度 0.1mv/0.5V とし、積分記録計は、0.1sec で平均化をおこない、感度は 0.2V/sec 1 division とした。実験のブロックダイアグラムを図 1 に示した。

分析方法

重心動揺軌跡波と積分筋電図を同時に CRT 上に表示し、右足筋電図と重心動揺軌跡波の左右方向（x 軸）及び前後方向（y 軸）とを比較した。左足筋電図についても同様の比較を行った。1 例を図 2 に示した。重心動揺軌跡波左右方向と右足筋電図との比較を x-r とし、左足とのそれを x-l とする。重心動揺軌跡波前後方向と筋電図との比較をそれぞれ y-r、y-l として、各々について相関係数を算出する。サンプリングタイムは 0.05Hz であり、相関係数の算出に関しては波形の距離を計測する

図 1 ブロックダイアグラム。

方法によった¹⁾。

ついで、内耳性めまい患者 4 名、中枢性めまい 4 名、正常者 4 名を対象とし重心動揺の大きさと相関係数との関係について調べた。動揺の大きさの指標としては、瀧口²⁾の示した総振幅を用い、結果を図 4 に図示した。

結 果

4 群の成績を表 1 に示した。相関係数の検定を行うと、0.5 から 0.56 までの値は 5 % の有意水準で有意な相関を示し、0.57 以上は 1 % の有意水準で有意な相関を示している。図 2 に示したごとく、波形を重ねあわせみると、相関係数の値は波形間の類似性をよく表しており、直感的にも理解しやすいものとなっている。そこで、5 % 有意水準の場合を波形が一致する傾向を有するもの、1 % 有意水準の場合を波形が高度に一致するものとし、これら以外のものと区別した。

x 軸と y 軸をくらべると、明らかに y 軸のほうに高い相関がみられた。y 軸において右足と左足とをくらべると、左足の方に高い相関がみられた。

動揺の大きさと相関係数との関係については、図 3 から、動揺が小さい場合は両者のあいだに相関はみられないが、動揺が大きくなるにつれ、相関が高くなる傾向を示した。

考 察

人の直立姿勢は絶えず動揺しており、重心が変化することにより、重力の加速度に変化を来し、それに対応する床反力を生ずることによって姿勢の安定が保たれている。重心動揺計は床反力の作用の中心点、即ち足圧中心を計測しており³⁾、この足圧中心の移動に最も寄与するのは、下腿筋群であると考えられる。一方、楽な姿勢で

† Correlation between Posturography and Integrated Electromyography
Ikuo Nagayama, Tetsuya Takiguchi and Shiro Nakagawa
金沢大学医学部耳鼻咽喉科学教室

図2 重心動揺と積分筋電図の同時記録。

- 1) 黄：重心動揺左右方向。
- 2) 緑：重心動揺前後方向。
- 3) 青：積分筋電図右足。
- 4) 赤：積分筋電図左足。

表1 相関係数の平均と標準偏差 ($\times 10^{-4}$)

○：5%有意水準，●：1%有意水準，O：開眼，C：閉眼

		x-r	x-l	y-r	y-l	n
内耳性	O	4453 $\pm$ 2474	4996 $\pm$ 1538	5076 $\pm$ 2388○	6864 $\pm$ 1657●	9
	C	4225 $\pm$ 2221	4249 $\pm$ 1599	5305 $\pm$ 2575○	6080 $\pm$ 1967●	
中枢性	O	4872 $\pm$ 1338	5265 $\pm$ 2275○	5687 $\pm$ 785○	6821 $\pm$ 767●	5
	C	5298 $\pm$ 1916○	5346 $\pm$ 1620○	5447 $\pm$ 416○	5629 $\pm$ 827○	
眩暈症	O	3246 $\pm$ 2713	3648 $\pm$ 2249	5973 $\pm$ 1856●	6085 $\pm$ 2109●	13
	C	4638 $\pm$ 2249	3719 $\pm$ 1798	5767 $\pm$ 2314●	5910 $\pm$ 1345●	
正常者	O	1853 $\pm$ 1448	3762 $\pm$ 449	4059 $\pm$ 2564	6317 $\pm$ 942●	10
	C	4287 $\pm$ 1230	3111 $\pm$ 695	6622 $\pm$ 858●	6840 $\pm$ 1282●	

直立した場合に姿勢保持に働く筋群は、腹腰筋、下腿三頭筋、前脛骨筋、腓腹筋であるといわれる⁹⁾。したがって、下腿筋群は直立姿勢の維持及び動揺の補正に深く関与しており、重心動揺検査に及ぼす影響は大きいものと考えられることから、下腿筋活動を計測することを試みた。

直立姿勢における、下腿筋群の筋発射については、福田⁹⁾は前脛筋には筋活動を認めず、腓腹筋に筋活動を認めた、と述べている。予備実験によって、前脛筋と下腿三頭筋の筋発射を調べたところ、前者は殆ど筋発射が見

られなかったことから、後者を主な対象として実験を行った。

その結果、前後方向において下腿筋の積分筋電図と重心動揺との間には相関関係が存在することが判明した。相関は動揺が大きくなる程高い値を示した。また、下腿三頭筋筋電図は前後方向の動揺に相関が高く、左右方向へは低いことから、前後方向の動揺と左右方向の動揺とは区別されるべきであろうと考えられた。即ち、前後方向の動揺は、下腿筋の活動によって持たられるが、左右方向の動揺は、これ以外の筋の活動によって持たらさ

図3 総振幅と相関係数。

縦軸：相関係数 横軸：総振幅
開眼，閉眼いずれの場合も，動揺値が大きくなるにつれ，相関係数が高くなることを示す。

a: 棒の如くに揺れる b: 上半部の揺れが大きい
c: 上半部の揺れが小さい

図4 前後動揺のモデル。

図は足関節を中心として前後方向に動揺している様子を示す。この場合，a，b，c，3つの揺れ方が考えられる。

れるものと推測された。

正常被検者の開眼においては，下腿三頭筋発射は殆どみられないが，閉眼において，筋発射をみるようになる。これは，閉眼によって動揺中心の前方偏位が生ずることによるものであり，この場合，直立姿勢は前傾していると考えられる⁹⁾。Asmussen⁷⁾は直立姿勢の調節について，前傾したマストを後方から牽引するように背側部の抗重筋が作用していると述べている。したがって，閉眼時に下腿筋活動が増強するのは，閉眼により，前傾姿勢が増し（つまり動揺中心が前方へ偏位する），下腿筋の

伸展反射が活発になったことを示している。

さらに，前後動揺と下腿筋電図の相関が高くなることから，次のような考えが示唆される。下腿三頭筋は足関節に作用する筋であり，直立姿勢においてこの筋の活動が盛んになることは，足関節を支点として揺れていることを示し，かつ相関が高くなることは足関節を支点とする動揺に身体動揺が移行することを意味している。身体動揺はしばしば足関節を支点とした逆さ振子の動きにたとえられるが，今回の結果はこの仮説を支持するものとなった。足関節を支点として揺れる動揺モデルを考えると，身体が剛体として1本の棒のごとくに揺れる場合，上半部が先行して揺れる場合，上半部が遅れて揺れる場合の3つの状態が考えられるが，今回の実験ではこれらを区別することができなかった（図4）。

Nashner⁸⁾ および Black⁹⁾ は身体動揺に果たす深部知覚からの入力情報を足関節に作用する下腿筋に求め，moving platform を考案した。我々の実験結果からみて，この考えは前後方向の動揺に関しては納得できるものであるが，左右方向に関しては必ずしも首肯できるものではない。

高木¹⁰⁾ はフィードバックモデルを用いて直立姿勢を分析した研究のなかで，迷路性，中枢性，末梢性平衡障害中，一側性迷路障害が左右方向に周期性を認めた他は，前後方向に周期性を認めた例が多かったことを報告しており，足関節を支点とした前後動揺が優位となるとする我々の見解と一致する。

y 軸において右足と左足とを比べた場合、左足に高い相関がみられる。これは、前後方向の動揺を左足で調節していることを示すものである。理由としては、左足を支持足としているためではないかと考えられる。重心動揺検査により偏位を検出する場合には考慮すべき事柄であろう。

左右方向の動揺を調節する筋群は、前後方向を調節する筋群とは異なると推測されたが、左右方向の動揺を調節する筋群として最も適当なものは、いずれの筋群であろうか。両下肢への荷重の移動を能率よくしかも迅速に実行するには、腰部から仙骨部にかけて分布する筋群を想定するのが最も合理的である。福田⁵⁾は腰背部の抗重筋活動のうち、仙棘筋(m. sacrospinalis)が最も活発な筋活動を示したと述べていることから、左右方向の重心動揺に関しては、この筋との相関が高いのではないかと類推される。

左右方向のみに高い相関を示す結果は得られなかったが、中枢性において、前後、左右ともに高い相関がみられた。このような条件を満たす可能性として、斜め方向に動揺していることが示唆される。しかしながらこのような動揺の意味する臨床的な意義については不明である。

左右方向の動揺を筋電図と重心動揺検査の両面から検討することは今後の新たな課題である。

ま と め

積分筋電図と重心動揺の同時記録を行い以下の結果を得た。

1. 前後方向の動揺に関して、下腿三頭筋筋電図と重心動揺の相関は高値を示した。

2. 相関は動揺が大きくなるほど高値を示すことから、動揺が大きくなるほど足関節を中心とした動揺が優勢となることが推測された。

3. 左右方向の動揺は、下腿三頭筋以外の筋活動によって、もたらされると推測した。

稿を終えるに臨み、御校閲いただきました古川 俊教授に感謝いたします。

論文の要旨は第47回日本平衡神経科学会において口演した。

文 献

- 1) 松田 稔：デジタル信号処理入門。92-11 頁，日刊工業新聞社，東京，1986
- 2) 瀧口哲也：重心動揺検査の総合的評価に関する研究。耳展 29：217-240，1986
- 3) 江原義弘：土屋和夫監修，臨床歩行分析懇談会編。臨床歩行分析入門。61-94 頁，医歯薬出版，東京，1989
- 4) 小川鼎三，森 於菟，森 富，大内 弘：解剖学 1，第9版。330 頁，金原出版，東京，1968

- 5) 福田 精：運動と平衡の反射生理。第2版，72-85 頁，医学書院，東京，1981
- 6) 長山郁生：重心動揺計による身体偏位の観察。耳鼻臨床 76：197-222，1983
- 7) Asmussen E：The weight-carrying function of human spine. Acta Orthop Scand 29：276-290，1960
- 8) Nashner Lm：A model describing vestibular detection of body sway motion. Acta Otolaryngol (Stockh) 72：429-436，1971
- 9) Black FO, Nashner LH：Postural disturbance in patients with benign paroxysmal positional vertigo. Ann Otol Rhinol Laryngol 93：595-599，1984
- 10) 高木恭也：フィードバックモデルをあてはめた直立動揺の解析。Equilibrium Res Suppl 3：80-104，1988

要 旨

身体動揺は姿勢維持筋の活動と密接な関係を有していることが想像されることから、今回我々は、姿勢維持筋として下腿三頭筋を選び、重心動揺検査における軌跡波と筋電図との関係について調べた。筋電図を時定数 0.1 sec で積分し積分波形を得ることにより、重心動揺軌跡波との比較が可能となった。重心動揺が小さい場合は両者の間に相関はみられないが、大きくなると相関関係が明らかとなった。

前後方向の揺れと積分筋電図とは極めてよく相関した。左右方向の揺れと筋電図とは低い相関であった。これらのことから、次のことが推測された。左右方向と前後方向の身体動揺は異なった筋によってもたらされる。身体の動揺は揺れが大きくなるにつれ、足関節を中心とした動揺に移行する。前後動揺のモデルは逆さ振子の揺れに類似していると考えられた。

Abstract

Posturography (PG) and integrated electromyography (EMG) were recorded simultaneously and their inter-dependence was examined. Surface electrodes were placed on the skin over the triceps surae bilaterally because these muscles control the center of foot pressure to maintain stability in the standing position. Electromyograms were integrated with a time constant of 0.1 sec. Two oscillations, one from PG and one from integrated oscillations of EMG, were correlated. As long as body sway was limited to a small area, the two waves showed no correlation. However, with larger body sway, the

correlation was higher. Oscillations in the antero-posterior (A-P) direction showed the highest correlation of PG and EMG. On the other hand, when oscillations were in the right-left (R-L) direction the correlation of PG and EMG was lower. These findings indicate that A-P oscillation and R-L oscillation are independent in PG in the standing position. The positive correlation between PG and EMG implies that the pivot of

body sway is in the ankle joint. These findings support the theory that body sway oscillation resembles that of an inverted pendulum.

Key words : posturography, electromyography, correlation

(原稿到着：平成4年2月7日
別刷請求先：長山郁生
〒920 金沢市宝町13番1号
金沢大学医学部耳鼻咽喉科学教室)