

# Agonist-Antagonist EMG Ratio Method を用いた脳卒中患者の歩行分析

平野 友久<sup>1</sup>・井口 茂<sup>2</sup>・穂山富太郎<sup>2</sup>

**要 旨** Agonist-Antagonist EMG Ratio Methodを用いて、歩行周期内の前脛骨筋 (tibialis anterior : TA)と下腿三頭筋 (triceps surae : TS) の活動変化を TA-TS correlationgram として視覚的にとらえることができた。健常者は双曲線様カーブを描き、脳卒中患者の立脚期を4群に分類した。A群：前半はTA優位からTS優位へ、後半はTA優位へ戻る。相反性抑制が保たれ健常者に近い。B群：前半は緊張性相反性抑制のためTAは変化せずTSだけが増減し、後半はTA優位へ移行する。C群：同時収縮によるTA/TS = 1に平行な動きを繰り返す。D群：TAとTSは常に高値をとり、顕著な同時収縮を示す。本法は歩行時の緊張性相反抑制や病的同時収縮の評価に有用である。

長崎大医療技短大紀 14(1): 15-21, 2001

**Key Words** : Agonist Antagonist EMG Ratio Method, TA-TS correlationgram, 脳卒中, 歩行分析

## はじめに

ヒトの正常な歩行運動では、脊髄内の相反神経支配に基づく動筋・拮抗筋間の相反性筋活動がみられる。これらは高位中枢である大脳皮質や、中位の小脳・脳幹など上位中枢から制御され、さらに末梢の感覚情報から微調整が行われる<sup>1)</sup>。脳卒中などの痙性麻痺では、上位中枢の障害により病的な同時収縮や緊張性相反性抑制などが生じ異常歩行を呈する。

健常者の歩行運動に関する筋電図学的研究は多くの報告<sup>2)</sup>があり、その周期内における筋活動パターンはよく知られている。しかし、これらの方法は個々の筋を取り出してパターン化するものが多く、動筋・拮抗筋間の相対的な活動を一元的に評価できない。

ここでは慢性期脳卒中患者の成人片麻痺について、歩行周期内の前脛骨筋 (tibialis anterior : TA) と下腿三頭筋 (triceps surae : TS) 間の関係をより客観的に評価するため、動筋・拮抗筋を1つの単位としてとらえ相対的な筋活動を経時的に把握するために、Agonist-Antagonist EMG Ratio Method を用いてTA-TS correlationgram<sup>3)</sup>を作成し分析した。この結果と歩容等の臨床所見との関係について考察し、その臨床的意義について検討したので報告する。

## 対 象

慢性期脳卒中患者10名。疾病は脳梗塞6名、脳出血4名。病変部位は全例とも大脳半球に局限し、腱移行などの手術歴を持たなかった。性別は男性8名、女性2名。年齢は47~77歳 (平均60.3 ± 9.8歳)。発症後期間は8ヶ月から23年(平均9.7年)。対照として、健常成人1名を被験者とした。

## 方 法

患者に裸足自由歩行を行わせ、麻痺側のTAとTSより表面電極を用いて活動電位を導出するとともに、歩行解析システムにて床反力と筋電図を同期させた。各症例毎に10ストライドについて分析した。筋活動は整流平滑処理し、10msにてデジタル変換した。歩行周期内の活動電位の最大値を100%として換算し、正規化した値(% of Maximum EMG : %TA, %TS)を求めた。時間軸はone strideを100%として、%Timeを求めた。そして%TAを縦軸に、%TSを横軸にとりTA-TS correlationgramを作成し、そのパターン化により相反性筋活動の経時的変化を評価した。

評価した臨床所見は表1に示す項目で、Brunnstrom Stage (以下, Br.stage), 穂山らのspastic score<sup>4)</sup> (0~12点で評価), 筋力・患側下肢の安定性を調べた。歩行分析は歩行スピードと歩容とし、特に下肢関節の位置関係について観察した。そして、correlationgramのパターン分類と臨床所見から検討を加えた。

表1. 臨床所見

片麻痺機能検査	: Brunnstrom Stage
痙 性	: Spastic Score
筋 力	: MMT
患側片脚起立時間	
10m歩行速度	
歩行分析	: 患側骨盤挙上、内反、尖足 立脚前期・中期・後期

1 上戸町病院リハビリテーション科

2 長崎大学医療技術短大部理学療法学科

結 果

1) TA-TS correlationgram

健常者の代表例は図1に示すように、双曲線様のカーブを描いた。立脚初期にはTA 優位な活動相で始まり、TA が踵接地時に一瞬の間に急激に増加し、すぐに減少した。その間、TS の変化はみられなかった。その後はTS の増加とともにTA が減少し、TA 優位からTS 優位へと移行した。二重支持期はTS 優位相で、TA は変化せずTS のみが増減した。遊脚期にはTS の減少とともにTA が増加し、TS 優位からTA 優位へと移行した。

一方、脳卒中患者の correlationgram は個体差が非常に

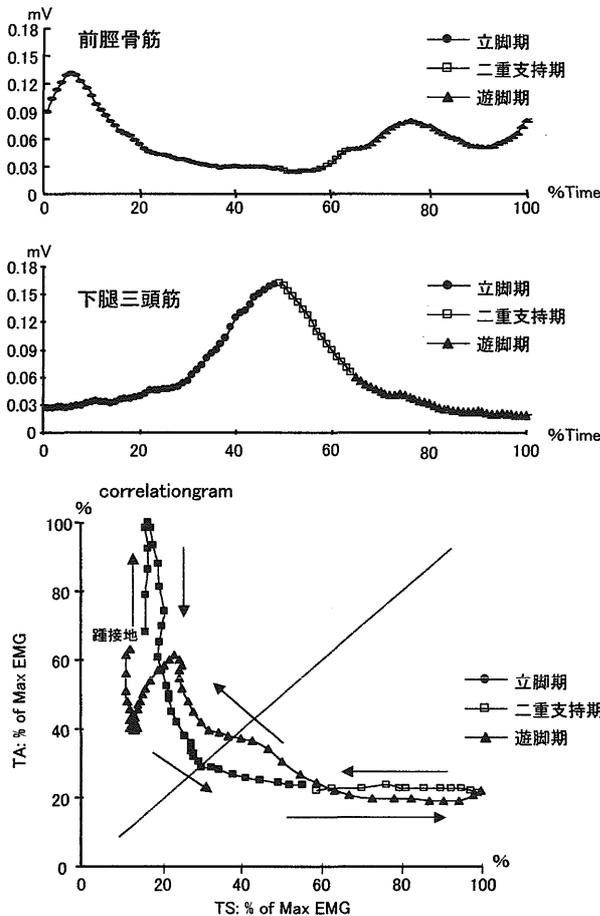


図1. 健常者のEMG波形とCorrelationgram

表2. Correlationgramのパターン分類

A 群	3名
B 群	2名
C 群	4名
D 群	1名

- A 群：前半はTA 優位からTS 優位へ、後半はTS 優位からTA 優位へ移行する。
- B 群：前半はTA は一定でTS のみが増加し、後半はTA 優位へ移行する。
- C 群：TA の増減とTS の増減が同時に起こり、それが繰り返される。
- D 群：TA・TS は常に高値をとる。

大きく、特に遊脚期は健常者と比べ短縮していたが、その他に一定の傾向はみられなかった。しかし立脚期についてTA とTS の相対的な変化から、表2のように4群に分類することができた。各群の代表例を図2から図5に示す。

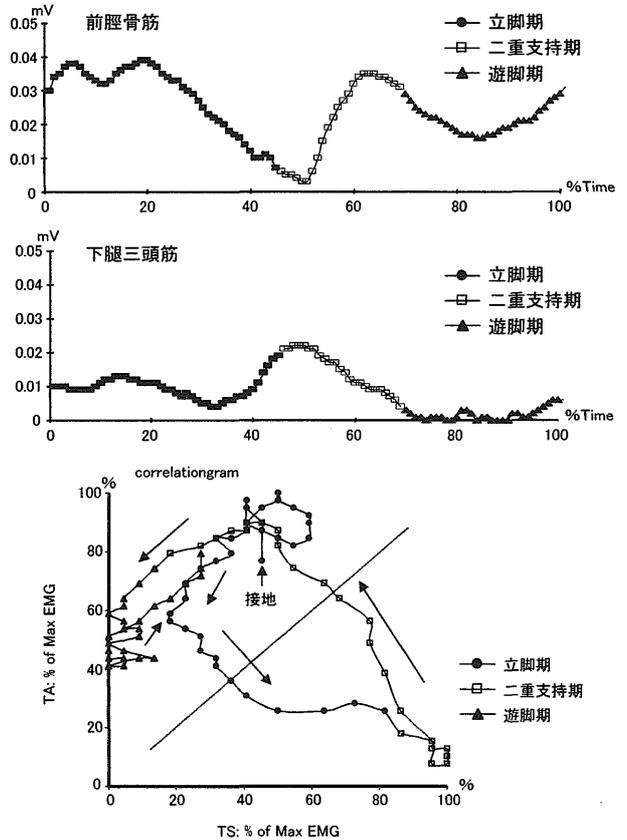


図2. Correlationgram-症例1 (A群)-

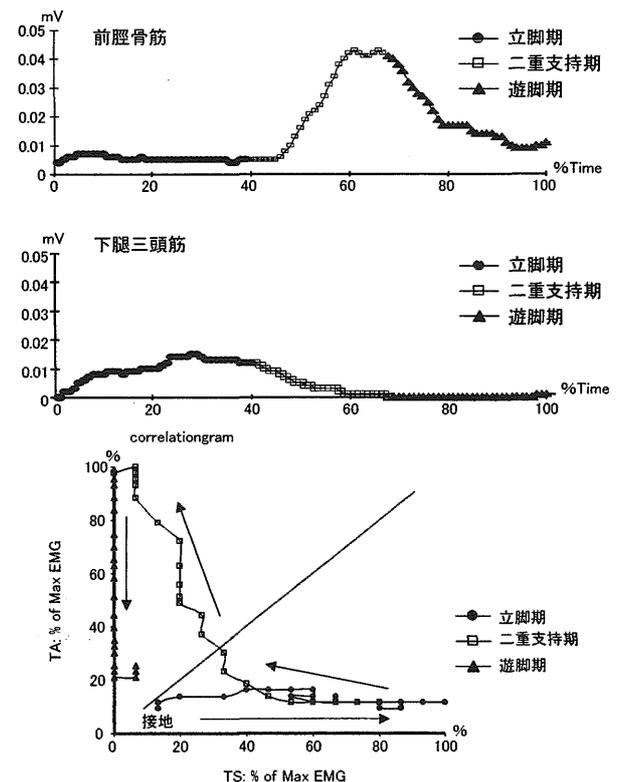


図3. Correlationgram-症例4 (B群)-

脳卒中患者の歩行分析

A群は立脚期前半がTA 優位からTS 優位へ、後半はTS 優位からTA 優位へ移行した(図2)。B群は立脚期の前半はTA の低値で変化せずTS のみが増加し、後半はTA 優位へ移行した(図3)。C群は立脚期全体を通

してTA の増減とTS の増減が同時に起こり、それが繰り返された(図4)。そしてD群は立脚期中ずっとTA とTS は常に高値をとり、変化しなかった(図5)。

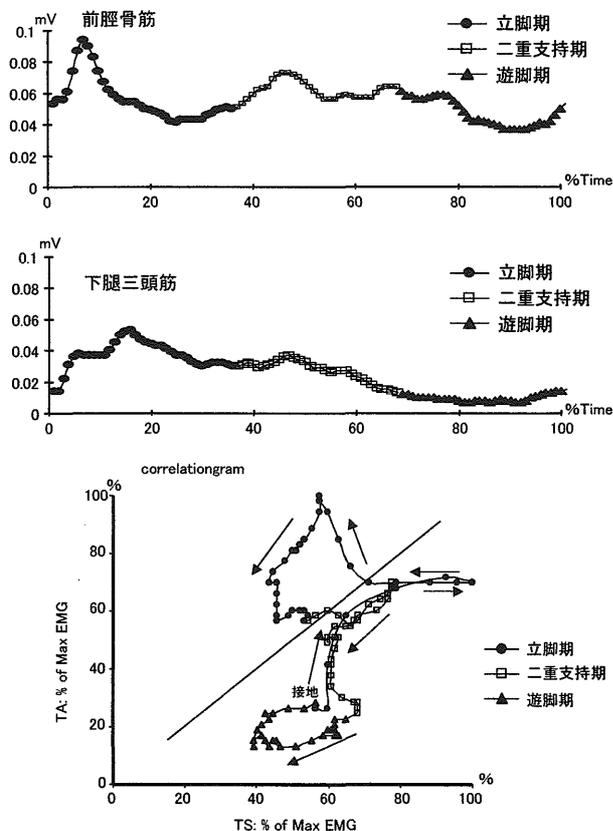


図4. Correlationgram-症例8 (C群)-

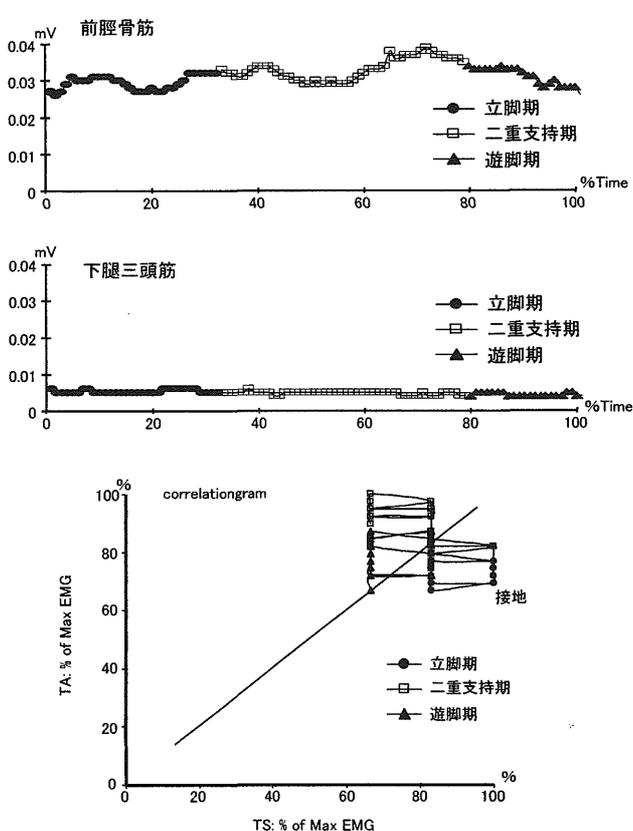


図5. Correlationgram-症例10 (D群)-

2) 臨床所見

各群ともBr.stageはⅢ以上で、C群にstageⅣが1名認められたが、A群からD群に向かうにつれ、低くなる傾向で

あった。spastic scoreは、A群6.7点(5~9点)、B群 10.3点(10~11点)、C群 10.0点(9~11点)、D群 11.0点でA群からD群に向かうにつれ、高くなる傾向であった(表3)。

表3. Correlationgramのパターン分類別臨床所見

パターン分類 臨床所見	A群			B群		C群				D群
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Br.Stage	V	V	V	IV	III	III	IV	III	III	III
Spastic Score	5	9	6	10	11	10	10	9	11	11
MMT-TA	4	4	4	2	2	2	3	2	2	2
-TS	4	4	5	4	4	4	5	4	5	3
患側片脚起立時間(sec)	5	3	3	1	0	0	1	0	0	0
10m歩行速度(sec)	10	11.5	9	12	14	12.3	16	17	97	77
歩幅(足長)	2	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1
患側骨盤挙上	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+
内反	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
尖足	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+
hammer toe	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+
立脚前期:踵接地の有無	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
立脚中期:膝屈曲の有無	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
立脚後期:踵離地の有無	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

徒手筋力テストでは、TAがA群4、B群2、C群2～3、D群2でB群、C群、D群で低かったが、TSではばらつきがみられ、一定の傾向はみられなかった。

10m歩行速度はA群、B群とも10秒前後で差はみられず、C群で16.5秒とやや遅く、D群では77秒と非常に遅かった。また、患側片脚起立は、A群のみが数秒間可能であった。

歩容についてはA群は、立脚前期はheel contactで接地し、中期の膝屈曲と後期のheel offにより体幹は滑らかに前方移動していた。足部の離床が遅れる例もあったが、踵部から接地しており正常に近い歩行を呈していた。歩幅は2.0～1.5足長で健側との差はみられなかった。

B群は、立脚期直前は尖足位で、heel contactはなかった。中期の膝屈曲は起こらず、急速にheel offが起こり二重支持期へ移行した。遊脚期で患側の骨盤の挙上のみられ、歩幅は1.5足長で健側より若干短かった。

C群は、遊脚後期に内反・尖足となり、heel contactはみとめなかった。立脚中期で膝関節の屈曲は起こらず、単脚支持期には股関節屈曲・体幹前傾とともに軽度のheel offのみられた。歩幅は1.5～1.0足長で、健側より明らかに短かった。

D群は、内反はみられないが尖足位を呈し、heel contactはなかった。立脚期を通して足関節は底屈位からほとんど動かず、膝関節も屈曲せずheel offも起こらず、さらに股関節屈曲・体幹前傾もみられなかった。そのため健脚後型の歩行パターンを呈していた。歩幅は1.0足長しかなかった。

## 考 察

歩行運動は脊髄内の相反神経支配に基づくstepping generator<sup>5)</sup>を最も基本的な要素とし、動筋・拮抗筋間の収縮・弛緩が起こり、下肢の屈曲と伸展が繰り返されることによって生起する。除脳ネコの匍匐運動に関する研究<sup>6)</sup>では、リズム解発系・筋緊張制御系・位相制御系には各々に促通と抑制を起こす経路が明らかにされている。ヒトにおいても同様の経路による運動制御が推測されており、脳卒中患者では大脳から脳幹・小脳・脊髄へ放射されるインパルスに変調をきたし、様々な歩行障害のパターンを生ずると考えられる。また、末梢からの感覚情報が不十分になれば、フィードバックが障害され滑らかさに欠けてくる。

成人片麻痺では、1. いろいろな程度 of 感覚障害、2. 痙性、3. 正常姿勢反射メカニズムの障害、4. 選択的運動パターンの消失<sup>7)</sup>などにより、種々の感覚-運動障害が出現する。歩行時の筋活動において、下肢全体の屈曲・伸展パターンのいづれかに影響を受け、痙性が強ければ病的同時収縮や緊張性相反性抑制のため伸展緊張優位となる。

健常者TA-TS correlationgramの双曲線様カーブは、立脚期で接地直後に足関節の底屈を制御するためにTA

が遠心性収縮<sup>8)</sup>し、TAが急激に増減する。立脚中期はTSが重心の前方移動を制御する遠心性収縮のため緩やかに増加し、TAが大きく減少する。さらに対側下肢の振り出しを助けるためTSが大きく増加して下肢の安定性を図り、TAは緩やかに減少する。二重支持期で対側下肢が体重支持を開始するまでのバランスを維持するのに必要な瞬間的なつま先支持の時間で、TSが急激に増減する。遊脚期ではTSが膝屈曲筋としての働きを急速に弱めながら大きく減少し、TAが緩やかに増加する。その後は下肢を前方へ振り出しながら足関節の背屈が起こりTAが大きく増加し、TSが小さく減少する。また立脚初期と二重支持期で動筋の活動が活発になると拮抗筋は不活化するがsilenceにはならないこと、立脚中期と遊脚期のTA/TS=1との交差は相反的な筋活動の推移を明瞭に表している。このようにTA-TS correlationgramの作成によって、歩行中のTAとTSの相反性筋活動を視覚的に評価でき、病的歩行の様態を理解しやすい。

次に脳卒中患者TA-TS correlationgramについて、各々のパターンの軌跡を追いながら歩行周期内におけるTAとTSの相対的な変化について検討する。

A群(spastic scoreは9点以下、Br.stageは全例V)はTAのMMTが高く、立脚期はTA優位のheel contactで始まる。その後は膝屈曲とともにTSが増加しTAが減少して、重心の前方移動が起こる。そしてheel offも加わり、TSはさらに増加して蹴り出し二重支持期となる。後半もTSが減少するとTAが増加し相反性抑制は保たれており、健常者に近いパターンといえる。しかしheel contact時のTAは急上昇が弱いため制御が不十分で、TSが高く下肢の安定を保つためにはTAが高値で推移し、極めて短時間の同時収縮が起こっていると考えられた。また二重支持期に描かれるTS減少・TA増加の部分は健常者では遊脚相にみられることから、離床が非常に遅れていることがわかる。伸展パターンにより対側への重心移動が不十分で安定性が得られず、健常者のようにTSの高い時点での離床は起こらない。これは二重支持期で健側下肢への重心移動を行い伸筋の緊張を高め、脳幹からの歩行位相制御と交叉反射によって、下肢全体の屈曲パターンが起こりTAの活動は増加する。その結果TSが抑制され離床すると考えられる。

B群(spastic scoreは10～11点、Br.stageはⅢ～Ⅳ)はTAのMMTが低く、立脚初期はheel contactがなく、TAの上昇は起こらず制御できない。その後TSが急速に増加するがTAは変化せず、過剰な緊張性相反性抑制と考えられる。この強力なTSが遠心性収縮を起こし重心の前方移動を制御しかつ下肢を安定させ、直ちにheel offが起こり蹴り出しに入る。二重支持期はA群と同様にTA増加・TS減少する相反性抑制が保たれたパターンを描き、遊脚期へ移る。

C群(spastic scoreは9～11点、Br.stageはⅢ～Ⅳ)はTAのMMTが低く、B群と同様だが立脚直前は内反・

尖足位で、heel contact はみられない。前足部接地による陽性支持反射のため TS と TA に病的な同時収縮が起こったものと考えられる。穂山らは痙性が著しい片麻痺型脳性麻痺の correlationgram では、相反性筋活動が障害された同時収縮を示す TA/TS=1 に収束する波形を呈すると述べており<sup>9)</sup>、C群のパターンもこれに相当すると考えられる。

接床後は、膝屈曲が起こらず足関節は底屈位のままで、同時収縮によって下肢を安定させる。その一方で重心の前方移動が困難になり、これを代償するため heel off で蹴り出した後に体幹を前傾させ、反張膝を呈し両脚支持期となる。この前後に TA/TS=1 に平行するようなパターンを繰り返す。遊脚期への移行は同時収縮と対側下肢の安定性の程度に左右される。

D群 (spastic score は11点, Br.stage はⅢ) は TA の MMT が低く、B・C群と同様であった。TA・TSともに常に高値にあり、同時収縮が顕著な痙-固縮 (rigido-spasticity, spastic-hypertonus) の状態にある。heel contact, 膝屈曲, heel off はなく足関節は常に底屈状態にあり重心の前方移動はできず、駆動力を生み出す蹴り出しの肢位は全くとれない。単脚支持期でも下肢の安定性が不良なため、対側下肢の振り出しも障害され、健脚後型の歩行パターンとなる。従って、対側下肢に短時間だけしか駆動期を持たず歩行スピードは極端に低下する。

spastic score は中等度以上の痙性では筋の短縮のため一様に高い値をとり、Br.stage では stage が同程度で

も種々の歩行パターンを呈する。spastic score は一定肢位での痙性評価であり、Br.stage は分離運動の状態を観察している。TA と TS は常に変化しているため、歩行運動中の痙性評価には、相反性筋活動を経時的に捉えなければならない。脳卒中などの痙性麻痺の歩行分析においては、TA/TS correlationgram を作成することで痙性を中心としたA群～D群のような視覚的パターン分類が可能になる。しかし、同一群内でも症例毎に差異がある (図6)。そのため spastic score や Br.stage などの評価を加えることで、患肢の各関節の角度や重心移動・非麻痺側下肢の安定性、さらに立脚期・遊脚期の位相制御の障害など推測でき、歩行周期内の臨床観察の結果を理解しやすい。

Knutsson<sup>10)</sup>は股・膝・足関節周囲の筋について、健常人における歩行周期内の最大筋電位を100%とする包絡線を求め、これと脳卒中片麻痺患者の患肢の筋活動パターンを比較して異常所見を分類した。TA や TS の筋活動が低い例では、周期内での微妙な動きはわからず相反抑制の評価は困難であり、同時収縮する筋群の関係は明らかにされていない。我々の方法は、TA と TS について被験者における歩行周期内の最大筋活動を100%と設定することで、筋活動の電位が非常に小さくとも、TA と TS 間の相反性抑制を中心とした筋活動の変化を観察することができた。この筋活動は複数の関節にまたがる神経回路も考えられており<sup>11)</sup>、今後は股・膝関節部周囲筋についても分析を深めるとともに、装具療法や観血的治療などの効果判定に応用を拡げていきたい。

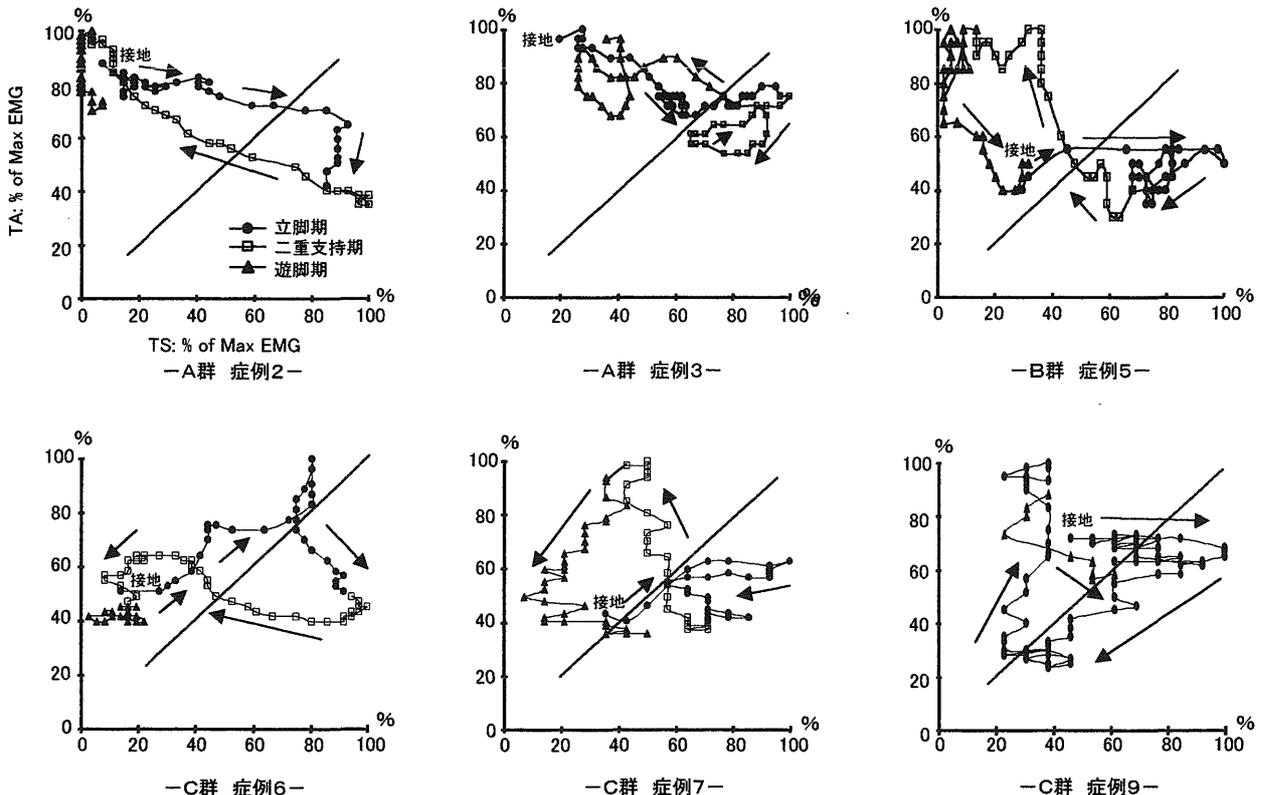


図6. Correlationgram

## まとめ

- ① Agonist Antagonist EMG Ration Methodを用いて、脳卒中患者の歩行周期における筋活動を分析した。
- ② 脳卒中患者の立脚期について、correlationgramのパターンは4群に分類された。A群はTA優位からTS優位へ、そしてTS優位からTA優位へ移行し、相反性抑制が保たれている。B群はA群に似るが、TSの収縮に伴いTAが過剰な抑制を受ける。C群は、病的な同時収縮を示す $TA/TS=1$ と平行する動きを繰り返す。D群は、rigido-spasticityのためTAとTSは常に高値をとり、同時収縮が顕著である。
- ③ Agonist Antagonist EMG Ration Methodは、歩行などの動的な筋活動における緊張性相反性抑制や病的な同時収縮の評価に有用である。

## 文 献

- 1) 森成美：起立から歩行へ—中枢神経の姿勢保持機構—，神経進歩，35：173-188，1991
- 2) 萩島秀男監訳，Paul E. Ploppsteg，Philip D. Wilson：人間の手足，医歯薬出版，東京，1975，p248-249
- 3) 井口茂，中野裕之，鶴崎俊哉，沖田実，穂山富太郎：歩行時における主動筋・拮抗筋の相反的活動の分析，理学療法学22（2），252，1995。
- 4) 穂山富太郎，川口幸義：Heel Gait Cast療法，整形外科MOOK，No.20：141-154，1981
- 5) 島村宗夫：歩行運動の制御機構，神経進歩，35：197-208，1991
- 6) 高柳慎八郎（編），森成美：脳性麻痺（6），協同医書出版社，東京，1986，p3-32
- 7) 紀伊克昌他訳，Berta Bobath：片麻痺の評価と治療，医歯薬出版，東京，1972，p1-13
- 8) 窪田俊夫，大橋正洋監修，臨床歩行分析研究会編：歩行障害の診断・評価入門，医歯薬出版，東京，1997，p67-69
- 9) 穂山富太郎，中野裕之，井口茂，大城昌平：Heel Gait Cast法から検討した痙性抑制について，日本義肢装具学会誌，11：147-152，1995
- 10) Knutsson E：Gait control in hemiparesis，Scand J rehab Med，13：101-108，1981
- 11) 有働正夫：歩行の生起，神経進歩，35：189-196，1991

Gait analysis in cerebral stroke with the agonist-antagonist  
EMG ratio Method

Tomohisa HIRANO<sup>1)</sup>, Shigeru INOKUCHI<sup>2)</sup>, Tomitaro AKIYAMA<sup>2)</sup>

1) Kamitomachi hospital

2) Department of Physical therapy, The School of Allied Medical Science, Nagasaki University

**Abstract** The reciprocal muscular activity between the tibialis anterior (TA) and the triceps surae (TS) at a human walking cycle was visualized as a TA-TS correlationgram with the agonist-antagonist EMG ratio method. One of the gait cycle in normal adults exhibited the curve near a hyperbola. The other of one stride in the patients with cerebral stroke was classified into four groups. Group-A : The locus of TA-TS correlationgram traveled from TA dominant area to TS dominant one at the first half, and it came back to TA dominant one at the second. The orbit showed a curve near that of normal adults. Group-B : TA was constant at the first, while only TS increased and decreased. The muscular activities observed a tonic reciprocal inhibition. At the second the locus went to the TA dominant area. Group-C : The locus repeatedly traveled on several line parallel to  $TA/TS=1$  that exhibited co-contractions. Group-D : TA and TS were usually high value for rigido-spasticity.

The TA-TS correlationgram with the agonist-antagonist EMG ratio method is useful for the assessment of tonic reciprocal inhibition and pathological co-contraction at a walking cycle.

Bull. Sch. Allied Med. Sci., Nagasaki Univ. 14(1): 15-21, 2001