

会長講演

私の歩行研究*

鈴木 良平

(長崎大学整形外科)

リハビリテーション医学の中で、歩行分析は最も重要な分野の一つであることは論を俟たない。

ヒトの直立二足歩行は、locomotionのうちで最も特殊な進歩した運動であり、そのメカニズムは極めて複雑である。古くから種々な分析方法が用いられてきたが、一つのパラメーターだけを用いても、群盲象をなでるのとえのように、十分な理解は得られない。

私は約35年前から現在まで、歩行の研究を続けてきた。種々のパラメーターを用い、これらを組合わせて、十分な理解を得たいと心がけてきた。一方臨床的には、できるだけ簡単な、患者に負担を与えない方法が理想的である。これらの中にあつて、経済的制約を受けながらも、長い間同じ目標に向かって研究を続けてこられたのは、多くの優れた人々の献身的な援助があったためである。

以下に私の今までのささやかな歩みの跡をふりかえり、方法論の進歩、現在の長崎大学方式、いくつかのトピックスを述べてみたい。

歩行研究の個人史

1950年頃から、私は時実、津山の指導を受けて筋電図の研究を開始した。当時多発したポリオの筋電図学的研究と共に、動作学に取り組み、起立、歩行の筋電図学的研究を行った¹⁾。当時はアンプも、電極も、foot switchも手製で、横河式電磁オシロで、紙フィルムに記録した。同心型針電極を用い、foot switchに合わせて、各筋の筋電図を1枚の紙にプロットした。拮抗筋移行術がよく行われたが、その機能転換の状況を筋電図学的に追究した。そのほか多くの動作学的研究、病的歩行などにも手を伸ばしていた。

1960年には私は福島医大へ移り、細々ながら歩行の

研究を再開した。様々な試行錯誤の過程を経ているうちに、Ducroquet父子の“La marche et les boiterines”²⁾を入手し、光学的方法の重要性を知った。ストロボ撮影を取り入れ、大きな三脚の上にカメラとストロボ装置を載せ、三脚に結合した棒を押しながら、大きな円周上を歩かせて、側面からの連続撮影を行った。被験者にはfoot switchを2カ所に取りつけ、筋電図を積分して歩容と対比した。これで病的歩行の記録も行い、そのほか坂道歩行、階段昇降などの際の筋電図学的研究なども行った。これらには塚原、三浦らの協力と援助が大いに貢献した。鶴見の「小児歩行の筋電図学的研究³⁾」や、小野の「靴のヒール高による筋活動の研究⁴⁾」などは、優れた労作としてよいものと思われる。

1971年に長崎大学に転勤し、再び歩行の研究を始めた。ここでも多くの優れた研究者によって研究が推進された。森貞考案の動作・筋電図同時同調記録装置⁵⁾が、長崎における初めての歩行記録装置であった。歩行分析には、福島と同じ円周上歩行方式を採用し、表面電極、テレメーターを使用し、筋電図波形をモニターオシロスコープに描かせると共に、中央の三脚上に固定したテレビカメラで歩容を撮影し、別のテレビモニターに写した。この2台のブラウン管を重ねて、手製のシャッター装置つきのカメラで紙のロールフィルム上に連続記録した。

次に楢林の努力で、真武式踏力計が導入され、床反力の3分力を別個に記録できるようになった。

この頃 Ducroquet の著書の翻訳⁶⁾が完成し、彼を日本に招き、私自身もパリに彼を訪ねて、その息の長い研究に感銘を受けた。

1975年には長崎大学病院が改築された機会に、整形外科の研究室としてかなり広い動作学研究室を作ることができた。約7mの歩行路の中央に真武式踏力計を設置し、天井には鏡を斜に取りつけた。歩行路と平行にレールを敷き、テレビカメラを載せた車を手で押して移動させ、歩容を側面から撮影するようにした。

* 第23回日本リハビリテーション医学会総会(1986年6月5日、長崎市公会堂)にて講演された。

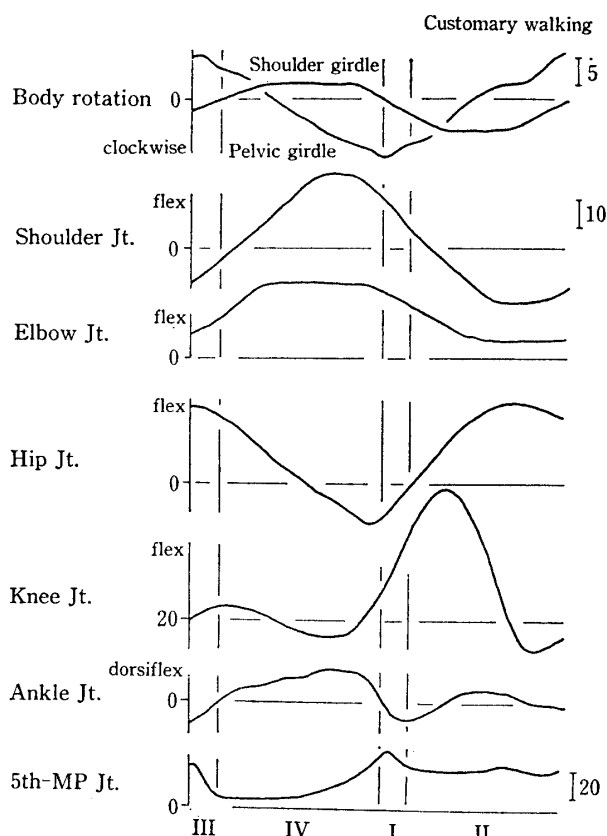


図1 軀幹の回転と各関節角度の変化

一方、工学部の真武⁷⁾は、床反力の垂直、前後、側方の3分力をそれぞれ二つずつ組合わせて、 α , β , γ のloop diagramを作り、パターン化することを試みたが、1975年フィンランドで行われた第5回バイオメカニクス国際会議に、私⁸⁾は真武と共に出席し、垂直、前後分力を組合せた α -diagramについて、臨床例を交えて発表した。その後乗松の努力でスティックピクチャーカメラが入手でき、さらに浜村の努力で市内の国立療養所に、アニメ社製の大型床反力計が設置され、現在の長崎大学方式ができた。

歩行分析の長崎大学方式

まず被験者(健常者および患者)の歩容を側面、前後からVTRで撮影し、繰り返し観察して大体の歩容をつかむ。記録発表用には、モータードライブカメラも使用できる。

スティックピクチャーカメラは回転ドラム式のスリットシャッター方式で、移動する長尺フィルムで連続撮影する。被験者に白テープを貼り、骨盤の動きを示す白い棒を前後に取り付け、上方の鏡に写った像と共に、6m離れた点から撮影する。カメラは移動させなくとも誤差が少ないことがわかり、レールつきの車は廃止された。

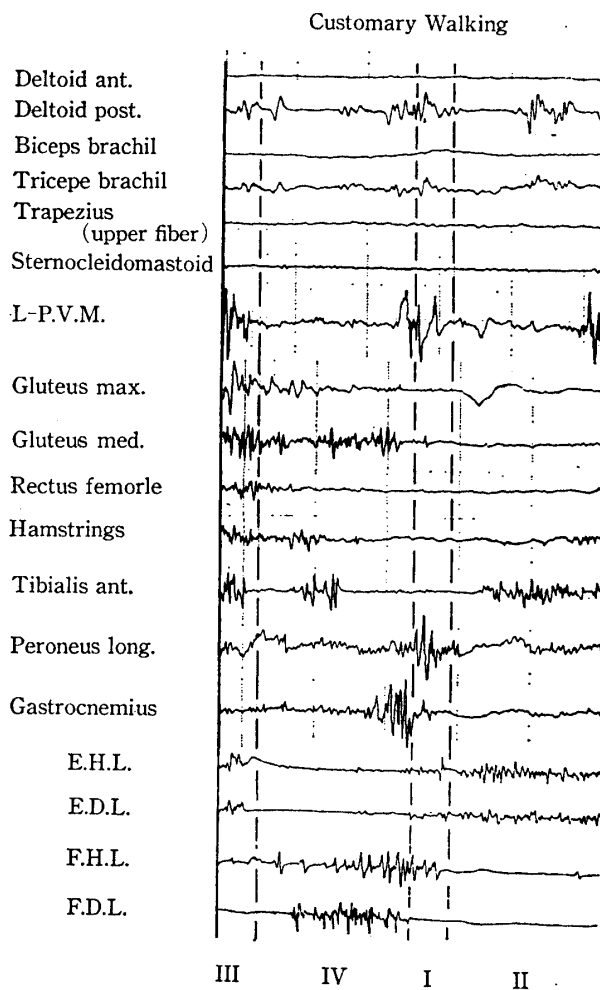


図2 正常成人安楽歩行の筋電図

乗松⁹⁾によれば、1秒間24コマで撮影すれば臨床的には十分である。このスティックピクチャーから、各関節角度、肩甲帯、骨盤の動きの角度を測定して、プロットする。

第1 MTP 関節の動きは、スティックピクチャーカメラでは捉えられないので、弾性のあるスチールプレート関節をまたいで、両端を足背に貼りつけ、プレートにつけたストレンゲージで角度を電氣的に測定する。足関節にも同様な角度計をつけて同時記録している。

距骨下関節の動きは、純粋に測定することは困難であるが、ポテンションメーターの回転軸を関節の回転軸に合わせてとりつけた電気角度計が、松坂¹⁰⁾によって試作された。足関節と距骨下関節での総合された、回内、回外運動を計測している。

足の内側アーチの長さの歩行中の変化を知るために、茅野¹¹⁾、楊¹²⁾が電気アーチゲージを試作した。第1中足骨骨頭と踵骨につけた2本のバーが、アーチの伸縮につれて平行移動するようになっており、この移動距離を、ストレンゲージつきのスチールプレートをバーに橋渡し

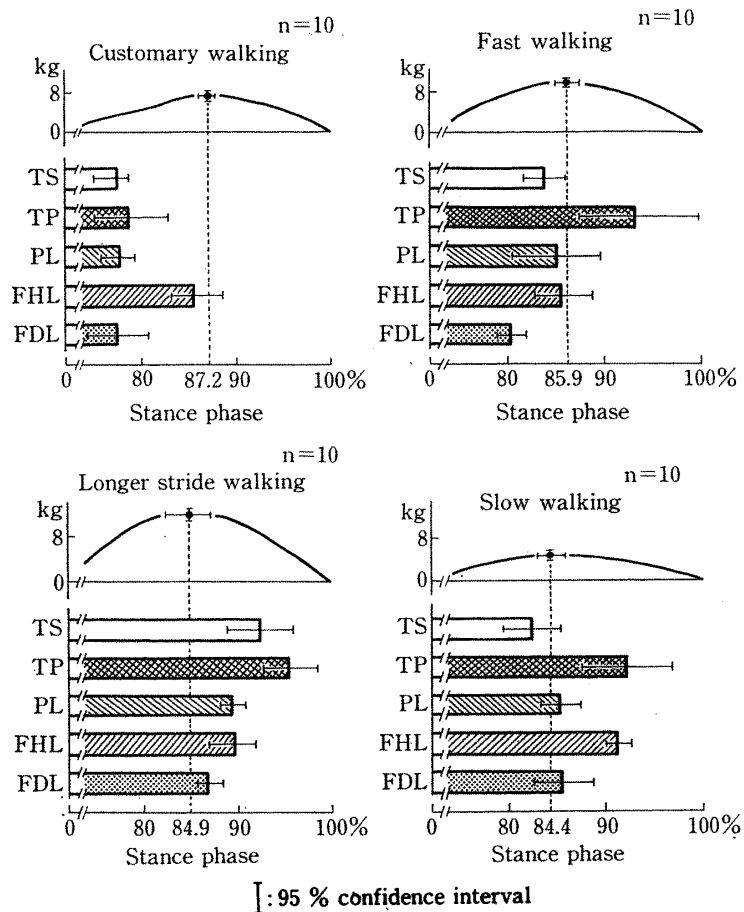


図 3 床反力前後分力と筋電図の関係

して測定するものである。横アーチの変化は、同じステールプレートで、第1、第5中足骨頭間に架橋して測定する。足底の着床経過を示す foot switch は、踵、第5、第1中足骨頭、第1趾先端につける。プレスケールはこの上を踏んで歩かせ、足底圧分布の大体を知ることができる。

床反力の測定は、1歩型の真武式踏力計のほかにはアマ社製大型床反力計をルーチンに用いている。長さ 250 cm, 幅 40 cm の床反力計が2個並べて設置されており、これを左右の足で踏み分けると、最低2歩ずつの連続記録が可能である。コンピューターで処理され、連続記録される。3分力の平均値、標準偏差値、 α , β , γ 力線図、center of pressure その他が自動的に記録される。

筋電図は表面電極とテレメーターで導出される。必要に応じてその包絡線を作る。

正常人歩行

以上の測定法を利用した正常人の歩行に関する研究を以下に示す。

スティックピクチャーから測定した上・下肢と軀幹の動きを示す(図1)。肩関節と肘関節は互いに同じ方

向、肩甲骨帯と骨盤は互いに逆方向に回旋し、股関節の動きはサインカーブに類似し、膝には大小2回の屈曲が生じる。これを double knee action と名付ける。歩行速度の増加によって角度も大きくなるが、タイプは変わらない。

正常人の安楽歩行 (customary gait) の筋電図 (図2) では、上肢は受動的に振られるのではなく、三角筋後部線維や上腕三頭筋が制動的に作用しているのがわかる。下肢では立脚期のうちの制動期、駆動期に働く筋が多く、必要にして十分な収縮をしている。速度を速めると当然筋活動は増強し、上肢筋も積極的に作用する。customary gait 以下の速度でも、下肢筋の活動はあまり減弱せず、むしろ関節の安定性を保つ作用をしているようである。

床反力の垂直、前後分力を組合わせた α 力線図について、正常人の歩行を宮田¹³⁾は男6型、女5型に分類した。これらは将来個人判別に利用できるかもしれない。

歩行速度について立野¹⁴⁾は、cadence のみを増した場合と歩幅のみを増加した場合を、 α 力線図について調べた。cadence を増加すると制動成分が大きくなるが、駆動成分には余り変化がない。しかし歩幅のみを増加すると駆動成分も大きくなる。

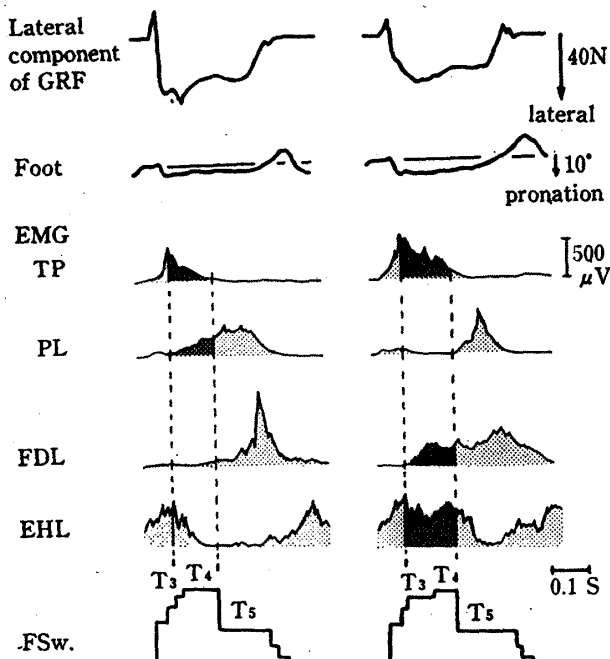


図4 後足部回内・外・床反力側方分力, 筋電図の相互関係

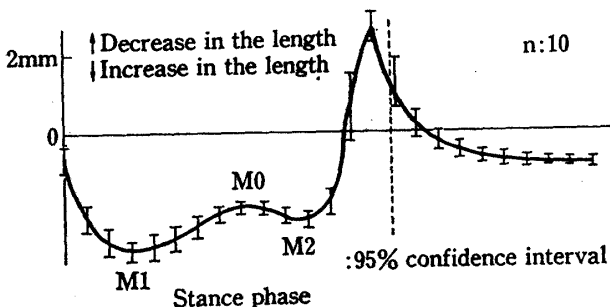
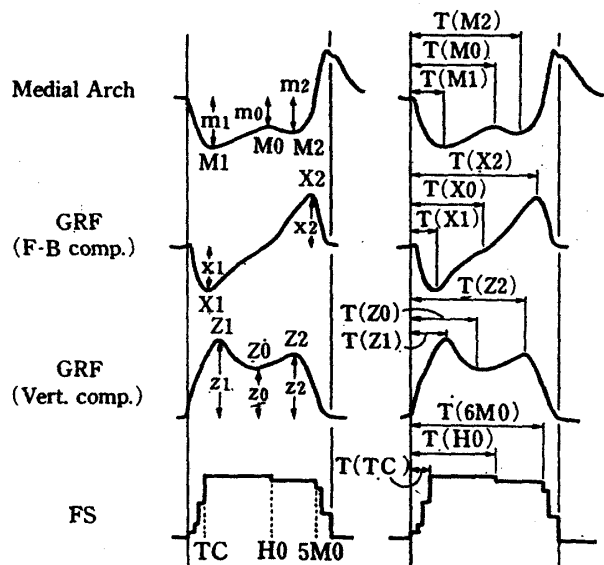


図5 正常成人1歩行周期における内側アーチの変化

趾が歩行に果たす役割について、藤田¹⁰⁾は足関節、第1、第5 MTP 関節の角度変化、床反力の前後分力、下腿および足筋の筋電図、foot switch を同時記録した。注目すべきことは、すべての底屈筋の放電が、前後分力の駆動期のピークより前に停止していることである。足底固有筋も、長母趾屈筋もこのピークを越えない。筋活動は停止しても、短時間力の伝達は残ることが考えられるが、少なくとも趾は積極的に駆動には加わっていない。歩行速度、歩幅を変えたときの模型図を示す(図3)。速度を増すと、後脛骨筋の活動が駆動力のピークを越え歩幅を大きくすると、すべての筋がピークを越しており、趾が駆動に参画していることがわかる。普通以上に速度を緩めると、推進力に大きな役割を有する下腿三頭筋以外はすべてピークを越え、これらは趾を含めてバランス保持に役立っていると考えられる。



	T (X1)	T (Z1)	T (TC)	T (X0)	T (Z0)	T (H0)	T (X2)	T (Z2)	T (5M0)
T (M1)	NS	+	NS						
T (M0)				NS	NS	+			
T (M2)							+	+	+

p < 0.05
NS: not significance
+: positive correlation

図6 内側アーチ・床反力・着床経過の相関関係

後足部の回内・外と側方分力、筋電図を比較検討したのが松坂¹⁰⁾である。側方分力は同一人でも1歩毎のパラッキが大きく、側方分力の大きい場合には、回内・回外運動の範囲が小さく、側方分力の小さい場合には、逆の結果になる。この際、母趾中足骨頭の着床から foot flat の終りにかけての筋活動をみると、前者では長腓骨筋の活動大で、後者では後脛骨筋、長趾屈筋、長母趾伸筋の活動が大きい(図4)。前者では歩行の中心線から足が遠く、後者では近く、筋活動は側方バランス保持のための修正動作に関係していると想像される。多数歩のうち、前者と後者の割合は人によって異なり、ある程度歩き癖を示していると考えられる。

歩行時の足アーチの変化について、茅野¹¹⁾は内側アーチの長さの変化と、第1 MTP 関節の角度変化、床反力、foot switch、筋電図を同時記録した。内側アーチの長さの変化は、MTP 関節の動きとよく似たカーブを描く(図5)が、立脚期ではじめてアーチの強い延長があり、これを M₁ と名付ける。次にわずかな短縮 M₀ が起こり、さらに M₁ より少ない延長 M₂ が生じる。これは足底腱膜によるいわゆる windlass action による

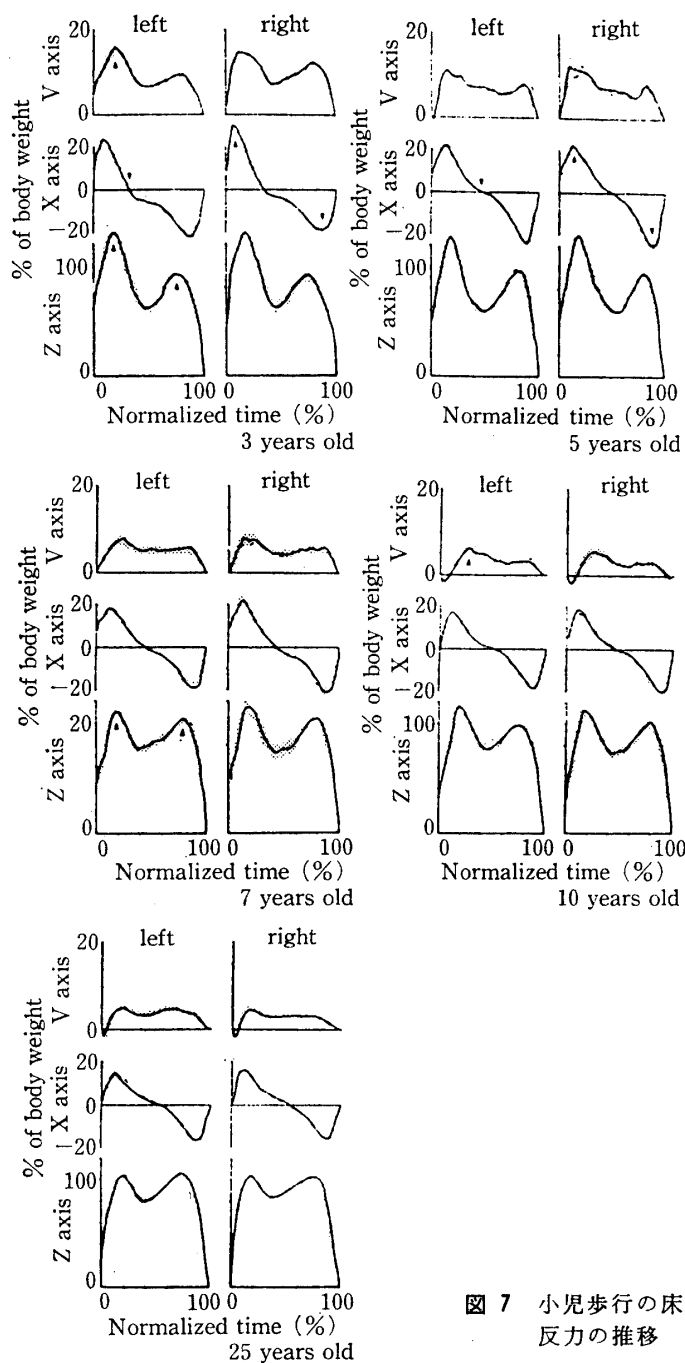


図7 小児歩行の床反力の推移

ものである。M₁ は foot flat のときで、長母趾屈筋以外余り筋活動がないが、M₀ では長腓骨筋の作用が加わっている。M₁, M₀, M₂ と床反力, foot switch との時間的な相関を求めると、M₁ は Z₁, すなわち垂直成分の最初のピークと相関があり、foot flat で体重によって引き延ばされることを示している。M₀ は heel off の瞬間と相関を有し、M₂ は X₂, Z₂, すなわち駆動期のピークと相関し、下腿三頭筋の強力な収縮により、アーチが引き延ばされることを示している (図6)。

野口¹⁶⁾は床反力の成長による推移を記録した(図7)。3歳児では前後、垂直分力とも制動期のピークが駆動期

のピークより大きく、側方分力にもその傾向がみられる。側方分力は全般的に大きく、左右への不安定性を示している。前後分力では制動期より駆動期に移行する時期が早い。5歳児でも同様な傾向があるが、前後分力で制動期より駆動期に移行する時期がやや遅くなっている。7歳児ではかなり成人型に近くなっているが、側方分力はまだ大きい。10歳ではほぼ成人に近いが、垂直分力で二つのピーク間の谷(抜重効果)はまだ深い。成人パターンへの移行の時期は、前後分力で5歳前後、垂直分力で6歳前後、側方分力で9歳前後と考えられる。

そのほか正常歩行のヴァリエーションとしてのつま先歩行、靴の影響、坂道歩行、病的歩行の研究などがあるが、誌面の関係上割愛する。

文献

- 1) Suzuki R : Function of the leg and foot muscles from the viewpoint of the electromyogram. J Jpn Orthop Surg Soc 30 : 775-786, 1956.
- 2) Ducroquet R et al : La marche et les boiteries. Masson et Cie, Paris, 1965.
- 3) 鶴見信之 : 小児歩行の筋電図学的研究. 日整会誌 43 : 611-628, 1969.
- 4) 小野英徳 : 靴のヒール高と筋活動. 日整会誌 43 : 527-541, 1969.
- 5) 鈴木良平, 森貞近見, 乗松敏晴, 嶋村宗広 : 動作・筋電位・同時同調記録装置の試作. 整形外科 24 : 297-303, 1973.
- 6) 鈴木良平(訳) : 歩行と跛行. 医歯薬出版, 1973.
- 7) Matake T : On the new force plate study. Biomechanics V-B : 426-432, 1976.
- 8) Suzuki R : Analysis of normal and pathological walking by force plate and electromyogram. Biomechanics V-A : 341-346, 1976.
- 9) Norimatsu T, Okumura H, Fujita M, Matsusaka N, et al : Reproducibility of gait analysis. Biomechanics VIII-A : 485-489, 1983.
- 10) Matsusaka N : Control of the medial-lateral balance in walking, Acta Orthop Scand (in press).
- 11) Kayano J : Dynamic function of medial foot arch. J Jpn Orthop Ass 60 : 1147-1156, 1986.
- 12) Yang SM : Dynamic changes of the arches of the foot during walking. Acta Med Nagasaki 30 : 93-112, 1985.
- 13) 宮田定倫 : 正常者の床反力—力線図. 日整会誌 54 : 739-748, 1980.
- 14) 立野 泰 : 歩行速度と床反力. 長崎医誌 55 : 17-28, 1980.
- 15) Fujita M : Role of the metatarsophalangeal (MTP) joints of the foot in level walking. J Jpn Orthop Ass 59 : 985-997, 1985.
- 16) 野口雅夫 : 小児期における歩行の発達. 日整会誌 60 : 787-799, 1986.