The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ニホンザルの歩行能力の発達に関する運動学的研究
Author(s)	中野, 良彦
Citation	大阪大学, 1992, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3060104
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

ニホンザルの歩行能力の発達に関する運動学的研究

中野　良彦

目　　次

第Ⅰ章　序論
1　ヒト化研究　・・・・・・・・・・・・・　1
2　霊長類研究　・・・・・・・・・・・・・　4
3　霊長類の運動様式　・・・・・・・・・・　6
4　運動研究　・・・・・・・・・・・・・・　9
5　霊長類の発達　・・・・・・・・・・・・　15
6　本研究の目的　・・・・・・・・・・・・　18

第Ⅱ章　運動学的分析
1　ニホンザルの運動発現について　・・　20
2　運動学的研究　・・・・・・・・・・・・　22
　2－1　方法　・・・・・・・・・・・・・　22
　2－2　結果　・・・・・・・・・・・・・　29
　2－3　考察　・・・・・・・・・・・・・　55
　2－4　結論　・・・・・・・・・・・・・　63

第Ⅲ章　計算機シミュレーションによる分析
1　シミュレーション研究について　・・　66
2　二足歩行モデル　・・・・・・・・・・・　67
3　四足歩行モデル　・・・・・・・・・・・　69
4　生体物理定数　・・・・・・・・・・・・　81
5　シミュレーション手順　・・・・・・・　85

6　シミュレーションの結果　・・・・・・　88
7　考察　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　120
8　結論　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　125
9　今後の問題点　・・・・・・・・・・・・・・・　125

第Ⅳ章　総合論議　・・・・・・・・・・・・・・・　128

第Ⅴ章　要約　・・・・・・・・・・・・・・・・・　134

謝辞　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　140

引用文献　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　141

付録　計算機シミュレーションプログラムリスト

第Ⅰ章　序論

1.　ヒト化研究

生物人類学（ないし自然人類学）という学問分野において、その中心をなす課題は、人間が現在の姿、すなわち生物学的な意味でのヒトになったのはどうしてかという問題である。かってキリスト教的世界観では、すべての生物は神が創造したと規定することによって、この問題の答えとし、疑問を封じ込めた。しかし、これを破ったのが進化論であり、その代表者がダーウィンである。

ダーウィンは進化を突然変異と自然選択により説明した。簡単に例えていうならば、どんな商品でも次々と新しいものが改良されて発売されていき、時代遅れになったものは売れなくなり、作られなくなり、忘れ去られて

いくのと同じである。同様の過程が自然によって、原初の生命が誕生して以来その歴史の上で行われてきたのである。このことは現生のすべての生物についていえることであり、その中で我々が最も関心を持ち、注目してきたのが我々自身、すなわちヒトの起源と進化についてであった。

ヒトがヒトとなっていく過程をヒト化(Hominization)という。ヒト化の研究のためにはヒトとそれ以前の動物との境界線を引かなければならない。ヒトを他の動物と区別する特徴として通常、直立二足歩行、大脳化、言語の使用の3点があげられる。その中で特に重要とされているのが、最も最初に獲得されたと推測されている直立二足歩行の獲得である。

直立二足歩行の獲得過程についての研究はその研究対象から大きく二つに分けられる。一つが化石による研究であり、もう一つが現生の霊長類を用いた研究である。

化石による研究は近年、東アフリカの大地溝帯に沿った地域からの新しい重要な発見によりその知識がある程度増加している。現在のところ、最も古いヒト科の仲間とされているのが、300-400万年前にいたとされている*Australopithecus afarensis*である。

Johanson and White(1979)によってエチオピアのハダールから発見された”ルーシー”と呼ばれる化石がその代表的なもので、骨盤や大腿骨などを含む全身の約40%の骨格が見つかっている。そして、その形態から確かに二足歩行をしていたことが認められている。そして、ケニアのトルカナ湖周辺地域の100-300万年前の時代の地層からも次々と新しい発見がなされており(Leakey,1972; Walker *et al*.1986)、ヒトの進化の過程について多くの議論が交わされている。ところが、それ以前の時代となるとアフリカでは1400万年前にさかのぼるまで、ほとんどヒト科の化石は見つかっておらず、この間がいわゆるミッシング

リンクとなっている。1400万年前の東アフリカの地層から発見されているケニアピテクスはヒト科ではなく、ヒトと類人猿の共通の祖先であると考えられている(石田,1986; Ishida et al.,1991)。このように化石の形態から直接に直立二足歩行の獲得過程を突き止めるには、現在のところまだ証拠が不足しており、400-1400万年前の時代からの化石の発見が待たれている。しかしながら、進化の各段階を代表する化石記録をもれなく発見することは実際上ほとんど不可能である。

そこで、もう一つの研究方法である現生霊長類を用いた比較霊長類学的研究が行われる。

2. 霊長類研究

霊長類を対象とする研究分野を一括して霊長類学(Primatology)という。霊長類学の中でも研究の目的や方法により様々な立場がある。

生物人類学では、霊長類をヒト、あるいはヒトの祖先のモデルとして研究対象とする。またその中でも、形態学、生理学、行動学、生態学など多くの面からのアプローチがある。直立二足歩行の獲得過程の研究では、霊長類の形態と運動様式(Locomotion)に、ヒトの歩行へと至る過程のモデルを求める。そのためには、まず霊長類各種が持つ形態と運動様式、そしてその相互の関連性を明らかにする必要がある。ヒトもまた霊長類の一種であり、直立二足歩行の前段階が霊長類の中にみられると考えるのは当然である。特に、系統発生上ヒトに最も近いとされる類人猿の運動様式が注目されてきた。しかし、霊長類の生活場所は樹上、すなわち三次元空間であるためその運動は種により大きく異なっており、類人猿に関しても一つにまとめることはできない。また、運動様式は形態と同時に機能的側面からのアプローチが必至であるから、系統関係だけを重視して、類人猿以外の種の運動様式

を無視してしまうことは出来ない。こういった霊長類各種の運動様式や運動機能、二足歩行の潜在的能力などについての知見を得るには、フィールドにおける観察研究と実験室での運動解析研究の両者が必要である。

3. 霊長類の運動様式

霊長類の運動様式は、それ自体の多様性と、それに適応した形態の特徴から研究者の注目を集め、いくつかの型に分類しようとする試みが、主として観察研究に基づいて行われてきた(Ashton and Oxnard,1964; Napier, 1963; Erikson,1963; Prost,1965a; Napier and Napier,1967,1985; Napier and Walker, 1967; Rose,1973; Rollinson and Martin, 1981; 石田,1983; Fleagle,1988)。その代表的な例であるNapier and Napier(1967)の分類(Table 1)では、霊長類の運動様式は、垂直し

Category	*Sub-type*	*Activity*	*Primate genera*
1. Vertical Clinging and Leaping		Leaping in trees and hopping on the ground.	*Avahi, Galago, Hapalemur, Lepilemur, Propithecus, Indri, Tarsius*
2. Quadrupedalism	(i) Slow climbing type.	Cautious climbing—no leaping or branch running.	*Arctocebus, Loris, Nycticebus, Perodicticus*
	(ii) Branch running and walking type.	Climbing, springing, branch running and jumping.	*Aotus, Cacajao, Callicebus, Callimico, Callithrix, Cebuella, Cebus, Cercopithecus, Cheirogaleus, Chiropotes, Lemur, Leontideus, Phaner, Pithecia, Saguinus, Saimiri, Tupaia*
	(iii) Ground running and walking type.	Climbing, ground running.	*Macaca, Mandrillus, Papio, Theropithecus, Erythrocebus*
	(iv) New World semi-brachiation type.	Arm-swinging with use of prehensile tail; little leaping.	*Alouatta, Ateles, Brachyteles, Lagothrix*
	(v) Old World semi-brachiation type.	Arm-swinging and leaping.	*Colobus, Nasalis, Presbytis, Pygathrix, Rhinopithecus, Simias*
3. Brachiation	(i) True brachiation.	Gibbon type of brachiation.	*Hylobates, Symphalangus*
	(ii) Modified brachiation.	Chimpanzee and orang-utan type of brachiation.	*Gorilla, Pan, Pongo*
4. Bipedalism		Striding.	*Homo*

Table 1. 霊長類運動様式の分類。 Napier and Napier(1967)による。

がみつきと跳躍(Vertical clinging and leaping)、四足歩行(Quadrupedalism)、腕渡り(Brachiation)、二足歩行(Bipedalism)の四つの型に大きく分けられており、これはほぼ妥当であると考えられる。しかし、まだまだ今後の研究により検討される余地は多い。実際のところ、その種の本来の生息場所での観察研究は、方法的に困難な場合が多いこともあり数は少なく、原猿類ではWalker(1974)、真猿類ではRose(1973,1974,1977)、Mittermeier and Fleagle(1976)、Fleagle(1977a,1977b)、Morbeck(1977)、Fleagle and Mittermeier(1980)、Ybarra(1984)、Cant(1988)、Fleagle and Meldrum(1988)、類人猿ではBauer(1977), Tuttle and Watts(1985)の報告がみられる程度である。

そのため実験的に霊長類の運動様式を比較する試みが現在、類人猿を中心に数多く行われている。

4. 運動研究

運動研究は、写真技術の発達や映画の発明により行われ始めた。そして現在では、ビデオ装置や各種のセンサーおよび測定装置の発達により、運動学、整形外科学、機械工学、動物学などにおける基礎研究からリハビリテーション、各種スポーツ、ロボット開発、交通工学などの応用科学に至るまで幅広い分野で運動研究が行われている。

動物の運動研究については、Muybridge(1957)が、多種の動物について連続写真を撮影し、その歩行サイクルを分析したことから始まった。その後Gregory(1912)は四足獣の歩行を詳しく分析した。また、Manter(1938)はネコを用いて歩行時の地面に対する力(床反力)を計測する運動力学的研究を行った。

ヒトの歩行に関しても運動の分析に高速度カメラが利用されるようになり(Sutherland

and Hagy,1972)、特に健常者と障害者の比較(Grieve,1969; Rosenrot et al.,1980)やこどもの歩行の発達の研究(Grieve and Gear, 1966; Statham and Murry,1971; Burnett and Johnson,1971; Andriacchi et al., 1977)が盛んに行われている。

外部から測定できる運動の分析の次に、筋活動などの身体内部の作用を求める研究が進められた。直接に筋活動を求める方法として用いられたのが、筋が活動する際に生じる微少な電位を測定する筋電図(EMG)法である。筋電測定によりヒトの関節の伸展、屈曲運動と筋収縮との関係が明確に示された(Scheving and Pauly,1959)。岡本(1970, 1980)はヒトの幼児の歩行に関して、筋電図を用いた研究からその発達段階を示した。Sutherland et al.(1980)、Beck et al.(1981)、Forssberg(1985)もヒトの歩行の発達について実験的研究を行っている。

外部に発生する力から身体内部の活動を求

める方法も試みられている。Elftman(1939)は筋活動を知るために、関節の動きからトルクを求めた。また、Cappozo(1983)は歩行時に胴にかかる力を計算した。

ヒト以外の動物の研究でもこれらの方法が用いられている。Tokuriki(1973)はイヌの歩行について詳細な筋電研究を行っている。Hildebrand(1977)は霊長類を含む79属の哺乳類の歩行を分析した。Tailor et al.(1979)は哺乳類の歩行時の酸素消費量を測定している。

霊長類の研究では、筋電図を用いた研究について類人猿で多くの研究があり(Tuttle et al,1972,1979,1983; Tuttle and Basmajian, 1974,1976,1978a,1978b; Stern et al., 1980; Fleagle et al.,1981; Susman and Stern,1979; Stern and Susman,1981; Larson and Stern,1986; Shapiro and Jungers,1988; Kumakura,1989;Larson et al.,1991)、その他、新世界ザル(Stern et

al.,1976,1980; Vangor and Wells,1983; Kumakura,1989)やパタスモンキー(Vangor and Wells,1983)、ニホンザル(Ishida et al.,1985; Kumakura,1989)、スローロリス(Jouffroy and Stern,1990)などの筋電が測定されている。

筋電研究以外では、Hildebrand(1967,1977)、岩本・富田(1966)、富田(1967)が歩行様式について研究し、霊長類の歩行型式が他の四足獣とは異なっていることを示した。

画像解析による運動学的研究も多く行われている(Prost,1965b,1967,1969,1970; Prost and Sussman,1969; Wells and Wood,1975; Wells et al.,1977; Hurov,1982,1985; Vilensky,1980,1983; Jouffroy and Gunter,1985; Niemitz,1985; Vilensky and Gankiewicz,1986,1990;Vilensky et al.,1988)ほか、原猿の運動に関してIshida et al.(1990)やGunter et al.(1991)による床反力計を用いた研究がある。

シネラジオグラフィーを用いてJenkins(1972)はチンパンジーの二足歩行について、Jenkins et al.(1978)はクモザルの腕渡りについて分析した。また、Taylor and Rowntree(1973)はチンパンジーとオマキザルの歩行について、Parsons and Taylor(1977)はクモザルの歩行と腕渡りおよびスローロリスの歩行について、それぞれ酸素消費量を測定した。

以上のような多様な研究成果の中にあって特に注目されるのが、霊長類の歩行に関して、多面的な実験研究からヒトの二足歩行との関連を解析する試みが国内のグループで行われてきたことである(Ishida et al.,1975,1984,1985; Kimura,1985; Kimura et al.,1977,1979,1983; Okada,1985; Okada et al.,1983; Yamazaki,1985; Yamazaki et al.,1979,1983)。

その研究の中で計算機シミュレーションを用いた身体内部の力を計算する手法が応用さ

れ、Yamazaki(1985)はその結果から霊長類のヒト型の二足歩行に対する類似度の示数を求め、テナガザルがヒト型の二足歩行に最も近いことを示した。

しかし、これらの研究では基礎的研究として種間比較が行われているのみであり、それぞれの個体の年齢や発達段階による差は考慮されていない。そこで、次に問題となるのは個体発達、すなわち、成長とロコモーションの変化の関係についてである。ヒトの赤ちゃんは生まれてすぐに歩きだすわけではない。また、幼児の歩行と成人の歩行では大きく異なっている。こういったヒトの歩行の発達に関しては多くの研究がある(たとえば、岡本,1970,1980; Jordan,1981; 岩田,1983; Okamoto and Goto,1985; Abitbol,1988)。それに対して、他の霊長類では、成長とロコモーションの発達との関係についての運動学的に分析した研究は少なく(Vilensky and Gankiewicz,1989; Kimura,1987,1990)、まだ

未開拓の分野である。

5. 霊長類の発達

個体の発達にはいくつかの側面があり、それぞれが関連しながら成長していく。霊長類の発達については形態的発達、生理的発達、精神的発達の研究がみられる。形態的発達に関してはSchultz(1929,1937,1940,1941)の身体計測のデータに代表されるように外的に直接測定した研究(Grether and Yerkes,1940; van Wagnen and Catchpole,1956; Ikeda and Hayama; 池田・葉山,1964; Gavan and Swindler,1966; Kerr et al.,1969; Iwamoto,1971; McKim and Hutchinson,1975; Smith et al.,1975; 渡辺,1975; 岩本,1977; 渡辺ら,1979; Watts and Gavan,1982; Hamada,1982,1986)やX線撮影による化骨の研究(Washborn,1943; van Wagnen and Asling,

1958; 池田ら,1964; Hayama,1965; 近藤ら,1975; Torre et al.,1978; Hamada,1984; Watts,1985,1986)が行われている。

生理的発達については、たとえばホルモンの分泌や性成熟に関する研究(Smith and Rubenstein,1940; 和,1975; Glick,1979; Nigi et al.,1980; Cupp and Uemura,1981; Matsubayashi and Enomoto,1983)がある。

精神的な発達に関しては、心理学的な実験的研究と社会性の発達をみるフィールド研究の両者が行われている。Harlow(1959,1962)はアカゲザルの乳児について心理的な発達研究を行った。また、母子関係に注目した実験的研究はニホンザルなどで進められている(川辺,1960; 糸魚川・田中,1963; Hansen,1966; Wooldridge,1971;Minami,1975; 南,1974,1976; Nakamichi and Yoshida,1986; Nagayama et al.,1986; Simpson et al.,1986)。フィールド研究では母子関係における発達研究(Itoigawa,1973; Nash,1978;

Hiraiwa,1981; Glick et al.,1986a)だけでなく、仲間関係などの社会性の発達(Hinde and Spencer-Booth,1967; Norikoshi,1974; Glick et al.,1986b)や行動発達の性差についての研究(Itoigawa,1973; Eaton et al., 1985,1986; Nakamichi,1989)がある。

このような成果の中で霊長類の運動に関する研究は、どちらかといえば母子関係や社会性についての行動発達の指標として行われてきたため、運動や姿勢自体の発達による変化に注目した研究は少ない。Hines(1942)は31頭のマカク属のサルを用い、反射、姿勢、前進運動について観察研究を行った。Mowberay and Cadell(1962)は、アカゲザルの生後25日間における、姿勢と反射の発達について調べた。Castell and Sackett(1973)もアカゲザルの運動と把握の発達について研究した。ニホンザルでは、竹下ら(1983)、Negayama et al.(1983)、鳥越(1984)、が運動や姿勢の発現に関して観察による定量的分析を行っている。

また、手の操作能力の発達に特に注目した研究もみられる(Jensen,1961; 竹下,1983; Torigoe,1986)。運動学的方法による歩行の発達の研究では、Kimura(1987,1990)がチンパンジーを用いて、Vilensky and Gankiewicz (1989)、Vilensky et al.(1990)がベルベットモンキーを用いて行っている。

6. 本研究の目的

これまで霊長類の運動発達は、母子間関係などの内的な発達の指標として用いられてきている。しかし、個体間距離といった外的に発現される運動は運動能力自体の発達と関連しており(南,1976)、そこから得られた結果がどの程度まで内的な発達を示しているのか、あるいは逆にどこまで運動能力の発達と考えられるのかについて示す必要がある。また、これまで行われている観察研究では、表面的

に発現される運動の定性的あるいは定量的な分析から発達段階について考察しているが、その運動の発現が実際の運動能力の発達に対応しているのかについては明らかにされていない。

そこで、この2点について検証するため霊長類の歩行発達に関する実験的研究を行い、それと同時に霊長類にみられる多様な運動様式の適応過程について運動発達の側面から考察する。被験体としては観察研究による運動発達の知見が得られているニホンザルを用い、その生後6カ月までの四足歩行について運動学的方法と、工学的なモデルから導かれる計算機シミュレーション法により分析し、その加齢にともなう変化を求めた。

第II章　運動学的分析

1. ニホンザルの運動発現について

母子関係、個体間関係などの社会性と切り離した運動、姿勢の発達研究のいくつかがニホンザルにおいて行われている(川辺・川村，1960；竹下ら，1983；Negayama et al.，1983；鳥越，1984)。川辺・川村(1960)は生後6カ月までの観察研究により、その間の発達段階について報告している。竹下(1983)は姿勢反応の研究から4つの発達段階を規定し、その移行時期を3日齢、4週齢、12週齢であると指摘した(Fig.1)。Negayama et al.(1983)の運動、姿勢の発現についての研究でも、発達段階についてほぼ同じ結論が出されている。鳥越(1984)も姿勢と位置移動の発達について研究し、1カ月齢と2－3カ月齢に発達的な区切りがあるとした。これらの結果はおおむね、

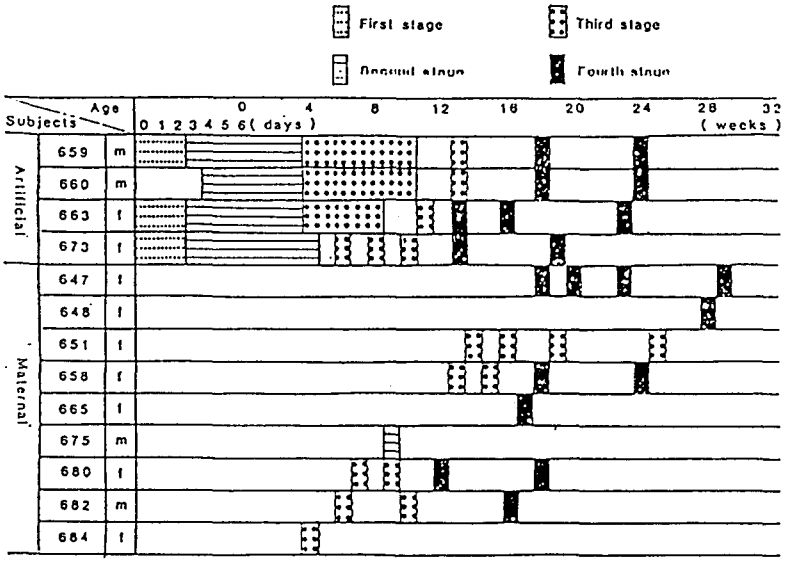


Fig.1. ニホンザル乳幼児における姿勢反応の段階。竹下(1983)による。

ニホンザルの母子関係の発達研究の結果(Itoigawa,1973)とも一致する。

2. 運動学的研究

2－1 方法

・被験体

被験体に用いたのは、大阪大学人間科学部人間生態学実験棟にて出生したニホンザル乳児5頭(オス4頭、メス1頭)で、それぞれ生後1週間以内に母親から分離し、個別ケージで人工哺育を行った(Table 2)。授乳方法などはNegayama et al.(1983)に準じた。なお、それぞれの母親となるニホンザルは財団法人日本モンキーセンターより供給されたものである。

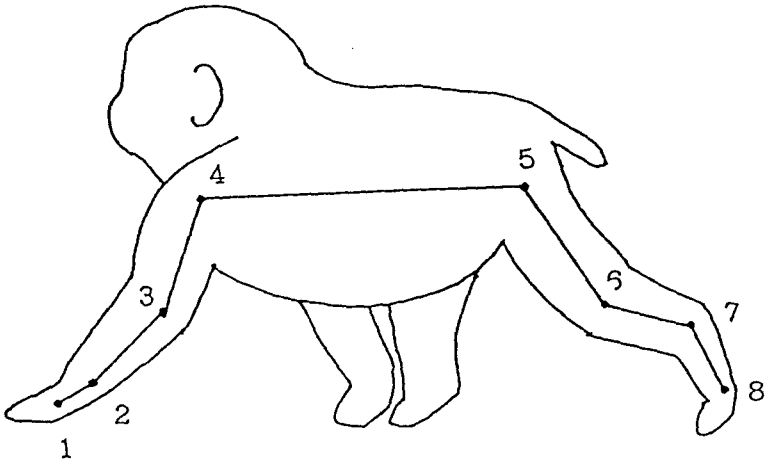
個体名	性別	体重 (g)			
		1カ月	2カ月	3カ月	6カ月
TRJ	M	900	1200	1440	1880
SSK	M	980	1300	1340	1550
MNT	M	970	1190	1440	1590
KGR	M	860	1260	1460	1850
INE	F	860	1060	1270	1480

Table 2. 被験体の体重の推移。

・実験装置および手続き

実験は大阪大学人間科学部人間生態学実験棟内において行われ、各被験体を両側をアクリル性の透明板(205×105)で囲われた歩行板(205×45)上に放置し、自由に歩行させた。各被験体の各関節中心および第5中足骨頭の外側を運動変位の計測のための標点とし、白いペイントでマークをつけた(Fig.2)。ただし、生後間もない個体では実験前に刺激を与えると興奮あるいは萎縮して動かなくなることが多いため、標点をつけずに行った。歩行板の下に床反力計(オスコン電子,Type9281B)を設置し、側面から16mm高速度カメラ(Redlake, Locum51-0002)を用いて歩行を撮影した(Fig.3)。

実験全体の状況については、ビデオカメラ(JVC,CV-1010)、ビデオカセットレコーダー(JVC,BR-6400)、カラーモニター(JVC,C8201-



1：第五中手骨頭

2：尺骨茎状突起

3：上腕骨外側上顆

4：肩峰

5：大転子

6：脛骨上端

7：腓骨外果

8：第五中足骨頭

Fig.2.　被験体につけた標点。

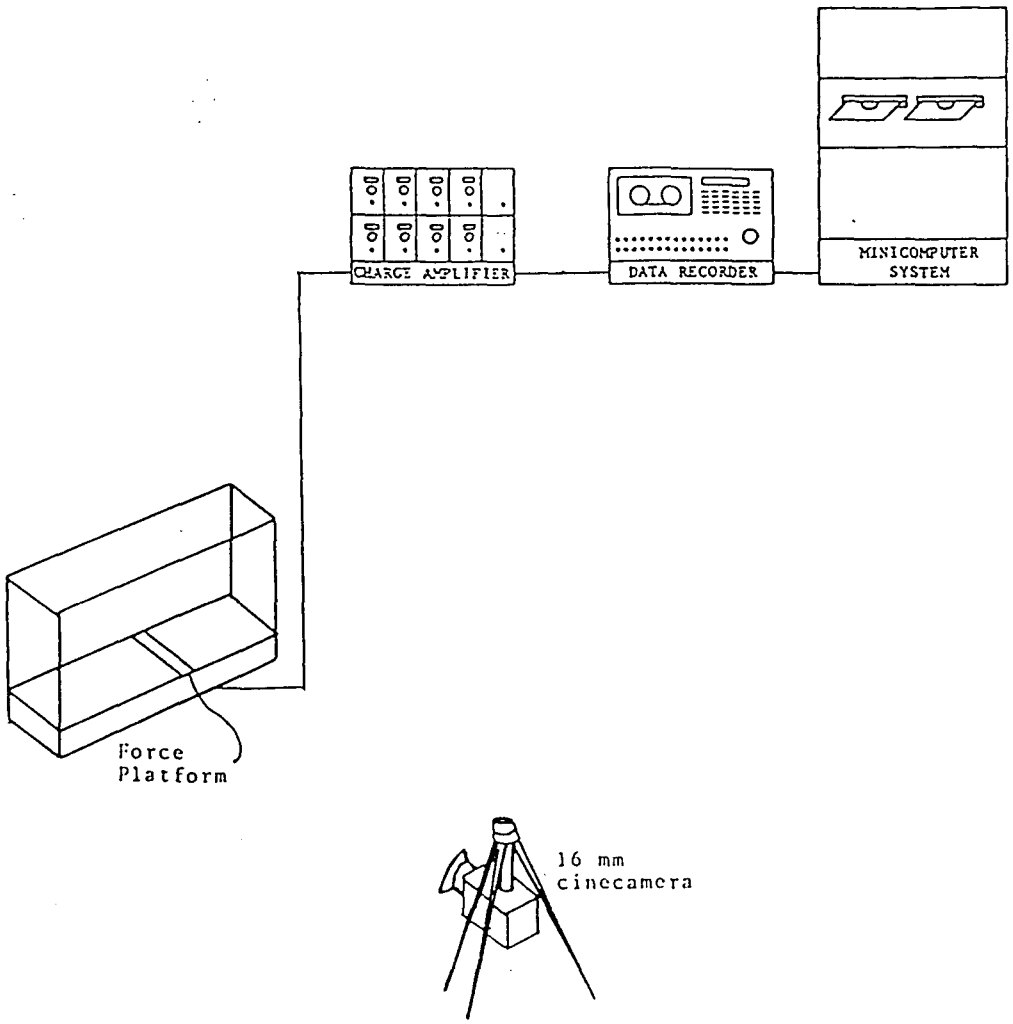


Fig.3. 実験装置とその配置。

B)により撮影、記録した。

床反力計からの出力値はデータレコーダー(大沢商会,RCD-728)に記録し、データレコーダーから出されるＩＲＩＧ信号をＨＤＲＳ装置(VIC,HDRS-10-5108)を用いて16mmフィルムの各フレームに写し込むことにより、運動変位データとの同期をとった。ビデオには、ビデオタイマー(朋栄,VTG-55)で時刻を写し込んだ(ただし、この時刻は床反力出力値および16mmフィルムとは同期していない)。

床反力は前肢、後肢がそれぞれ単独で床反力計上に乗ったときのみの測定値をとることとした。また、歩行のスピードが明白に速かったり、遅かったりしたもの、歩行途中に静止したもの、歩行板上を斜めに歩いたものなどは除外した。

16mm高速度フィルムの撮影範囲は歩行の1サイクル(同一の四肢の着地から次の着地まで)内の全身が写る範囲に設定し、撮影スピードは毎秒50フレームとした。

実験は各被験体につき生後３カ月までは毎週、それ以後は１カ月おきに生後６カ月まで行った。ただし、今回の実験では各個体の自由歩行のデータを計測したため、実験時の被験体の状態により、歩行を行わない場合などもあった。そのため、各実験時のデータ数は一定ではない。

・計算処理方法

各データの計算処理および分析は以下に示す機器から構成されるコンピューターシステム（オスコン電子，Flex-28D）を用いて行った。

ＣＰＵ（PDP11/23）、ＣＲＴ（VT-1000）、ハードディスク、８インチフロッピーディスケット２基、ラインプリンター（LA120）、ＡＤコンバーター（ADV11A）、グラフィックディスプレイ、ＸＹプロッター（HP-7221C）、サーチターミナル（OP-1000）、ディジタイザー（オスコングラディマスター）。

歩行の運動変位データは16mm高速度カメラで撮影したフィルムから、ディジタイザーにより各標点の1フレームごとの座標を読み取ることから求め、その計測値から歩幅、周期、速度、関節角度を計算した。

床反力計からデータレコーダーに記録された床反力計測値は、ADコンバーターを通してデジタルデータに変換された。

2－2　結果

・歩行の分析

歩行周期とその周期における立脚期の比率、歩幅および歩行速度について、4週齢、8週齢、12週齢、26週齢の各時期を比較した(Table 3)。また、被験体のうち1頭については、早い時期からデータを得ることが可能であったので、その1週齢、2週齢、3週齢、

		CYCLE DURATION (SEC)	RELATIVE STANCE PHASE (%) FORELIMB	HINDLIMB	STRIDE (M)	STRIDE / TRUNK LENGTH	SPEED (M/SEC)
1 WEEK	MEAN	1.380	72.45	73.93	0.273	1.935	0.198
N= 4	S.D.	0.016	4.73	10.93	0.059	0.307	0.043
2 WEEKS	MEAN	0.955	66.02	68.55	0.350	2.337	0.370
N= 4	S.D.	0.162	7.47	7.01	0.124	0.805	0.122
3 WEEKS	MEAN	0.825	81.59	87.88	0.321	2.085	0.437
N= 4	S.D.	0.312	10.14	10.36	0.102	0.542	0.195
4 WEEKS	MEAN	0.555	54.27	83.74	0.295	1.766	0.565
N= 4	S.D.	0.150	5.48	13.01	0.110	0.570	0.244
4 WEEKS	MEAN	0.880	83.01	84.23	0.281	1.808	0.453
N=11	S.D.	0.139	11.88	9.25	0.070	0.403	0.178
8 WEEKS	MEAN	0.742	68.00	68.08	0.376	2.357	0.528
N=18	S.D.	0.125	8.60	10.32	0.088	0.561	0.166
12 WEEKS	MEAN	0.762	64.57	84.31	0.447	2.605	0.599
N=12	S.D.	0.116	4.48	6.65	0.066	0.315	0.132
26 WEEKS	MEAN	0.748	64.53	65.78	0.413	2.138	0.574
N=19	S.D.	0.120	6.46	4.16	0.062	0.300	0.169

Table 3. 各年齢群における歩行周期、立脚期比率、歩幅、歩行速度。

４週齢のデータについても比較した。歩幅についてはそれぞれの個体の胴長で基準化した。

歩行周期(Fig.4)は１週齢から２週齢にかけて有意に減少し($p<0.05$、以後同じ)、その後も４週齢まで徐々に短くなる傾向がみられるが、８週齢でやや長くなり、その後は一定の値を示す。

立脚期の比率は、前肢、後肢ともに１週齢から２週齢にかけて減少し、その後はほぼ同じ平均値を示す。しかし、標準偏差、すなわち試行ごとの変異が小さくなる時期は前肢では８週齢であると考えられるのに対して、後肢では12週齢である。

歩幅(Fig.5)について４週齢までの変化をみると、１週齢から２週齢にかけて急激に大きくなり、その後減少する。また、４週齢以後では８週齢、12週齢と増加するが、26週齢では減少する。

歩行速度(Fig.5)は１週齢では非常に小さいが、２週齢にかけて大きく増加し、４週齢ま

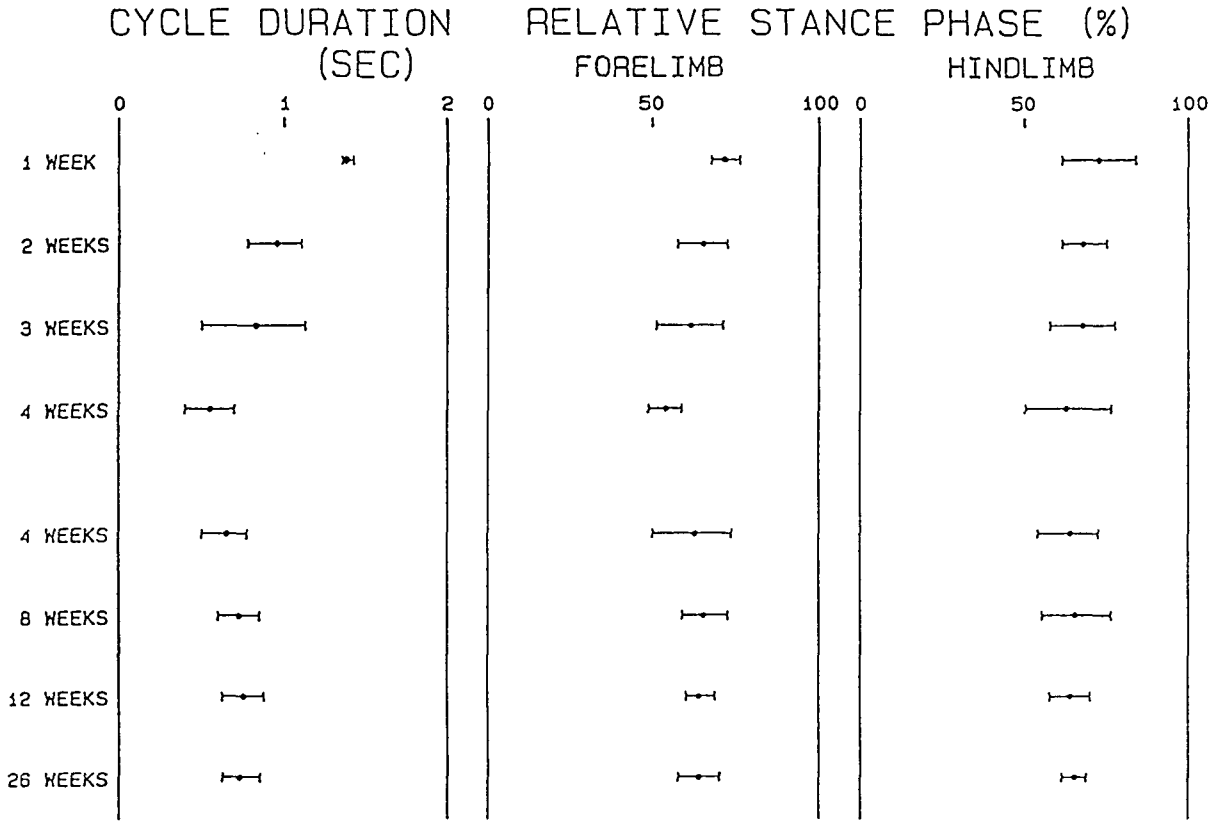


Fig.4. 各年齢群における歩行周期時間と立脚期の比率。

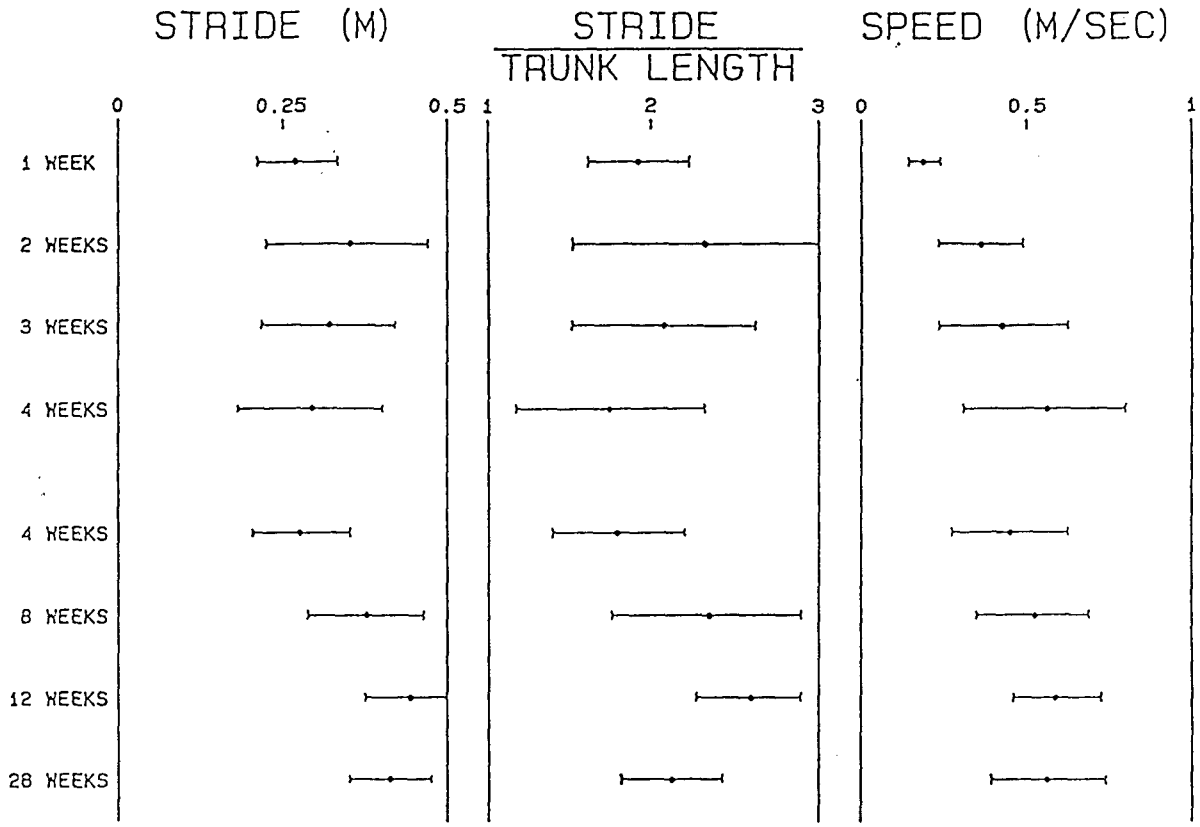


Fig.5. 各年齢群における歩幅と歩行速度。

でゆっくりと増加するが、その後はほぼ一定となる。

・関節角度の変化

関節角度の結果についても歩行の分析と同様に、1頭については生後1週齢から4週齢までのデータを、他の5頭については4週齢、8週齢、12週齢、26週齢の各時期のデータを比較した。

前肢（肩、肘、手根関節）

4週齢まで(Fig.6)の肩関節の角度変化をみると、1週齢では立脚期が長いことから、最小値（屈曲）が後方にくるが、比較的変異の少ないパターンを示す。2、3週齢になると角度の変化がやや大きくなり、4週齢まで同様のパターンが見られる。これは成体とよく似たパターンである。肘関節でも同様に、1

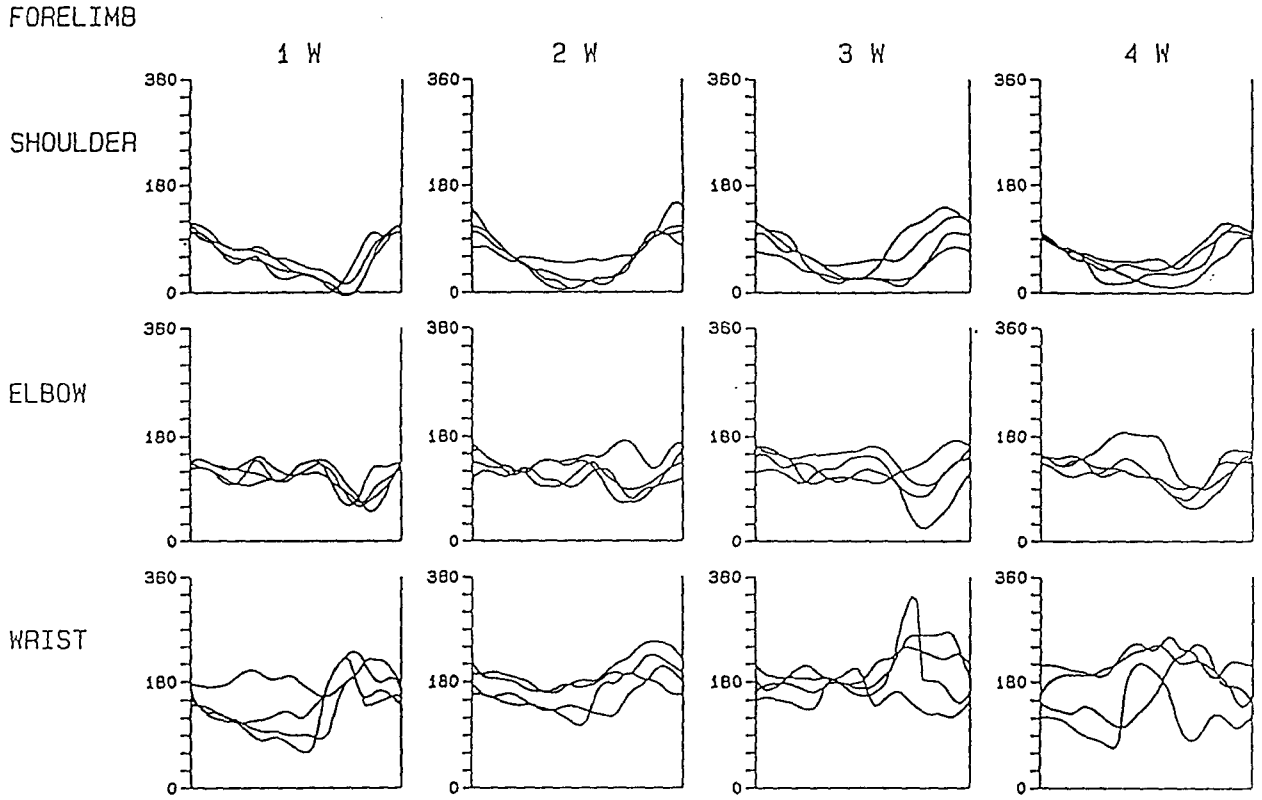


Fig.6. 前肢における4週齢までの各関節の角度変化パターン。

週齢では試行間の変異が少ない。2、3週齢では変異が大きく安定したパターンはみられないが、4週齢では成体に近いパターンを示す。手根関節については、この時期にはかなり変異が大きい。

4週齢以後では、まず肩関節(Fig.7)で成体型の変化パターンが多く見られるようになり、加齢にともなって徐々に変異が少なくなり、12週齢で安定した変化パターンを示す。肘関節(Fig.8)についても肩関節の場合と同じく4週齢で成体型のパターンを示すようになり、次第に安定していく。手根関節(Fig.9)は常に試行間での差が大きいが、8週齢で成体型に近い変化パターンが多く見られるようになり、12週齢、26週齢と試行間のバリエーションも少なくなる。

SHOULDER

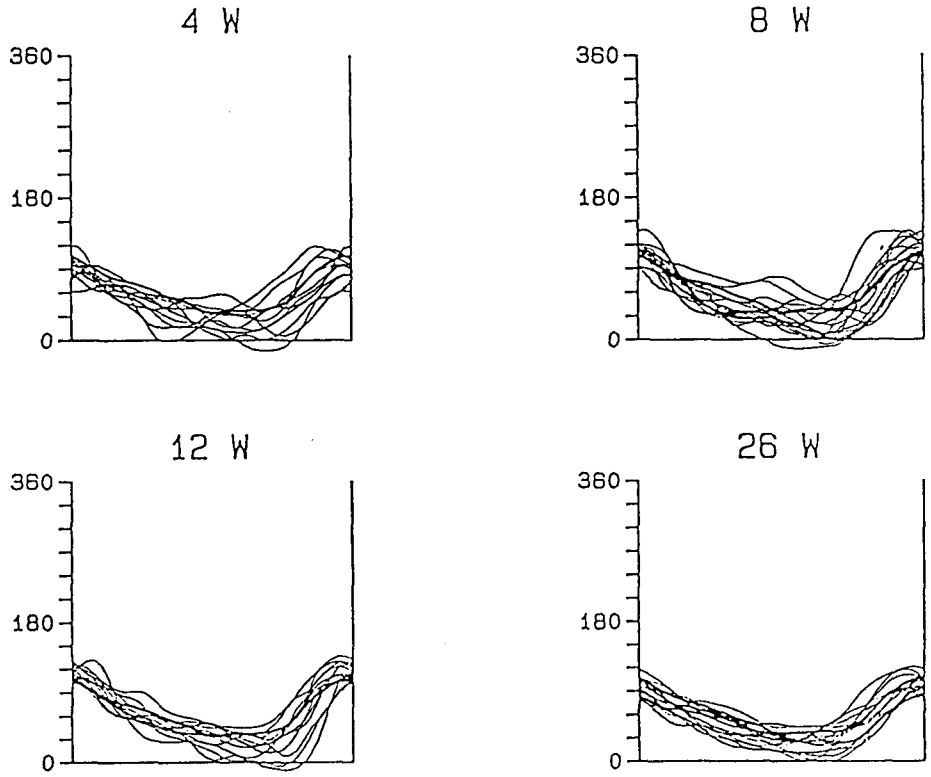


Fig.7. 肩関節の角度変化パターン（太線は成体のパターン）。

ELBOW

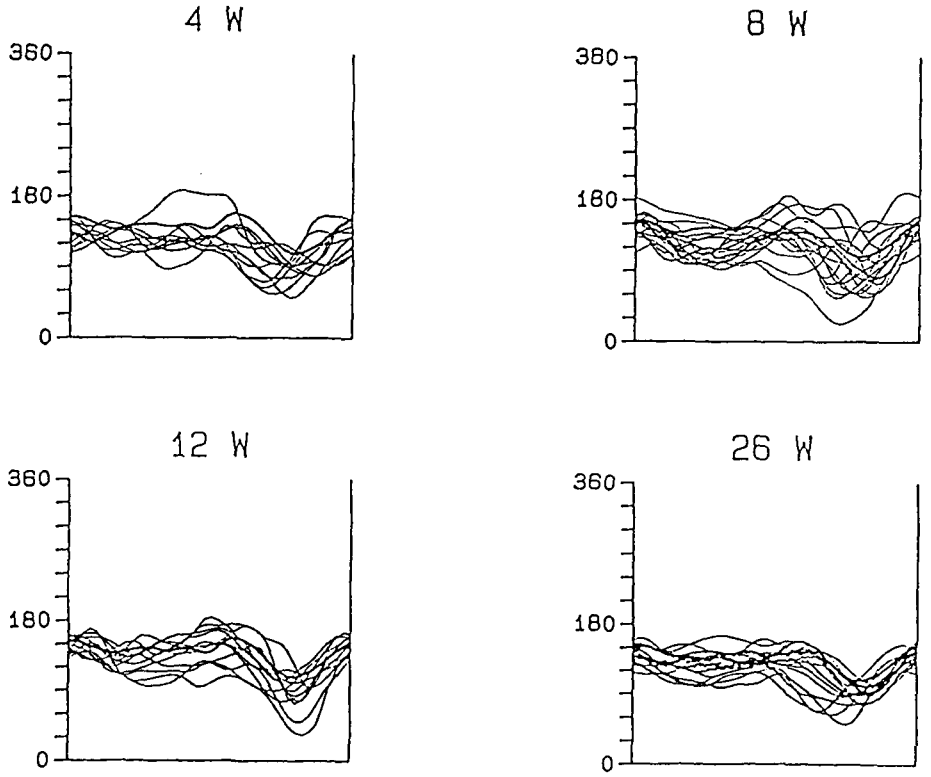


Fig.8. 肘関節の角度変化パターン (太線は成体のパターン)。

WRIST

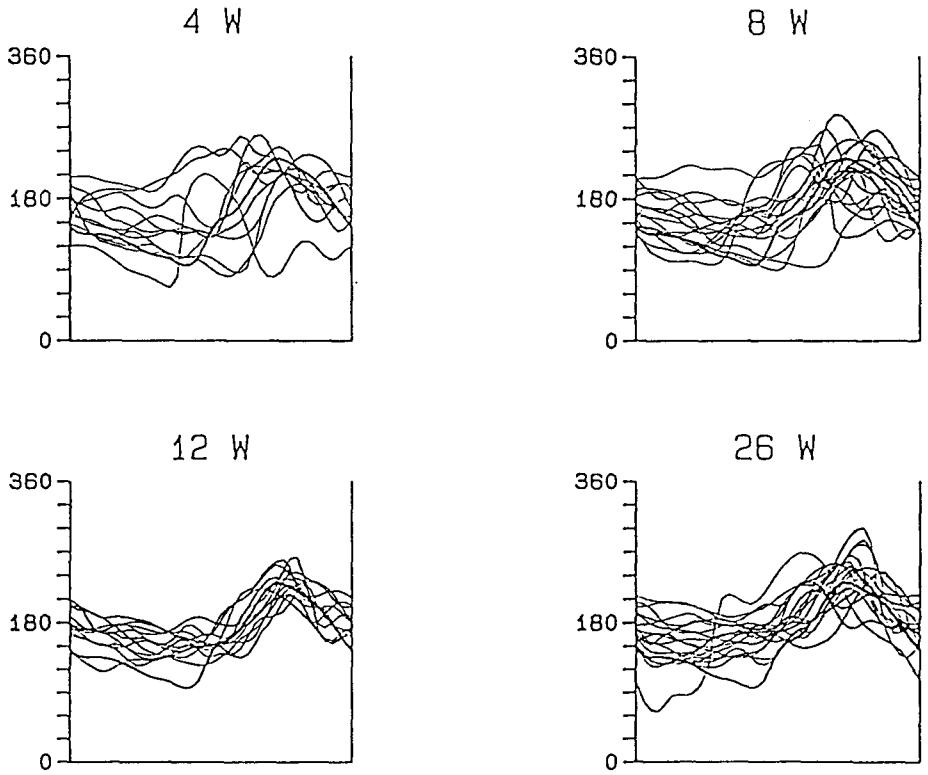


Fig.9. 手根関節の角度変化パターン (太線は成体のパターン)。

後肢（股、膝、足根関節）

４週齢まで(Fig.10)では、どの関節も試行間の差が大きい。また、変化曲線の上下の振幅が大きく、非常に不安定な運動となっている。股関節では４週齢で比較的安定したパターンを示すが、成体型とは異なっている。膝関節、足根関節では、４週齢でも一定のパターンを示さない。

４週齢以後では、股関節(Fig.11)は、８週齢になって成体型のパターンが見られるようになり、12週齢で安定してくる。また、上下の振幅についても26週齢には小さくなる。膝関節(Fig.12)でも同じく８週齢で成体型が見られるようになるが、まだ多くは出現しない。26週齢ではほぼ成体型のパターンに移行している。足根関節(Fig.13)は手根関節と同じくバリエーションが大きいが、加齢にともない安定し、26週齢ではほぼ一定である。

成体型の角度変化のパターンの特徴は、ど

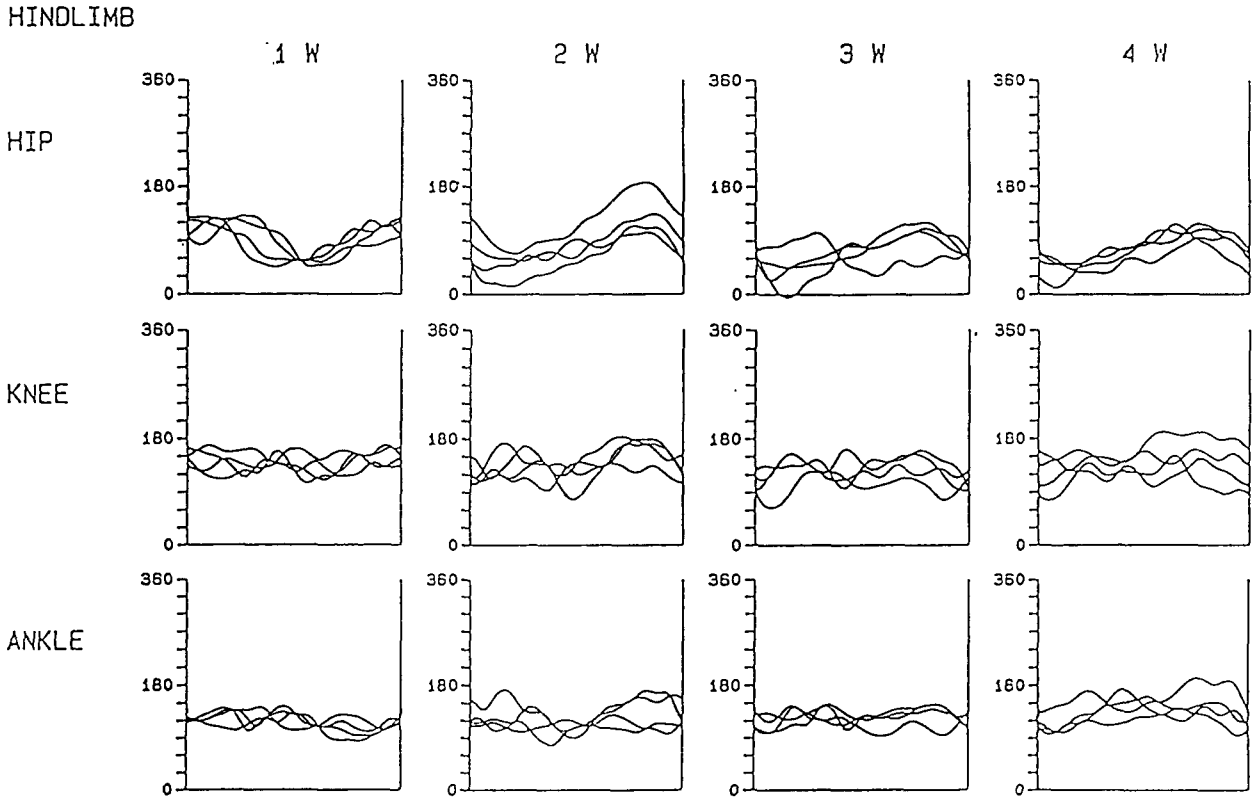


Fig.10. 後肢における4週齢までの各関節の角度変化パターン。

HIP

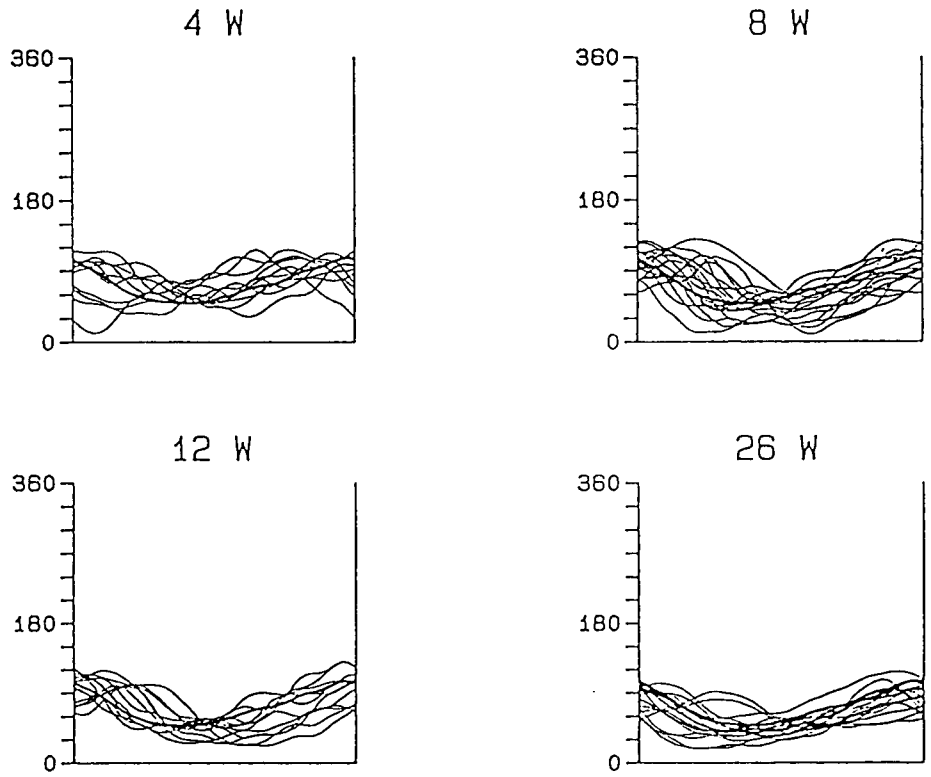


Fig.11. 股関節の角度変化パターン (太線は成体のパターン)。

KNEE

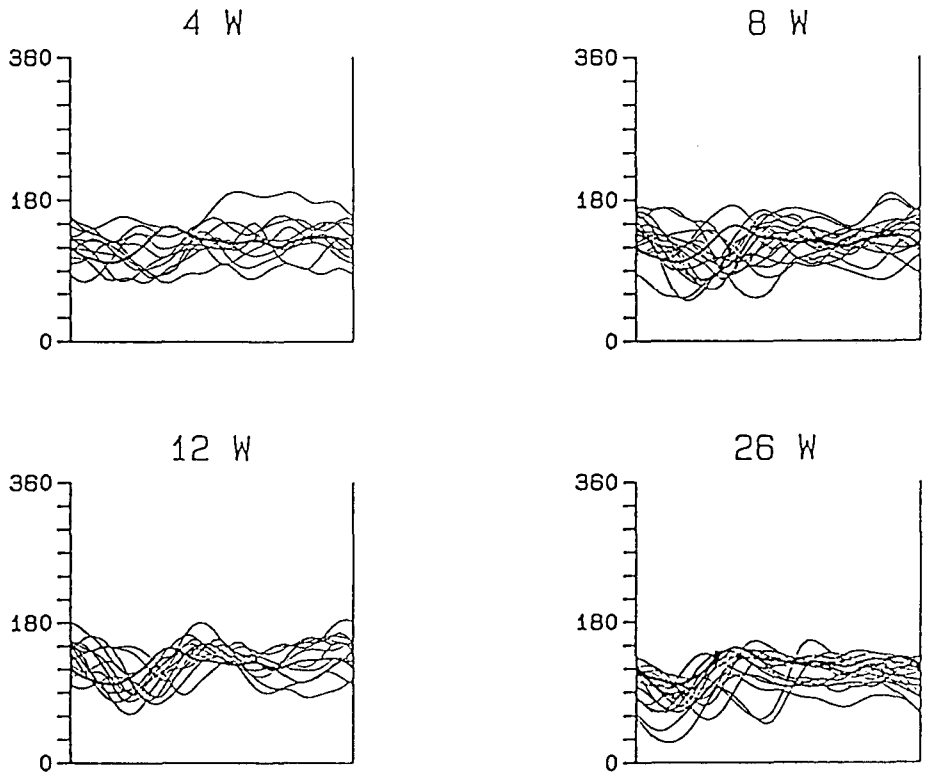


Fig.12. 膝関節の角度変化パターン (太線は成体のパターン)。

ANKLE

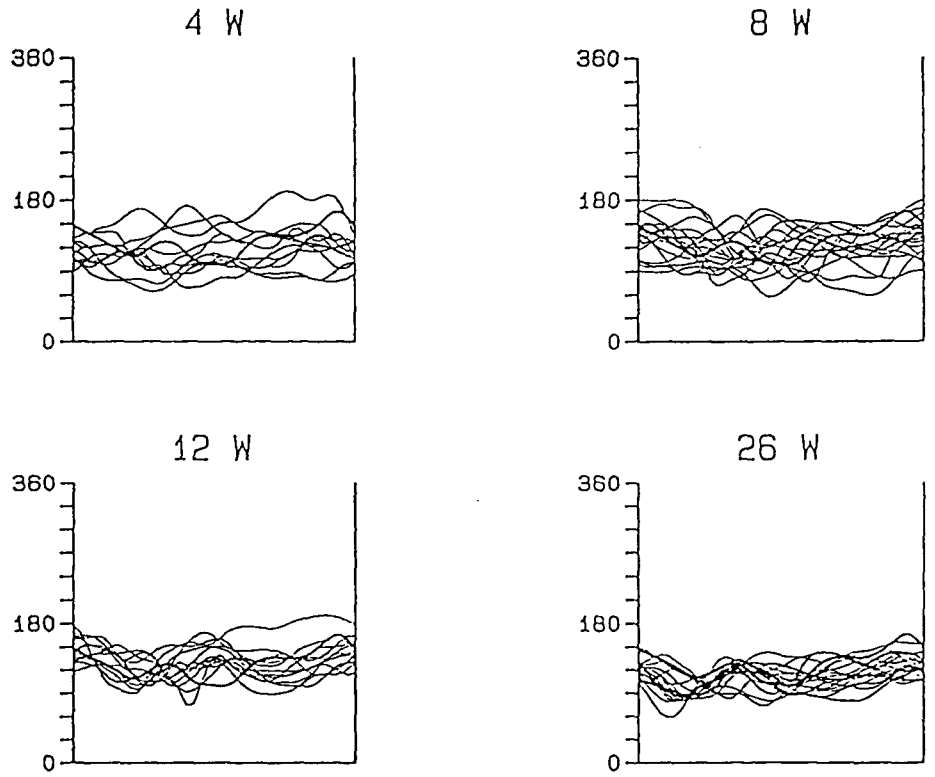


Fig.13. 足根関節の角度変化パターン (太線は成体のパターン)。

の関節についても角度変化（曲線の振幅の大きさと回数）が少なく、なだらかな曲線を示すものであるが、この成体型パターンへの移行は、前述のように、前肢の各関節ではすでに４週齢で多く見られ、12週齢ではほぼ終了しているのに対し、後肢では８週齢でもまだ異なったパターンが多く出現しており、股関節で12週齢、膝関節、足根関節では26週齢になるまで安定しない。

・床反力について

床反力についても自由歩行の条件のもとに計測し、生後28日齢以内（１カ月齢群）、29日から84日齢（３カ月齢群）、85日から168日齢（６カ月齢群）の３つのグループにまとめて比較した。各グループの代表的な床反力波形のパターンをFig.14（前肢）、Fig.15（後肢）に示す。なお、最も早い時期のデータは生後８日齢であった。

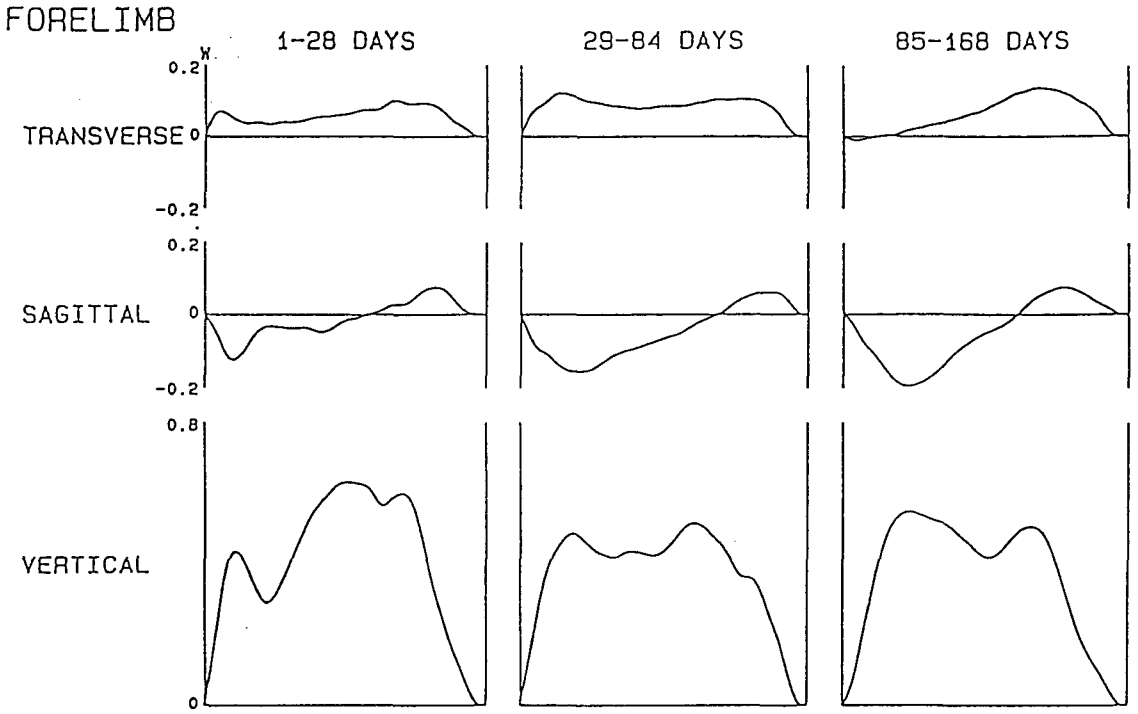


Fig.14. 各年齢群における前肢の床反力。

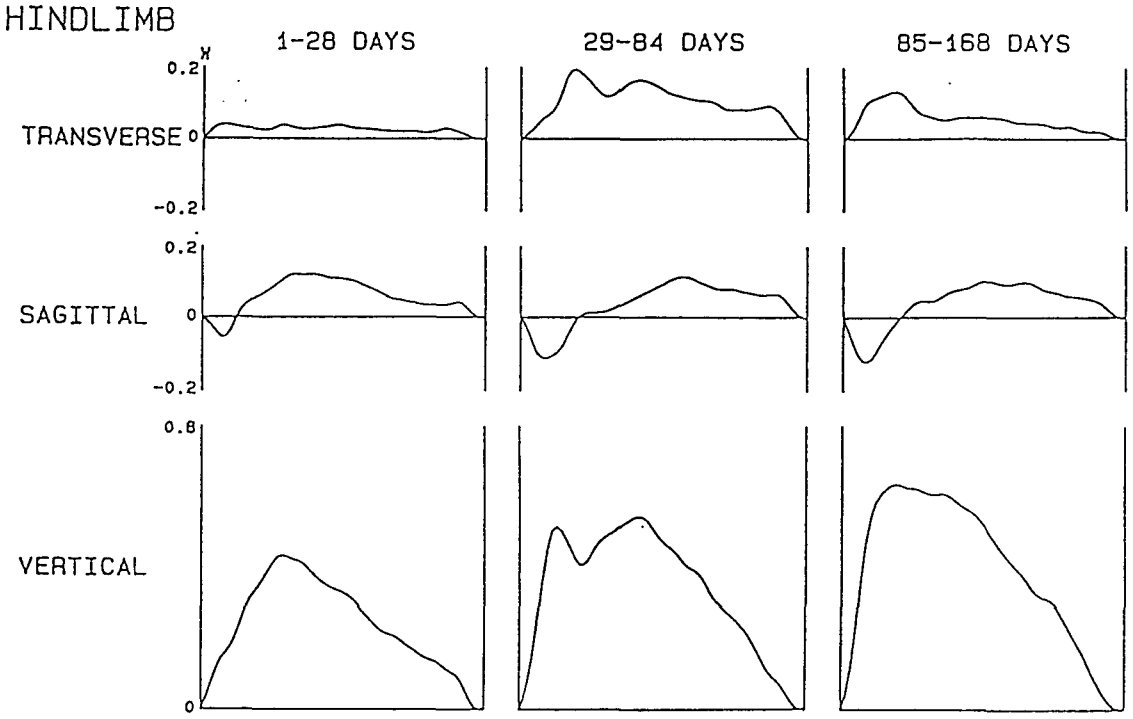


Fig.15. 各年齢群における後肢の床反力。

比較する項目として、前後方向分力のブレーキ成分及び加速成分と、垂直方向分力の3要素を用い、その最大値と波形の積分値を各個体の実験時の体重と各試行ごとの周期時間で基準化した積分平均値を用いた(Fig.16)。

前肢(Fig.17,18)

垂直方向分力では、積分平均値、最大値の両者とも、各グループ間で有意な差は見られなかった。前後方向分力のブレーキ成分では有意な差は見られないものの、積分平均値、最大値ともに、3カ月齢群で増加する傾向がみられる。また、加速成分では3カ月齢群で増加するが、6カ月齢群になると逆に減少している。成体における最大値の結果(Kimura, 1985)と比較すると3要素とも有意な差はないが、垂直方向分力では成体でやや減少するのに対し、ブレーキ成分、加速成分では増加している。これらすべての時期を通してブレー

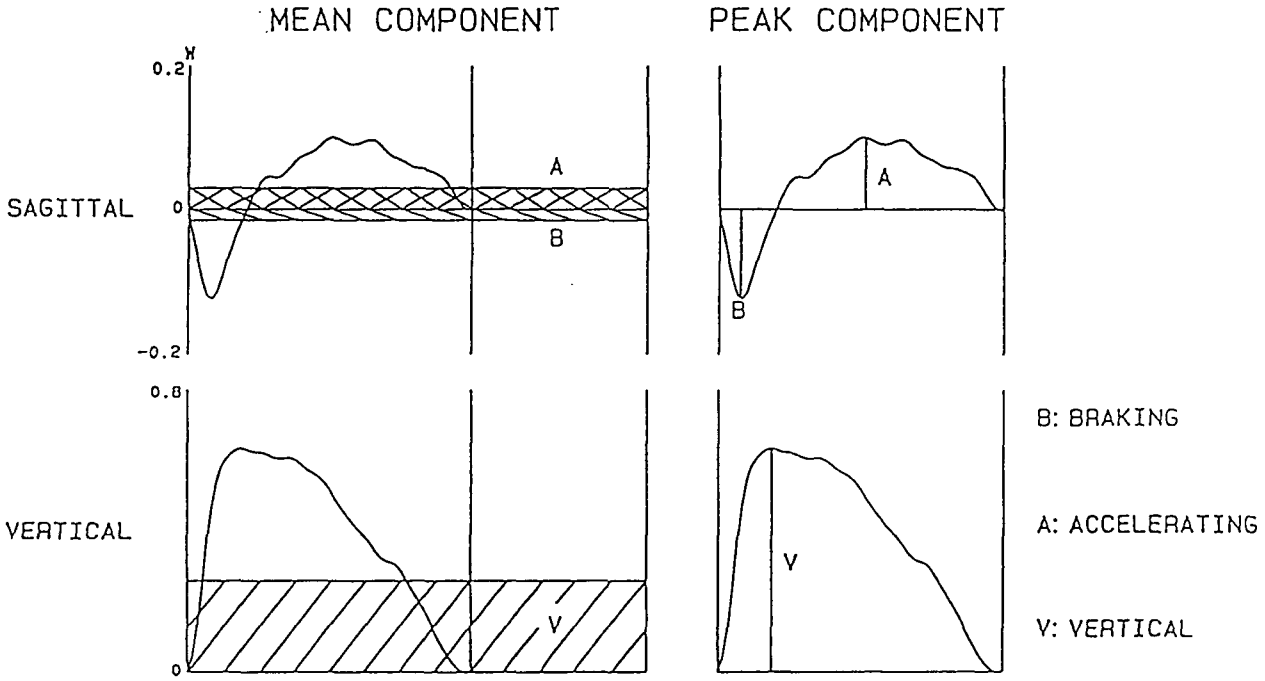


Fig.16. 床反力の比較要素。

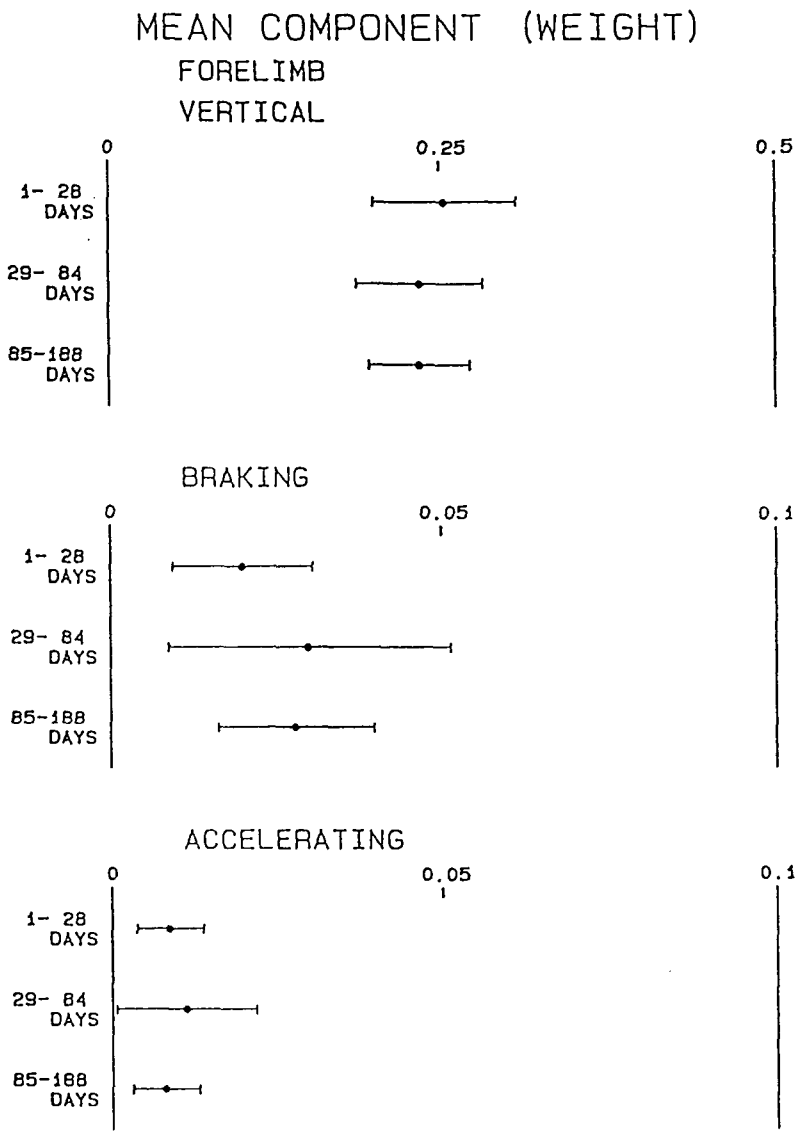


Fig.17. 前肢の床反力積分値平均の変化。

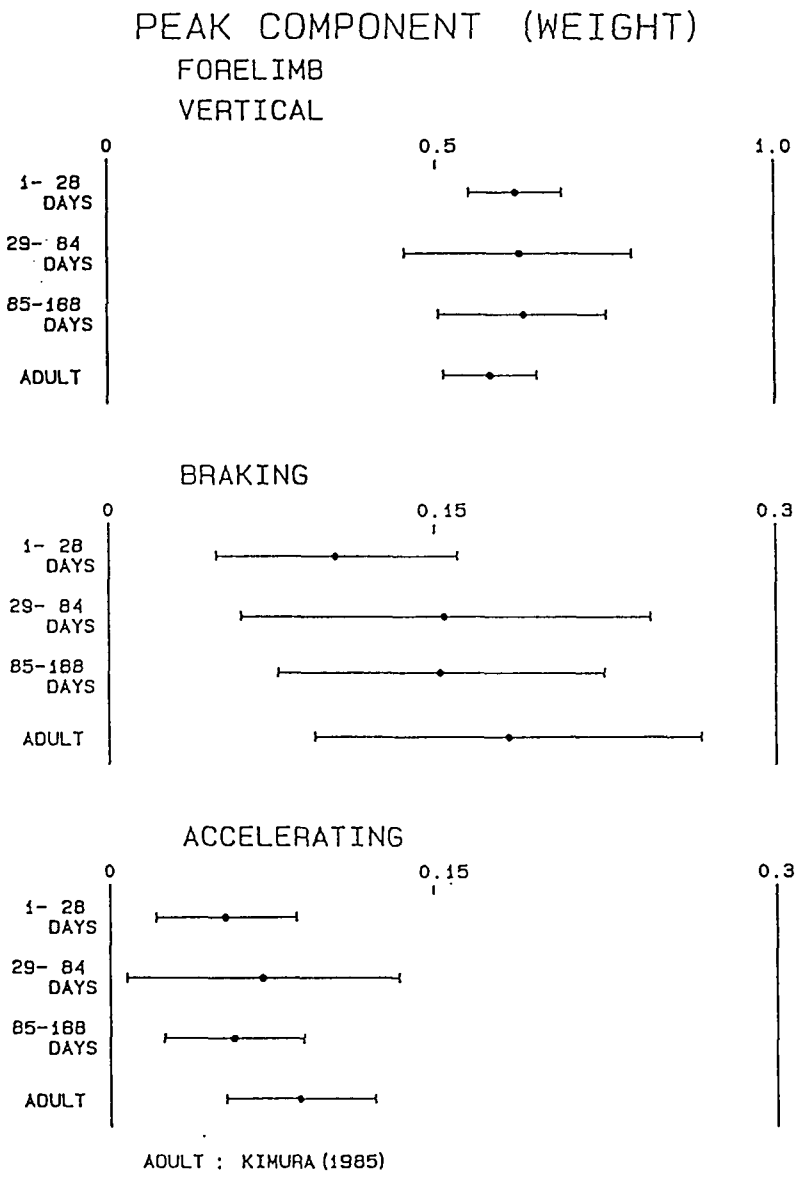


Fig.18. 前肢の床反力の最大値の変化。

キ成分の値が加速成分よりも大きく、１カ月齢群の積分平均値以外は有意差が見られる。特に６カ月齢群以後でより顕著になる。

後肢（Fig.19,20）

垂直方向分力では、積分平均値に差は見られないが、最大値では３カ月齢群で有意に増大し、６カ月齢群で減少する。前後方向分力のブレーキ成分でも同じ傾向がみられ、積分平均値では有意な差はないが、最大値で３カ月齢群の増大が顕著である。加速成分では３カ月齢群で見られる増大が、６カ月齢群でも引き続いて見られている。加速成分とブレーキー成分を比較すると、３カ月齢群の最大値以外は加速成分が大きく、平均積分値では３カ月齢以後に有意な差が見られる。なお、平均積分値と最大値の結果が一致しないのは、立脚期の比率が１カ月齢群で他のグループと大きく異なっている影響である。

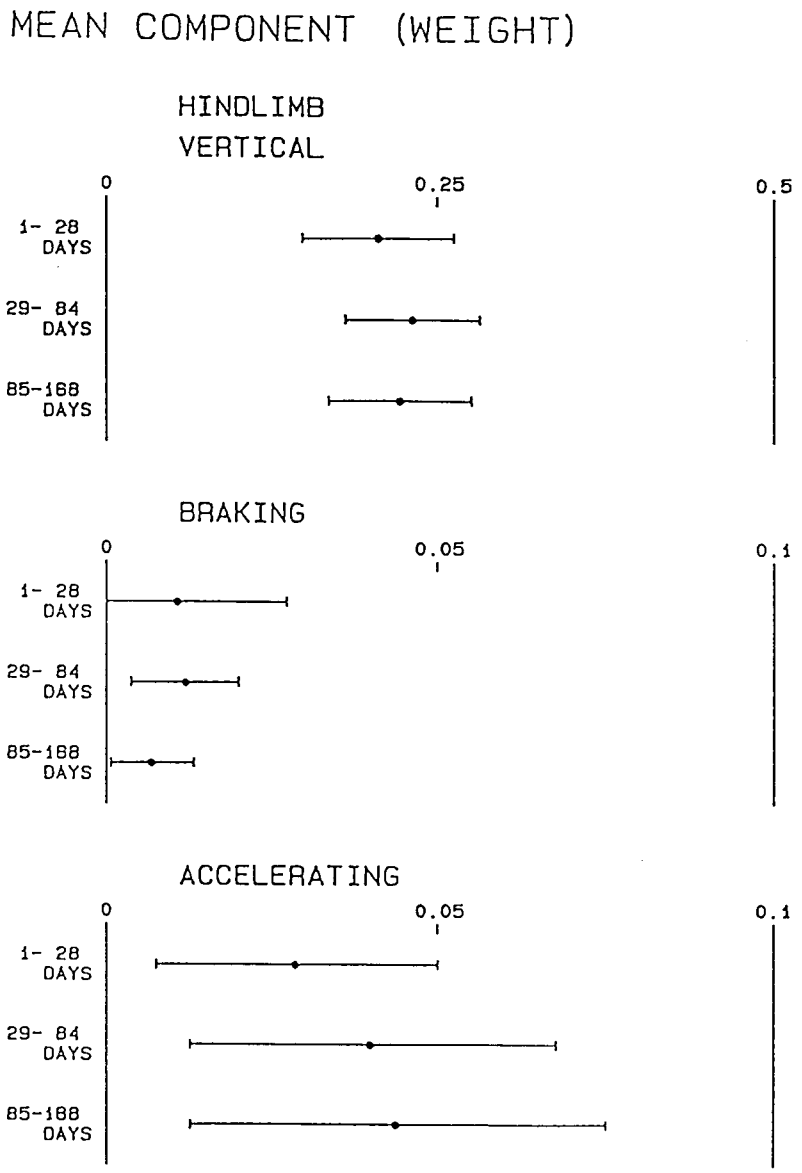


Fig.19. 後肢の床反力積分値平均の変化。

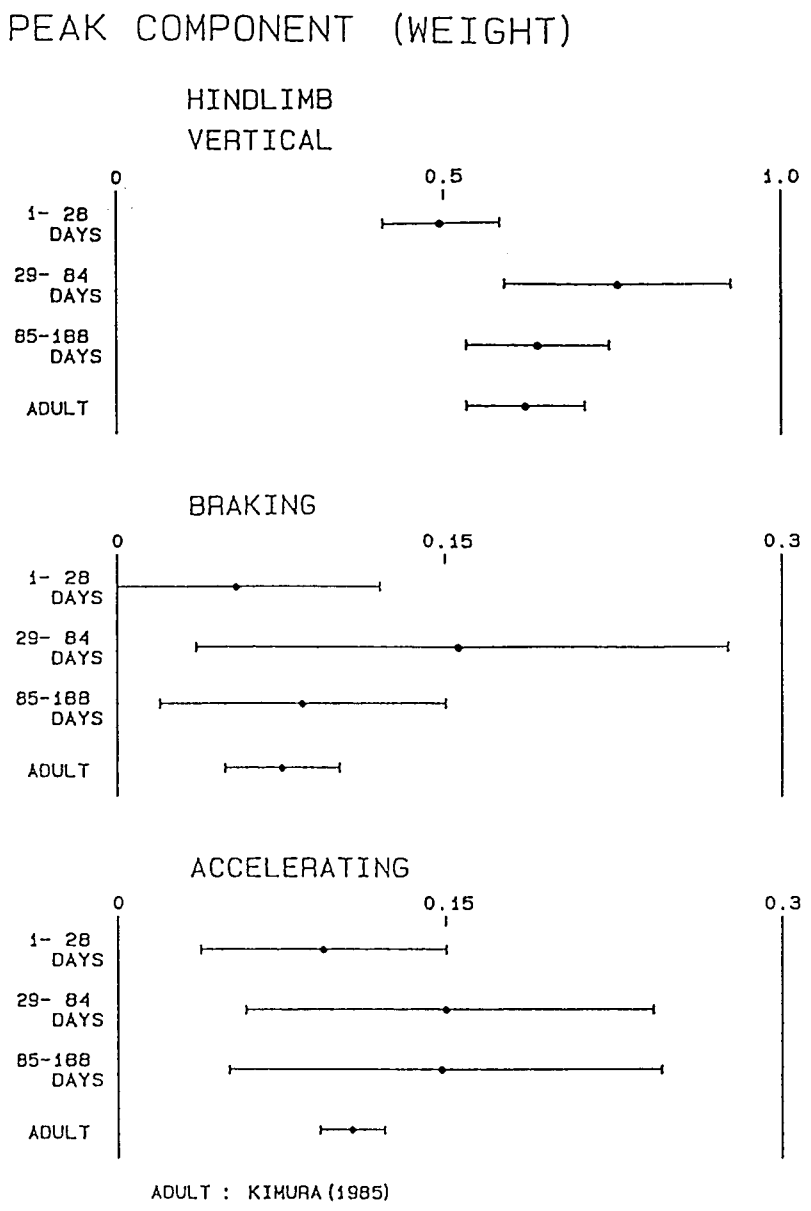


Fig.20. 後肢の床反力の最大値の変化。

２－３　考察

これらの結果から、歩行の発達についていくつかの段階が考えられる。

まず、生後間もない１週齢の歩行では、当然ながらそれ以後の時期と大きく異なった結果を示した。

竹下ら(1983)はニホンザル乳児の姿勢反応の研究により、まず３日齢までを身体を支持出来ない前後肢屈曲の段階と規定した。また鳥越(1984)も１週齢までは這いつくばりが主要な姿勢、位置移動のパターンであるとしている。本研究では四足歩行を実験の対象としており、１週齢（正確には８日齢）がその最も早い時期のデータで、それ以前の運動発達については情報を得ることが出来ない。しかし、１週齢では歩行周期が極端に長く、歩幅は逆に小さいため、歩行速度は遅くゆっくり

した運動を示している。また、立脚期の比率が前後肢ともに大きいことからも、身体の支持機能および歩行能力は未発達な最も初期の歩行であると考えられる。そこで、1週齢までを一括して四足歩行が発達する以前の段階として竹下ら(1983)、鳥越(1984)と同じ第一の段階とする。

2週齢になると歩行周期が急激に短くなり、歩幅の増加、立脚期比率の減少と運動能力が著しく変化し、4週齢まで漸次その傾向が続き、その後はほぼ一定となる。このように最も基本的な移動様式である四足歩行の歩行パターンは4週齢までに達成されており、これはNegayama et al.(1983)の生後1カ月以内で運動能力が大きくに発達するという報告や川辺・川村(1960)の観察研究の結果を裏付けるとともに、鳥越(1984)の報告における「生後1カ月間の身体の支持や位置移動の基本的な様式の成熟」を示している。

また関節角度の結果をみると、前肢におい

ては１週齢ではどの関節も試行間の変異が比較的少ないが、２週齢になると角度変化のパターンが異なり、試行間の差も大きくなる。４週齢までの前肢と後肢の関節角度の比較では、前肢の関節では４週齢で成体型の角度変化パターンが多く見られるのに対して、後肢では４週齢ではまだ成体型とは異なったパターンがほとんどである。このことから、第二の段階として４週齢までの時期に、前肢の運動能力が後肢に先行して発達すると考えられる。竹下ら(1983)はこの時期に前肢の伸展支持機能が観察されるとして前肢伸展・後肢屈曲の段階とした。

前肢の発達という意味では把握や操作の機能もその指標となる。Torigoe(1986)は手掌部の操作が発達するのは１カ月齢以後３カ月齢までであるとした。竹下(1983)の報告も、１カ月齢では対象をはさんだり、つまんだりする手の細かい操作はまだ見られないとしている。

８週齢では、立脚期比率や関節角度についての結果から、前肢がほぼ成体型の歩行パターンに移行しているのに対して、後肢ではまだ成体型のパターンは多くは見られず、股関節、膝関節の角度変化では12週齢で成体型が多く出現する。そして26週齢では前後肢ともに成体型のパターンとなり、試行間の変異もさらに少なくなり歩行が安定したものとなる。このことは４週齢から12週齢までの時期に後肢の運動機能の発達が進むことを示している。これは竹下ら(1983)、鳥越(1984)の観察とも一致する。

竹下(1983)、鳥越(1984)はともにこの時期の後肢の発達が手を解放し、細かい操作を可能にしたと示唆している。しかし、前肢の運動機能はすでに４週齢までにかなり発達しており、この説明では後肢の発達に先行していた手の操作機能が後肢の発達により表面的に発現したのか、逆に後肢の発達が手の操作機能を促したのかという疑問には答えられない。

通常の生息環境では細かな手の操作機能は、ある程度離乳し自分で採食する時期に必要になると考えられるが、歩行などの運動機能はそれに先行して発達する。それゆえ、むしろ手の操作機能の発達は後肢の発達との関連でとらえるのではなく、四足歩行においては手の細かい操作機能は必要とはされないため、腕部の発達より手の発達が遅延すると考えた方がよいのではないか。霊長類各種における運動機能の発達は本質的には、その主たる運動様式とそれに基づく形態（系統的な面も含めて）に影響されているのである。Torigoe（1985）は74種の霊長類を用いて対象物の操作について研究し、操作の様式とfeedingや生息環境におけるその他の行動的適応との関連を指摘しているが、こういった行動的適応も基本的な運動様式や形態に規定されていると考えられる。

歩行発達の次の段階は成体型の歩行への移行期で、ほぼ成体型のパターンとなる26週齢

には終了していると考えられる。

床反力の結果からも同様の運動発達の経過が認められる。垂直方向分力の最大値を前肢と後肢で比較してみると、１カ月齢群では前肢が有意に大きな値を示すのに対し、３カ月齢群では逆に後肢の値がが有意に大きくなり、６カ月齢群になると差は見られなくなる。このことから歩行の際の体重の支持が１カ月齢群ではおもに前肢によって、３カ月齢群では後肢によってそれぞれ行われていることがわかる。すなわち、４週齢までは前肢の運動機能が先に発達するが、１２週齢にかけては後肢の発達が著しいことを示している。このため３カ月群では歩行における後肢の関与が大きくなっており、これは前後方向分力のブレーキ成分、加速成分ともにこの時期では後肢で大きくなっていることからも示されている。ブレーキ成分は前肢でも同様に増加している。６カ月群では前肢ではブレーキ成分は同じレベルを維持し、加速成分が減少する。後肢で

は逆に、加速成分は大きくなり、ブレーキ成分が減少している。このことはこの時期には成体と同様の、前肢がブレーキの働きをし、後肢が加速に働くという歩行における前後肢の機能の分化(Kimura,1985)を示している。この機能分化は、後肢の機能が発達する4週齢から12週齢の間に見られ始めるが、明確に認められるようになるのは、12週齢以後となっている。床反力の最大値では、3カ月齢群の後肢の運動はどの要素でも成体よりも大きい値を示す。これはこの時期の急速な運動機能の発達に対して、運動を制御し歩行全体の調和をはかる機構がまだ十分に発達していないためであると考えられる。この時期に歩幅が大きくなる原因もこの後肢の過度の運動発達に求められる。

以上のような運動学的な面から見た運動発達は、その発達段階と移行時期については行動観察の研究(竹下ら,1983: Negayama et al.,1983: 鳥越,1984)の結果と一致しており、

外部から観察される運動発現の定量的解析が運動能力の発達と密接に関連しており、運動発達の指標として有効であることが確認された。またItoigawa(1973)の野生群における母子関係についての研究、南(1974,1976)の飼育下での母子関係について研究における運動発達の結果とも一致している。

しかし、個体間距離などを母子関係や仲間関係といった個体間の社会性の発達の指標とする研究では、外的に観察される距離と心理的な距離は同じではないことを認識する必要がある。当然のことながら、個体間の物理的距離や接触行動は本研究で示されたような運動能力の発達と密接に関係している。ヒトの場合でもみられるように、発達には形態、心理、生理など多くの異なった側面があり、それぞれの進み具合いは一様ではない。とすれば、運動に関する指標で示された結果は多くの部分が運動発達について示しており、内的な発達との対応はこのことを考慮にいれた上

でなされるべきであろう。

もちろん、こういった発達は相互に関連しあっており、表現される行動に内在する要因の分離は困難である。それゆえ、総合的な発達を知る上での行動研究は重要であり、最も最初になされるべきなのはいうまでもない。そこに運動機能の発達や、さらには生理的な運動器官の発達や神経系の発達についての研究を加えれば、発達についてのより詳しい検討が可能となるであろう。

２－４　結論

ニホンザルの発達にはいくつかの段階がみられることが以前から指摘されてきた（乗越，1971）。

そこで、ニホンザルの乳児の四足歩行の成長による変化についての運動学的な実験研究を行い、次のような結果が示された。

1．　生後1週齢で四足歩行が見られるが、その歩行はそれ以後のものとは大きく異なっており、生後1週齢から2週齢にかけての運動の発達が顕著である。

2．　生後4週齢までは前肢の運動能力が後肢よりも優位である。

3．　4週齢から12週齢にかけては後肢の発達が著しく歩行において、加速、ブレーキの両機能ともに後肢の働きが大きくなる。

4．　12週齢をすぎると前肢はブレーキ、後肢は加速という歩行における機能分化がみられる。

5．　26週齢には成体型の歩行パターンに移行している。

以上のことから、ニホンザルの発達段階について運動学的分析から、歩行が未発達な期間、前肢の発達が優位な期間、後肢の発達が顕著な期間、前後肢の運動が調和される期間、完成期の5つの段階が認められた。そして、それぞれの移行時期は1週齢、4週齢、12週

齢、26週齢と考えられる。

これらは、行動観察の研究の結果と一致しており、外部から観察される運動発現の定量的解析が運動の発達の指標として有効であることが確認された。しかし、ニホンザルの運動能力には発達段階により明確な差があることから運動、姿勢や個体間距離などを母子関係や仲間関係といった個体間の社会性の発達の指標とする際には、これらの運動能力の発達を考慮しなければならないことも示された。

第Ⅲ章　計算機シミュレーションによる分析

1.　シミュレーション研究について

生体の運動時における生体内部に働く力を直接的に測定することは非常に困難である。そのため、外部で計測される値から計算機を利用したシミュレーションにより身体内部の力を求める方法が考案されている(Elftman, 1939: Morrison,1970: Cappozzo et al., 1975: Quanbury et al.,1975: Pedotti, 1977: Winter,1980: Boccardi et al.,1981: Mena et al.,1981: Minns,1981: Townsend, 1981: Zarrugh,1981: Procter and Paul, 1982)。

こういったシミュレーション研究の利点として、測定不可能な身体内部の力を求めることが出来る点の他に、パラメーターを変える

ことにより条件の設定を自由に変えられる点、総合的な解析が可能である点があげられる（山崎，1975）。

本研究でも、外部への力や運動を運動学的に分析するだけでなく、生体内部の力学的な変化と身体発達との関係を考察するために、計算機シミュレーションを行った。

霊長類の二足歩行については、山崎（1975）がモデルを設定している。本研究ではその山崎（1975）の考案した二足歩行についての計算機シミュレーションモデルを四足歩行に応用してモデルを作成し、ニホンザル乳児の歩行における生体内部の力を計算した。

2. 二足歩行モデル

山崎（1975）は全身を二次元的にリンクモデル化して力学的な計算式をたて（Fig.21）、そこから運動変位と床反力の測定値を入力する

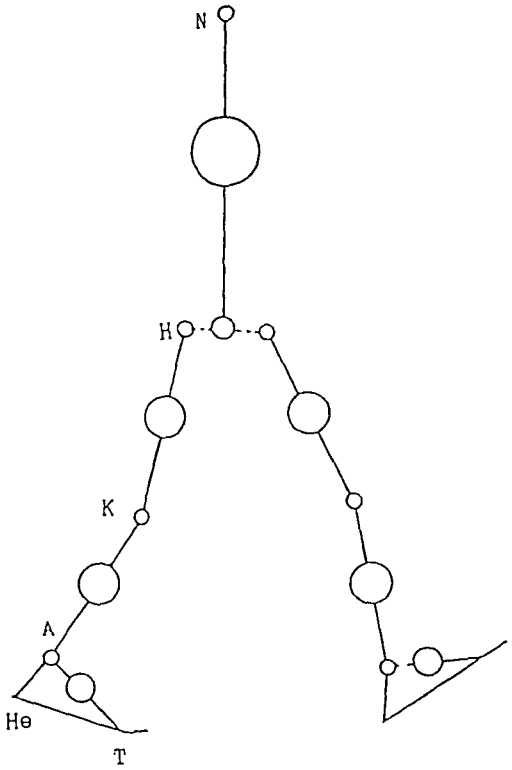


Fig.21. 二足歩行のリンクモデル (山崎 1975)

ことにより、各関節にかかるモーメントを求めた。さらに、各関節にかかる力を発生させる筋力を求めるため筋骨格モデル(Fig.22)を設定し、それにより力の釣合式を導いた。その結果として、関節モーメント、筋力、発生パワー、関節伝達力、エネルギー量が計算されている。Yamazaki(1985)はこのモデルを用いてヒト、チンパンジー、テナガザル、クモザル、ニホンザルの歩行を比較した。

3. 四足歩行モデル

山崎の二足歩行モデルの四足歩行への応用については、前肢を含めた全身のモデル再検討が必要となったため、前肢についても体節ごとに分けたモデルを想定した。

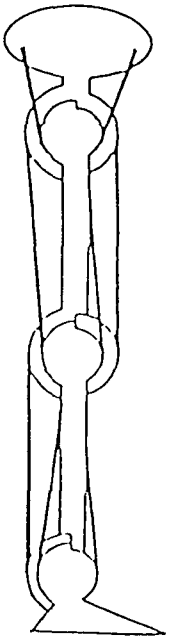


Fig.22.　二足歩行の筋骨格モデル　(山崎 1975)

・力学モデル

二足歩行モデルと同じく全身を関節ごとに分割した体節のリンクモデル(Fig.23)を設定する。山崎の二足歩行モデルでは前肢を含む上体を一つの剛体と仮定したが、ここでは頭部と胴体について一つの剛体と見なした。

この力学モデルより、前後方向床反力をF、前後方向関節部反力をf、前後方向運動変位をx、垂直方向床反力をN、垂直方向関節部反力をn、垂直方向運動変位をy、各体節の質量をm、節長をL、重心位置をl、慣性モーメントをI、重力加速度をg、角加速度を$\ddot{\theta}$、着地位置座標を示す関数をu(t)、関節モーメントをMとすれば以下の式が導かれる。

<u>前肢</u>

$$f_{WR}=F_R-m_{3R}\ddot{x}_{3R} \qquad n_{WR}=N_R-m_{3R}(\ddot{y}_{3R}+g)$$

$$f_{ER}=f_{WR}-m_{2R}\ddot{x}_{2R} \qquad n_{ER}=n_{WR}-m_{2R}(\ddot{y}_{2R}+g)$$

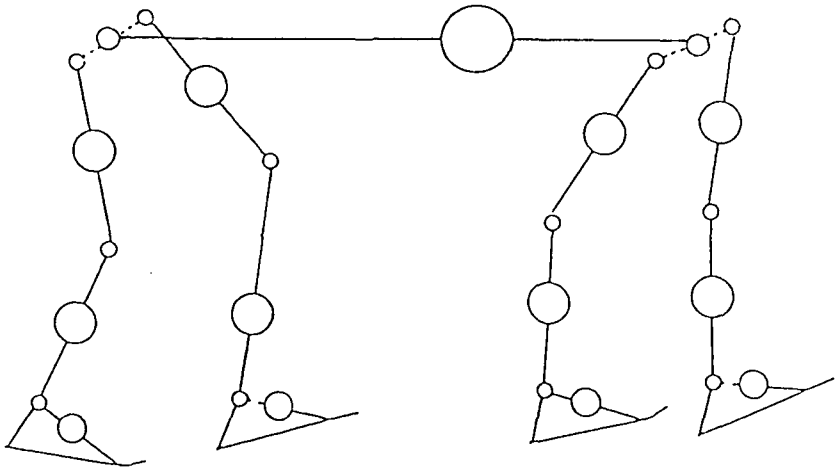


Fig.23.　四足歩行のリンクモデル

$$f_{SR} = f_{ER} - m_{1R}\ddot{x}_{1R} \qquad n_{SR} = n_{ER} - m_{1R}(\ddot{y}_{1R} + g)$$

$$f_{WL} = F_L - m_{3L}\ddot{x}_{3L} \qquad n_{WL} = n_L - m_{3L}(\ddot{y}_{3L} + g)$$

$$f_{EL} = f_{WL} - m_{2L}\ddot{x}_{2L} \qquad n_{EL} = n_{WL} - m_{2L}(\ddot{y}_{2L} + g)$$

$$f_{SL} = f_{EL} - m_{1L}\ddot{x}_{1L} \qquad n_{SL} = n_{EL} - m_{1L}(\ddot{y}_{1L} + g)$$

$$F_R + F_L = \sum_{i=1}^{3} (M_{iR}\ddot{x}_{iR} + m_{iL}\ddot{x}_{iL}) + m_b\ddot{x}_b$$

$$N_R + N_L = \sum_{i=1}^{3} (M_{iR}(\ddot{y}_{iR} + g) + m_{iL}(\ddot{y}_{iL} + g)) + m_b(\ddot{y}_b + g)$$

$$\begin{aligned} M_{WR} = {} & I_{3R}\ddot{\theta}_{3R} - F_R(y_{WR} - y_{MRc}) \\ & + m_{3R}\ddot{x}_{3R}(l_{3R}/L_{3R})(y_{WR} - y_{MR}) \\ & - N_R(x_{MRc} - x_{WR} + L_{3R}u_1(t)) \\ & + m_{3R}(\ddot{y}_{3R} + g)(l_{3R}/L_{3R})(x_{MR} - x_{WR}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ER} = {} & I_{2R}\ddot{\theta}_{2R} \\ & - (f_{WR} - m_{2R}\ddot{x}_{2R}(l_{2R}/L_{2R})(y_{ER} - y_{WR}) \\ & - (n_{WR} - m_{2R}(\ddot{y}_{2R} + g)(l_{2R}/L_{2R})(x_{WR} - x_{ER}) \\ & + M_{WR} \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
M_{SR} = {} & I_{1R}\ddot{\beta}_{1R} \\
& -(f_{ER} - m_{1R}\ddot{x}_{1R}(l_{1R}/L_{1R})(y_{SR} - y_{ER}) \\
& -(n_{ER} - m_{1R}(\ddot{y}_{1R} + g)(l_{1R}/L_{1R})(x_{ER} - x_{SR}) \\
& + M_{ER}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
M_{SR} + M_{SL} = {} & -I_b\ddot{\beta}_b + 1/2(n_{SR} - n_{SL})(x_{SR} - x_{SL}) \\
& -(n_{SR} + n_{SL})(x_N - 1/2(x_{SR} + x_{SL}))(l_b/L_b) \\
& -1/2(f_{SR} - f_{SL})(y_{SR} - y_{SL}) \\
& +(f_{SR} + f_{SL})(y_N - 1/2(y_{SR} + y_{SL}))(l_b/L_b)
\end{aligned}
$$

<u>後肢</u>

$$
\begin{aligned}
f_{AR} &= F_R - m_{6R}\ddot{x}_{6R} & n_{AR} &= N_R - m_{6R}(\ddot{y}_{6R} + g) \\
f_{KR} &= f_{AR} - m_{5R}\ddot{x}_{5R} & n_{KR} &= n_{AR} - m_{5R}(\ddot{y}_{5R} + g) \\
f_{HR} &= f_{KR} - m_{4R}\ddot{x}_{4R} & n_{HR} &= n_{KR} - m_{4R}(\ddot{y}_{4R} + g) \\
f_{AL} &= F_L - m_{6L}\ddot{x}_{6L} & n_{AL} &= n_L - m_{6L}(\ddot{y}_{6L} + g) \\
f_{KL} &= f_{AL} - m_{5L}\ddot{x}_{5L} & n_{KL} &= n_{AL} - m_{5L}(\ddot{y}_{5L} + g)
\end{aligned}
$$

$$f_{HL} = f_{KL} - m_{4L}\ddot{x}_{4L} \qquad n_{HL} = n_{KL} - m_{4L}(\ddot{y}_{4L} + g)$$

$$F_R + F_L = \sum_{i=4}^{6} (M_{iR}\ddot{x}_{iR} + m_{iL}\ddot{x}_{iL}) + m_b\ddot{x}_b$$

$$N_R + N_L = \sum_{i=4}^{6} (M_{iR}(\ddot{y}_{iR} + g) + m_{iL}(\ddot{y}_{iL} + g)) + m_b(\ddot{y}_b + g)$$

$$\begin{aligned} M_{AR} = {} & I_{6R}\ddot{\beta}_{6R} - F_R(y_{AR} - y_{TRc}) \\ & + m_{6R}\ddot{x}_{6R}(l_{6R}/L_{6R})(y_{AR} - y_{TR}) \\ & - N_R(x_{MRc} - x_{AR} + L_{6R}u_2(t)) \\ & + m_{6R}(\ddot{y}_{6R} + g)(l_{6R}/L_{6R})(x_{TR} - x_{AR}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{KR} = {} & I_{5R}\ddot{\beta}_{5R} \\ & - (f_{AR} - m_{5R}\ddot{x}_{5R}(l_{5R}/L_{5R})(y_{KR} - y_{AR}) \\ & - (n_{AR} - m_{5R}(\ddot{y}_{5R} + g)(l_{5R}/L_{5R})(x_{AR} - x_{KR}) \\ & + M_{AR} \end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
M_{HR} = {} & I_{4R}\ddot{\beta}_{4R} \\
& -(f_{KR} - m_{4R}\ddot{x}_{4R}(l_{4R}/L_{4R})(y_{HR} - y_{KR}) \\
& -(n_{KR} - m_{4R}(\ddot{y}_{4R} + g)(l_{4R}/L_{4R})(x_{KR} - x_{HR}) \\
& + M_{KR}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
M_{HR} + M_{HL} = {} & -I_{bb} + 1/2(n_{HR} - n_{HL})(x_{HR} - x_{HL}) \\
& -(n_{HR} + n_{HL})(x_N - 1/2(x_{HR} + x_{HL}))(l_b/L_b) \\
& -1/2(f_{HR} - f_{HL})(y_{HR} - y_{HL}) \\
& +(f_{HR} + f_{HL})(y_N - 1/2(y_{HR} + y_{HL}))(l_b/L_b)
\end{aligned}
$$

S：肩関節　E：肘関節　W：手根関節

H：股関節　K：膝関節　A：足根関節

1：上腕部　2：前腕部　3：手掌部

4：大腿部　5：下腿部　6：足部　b：頭胴部

L：左側　R：右側

・筋骨格モデル

関節モーメントに関与する各筋力を計算するために前肢、後肢の筋骨格系をモデル化し

た。後肢については山崎の二足歩行の筋骨格モデルをそのまま利用し８つの筋群に分け、前肢についてはその筋付着の関係から１０の筋群に分けた(Fig.24)。各筋群に含まれる筋をTable 4に示す。

このモデルにより以下のような関節モーメント(M)と筋力(F)の釣合式が求められる。

前肢

$$M_S = a_{S5}F_{F5} + a_{S6}F_{F6} - a_{S1}F_{F1} - a_{S2}F_{F2}$$

$$M_E = a_{E5}F_{F5} + a_{E7}F_{F7} + a_{E8}F_{F8} + a_{E9}F_{F9} - a_{E2}F_{F2} - a_{E3}F_{F3}$$

$$M_W = a_{W9}F_{F9} + a_{W10}F_{F10} - a_{W3}F_{F3} - a_{W4}F_{F4}$$

後肢

$$M_H = a_{H5}F_{H5} + a_{H6}F_{H6} - a_{H1}F_{H1} - a_{H2}F_{H2}$$

$$M_K = a_{K7}F_{H7} + a_{K6}F_{H6} - a_{K2}F_{H2} - a_{K3}F_{H3}$$

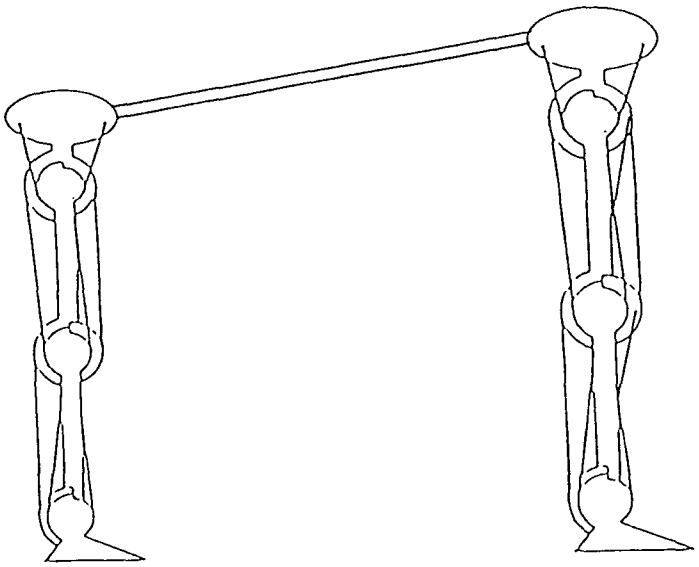


Fig.24. 四足歩行の筋骨格モデル

前肢

1	三角筋（背側部）	7	上腕筋
2	上腕三頭筋	8	腕橈骨筋
			円回内筋
3	橈側手根屈筋		
	尺側手根屈筋	9	長橈側手根伸
	長掌筋		短橈側手根伸筋
	浅指屈筋		総指伸筋
			尺側手根伸筋
4	深指屈筋		第四、五指伸筋
5	三角筋（腹側部）	10	長母指伸筋
			長母指外転筋
6	上腕二頭筋		第二、三指伸筋

後肢

1	大殿筋	5	腸腰筋
			恥骨筋
2	大腿二頭筋		腸内転筋
	大腿薄筋		
	半腱様筋	6	大腿直筋
	半膜様筋		大腿筋膜張筋
3	腓腹筋	7	外側広筋
			中間広筋
4	ヒラメ筋		内側広筋
	長腓骨筋		
	短腓骨筋	8	前脛骨筋
	長母趾屈筋		長趾伸筋
	後脛骨筋		第三腓骨筋
	長趾屈筋		長母趾伸筋

Table 4. 各筋群の分類。

$$M_A = a_{A8}F_{H8} - a_{A3}F_{H3} - a_{A4}F_{H4}$$

a：筋付着距離　F：前肢　H：後肢
数字はTable 4における各筋群

これらの式から各筋力を導くためには、さらに次のような仮定が必要とされる（山崎，1975）。

・各筋力の方向は一定である。
・同期的に活動する筋の同一機能に対する筋力は、各筋の生理断面積に比例して配分される。
・筋力は非負である。
・筋は歩行に必要なパワーを最小にするように働く。

さらに、筋の同期拮抗関係については霊長類や四足獣を用いた報告（Tokuriki，1973；富

田，1967; Tuttle et al.,1972; Tuttle and Basmajian,1974,1978; Tuttle et al.,1983; Susman and Stern,1979; Stern et al., 1976,1980)と実際の筋電測定の結果より、次のような仮定が成り立つ。

・同一の関節において同一方向の運動機能を持つ筋群は同期的に活動する。
・同一の関節において逆方向の運動機能を持つ筋群は拮抗に活動する。

以上の計算式および仮定から、歩行における運動変位と床反力の測定値を入力することによって、各関節モーメントと各筋力を計算することができる。

4. 生体物理定数

先に述べたように、このシミュレーション

モデルでは、運動変位と床反力の測定値を入力データとして利用するが、その計算に際しては定数値として、力学モデルにおいては、各体節ごとの寸法、重心位置、質量、慣性モーメントを、筋骨格モデルにおいては、筋の生理断面積、関節中心から筋付着点までの距離が必要とされる。これらの定数は、被験体ごとに実測することが困難であるため、被験体の代表値として、体重と下腿長を入力することにより物理定数が推定できるように基準とする値を冷凍標本、骨格標本を利用して求めた。

生体物理定数の測定方法については様々な方法が考案されている。

Weinbach(1938)は、正面と側面からの写真を利用したcontour map法を考案し、ヒトの各体節の重心、体積、慣性モーメントを求めている。慣性モーメントについてはHill(1940)が体節を振子運動させた場合の周期を測定し、物理的な計算式から求めた。Fujikawa(1963)

は体節の重心をsuspension法により求めた。Dempster and Gaughram(1967)も重心についてはsuspension法とbalancing法で、体積は水置換法により測定した。

松井(1956)は生きているヒトの各体節の体積、質量、重心位置について体節を円錐台であると仮定して求めている。その他、ヒトの生体での計測値に関しては、Contini et al.(1963)が質量、体積、重心、慣性モーメントについて、Hatze(1975)が慣性モーメントと重心について、Miller and Morrison(1975)が質量と慣性モーメントについてそれぞれ報告している。Clauser et al.(1969)はヒトの死体の体節の質量、体積、重心を求めた結果についての詳しい報告を行っている。Chandler et al.(1975)はさらにClauser et al.(1969)の方法にHill(1939)の計算式を利用した慣性モーメントのデータを加えて報告している。Payton(1986)はオシログラフ利用した慣性モーメントの簡易な測定方法を提案した。

霊長類の生体物理定数については、Grand(1977a,1977b)がホエザルなど6属10種、Vilensky(1979)がアカゲザル、Wells and DeMenthon(1987)がブラウンキツネザルを用いてそれぞれ求めている。

本実験では、ニホンザルの冷凍全身標本を用いて、体節ごとの質量については実測し、重心位置はbalancing法により、慣性モーメントはHill(1939)の方法により求めた。なお、各体節の切断面については、Clauser et al.(1969)の基準に従った。

筋付着位置はニホンザルの骨格標本から計測し、山崎(1975)に従い補正した。また、筋生理断面積の筋群ごとの相対値については、Hamada(1983)の求めたニホンザルの各筋の重量のデータを用いた。

5. シミュレーション手順

シミュレーションの手順をFig.25に示す。シミュレーションの計算式への入力値としては、生体計測値と第II章で示した歩行の運動変位と床反力の結果を用いる。生体計測値からTable 5に示した基準値を利用して、生体物理定数が推定される。運動変位の計測値からは関節角度が計算され、その角度変化に基づき関節の角加速度が得られる。この角加速度と床反力の前後方向と垂直方向の計測値を、力学モデルから導かれた式に代入し、関節モーメントが得られる。さらに、筋骨格モデルによる関節モーメントと筋力の釣合式から、各筋力とパワー、エネルギー量が計算される。

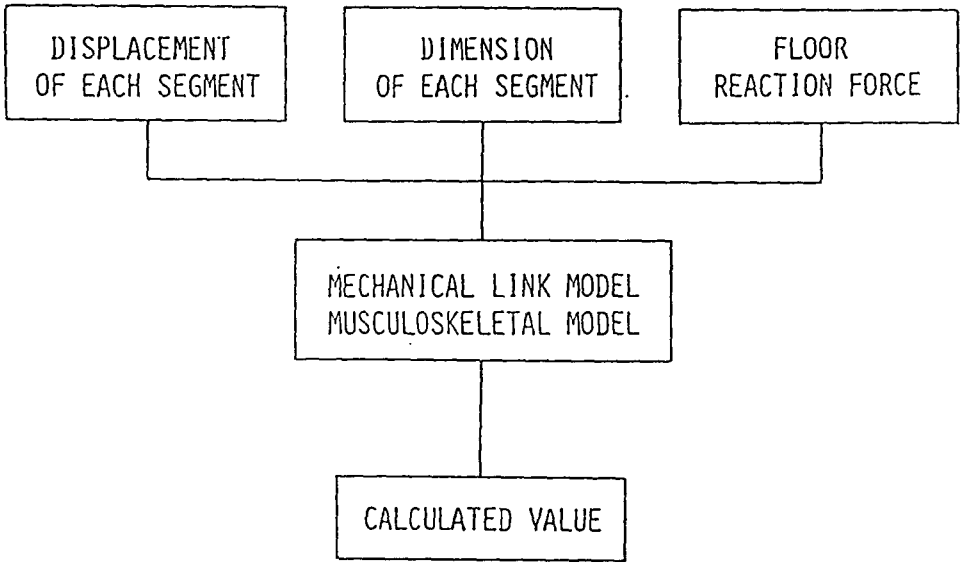


Fig.25. シミュレーションの手順

	質量比 (%)	節長 (cm)	重心 (%)	慣性モーメント (kgm)
頭胴部	70.74	24.7	65.6	0.03596
上腕部	5.32	6.35	41.2	0.00005
前腕部	2.13	7.93	50.5	0.00007
手掌部	0.69	5.90	43.0	0.00001
大腿部	4.87	6.41	47.1	0.00014
下腿部	2.77	6.70	40.6	0.00006
足部	1.57	8.78	33.4	0.00004

Table 5. 生体物理定数の基準値

6. シミュレーションの結果

・関節モーメント

前肢

肩関節(Fig.26)では1週齢では、立脚の初期に伸展へのモーメントが大きく働くが徐々に伸展モーメントは減少していき、12週齢では屈曲モーメントが増大する。22週齢では、立脚の初期に働くモーメントは小さいが、立脚の後期から遊脚期にかけて伸展モーメントが増大する。肘関節(Fig.27)では1週齢では、接地直後から屈曲のモーメントがみられるが、これはすぐに失われ3週齢以後、10週齢までの間には、逆に立脚期の伸展モーメントが大きく働くようになる。しかし、10週齢を越えると、立脚前期に伸展、立脚後期から遊脚前期にかけて屈曲モーメントが働くようになる。手根関節(Fig.28)は試行ごとの差が大きいが、

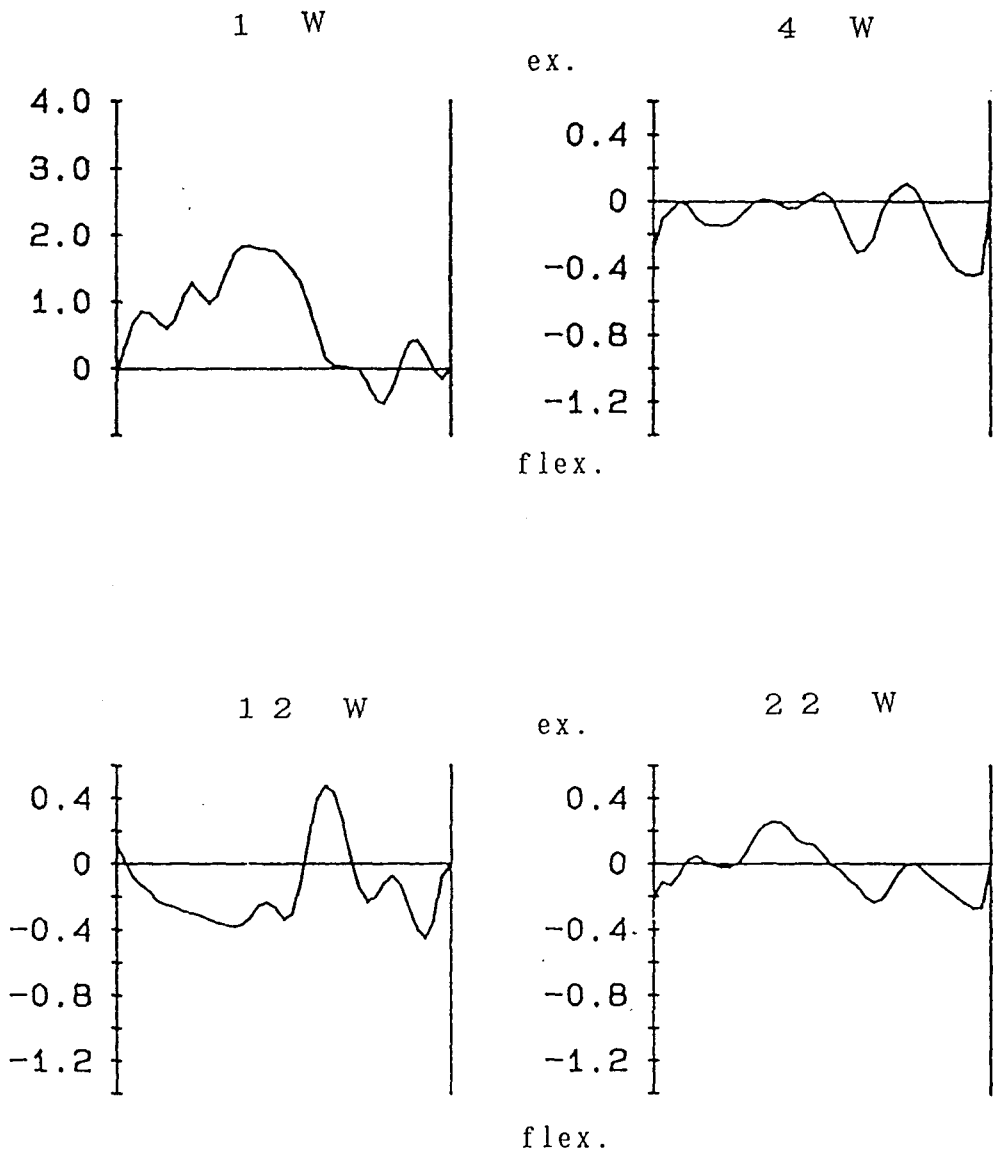


Fig.26. 肩関節モーメント

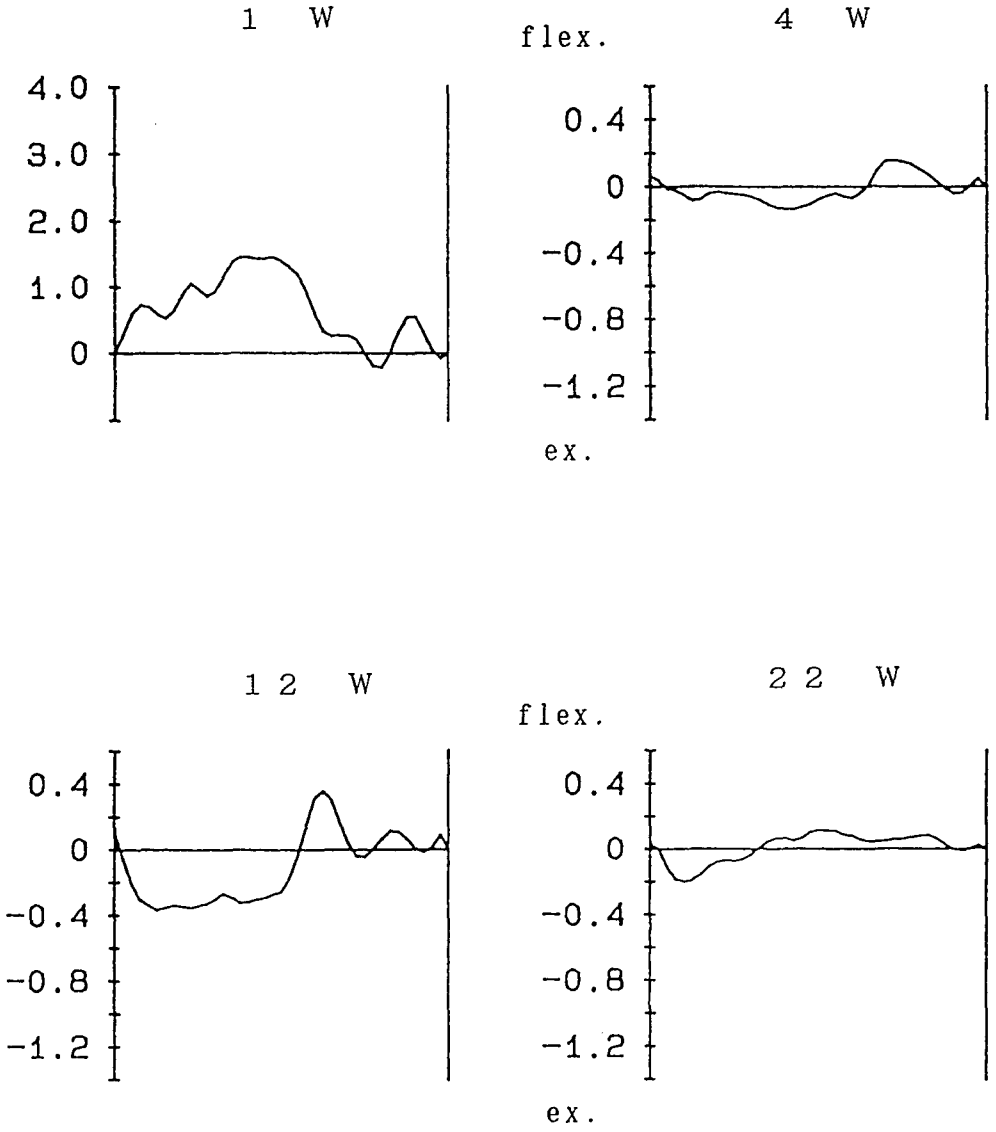


Fig.27. 肘関節モーメント

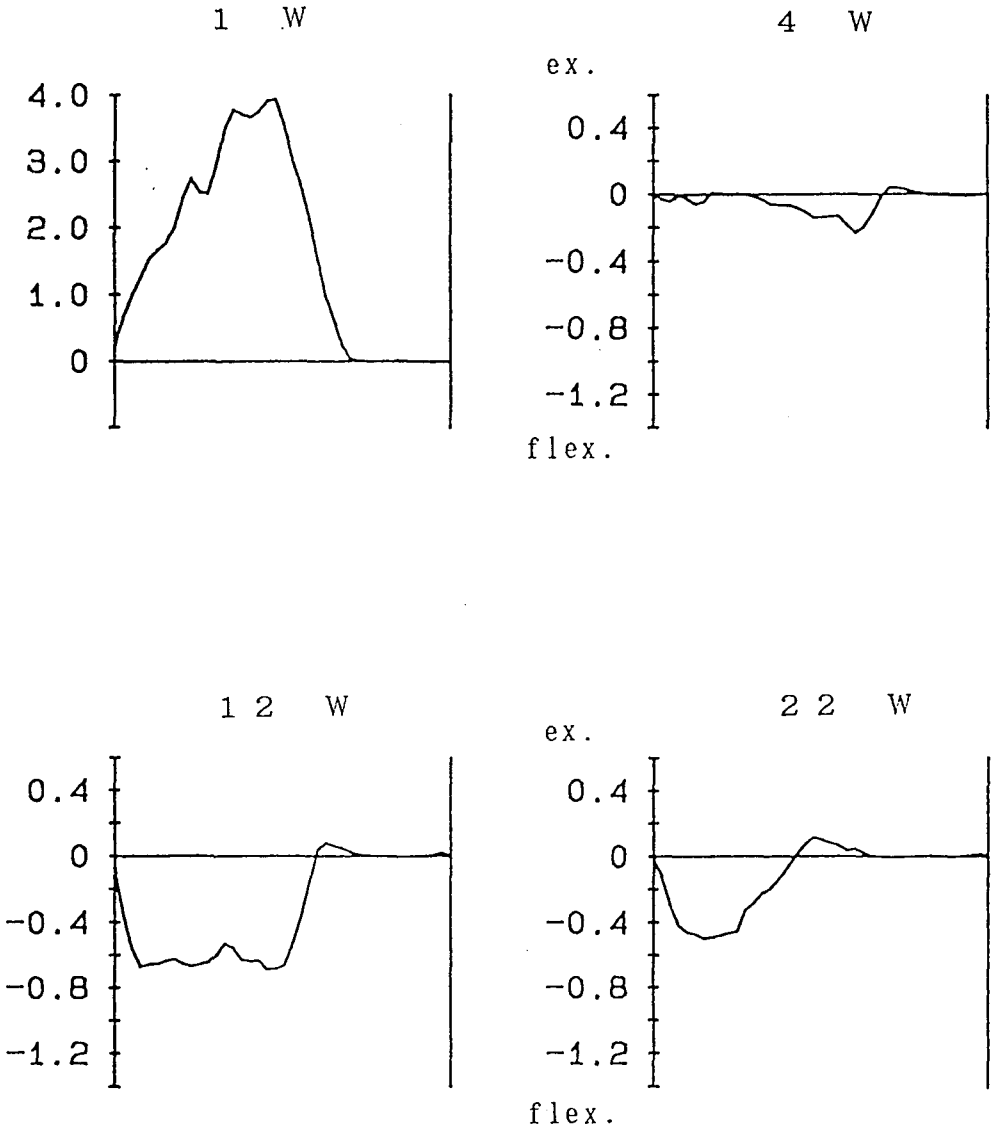


Fig.28. 手根関節モーメント

立脚期にみられるモーメントは４週齢までは伸展方向に働き、成長とともに屈曲方向へと変化する傾向がある。

後肢

股関節モーメント（Fig.29）は、１週齢では立脚期にはほぼ伸展に働き、遊脚期の後半から立脚の初期にかけて屈曲方向に働く。３週齢では、立脚期に屈曲方向に働き、立脚の末期になって伸展になり、遊脚期にはまた屈曲を示し、４週齢になると、立脚後期の伸展モーメントが増大するが、遊脚期はほぼ屈曲モーメントを示す。14週齢までは、立脚期におけるモーメントの機能の逆転が大きいが、遊脚期では、前半が屈曲に、後半が伸展に機能する傾向がみられる。17週齢以後では、遊脚後期から立脚初期にかけて伸展、立脚前期から中期にかけて屈曲、立脚後期から遊脚初期にかけて伸展、遊脚の前期から中期に屈曲と

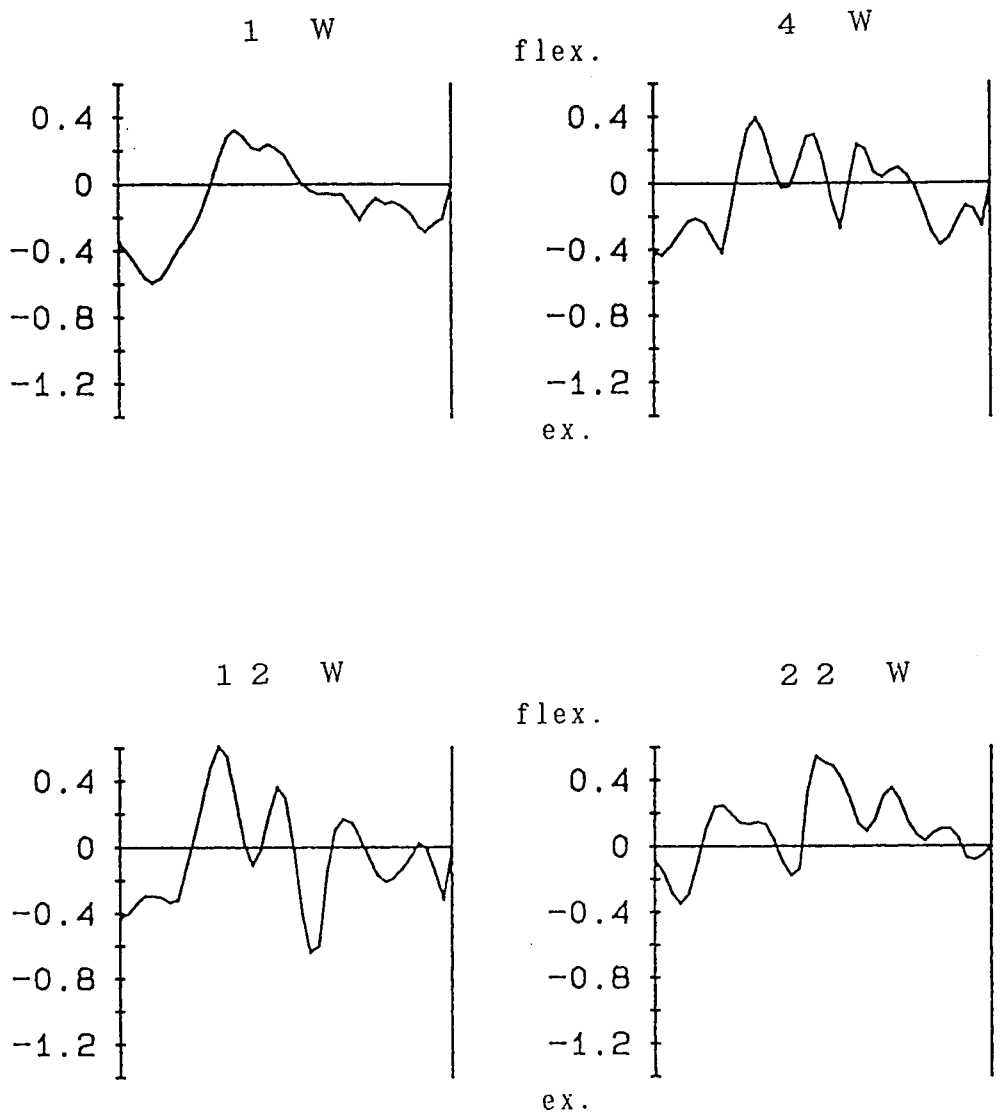


Fig.29. 股関節モーメント

いうパターンになる。膝関節(Fig.30)は、1週齢では立脚の中期と遊脚の後期に少し伸展に働く以外は屈曲に機能する。その後は、非常にバリエーションが大きい。しかし、立脚期には屈曲に作用する傾向が強く、伸展モーメントは遊脚前期に作用する。足根関節(Fig.31)では、1週齢では立脚期に屈曲方向に作用するが、3週齢では逆に伸展に作用する。しかし、4週齢以後では、また屈曲に機能する傾向に移行しており、22週齢までこの傾向が続く。

・筋力

前肢(Fig.32-41)

筋力の計算結果は関節モーメントの結果を反映する。1週齢では独自の結果となり、立脚期を通じて上腕二頭筋、上腕筋、腕橈骨筋、手根伸筋といった肘関節の屈曲に関与する筋

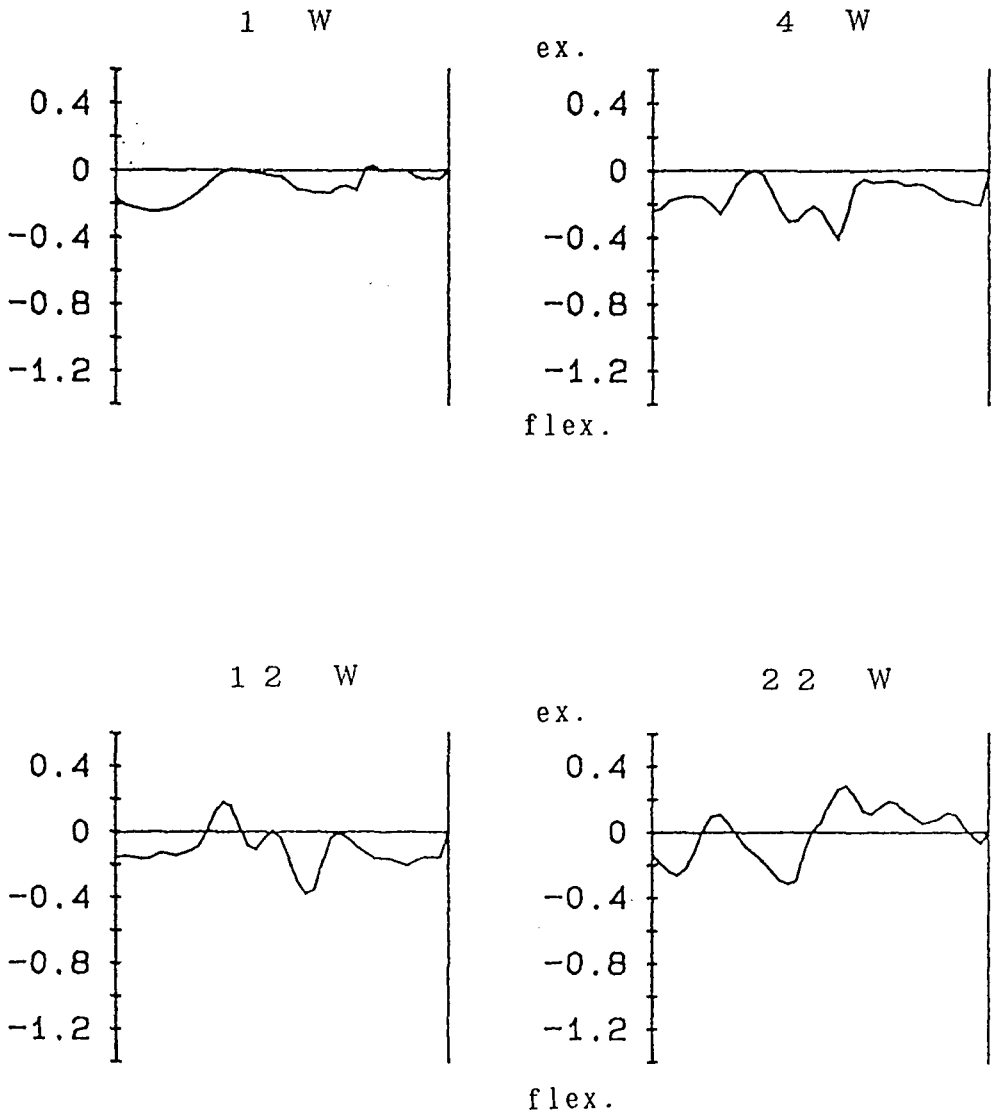


Fig.30. 膝関節モーメント

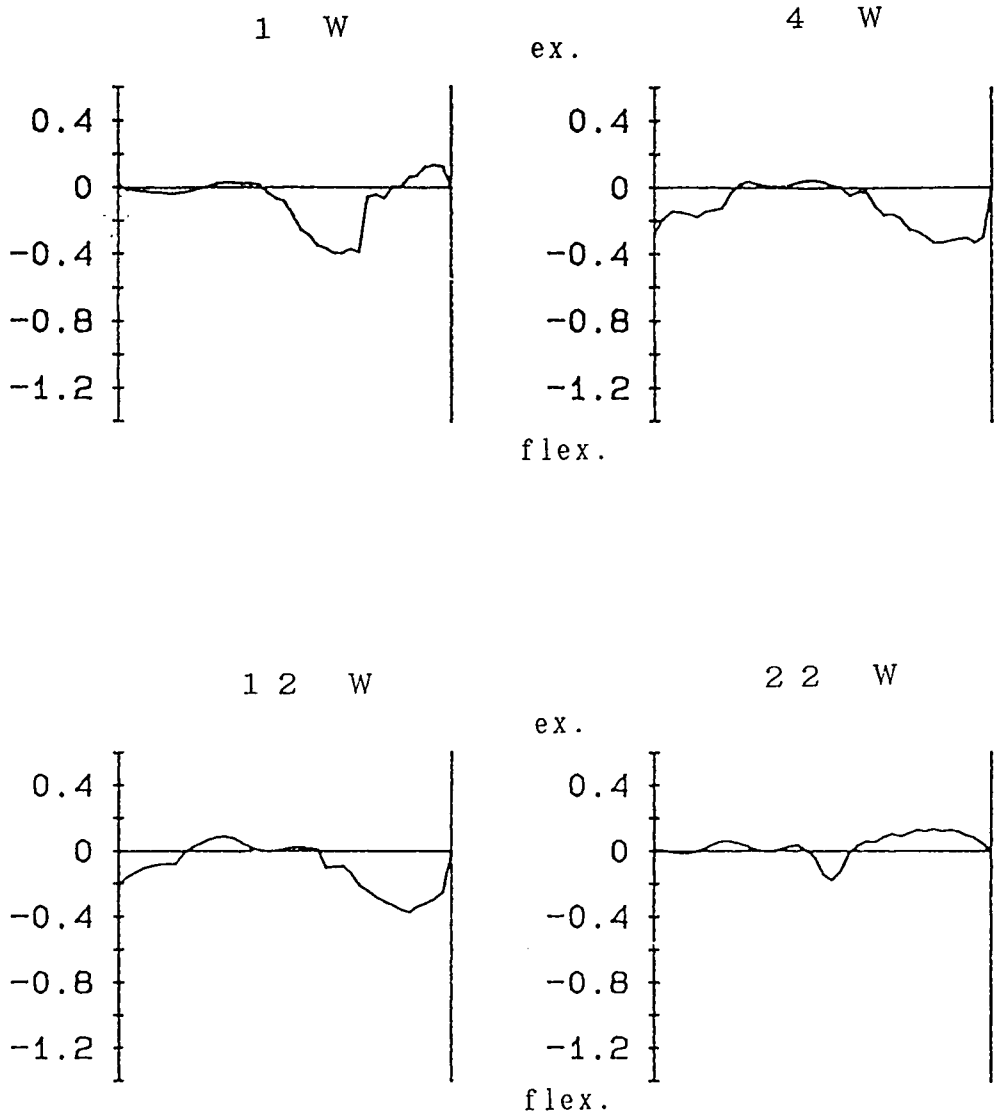


Fig.31. 足根関節モーメント

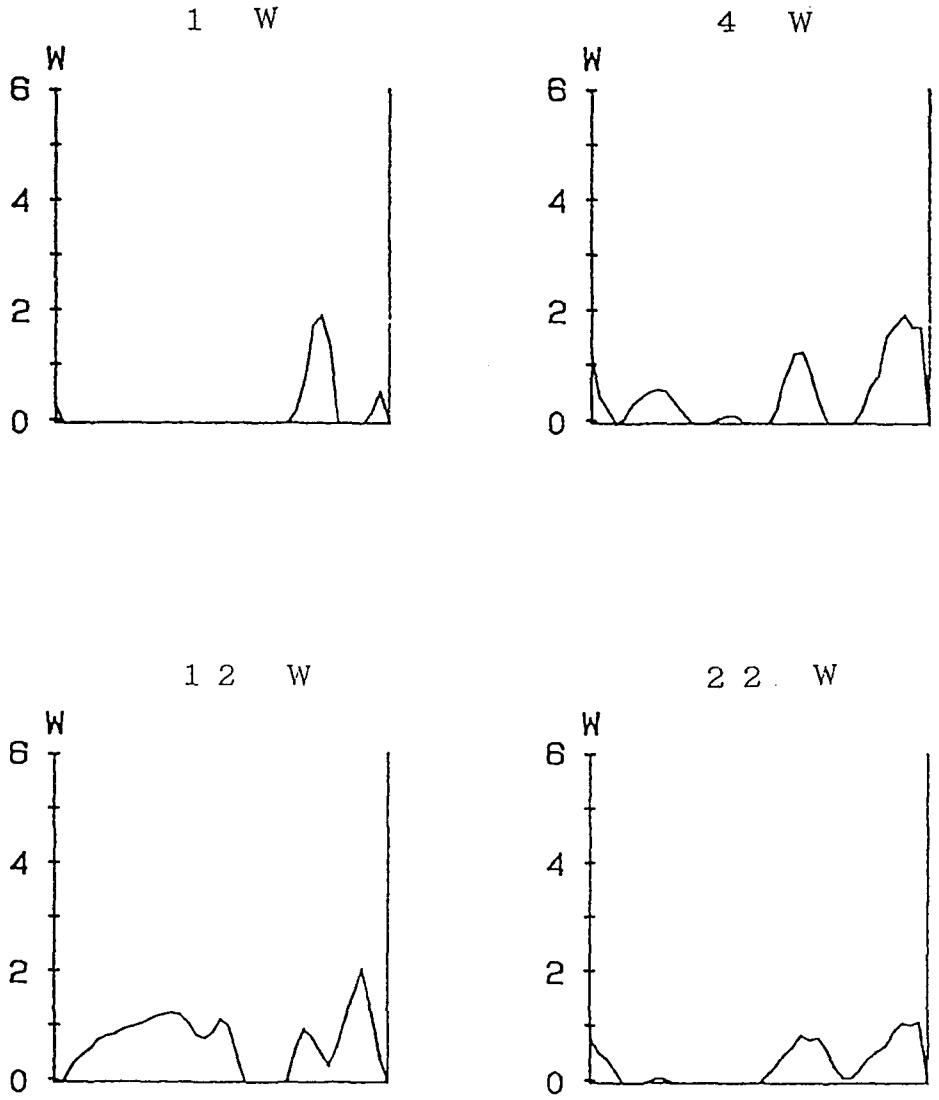


Fig.32. 三角筋（背側部）

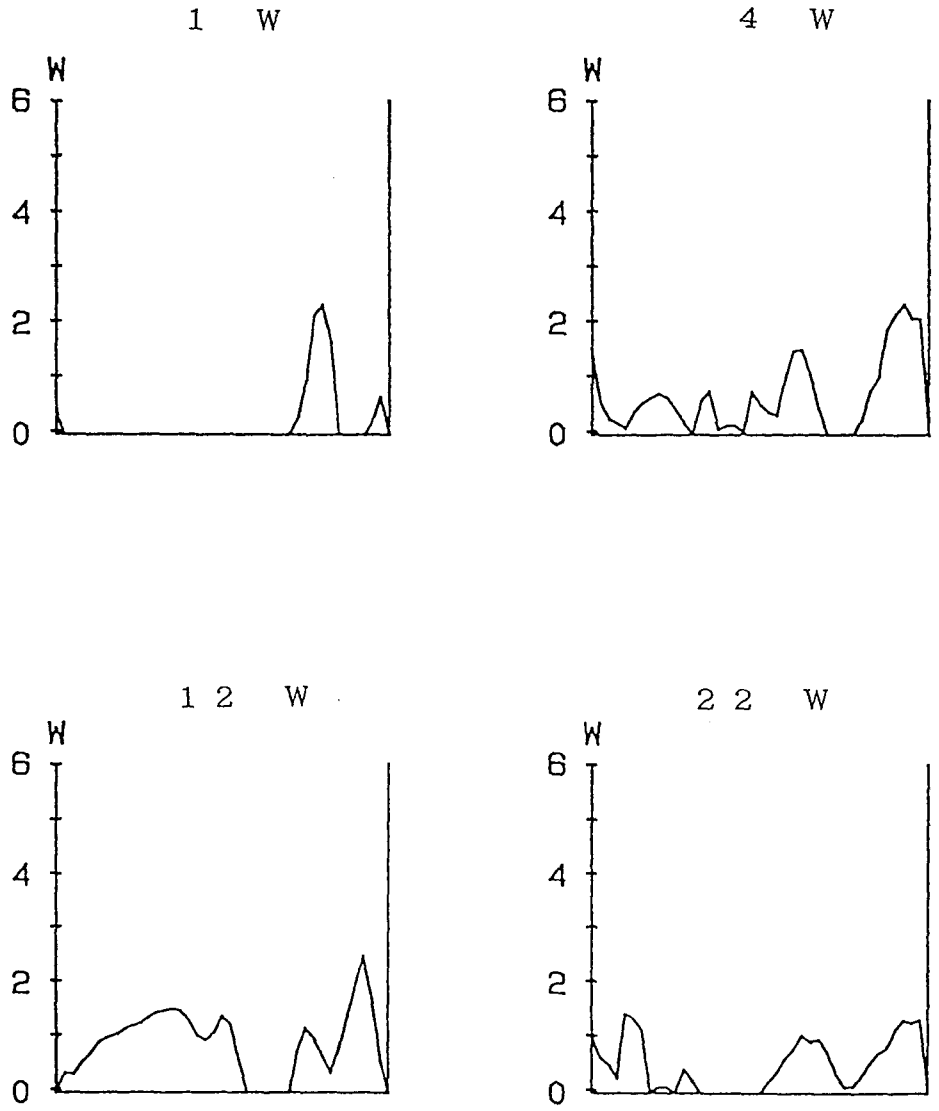


Fig.33. 上腕三頭筋

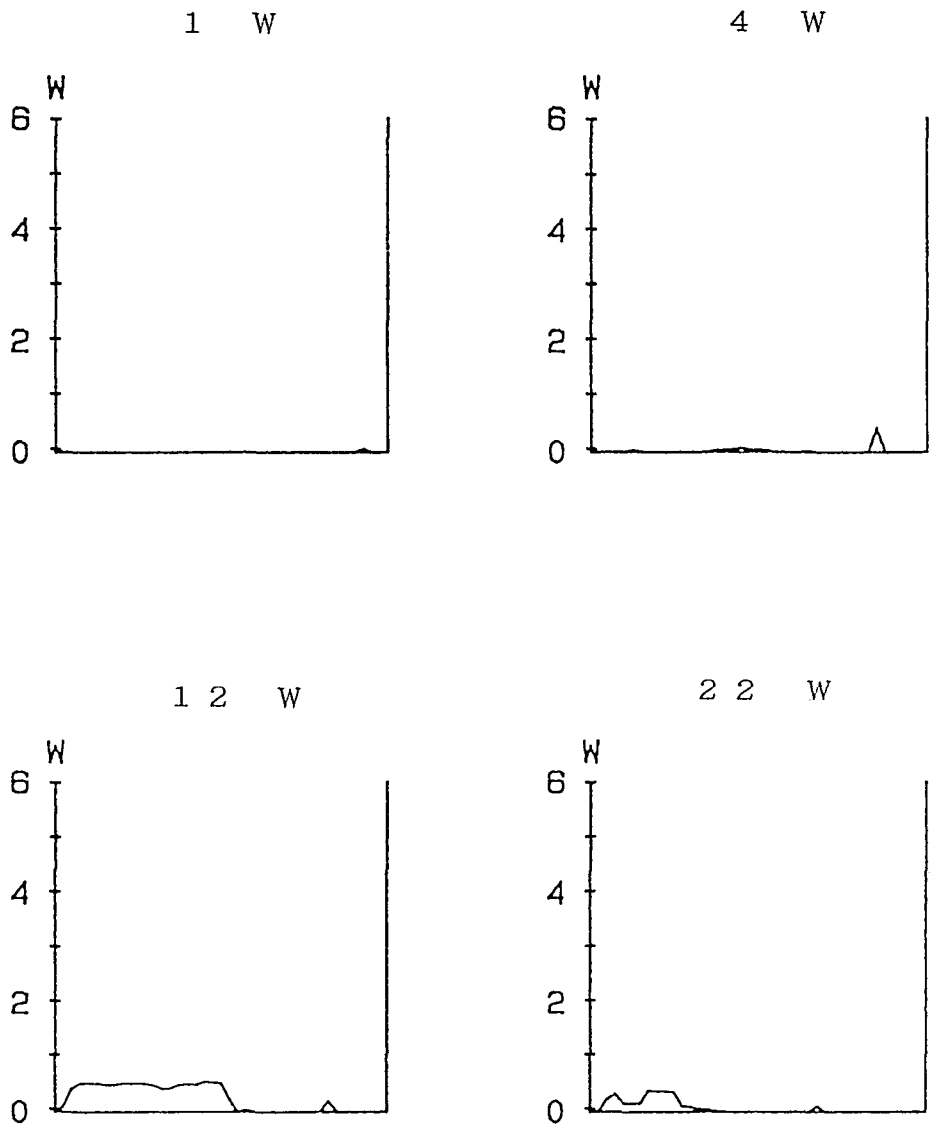


Fig.34. 手根屈筋

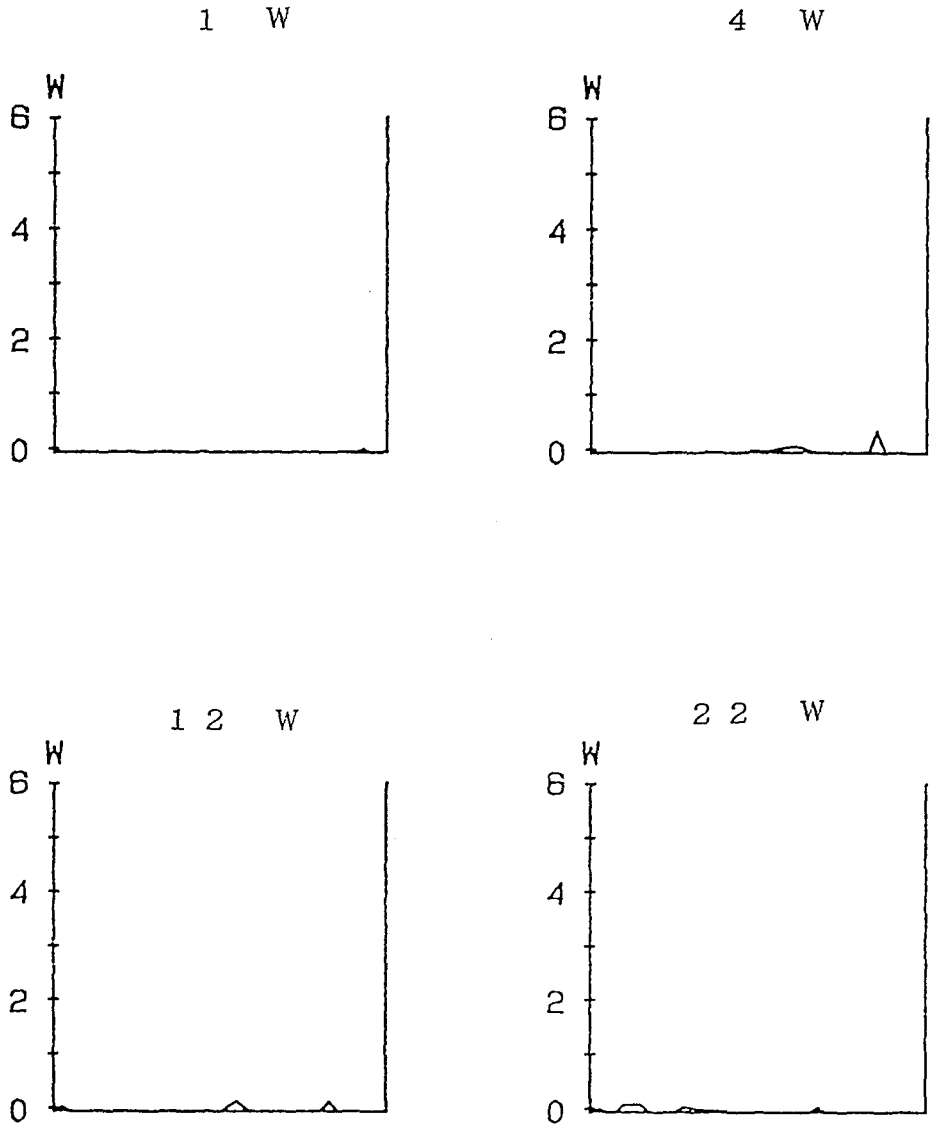


Fig.35. 深指屈筋

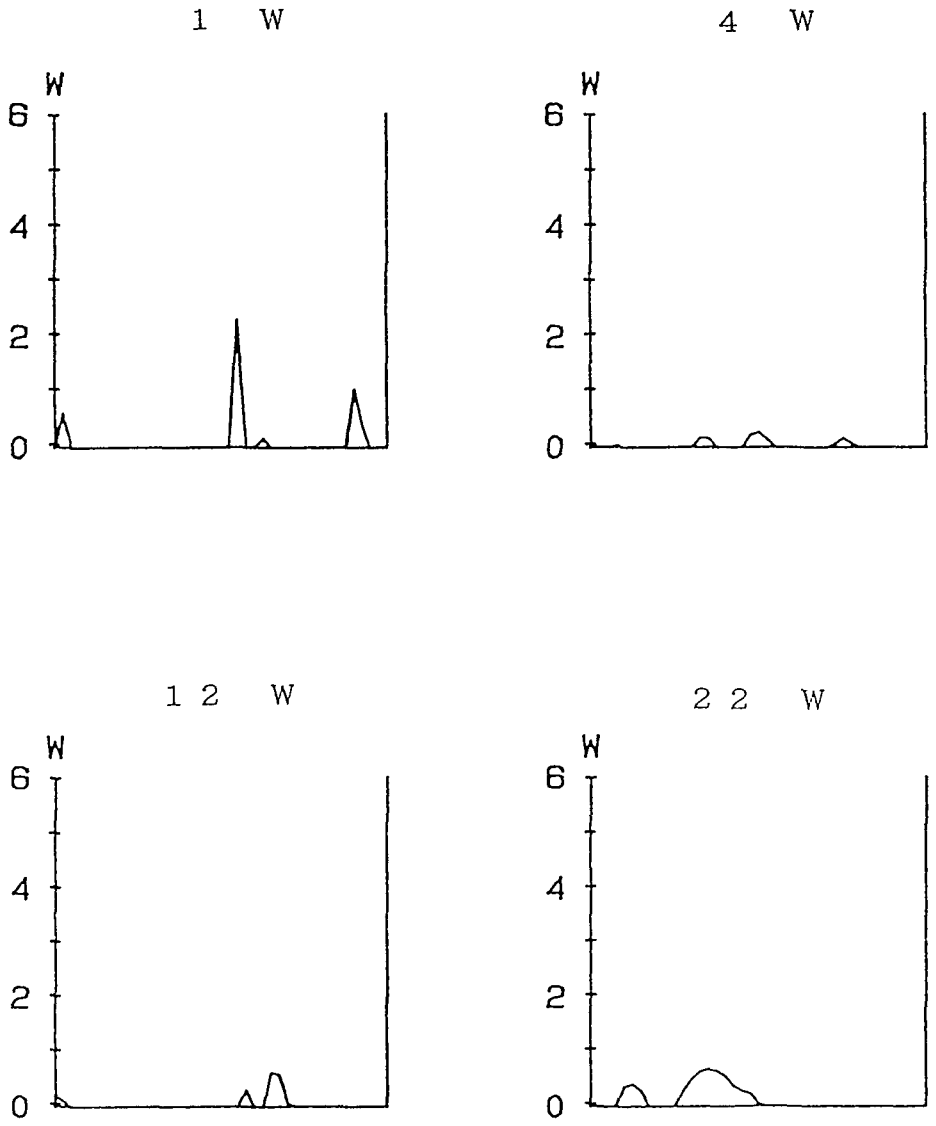


Fig.36. 三角筋（腹側部）

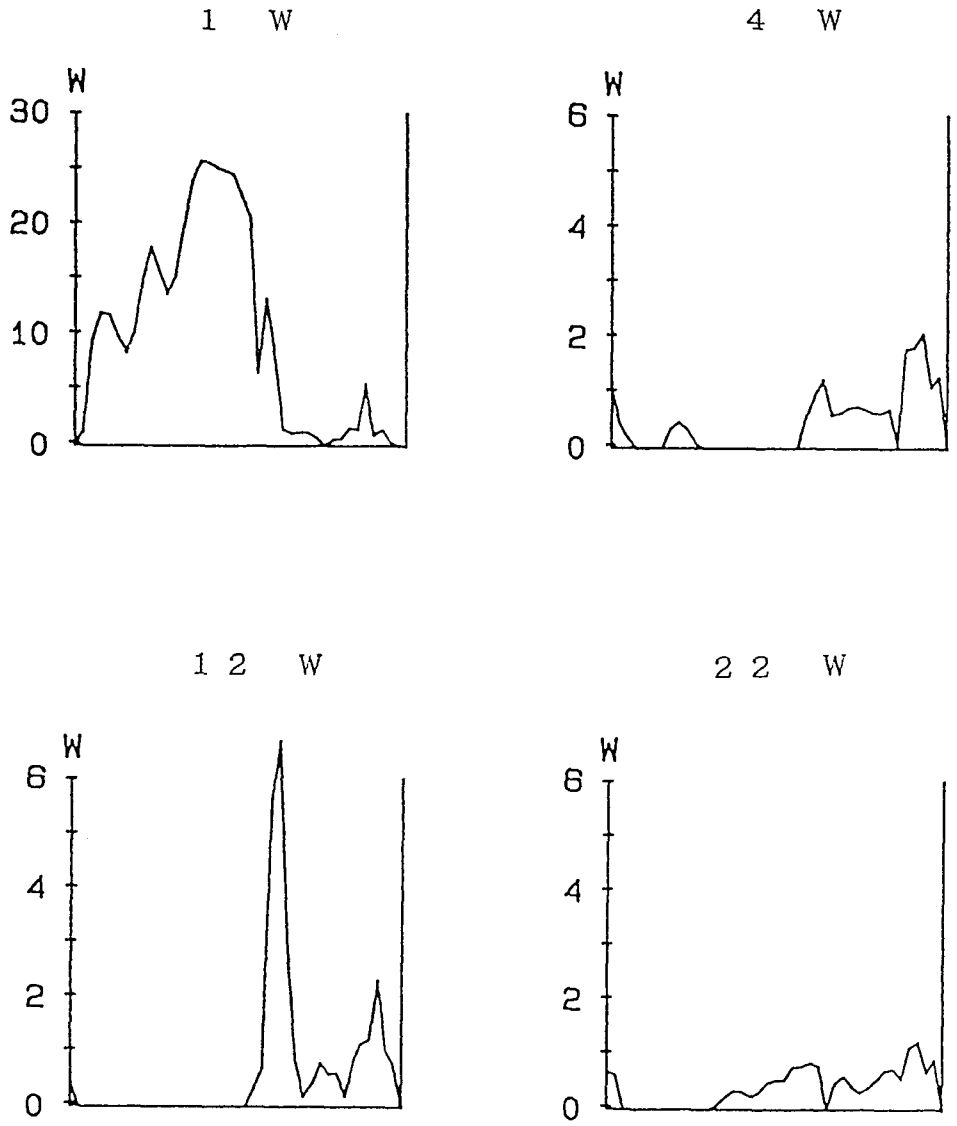


Fig.37. 上腕二頭筋

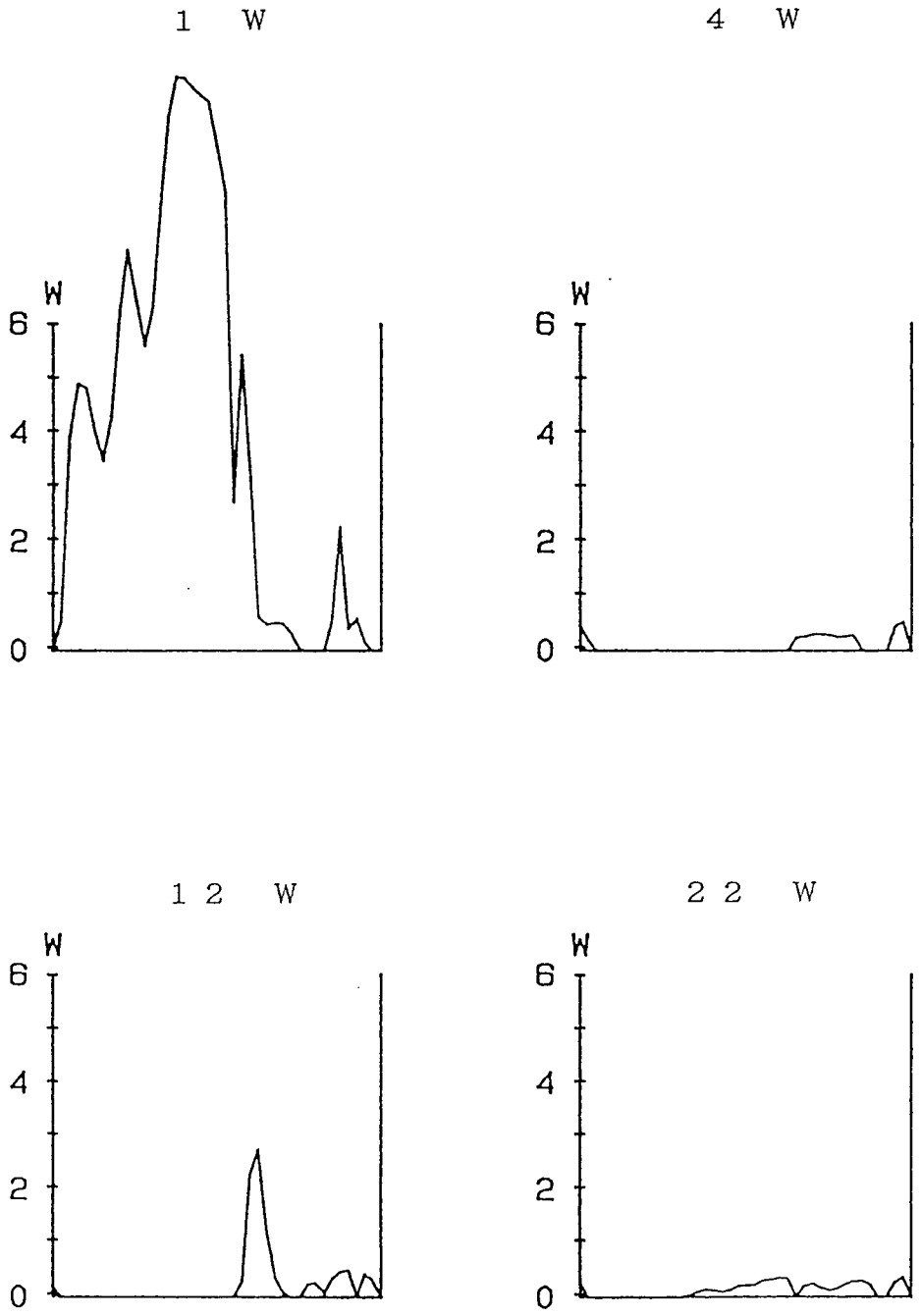


Fig.38. 上腕筋

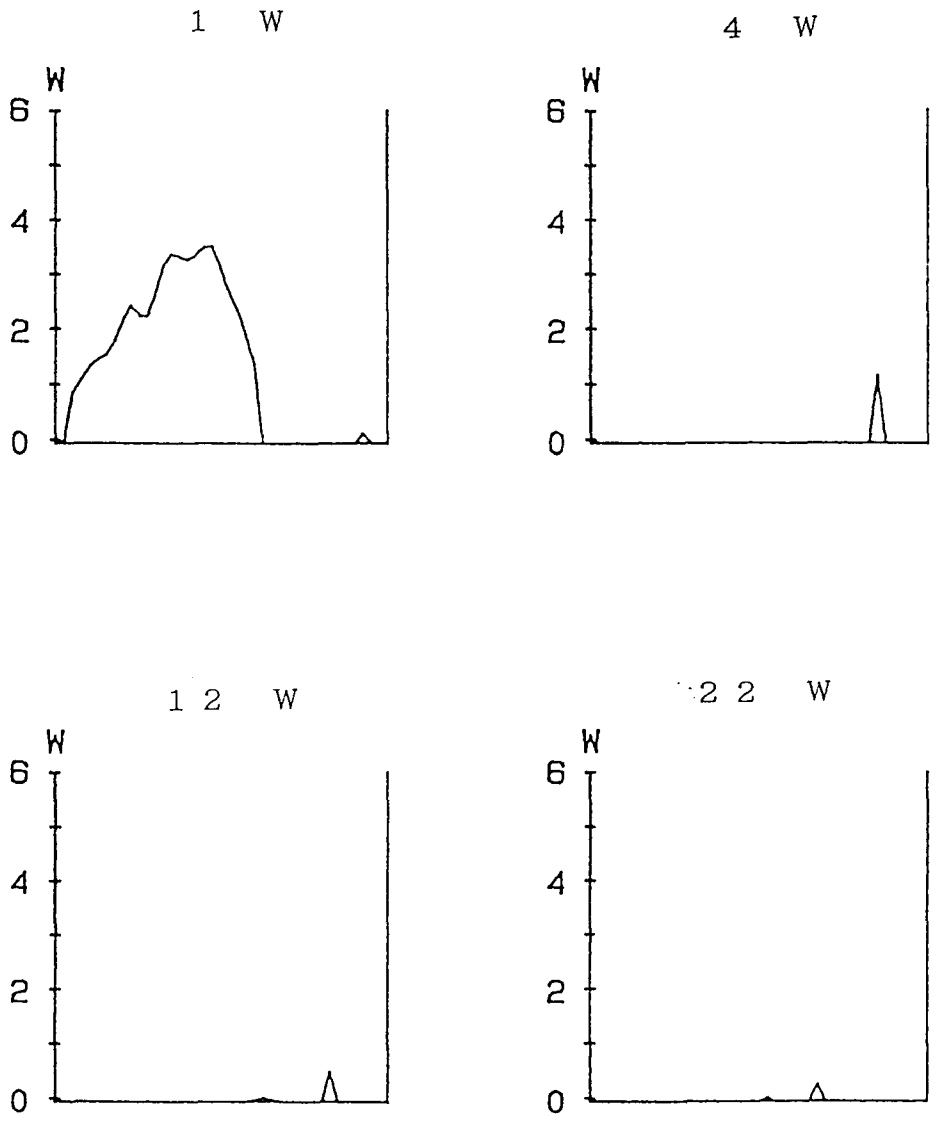


Fig.39. 腕橈骨筋

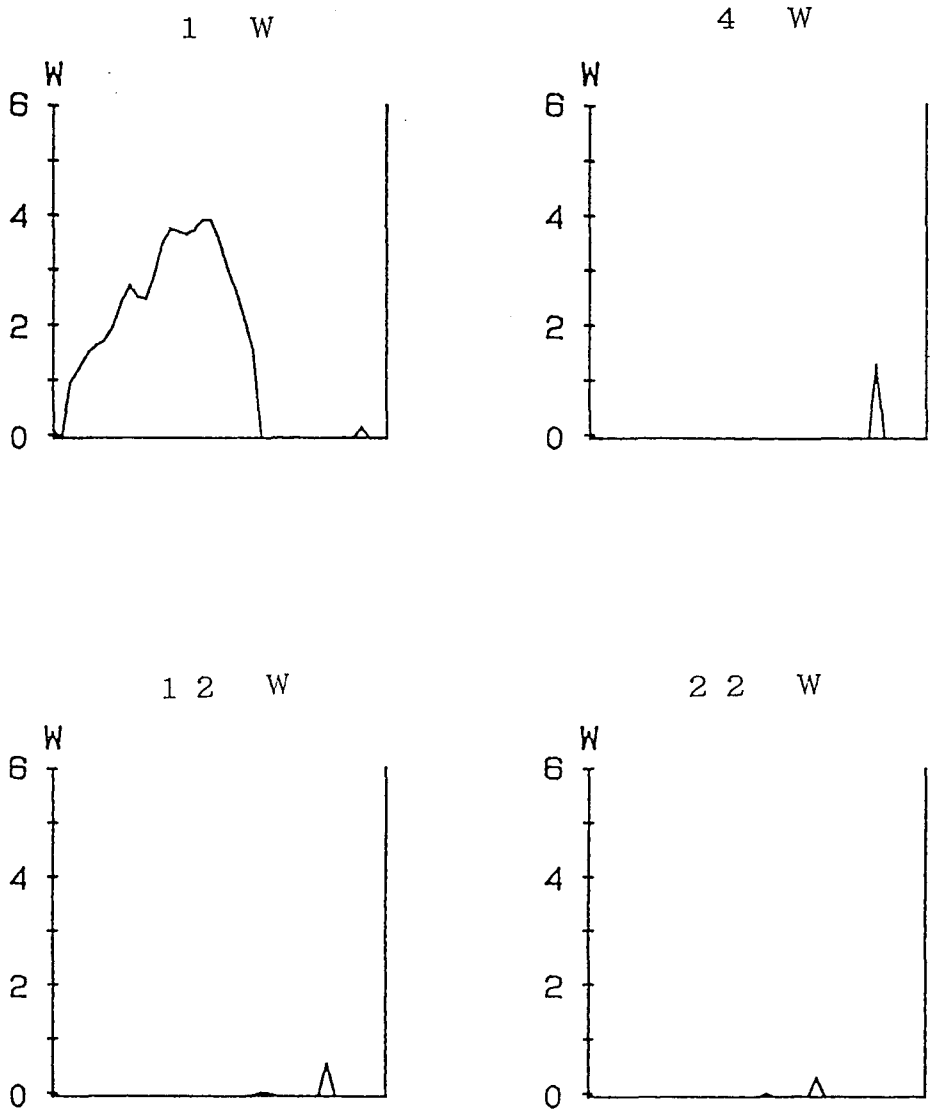


Fig.40. 手根伸筋

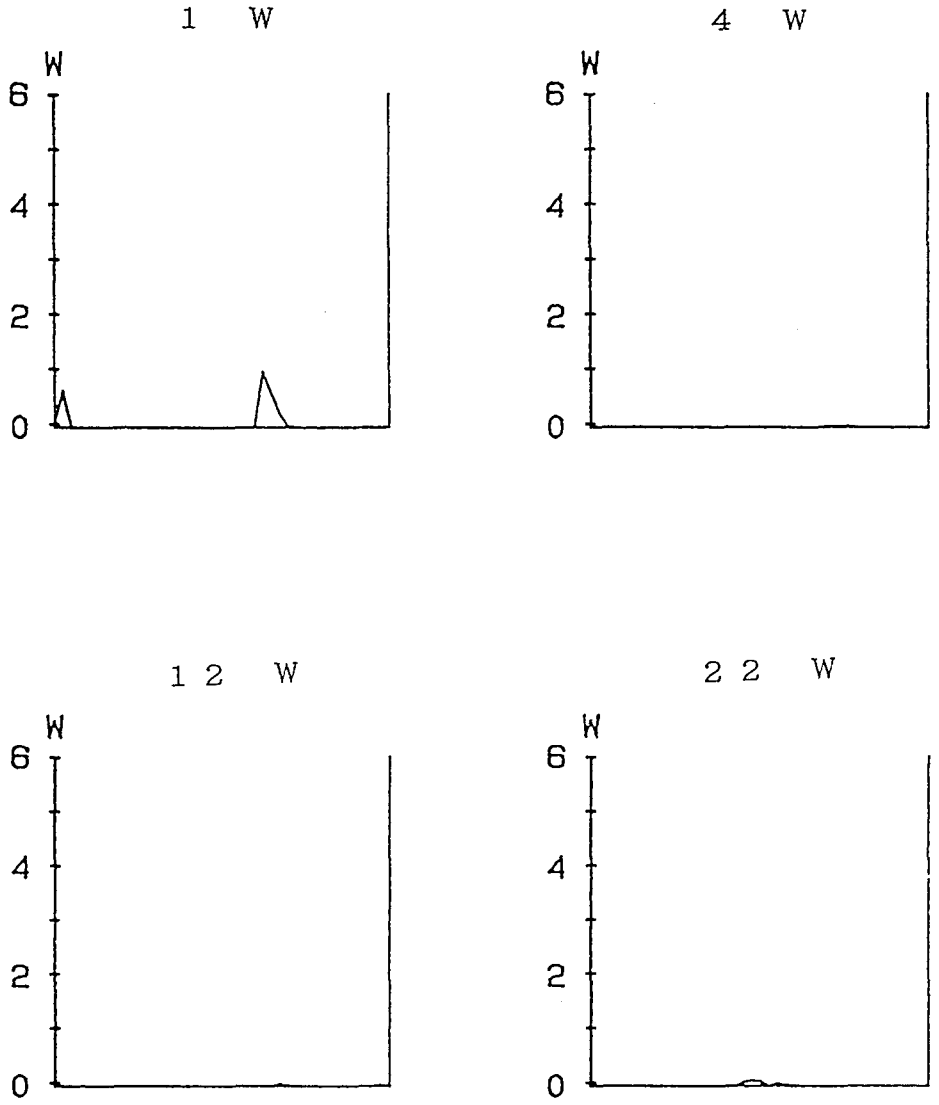


Fig.41. 母指伸筋

群が働き、遊脚期には肩関節に機能する三角筋や上腕三頭筋が働く。しかし、それ以後は、立脚前期から中期にかけて、上腕三頭筋、三角筋（背側部）、手根屈筋、深指屈筋といった前肢の背側部の筋が機能し、立脚中期から後期にかけて三角筋（腹側部）、上腕二頭筋、上腕筋、腕橈骨筋、手根伸筋といった腹側の筋群が働き、立脚の後期にはそれらとともに、三角筋（背側部）、上腕三頭筋も機能する。遊脚期では、三角筋（背側部）、上腕三頭筋、上腕二頭筋、上腕筋といった上腕の筋群が働く。

後肢（Fig.42-49）

1週齢では立脚期に大腿二頭筋、ヒラメ筋、腓腹筋といった背側の筋が活動する。立脚後期から遊脚前期に活動が見られる筋群は大殿筋、大腿直筋、前脛骨筋、大腿二頭筋である。遊脚後期には腸腰筋が働く。7週齢になると

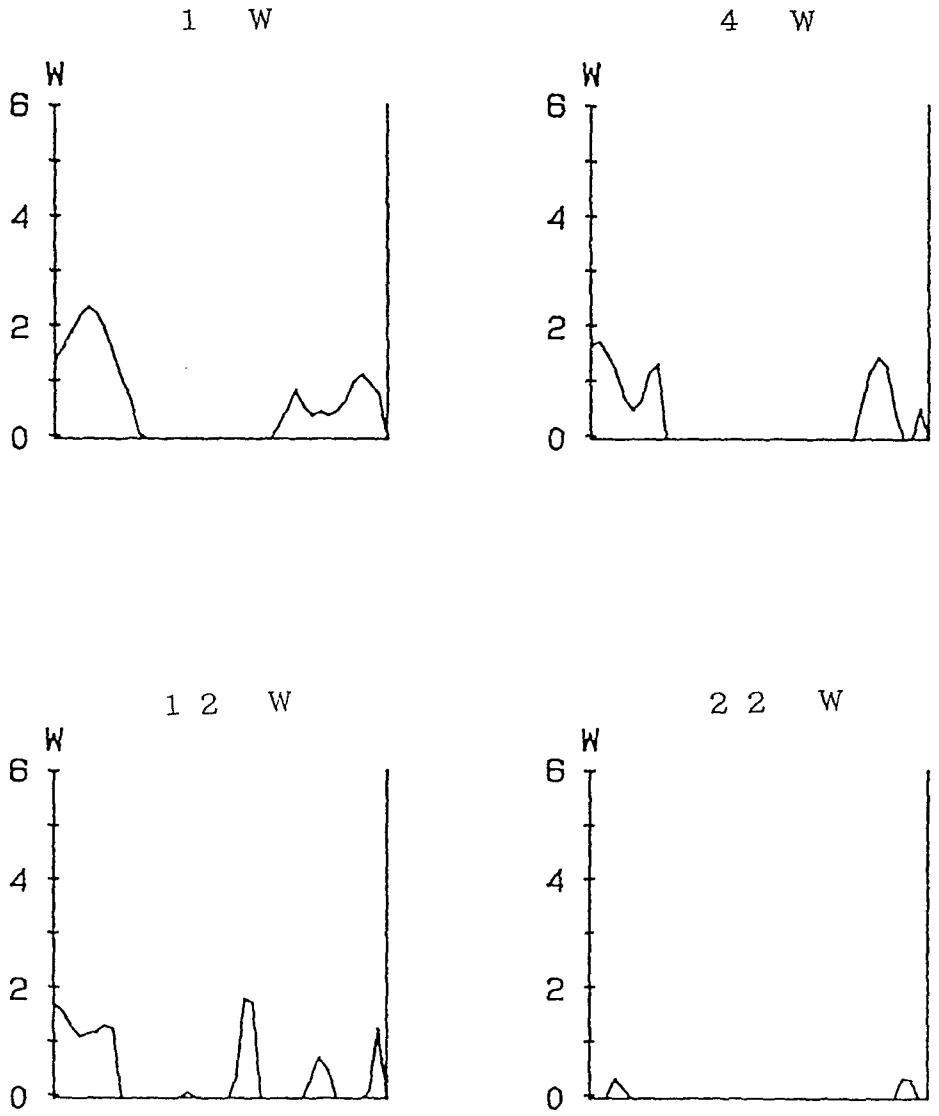


Fig.42. 大殿筋

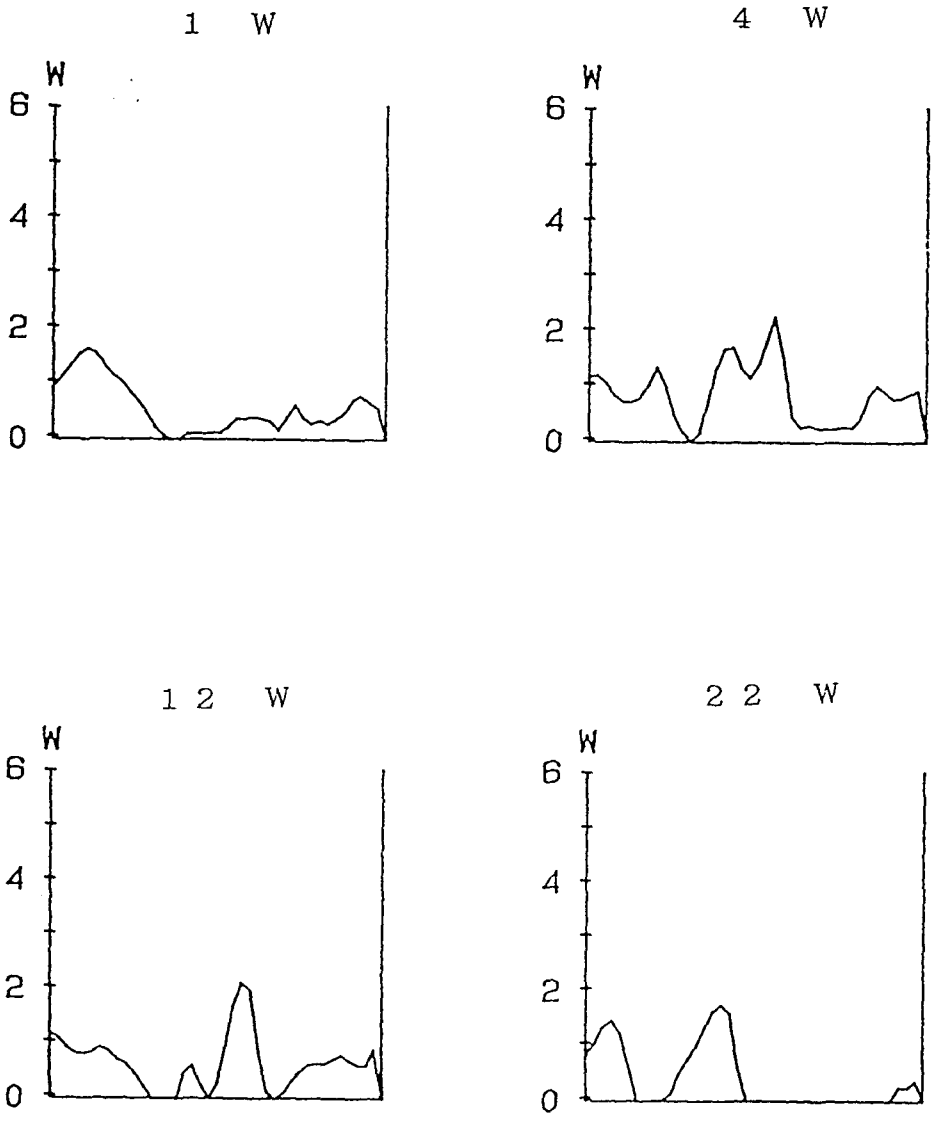


Fig.43. 大腿屈筋群

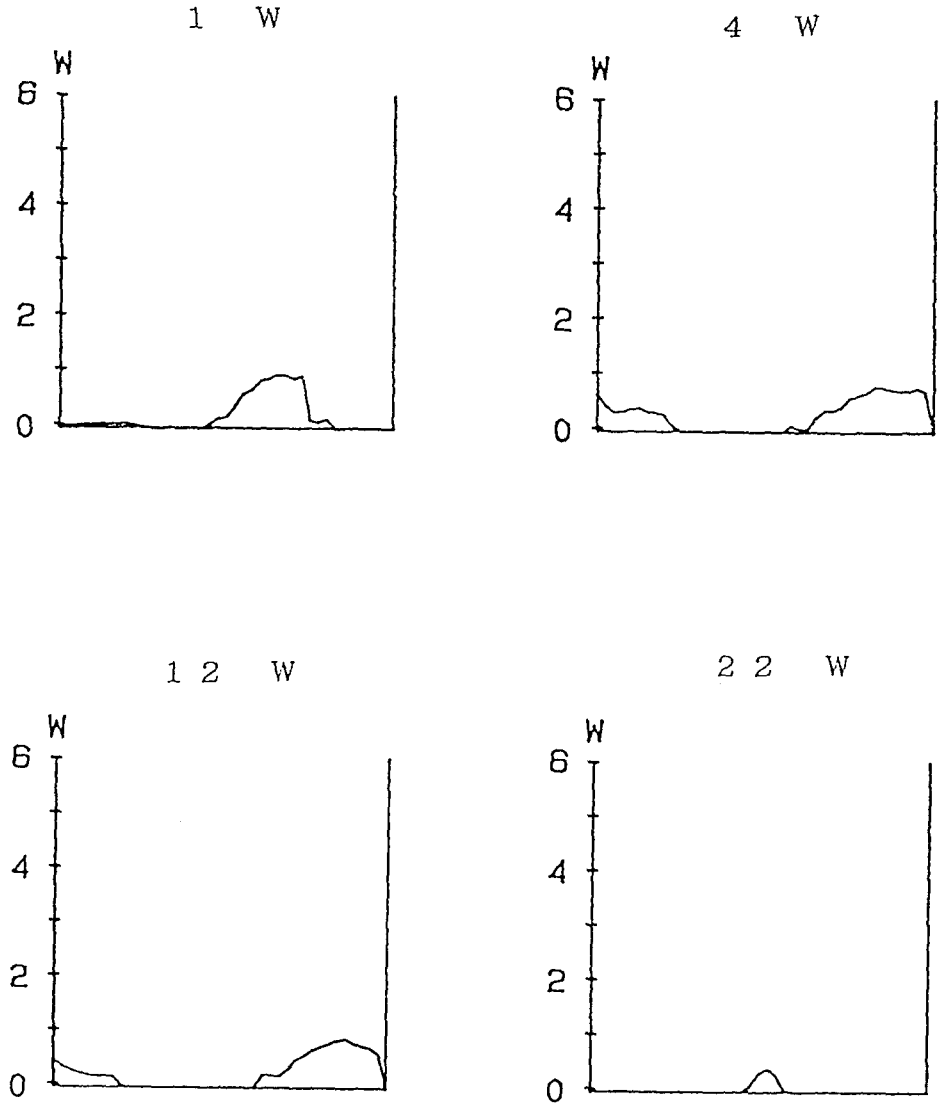


Fig.44. 腓腹筋

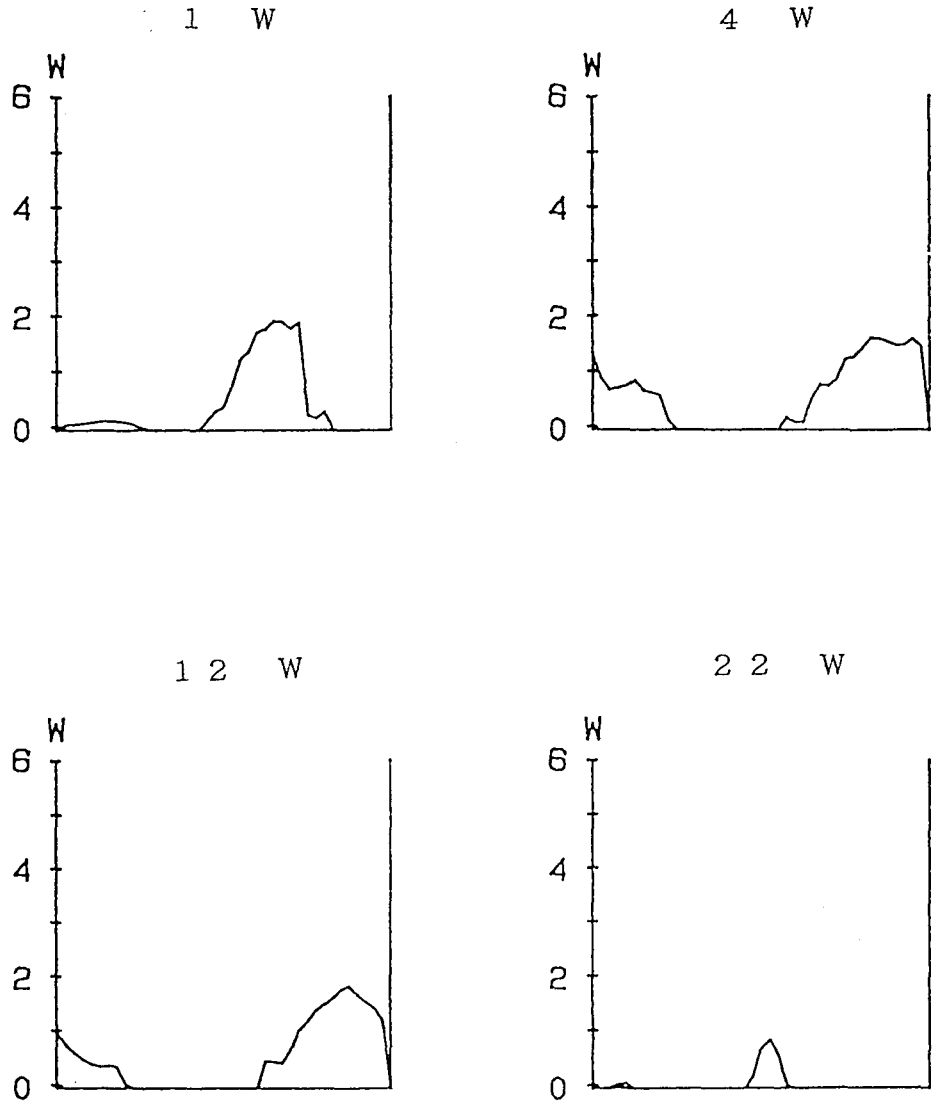


Fig.45. ヒラメ筋

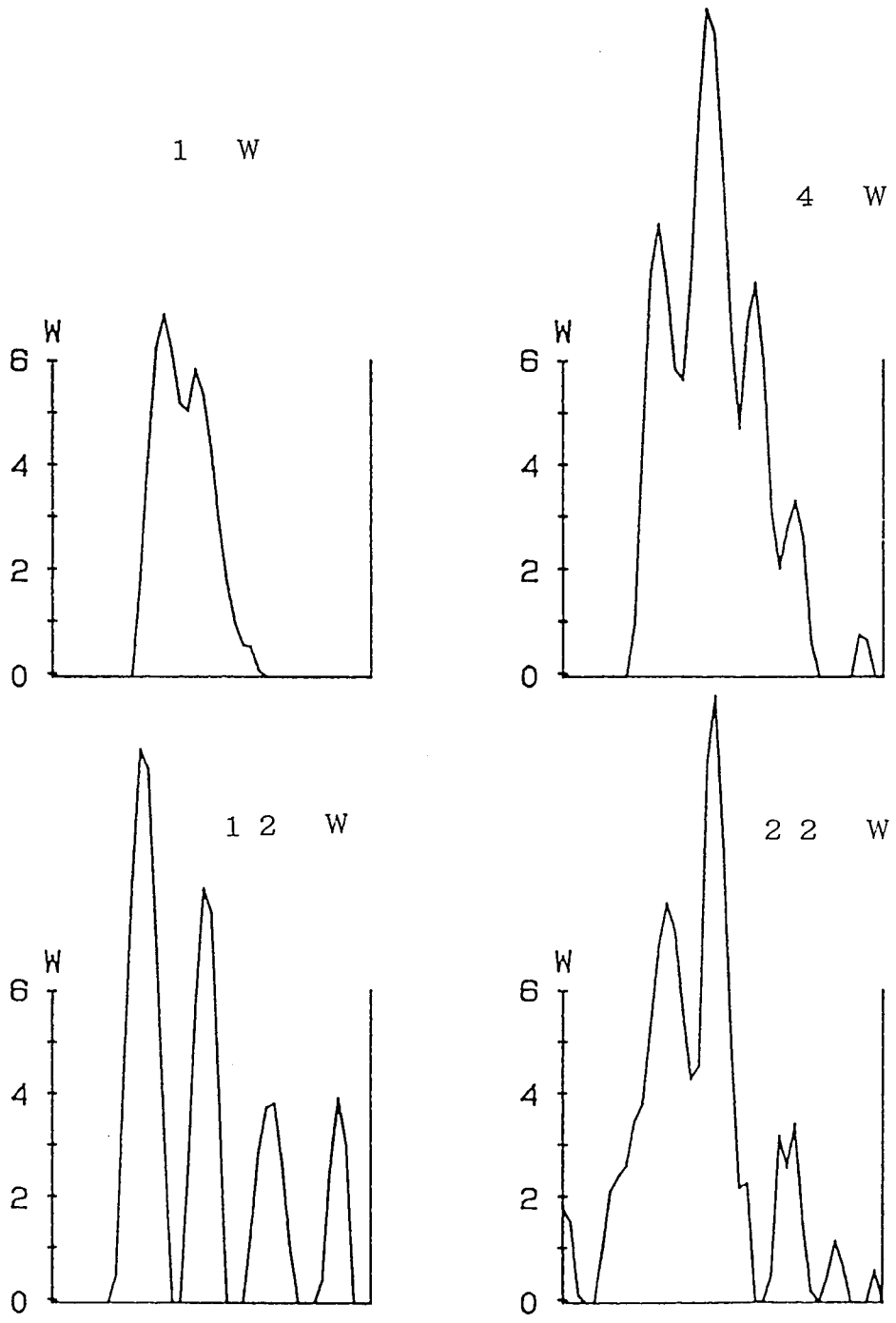


Fig.46. 腸腰筋

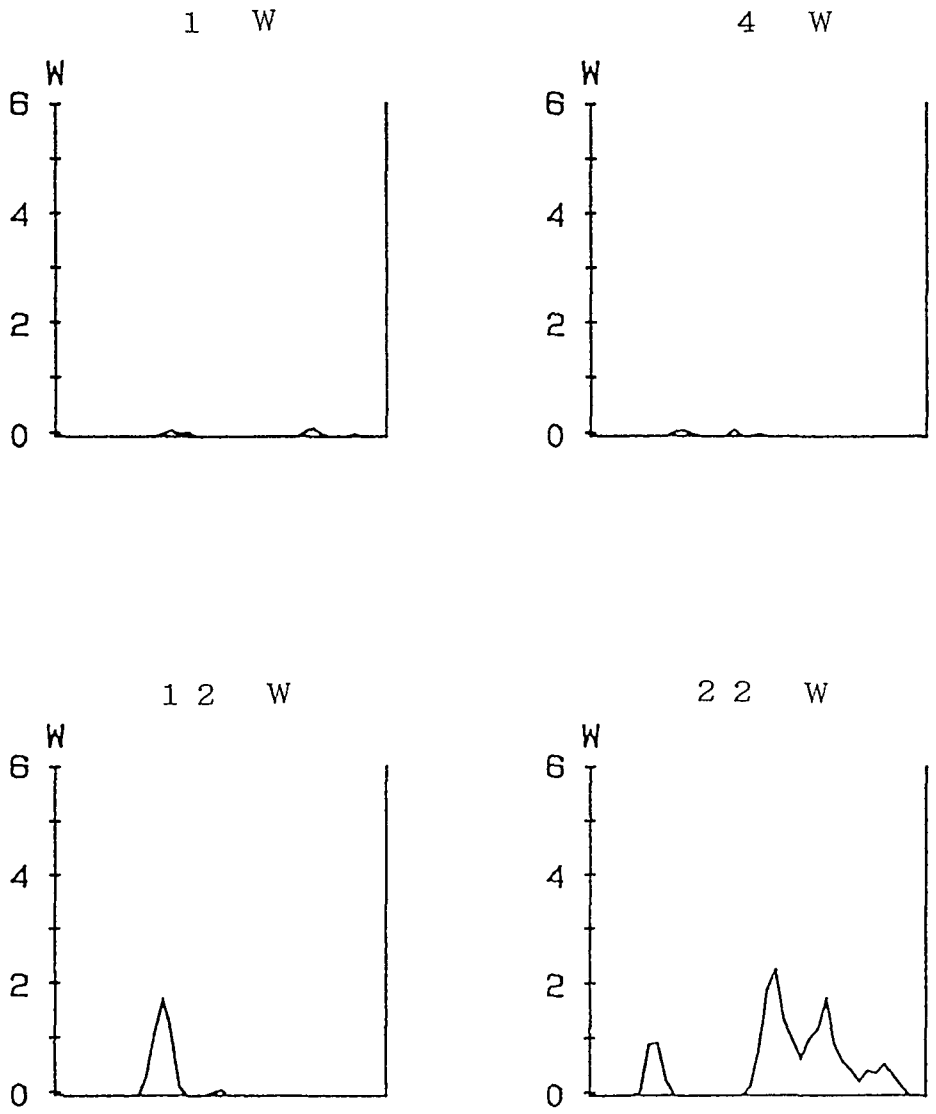


Fig.47. 大腿直筋

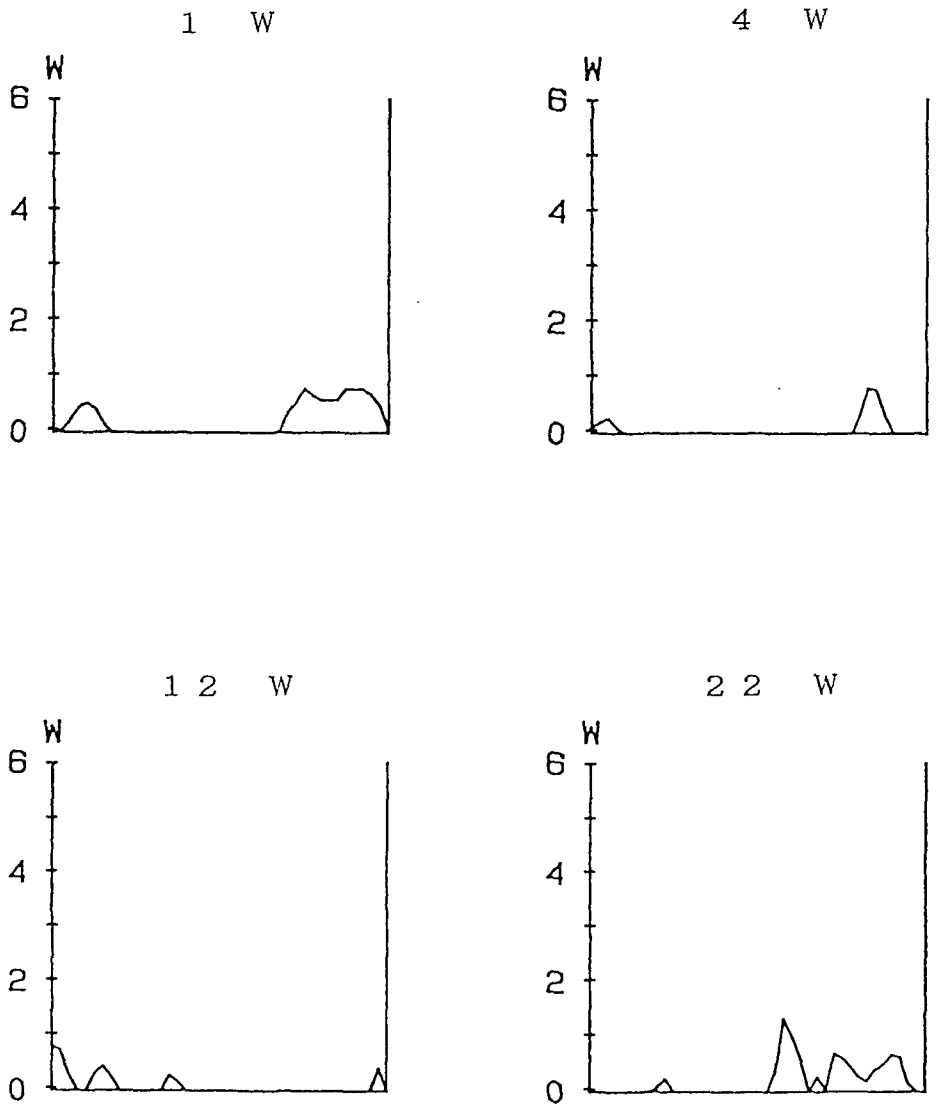


Fig.48. 大腿広筋

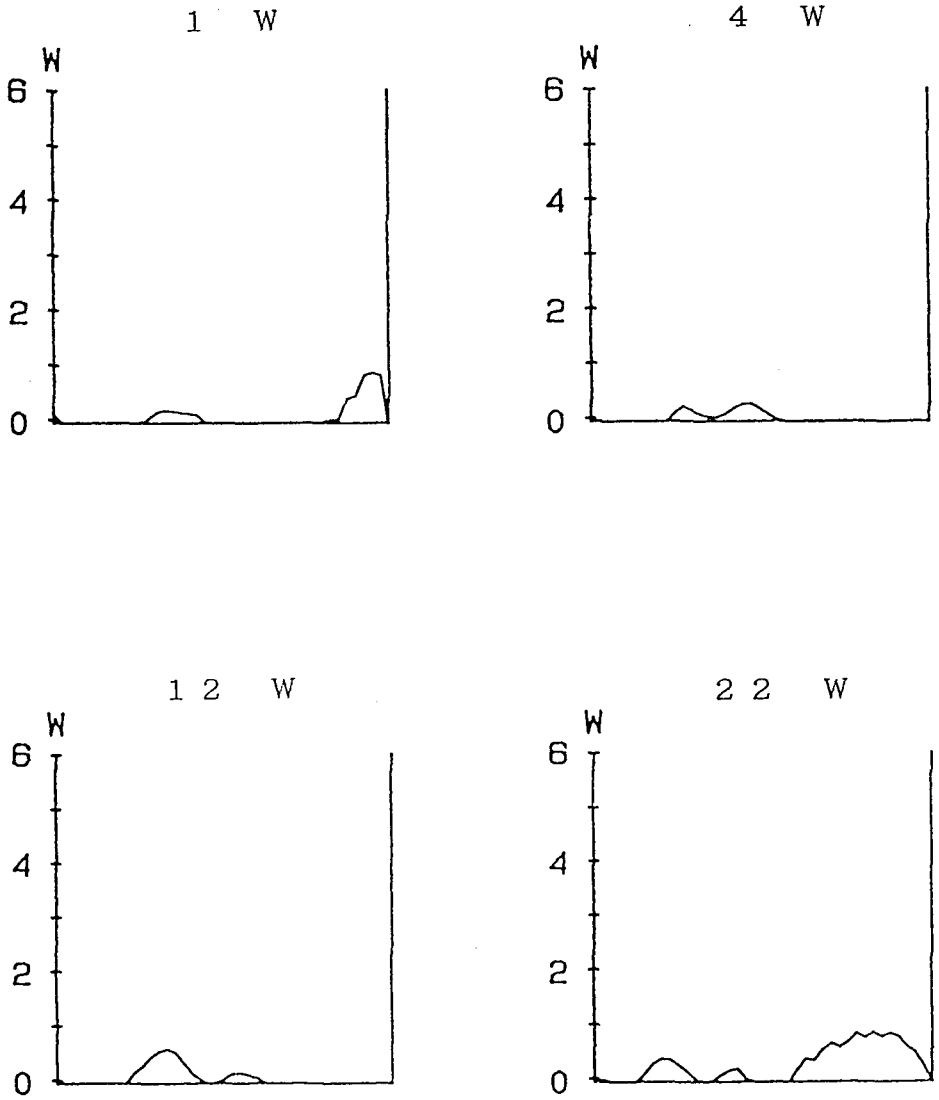


Fig.49. 前脛骨筋

立脚前期に大殿筋の活動がみられるようになる。また立脚後期では、腸腰筋が主に活動する。14週齢までは立脚前期に大殿筋と腓腹筋、ヒラメ筋、後期に腸腰筋、大腿二頭筋が活動する。14週齢以後では大殿筋は立脚前期にはあまり活動しなくなり、腸腰筋、大腿広筋、大腿直筋が働く。立脚後期には大殿筋、大腿二頭筋、腸腰筋の活動が大きい。遊脚期には、どの時期においても腸腰筋、大腿直筋の活動がみられる。また遊脚後期には、大殿筋、大腿二頭筋の活動もみられる。

・パワー（Fig.50-52）

1週齢では、前肢のパワーが歩行を通じて断続的に発生しており、後肢よりも顕著に大きい。3、4週齢では前肢の立脚後期にパワーの発生がみられる。7、8週齢では立脚中期にもパワー発生のピークがみられる。後肢では、3、4週齢ではパワーの大きなピーク

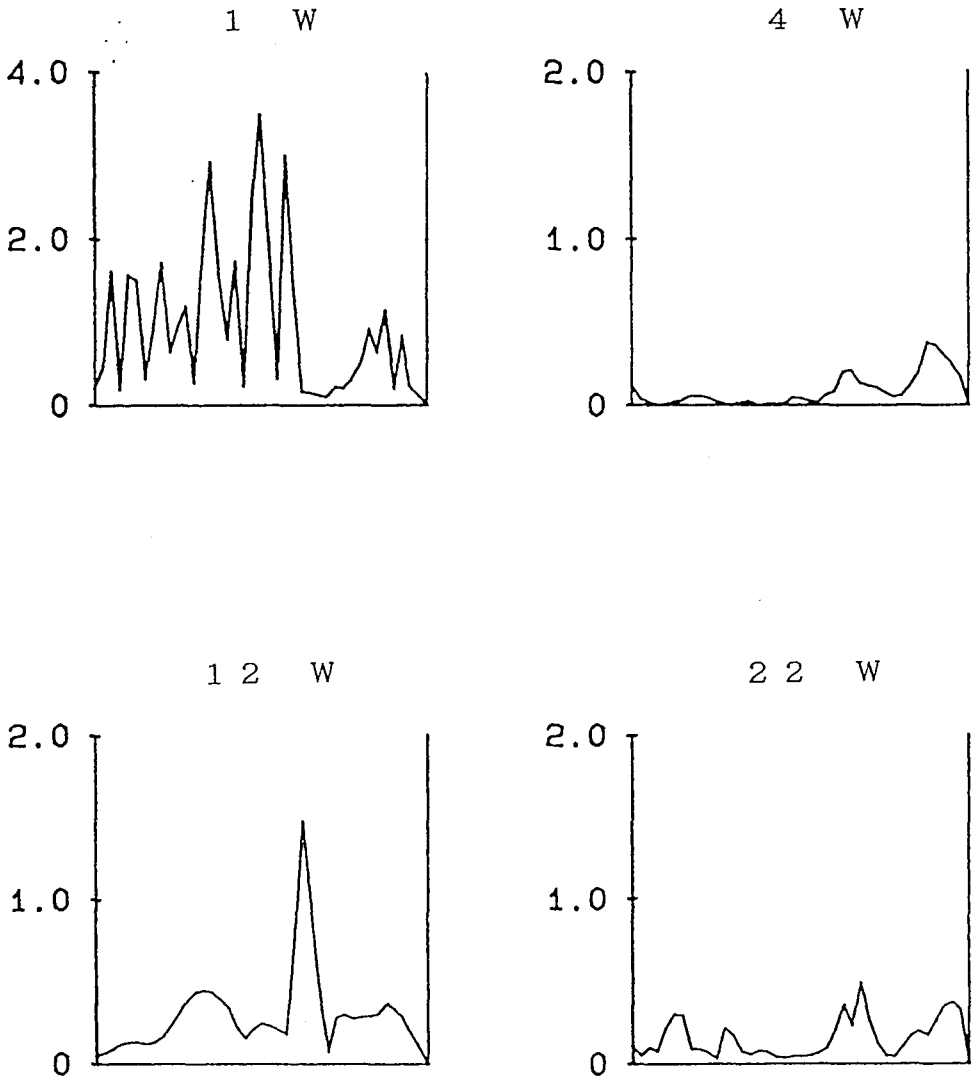


Fig.50. 前肢のパワー発生パターン

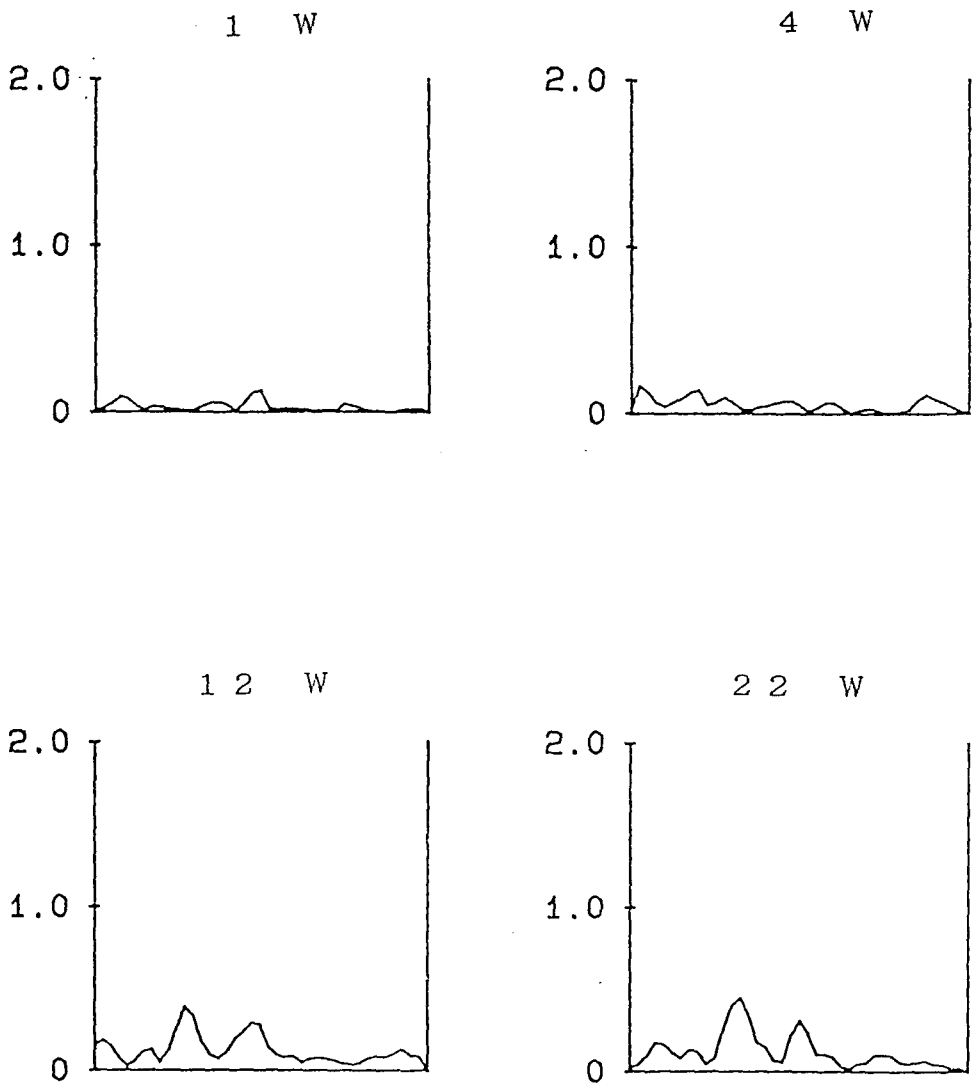


Fig.51. 後肢のパワー発生パターン

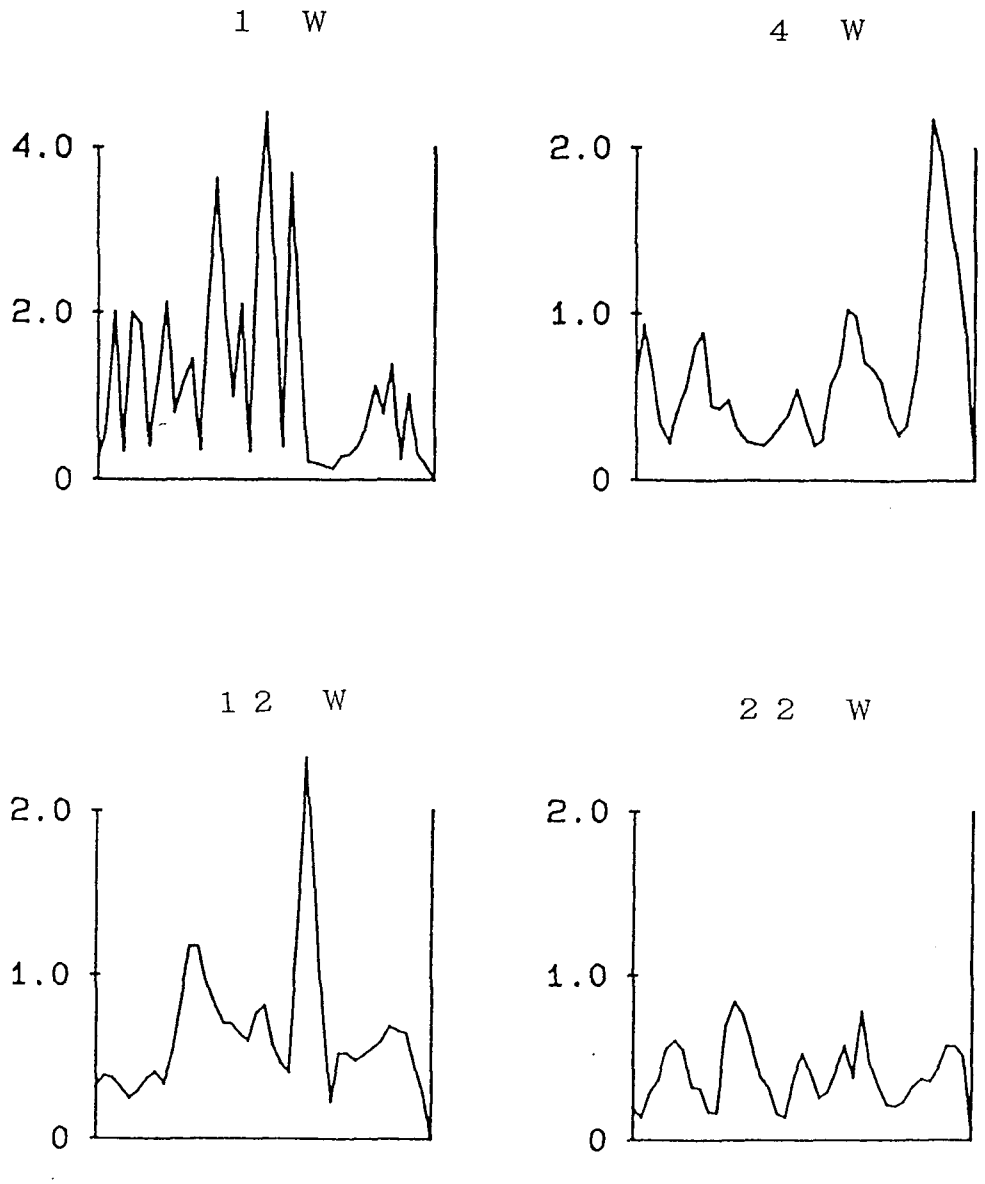


Fig.52. 前後肢を加えたパワー発生パターン

はみられないが、７週齢になると立脚前期と末期にピークがみられる。それ以後では前後肢とも立脚前期と末期および遊脚期にピークがみられる一定のパターンとなってくる。

・エネルギー量（Table 6）

１週齢では、やはり前肢でのエネルギー量がはるかに大きい。３、４週齢では後肢の比率も急速に増大するが、７週齢から10週齢にかけてではまだ前肢が優位である。それ以後には後肢の比率が40％を越える。

７．考察

シミュレーションの結果からニホンザルの成長にともなう四足歩行の変化を考察する。生後１週齢では、かなり特徴的な歩行となっ

週齢	前肢	後肢	合計	前肢／後肢
1	0.350	0.012	0.362	29.9
3	0.023	0.020	0.043	1.16
4	0.020	0.013	0.033	1.55
7	0.228	0.101	0.329	2.25
8	0.215	0.084	0.299	2.57
10	0.124	0.052	0.176	2.42
11	0.227	0.168	0.395	1.36
12	0.125	0.131	0.256	0.95
14	0.186	0.143	0.330	1.30
17	0.206	0.083	0.289	2.50
20	0.205	0.195	0.400	1.05
22	0.065	0.050	0.115	1.29

Table 6. 前後肢のエネルギー消費量

ている。関節モーメントの結果より、立脚初期に肩関節では伸展方向に、肘関節では屈曲方向に働いており、生後すぐでは歩行中に十分身体を支えることが出来ないことを示している。また、パワーの発生パターンやエネルギー量の結果は明らかに前肢の結果が後肢より大きな値となり、前肢の運動機能が優位に発達していることを示している。4週齢になると立脚前期の肘関節の伸展モーメントが大きくなり、前肢のブレーキ機能があらわれてくる。さらに7週齢には、この前肢のブレーキ機能が顕著になる。22週齢では肘関節のモーメントの値は小さくなり、後肢とのバランスをとれるようになってきたと考えられる。

後肢の股関節モーメントについては1週齢では立脚期に伸展、遊脚期に屈曲という単純なパターンであるが、14週齢まで立脚期では不安定なモーメントのパターンを示す。17週齢になると伸展と屈曲の時期が一定になり、この頃に安定した歩行となる。膝関節のモー

メントは1週齢ではほぼ屈曲に作用しており、膝を伸ばし身体を支持する働きはみられない。その後はバリエーションが大きく後肢の発達が進んでいないと考えられる。10週齢以後になり、立脚後期の伸展モーメントがみられることから、歩行における加速機能が出現するようになる。足根関節でも10週齢頃に立脚後期の伸展モーメントがみられ、加速機能に作用している。

筋力の計算結果も関節モーメントから導かれた結果と同じ傾向を示している。1週齢ではやはり特異的な筋活動となり、前肢では立脚期には肘関節の屈曲に作用する筋が働き、遊脚期には前肢を持ち上げる肩関節まわりの筋が働く。しかし、3週齢には立脚前期に背側部の筋が活動し、ブレーキ機能に働くようになる。遊脚期にはやはり肩関節まわりの筋の活動が大きい。後肢の筋についても1週齢では特徴的な筋活動パターンがみられる。7週齢には立脚前期に大殿筋の活動がみられる

が、これはこの時期にみられる後肢によるブレーキ機能に作用していると考えられる。さらに14週齢には加速機能に関係する筋群の働きがはっきりと現れるようになる。

パワーの発生パターンでも1週齢での前肢働きは後肢よりはるかに大きく、運動の前肢への依存が著しい。4週齢では前後肢の差は急速に減少するが、立脚後期から遊脚期にかけて後肢の値が大きく後肢の加速機能は明確ではない。7週齢になって後肢の運動が大きくなり、後肢の立脚前期と後期にピークが現れる。この時期にみられる前肢の立脚中期のピークは、後肢の発達による過度の運動を前肢で抑えるために発生している。それ以後は前後肢ともパワーに関してはバランスのよい歩行を示している。

8. 結論

計算機シミュレーションによって求めた関節モーメント、筋力、パワー発生パターン、エネルギー消費量を求めた結果も、運動学的データによる結果を裏付けている。1週齢ではまったく独自の結果を示し、歩行における前肢への依存が非常に大きいことが示された。これは運動学的研究における第一の発達段階と対応しており、また、関節モーメントや筋力の結果にみられる3、4週齢での顕著な前肢の発達、7、8週齢での後肢の急速な発達、17週齢以後での安定した歩行パターンはそれぞれの発達段階における変化をより一層明確に示している。

9. 今後の問題点

シミュレーションの精度について、二次元

的モデルであることから、横方向への運動が考慮されておらず、これが第一に改善されるべき点である。さらに運動計測は16mmフィルムを通して計っており、精度に限界がある。その点をなくすため、撮影画像から直接に座標を計測するシステムの利用がのぞましい。また、床反力についても、前肢と後肢で異なった試行の測定値を用いたが複数の床反力計を用いて同一の歩行における計測を行った方がよいだろう。

入力するデータについては、個体間変異、個体内変異について調べるためより多数のデータを集めて入力することがのぞましい。この点でも16mmフィルムによる撮影ではコストが非常に高くなることから、ビデオシステムによる撮影および記録の方が利点が多い。

また、この四足歩行シミュレーションを多の霊長類や四足獣に応用するためには、筋の起始付着関係や関節からの付着点の距離などについて、さらに解剖学的知見が加える必要

が あ る。

第Ⅳ章　総合論議

ニホンザルの運動能力発達について、それぞれの発達段階、およびその間の移行時期について、運動学的研究と計算機シミュレーションを用いた研究からその妥当性を検証した。

その結果、1．四肢の支持機能の未発達期、2．前肢支持機能の発達期、3．後肢支持機能の発達期、4．成体型歩行への移行時期、5．成体型歩行期の各段階が認められた。そして、それぞれの期間は、1．生後1週間、2．生後1カ月、3．生後3カ月、4．生後6カ月、5．生後6カ月以後であった。

この結果をヒト、チンパンジーと比較する(Fig.53)と、ニホンザルの各時期がいずれも短いことがわかる(Nakano and Kimura, in press)。特に成体型歩行への移行時期が著しく短い。これはそれぞれの生存年数との比率(Schults, 1956, 1960)でみても短いものである

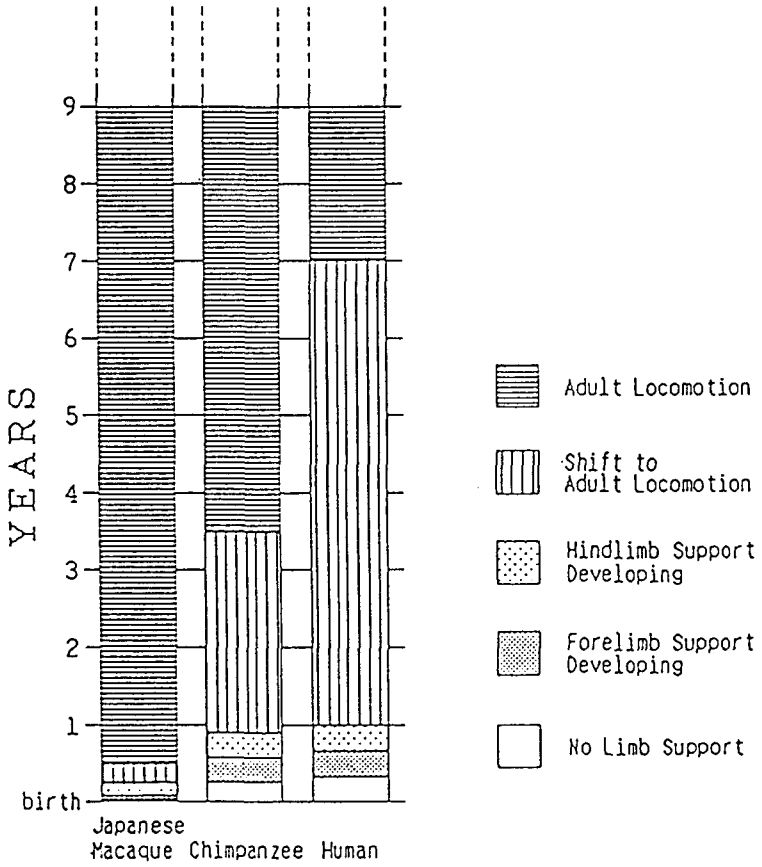


Fig.53. ニホンザル、チンパンジー、ヒトの運動発達段階の期間

(Fig.54)。

霊長類は樹上空間において適応放散をとげたグループであり、そのため各種のロコモーションは非常に多岐にわたっている。しかし、その種に固有のロコモーションへと変化した過程はほとんど解明されていない。その理由の一つとしてこの成体型歩行への移行期間の長さが影響しているのではないだろうか。

ヒトの直立歩行というロコモーションは霊長類の中でも際だって特徴的なものであり、ヒトのこの移行期間の長さが直立二足歩行の獲得を可能にしたと考える(Nakano and Kimura,in press)。チンパンジーではニホンザルに比較して移行期間は長いが、ナックル歩行の獲得に到達したのみで直立二足歩行までにはいたらなかったのであろう。さらに同じように考えれば、テナガザルの腕渡りも、テナガザルのロコモーション発達の期間がその獲得に十分な長さであったと考察される。それに対して、ニホンザルの成体型歩行への

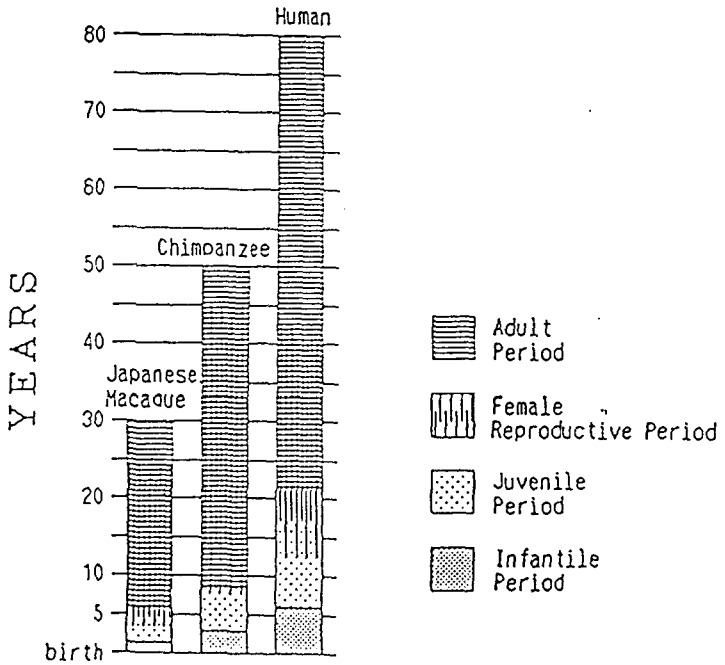


Fig.54. ニホンザル、チンパンジー、ヒトの形態的な発達段階

移行期間はヒトはもちろん、チンパンジーや他の類人猿に比しても非常に短く、霊長類あるいは哺乳類一般の基本的ロコモーションである四足歩行から変化しなかった。また、他の霊長類についても四足歩行あるいは跳躍といった基本的ロコモーションからの変化はほとんど起こらなかったといえる。

サルまわしのトレーニングをうけたニホンザルについての研究では、長年の二足歩行や直立姿勢への強制により、脊椎骨に変化が起こることがわかっている(Preuschoft et al.,1988: Nakatsukasa,1991)。これらのニホンザルは3才からトレーニングを始められており、すでに成体型歩行への移行が完了した段階でのトレーニングが形態的にストレスを生み骨の変形など障害を生ずるのではないだろうか。骨化の完了など形態的に完成する時期よりも運動様式が固定化される時期は明らかに早いのである。チンパンジーでも若年の個体ほど二足歩行のトレーニングは容易であ

る。これはトレーニングへの興味が若年個体の方が大きいということだけでなく。運動の可塑性からみても当然といえる。

ヒトの直立二足歩行の獲得過程については様々な要因が考えられており、今回著者が考察したようなロコモーションの発達期間だけで説明できるものではないが、少なくとも一つの大きな要因であったといえよう。

第Ⅴ章　要約

ヒトの最も大きな生物学的特徴である直立二足歩行の進化の過程の研究方法として化石研究とともに、ヒトの近縁種である現生霊長類の移動様式についての研究が行われてきが、それらの多くは歩行自体の分析と種間比較のみに留まっていた。しかし、運動の比較においてはその運動がどういった発達段階においてなされたかを考慮する必要がある。ヒトの歩行については幼児から成人までの発達過程に関して多くの研究が行われている。一方、霊長類の発達研究に関しては、母子間関係や仲間関係など社会性の研究が主であり、その手段として姿勢や移動距離などの運動に関する指標が用いられている。また、運動発達の研究でも観察による運動発現の定量的分析は行われているが、運動学的に分析した研究は見当たらない。

そこで、行動観察による研究が実際の運動

能力の発達と対応しているか、また外的に発現される運動発達の分析が社会性の発達といった内的な発達の指標として適切であるかについて検証し、それと同時に霊長類にみられる多様な移動様式の適応過程について運動発達の側面から考察する目的で実験的研究を行った。被験体として運動発達の観察研究が行われているニホンザルを用い、その生後6カ月までの四足歩行を運動学的方法と計算機シミュレーション法により分析し、その加齢にともなう変化を求めた。

1. 運動学的分析

被験体: 生後6カ月までのニホンザル乳幼児5頭(オス4頭、メス1頭)で生後1週間以内に母親から分離し人工哺育を行った。

実験方法: 各被験体につき生後3カ月までは週1回、3カ月から6カ月までは月1回、まわりを透明なアクリル板で囲った歩行板上を自由に歩行させ、側面から16mm高速度カメ

ラで毎秒50コマで撮影した。それと同時に歩行板にセットした床反力計により、前肢、後肢のそれぞれの床反力を測定した。被験体には各関節の中心点に標点をつけた。

分析方法：撮影したフィルムから運動変位のデータを求め、歩行周期、歩幅、歩行速度、各関節の角度変化を計算し、床反力データとともに成長にともなう変化を分析した。

2．計算機シミュレーション法による分析

入力データ：運動変位データ（各標点の速度・加速度、各関節の角速度・角加速度、歩行周期、歩幅、歩行速度）、床反力データ、生体物理定数

出力データ：関節モーメント、筋力、パワー発生パターン、エネルギー消費量

それぞれの分析の結果からニホンザルの四足歩行の発達について次の段階が示された。

1．　四肢の支持機能の未発達期－生後1週齢まで

この時期には周期的な歩行はほとんど見られず、身体の支持も不安定である。

2．　前肢の支持機能の発達期－生後4週齢まで

前肢による身体の支持が優位である。また、関節運動は前肢のみで成体型の変化パターンを示す。

3．　後肢の支持機能の発達期－生後12週齢まで

この時期には後肢の運動機能の発達が著しい。身体の支持、加速の機能が主に後肢で行われるようになり、前肢がブレーキ、後肢が加速という歩行時の機能分化が見られるようになる。

4．　成体型歩行への移行期－生後26週齢まで

後肢による身体の支持がやや減少し、成体と同じレベルになる。後肢の関節運動のパターンが成体型へと移行していき、前後肢の機

能のバランスがとられるようになる。ブレーキ、加速機能の分化はより明確に現れる。

5. 生体型歩行期－生後26週齢以後

成体型の歩行への移行がほぼ終了する。

この各発達段階およびその期間は、これまでの行動観察の研究から得られている結果と一致することから、外部に発現する運動は実際の運動能力の発達と密接に関連しており、観察研究による定量的分析により運動能力の発達についての知見を得られることが運動学的分析から裏付けられた。しかし、発達段階によって運動能力に差がみられることが明確に示されたことから、社会性の発達の研究などに運動に関連する指標を用いる際には、こういった差を考慮にいれる必要があることが指摘された。

さらに、ニホンザルとヒトやチンパンジーの運動発達の期間を比較した場合、ヒトで著しく長くなっている。ヒトの直立二足歩行の

獲得には自然環境をはじめとする多くの内的、外的要因が存在しているが、今回行った運動発達学的研究からは、運動発達の期間の長期化ということが一つの要因であったのではないかと考えられる。ヒトより発達期間の短いチンパンジーの場合には、ナックル歩行への移行が生じた。また、ニホンザルではこの期間は非常に短いため、霊長類の基本的な運動様式である四足歩行から、特殊化した移動様式への変化は他の環境要因の影響があったとしても、生じなかったと考えられる。

謝辞

大阪大学人間科学部俣野彰三教授、京都大学理学部石田英実教授からは本研究の遂行に際して多大な指導と激励をいただいた。

また慶応大学理工学部山崎信寿講師、京都大学霊長類研究所木村賛助教授からは多くの貴重な助言をいただいた。

実験の遂行に際しては、日本モンキーセンター小寺重孝園長、大阪大学人間科学部附属比較行動実験施設山本司郎技官ならびに大阪大学人間科学部人間生態学講座の学生諸氏に多くの助力をいただいた。

以上の方々に深く感謝致します。

引用文献

Abitbol,M.M.,1988. Effect of Posture and Locomotion on Energy Expenditure. Am.J.Phys.Anthrop.,77:191-199.

Andriacchi,T.P., J.A.Ogle and J.O.Galante,1977. Walking Speed as a Basis for Normal and Abnormal Gait Measurements. J.Biomhchanics,10:261-268.

Ashton,E.H. and C.K.Oxnard,1964. The Musculature of the Primate Shoulder. Proc.Zool.Soc.,Lond.,142:1-28.

Bauer,H.R.,1977. Chimpanzee Bipedal Locomotion in the Gombe National Park, East Africa. Primates,18:913-921.

Beck,R.J., T.P.Andriacchi, K.N.Kuo, R.W.Fermier and J.O. Galante,1981. Changes in the Gait Patterns of Growing Children. J.Bone Joint Surg.,63-A:1452-1457.

Boccardi,S., A.Pedotti, R.Rodano and G.C.Santambrogio,1981. Evaluation of Musclar Moments at the Lower Limb Joints by a On-Line Processing of Kinematic Data and Ground Reaction. J.Biomechanics,14:35-45.

Burnett,C.N. and E.W.Johnson,1971. Development of Gait in Childhood. Part I: Method. Develop.Med.Child Neurol., 13:196-206.

Cant,J.G.H.,1988. Positional Behavior of Long-Tailed Macaques (Macaca fascicularis) in Northern Sumatra. Am J.Phys.Anthrop.,76:29-37.

Cappozo,A.,1983. The Forces and Couples in the Human Trunk during Level Walking. J.Biomechanics,16:265-277.

Cappozo,A., T.Leo and A.Pedotti,1975. A General Computing Method for the Analysis of Bipedal and Quadrupedal Locomotion: A Cyclographic Technique. J.Biomechanics,8: 307-320.

Castell,R. and G.Sackett,1973. Motor Behaviors of Neonatel Rhesus Monkeys: Measurement Techniques and Early Development. Develop.Psychobiol.,6:191-202.

Chandler,R.F., C.E.Clauser, J.T.McConville, H.M.Reynolds and J.M.Young,1975. "Investigation of Inertial Properties of the Human Body". AMRL-TR-74-137, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

Clauser,C.E.,J.T.McConville and J.M.Young,1969. "Weight, Volume, and Center of Mass of Segments of the Human Body". AMRL-TR-69-70, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

Contini,R., R.J.Drills and M.Bluestein,1963. Determination of Body Segment Parameters. Hum. Factors,5:493-504.

Cupp,C.J. and E.Uemura,1981. Body and Organ Weights in Relation to Age, Sex in Macaca mulatta. J.Med. Primatol.,10:110-123.

Dempster,W.T. and G.R.L.Gaughran,1967. Properties of Body Segments Based on Size and Weight. Am.J.Anat.,120:33-54.

Eaton,G.G., D.F.Johnson, B.B.Glick and J.M.Worlein,1985. Development in Japanese Macaques (Macaca fuscata): Sexually Dimorphic Behavior during the First Year of Life. Primates,26:238-248.

Eaton,G.G., D.F.Johnson, B.B.Glick and J.M.Worlein,1986. Japanese Macaques (Macaca fuscata) Social Development: Sex Deferences in Juvenile Behavior. Primates,27:141-150.

Elftman,H.,1939. The Function of Muscles in Locomotion. Am. J.Physiol.,125:357-366.

Erickson,G.E.,1963. Brachiation in New World Monkeys and Anthropoid Apes. Symp.Zool.Soc.Lond.,10:135-164.

Fleagle,J.G.,1977a. Locomotor Behavior and Musclar Anatomy of Sympatric Malaysian Leaf Monkeys (Presbytis obscura and melalophos). Am.J.Phys.Anthrop.,46:297-308.

Fleagle,J.G.,1977b. Locomotor Behavior and Skeletal Anatomy of Sympatric Malaysian Leaf Monkeys (Presbytis obscura and melalophos). Yrbk.Phys.Anthrop.,20:440-453.

Fleagle,J.G.,1988. "Primate Adaptation & Evolution". Academic Press, San Diego.

Fleagle,J.G. and D.J.Meldrum.,1988. Locomotor Behavior and Skeletal Morphology of Two Sympatric Pitheciine Monkeys, Pithecia pithecia and Chiropotes satanas. Am. J.Primatol.,16:227-249.

Fleagle,J.G. and R.A.Mittermeier,1980. Locomotor Behavior, Body Size and Comparative Ecology of Seven Surinam Monkeys. Am.J.Phys.Anthrop.,52:301-322.

Fleagle,J.G., J.T.Stern,Jr., W.L.Jungers, R.L.Susman, A.K. Vangor and J.P.Wells,1981. Climbing: A Biomechanical Link with Brachiation and with Bipedalism. Symp.Zool. Soc.,Lond.,48:359-375.

Forssberg,H.,1985. Ontogeny of Human Locomotor Control I. Infant Stepping, Supported Locomotion and Transition to Independent Locomotion. Exp.Brain Res.,57:480-493.

Fujikawa,K.,1963. The Center of Gravity in the Parts of Human Body. Okajima Foli.Anat.Jap.,39:117-125.

Gavan.J.A. and D.R.Swindler,1966. Growth Rates and Phylogeny in Primates. Am.J.Phys.Anthrop.,24:181-190.

Glick,B.B.,1979. Testicular Size, Testosterone Level, and Body Weight in Male Macaca radiata. Folia Primatol.,32: 268-289.

Glick,B.B., G.G.Eaton, D.F.Johnson and J.Worlein,1986a. Social Behavior of Infant and Mother Japanese Macaques (Macaca fusucata): Effects of Kinship, Partner Sex, and Infant Sex. Int.J.Primatol.,7:139-155.

Glick,B.B., G.G.Eaton, D.F.Johnson and J.Worlein,1986b. Development of Partner Preferences in Japanese Macaques (Macaca fusucata): Effects of Gender and Kinship during the Second Year of Life. Int.J.Primatol.,7:467-479.

Grand,T.I.,1977a. Body Weight: Its Relation to Tissue Composition, Segment Distribution, and Motor Function I. Interspecific Compositions. Am.J.Phys.Anthrop.,47: 211-240

Grand,T.I.,1977b. Body Weight: Its Relation to Tissue Composition, Segment Distribution, and Motor Function II. Development of Macaca mulatta. Am.J.Phys.Anthrop., 47:241-248.

Gregory,W.K.,1912. Notes on the Principles of Quadrupedal Locomotion and on the Machanism of the Limbs in Hoofed Animals. Ann.N.Y.Acad.Sci.,22:267-294.

Grether,W.F. and R.M.Yearkes,1940. Weight Norms and Relations for Chimpanzee. Am.J.Phys.Anthrop.,27:181-197.

Grieve,D.W.,1969. The Assessment of Gait. Physiother.,55: 452-460.

Grieve,D.W. and R.J.Gear,1966. The Relationships Between Length of Stride, Step Frequency, Time of Swing and Speed of Walking for Children and Adults. Ergonomics,9: 379-399.

Günter,M.M., H.Ishida, H.Kumakura and Y.Nakano,1991. The Jump as a Fast Mode of Locomotion in Arboreal and Terrestrial Biotopes. Z.Morph.Anthrop.,18:341-372.

Hamada,Y.,1982. Longitudinal Somatometrical Study on the Growth Patterns of Newborn Japanese Monkeys. Primates, 23:542-557.

Hamada,Y.,1984. Age Changes of the Carpal Bones in Macaques: Application of the Fourier Analysis on the Radiographs. Primates,25:485-506.

Hamada,Y.,1986. Somatometrical Features of Japanese Monkeys in the Koshima Islet: In Viewpoint of Somatometry, Growth, and Sexual Maturation. Primates,27:471-484.

Hansen,E.W.,1966. The Development of Maternal and Infant Behavior in the Rhesus Monkey. Behavior,27:107-149.

Harlow,H.F.,1959. The Development of Learning in the Rhesus Monkey. Am.Scientist,47:459-479.

Harlow,H.F.,1962. The Nature of Love. Am.Psychologist,17: 673-685.

Hatze,H.,1975. A New Method for the Simultaneous Measurement of the Moment of Inertia, the Damping Coefficient and the Locomotion of the Mass of a Body Segment in situ. Europ.J.Appl.Physiol.,34:217-226.

Hayama,S.,1965. Morphological Studies of Macaca fuscata. Primates,6:249-269.

Hildebrand,M.,1967. Symmetrical Gait of Primates. Am.J.Phys. Anthrop.,26:119-130.

Hildebrand,M.,1977. Analysis of Asymmetrical Gaits. J. Mammal.,58:131-156.

Hill,A.V.,1940. The Dynamic Constant of Human Muscle. Proc. Roy.Soc.B,128:263-274.

Hinde,R.A. and Y.Spencer-Booth,1967. The Behavior of Socially Living Rhesus Monkeys in their First Two and a Half Years. Anim.Behav.,15:169-196.

Hines,M.,1942. The Development and Regression of Reflexes, Postures, and Progression in the Young Macaque. Contrib. Embryol.,196:153-217.

Hiraiwa,M.,1981. Maternal and Alloparental Care in a Troop of Free-Ranging Japanese Monkeys. Primates,22:309-329.

Hurov,J.R.,1982. Diagonal Walking in Captive Infant Vervet Monkeys. Am.J.Primatol.,2:211-213.

Hurov,J.R.,1985. Monkey Locomotion during Gait Transitions: How Do Interlimb Time Intervals Step Sequences, and Kinematics Change? Am.J.Phys.Anthrop.,66:417-427.

Ikeda,J. and S.Hayama,1963. Observations on the Growth and Developmant of Japanese Monkeys (Macaca fuscata). Primates,4:90-91.

池田次郎・葉山杉夫,1964.「野生ニホンザルの生体測定－高崎山サルと小豆島サルの比較－」 高崎山の野生ニホンザル :93-108. 伊谷純一郎・池田次郎・田中利男編. 勁草書房,東京

池田次郎・葉山杉夫・吉川貞男,1964.「高崎山野生ニホンザルの四肢骨化骨のX線資料」 高崎山の野生ニホンザル :109-116. 伊谷純一郎・池田次郎・田中利男編. 勁草書房,東京

石田英実,1983.「霊長類のロコモーション」, 人類学講座３ 進化 :81-138. 人類学講座編纂委員会編. 雄山閣出版, 東京.

石田英実,1986. 北ケニアの調査と新しいホミノイド, 科学,56: 220-226.

Ishida,H., F.K.Jouffroy and Y.Nakano,1990. Comparative Dynamics of Pronograde and Upside down Horizontal Quadrupedalism in the Slow Loris (Nycticebus coucang). In: Gravity, Posture and Locomotion in Primates:209-220. F.K.Jouffroy, M.H.Stack and C.Niemits(Eds.). Il Sedicesimo, Firenze.

Ishida,H.,T.Kimura and M.Okada,1975. Patterns of Bipedal Walking in Anthropoid Primates. In: Proc.Symp.5th Cong Int.Primatol.Soc.:287-301. S.Kondo, M.Kawai, A.Ehara and S.Kawamura (eds.). Japan Science Press, Tokyo.

Ishida,H.,H.Kimura, M.Okada and N.Yamazaki,1984. Kinesiological Aspects of Bipedal Walking in Gibbons. In: The Lesser Ape:135-145. H.Preuschoft, D.J.Chivers, W.Y. Brockiman and N.Creel (Eds.). Edinburgh Univ.Press, Edinburgh.

Ishida,H., H.Kumakura and S.Kondo,1985. Primate Bipedalism and Quadrupedalism: Comparative Electromyography. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:59-79. S.Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ.Tokyo Press, Tokyo.

Ishida,H., E.Mbua, Y.Nakano and K.Yasui,1991. Sexual Dimorphism in Canine Size of Kenyapithecus from Nachola, Northern Kenya. In: Primatological Today:517-520. A.Ehara, T.Kimura, O.Takenaka and M.Iwamoto (Eds.). Elsevier Science Pub., Amsterdam.

Itoigawa,N.,1973. Group Organization of a Natural Troop of Japanese Monkeys and Mother-Infant Interactions. In: Behavioral Regulations of Behavior in Primates:229-250 C.R.Carpenter (Ed.). Bucknell Univ. Press, Lewisburg.

糸魚川直祐・田中利行,1963. ニホンザルの分娩と新生児の行動. 動物心理学年報,13:71-81.

Iwamoto,M.,1971. Morphological Studies of Macaca fuscata: VI. Somatometry. Primates,12:151-174.

岩本光雄,1977. 乳歯期ニホンザルにおける歯列と身体発育の状態について. 人類学雑誌,85:281-291.

岩本光雄・富田　守,1966. サルの歩行型式と前後肢別体重について. 人類学雑誌,74:228-231.

岩田浩子,1983. 幼児の移動運動における四肢協調型式の研究－葡匐運動および走行と歩行について－. 人類学雑誌,91:131-152.

Jenkins,F.A.,Jr.,1972. Chimpanzee Bipedalism: Cineradiographic Analysis and Implications for the Evolution of Gait. Science,178:877-879.

Jenkins,F.A.,Jr., P.J.Dombrowski and E.P.Gordon,1978. Analysis of the Shoulder in Brachiating Spider Monkeys. Am.J.Phys.Anthrop.,48:65-76.

Jensen,G.D.,1961. The Development of Prehension in a Macaque. J.Comp.Physiol.Psychol.,54:11-12.

Johanson,D.C. and T.D.White,1979. A Systematic Assessment of Early African Hominids. Science,203:321-330.

Jordan,R.P.,1981. The Neuromotor Development of Bipedal Locomotion in the Normal Infant. J.Am.Podiat.Assoc.,71:84-91.

Jouffroy,F.K. and M.M.Günter,1985. Interdependence of Morphology and Behavior in the Locomotion of Galaginae. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:201-234. S.Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ.Tokyo Press, Tokyo.

Jouffroy,F.K. and J.T.Stern,Jr.,1990. Telemetered EMG Study of the Antigravity versus Propulsive Actions of Knee and Elbow Muscles in the Slow Loris (Nycticebus coucang). In: Gravity, Posture and Locomotion in Primates:221-236. F.K.Jouffroy, M.H.Stack and C.Niemits (Eds.). Il Sedicesimo, Firenze.

川辺寿美子・川村俊蔵,1960. 隔離飼育されたニホンザルのアカンボウ期における発達（Ⅰ）. 生理生態,9:96-104.

Kerr,G.R.,G.Schefeler and H.A.Waisman,1969. Growth and Development of Infant M. mulatta Fed a Standardized Diet. Growth,33:185-199.

Kimura,T.,1985. Bipedal and Quadrupedal Walking of Primates: Comparative Dynamics. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:81-104. S. Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H. Prost (Eds.). Univ.Tokyo Press, Tokyo.

Kimura,T.,1987. Development of Chimpanzee Locomotion on Level Surface. Hum.Evol.,2:107-119.

Kimura,T.,1990. Voluntary Bipedal Walking of Infant Chimpanzee. In: Gravity, Posture and Locomotion in Primates:237-252. F.K.Jouffroy, M.H.Stack and C.Niemits (Eds.). Il Sedicesimo, Firenze.

Kimura,T. and Y.Hamada,1990. Development of Epiphysial Union in Japanese Macaques of Known Chronological Age. Primates,31:79-93.

Kimura,T., M.Okada and H.Ishida,1977. Dynamics of Primate Bipedal Walking as Viewed from the Force of Foot. Primates,18:137-147.

Kimura,t., M.Okada, N.Yamazaki and H.Ishida,1983. Speed of the Bipedal Gaits on Man and Nonhuman Primates. Ann. Sci.Nat.Zool.,13e Sér.,5:145-158.

近藤四郎・江藤盛治・茂原信生・羽倉信彦, 1975. ニホンザル（志賀Ａ群）の骨格発育状況. 生理生態,16:65-71.

Larson,S.G. and J.T.Stern,Jr.,1986. EMG of Scapulohumeral Muscles in the Chimpanzee during Reaching and "Arboreal" Locomotion. Am.J.Anat.,176:171-190.

Larson,S.G., J.T.Stern,Jr. and W.L.Jungers,1991: EMG of Serratus Anterior and Trapezeus in the Chimpanzee: Scapular Rotators Revisited. Am.J.Phys.Anthrop.,85:71-84.

Leakey,R.E.F.,1972. Evidence for an Advanced Plio-Pleistocene Hominid from East Rudolf, Kenya. Nature, 242:447-450.

Manter,J.T.,1938. The Dynamics of Quadrupedal Walking. J. Exp.Biol.,15:522-540.

Matsubayashi,K. and T.Enomoto,1983. Longitudinal Studies on Annual Changes in Plasma Teststerone, Body Weight and Spermatogenesis in Adult Japanese Monkeys (Macaca fuscata fuscata) under Laboratory Conditions. Primates, 24:521-529.

松井秀治,1956. 各種姿勢の重心位置に関する研究. 体育学研究,2: 65-76.

McKim,Jr.D. and T.C.Hutchinson,1975. Phylogenetic Implications of Comparative Primate Growth Rates. Am.J.Phys. Anthrop.,42:495-500.

Mena,D., J.M.Mansour and S.R.Simon,1981. Analysis and Synthesis of Human Swing Leg Motion during Gait and its Clinical Application. J.Biomechanics,14:823-832.

Miller,D.I. and W.E.Morrison,1975. Prediction of Segmental Parameters Using the Hanavan Human Body Model. Medicine Sci.Sports,7:207-212.

Minami,T.,1975. Early Mother-Infant Relations in Japanese Monkeys. In: Contemporary Primatology:334-340. S.Kondo, M.Kawai and A.Ehara (Eds.). Karger, Basel.

南　徹弘,1974. 飼育ニホンザルの初期母子関係（１）－幼体のしがみつき行動と母の抱く行動、グルーミングを中心に－. 動物心理学年報,24:15-25.

南　徹弘,1976. 飼育ニホンザルの初期母子関係（２）－母子間距離と幼体の位置移動の発達を中心に－. 動物心理学年報,26:23-29.

Minns,R.J.,1981. Forces at the Knee Joint: Anatomical Considerations. J.Biomechanics,14:633-643.

Mittermeier.R.A. and J.G.Fleagle,1976. The Locomotor and Postural Repertoires of Ateles geoffroy and a Re-evaluation of the Locomotor Category Semibrachiation,. Am.J.Phys.Anthrop.,45:235-251.

Morbeck,M.E.,1977. Positional Behavior, Selective Use of Habitat Substrate and Associated Non-Positional Behavior in Free-Ranging Colobus guereza (Ruppel, 1835). Primates,18:35-58.

Morrison,J.B.,1970. The Mechanics of Muscle Function in Locomotion. J.Biomechanics,3:431-451.

Mowbray,J.B. and T.E.Cadell,1962. Early Behavior Patterns in Rhesus Monkeys. J.Comp.Physiol.Psychol.,55:350-357.

Muybridge,E.,1957. "Animals in Motion". Dover Pub. Inc., N.Y. (1899,Rep.1957)

Nakamichi,M.,1989. Sex Differences in Social Development during the First 4 Years in a Free-Ranging Group of Japanese Monkeys, Macaca fuscata. Anim.Behav.,38:737-748.

Nakamichi,M. and A.Yoshida,1986. Discremination of Mother by Infant among Japanese Macaques (Macaca fuscata). Int.J. Primatol.,7:481-489.

Nakano,Y. and T.Kimura, in press. Development of Bipedal Walking in Macaca fuscata and Pan troglodytes. In: Proc.Symp.13th Cong.Int.Primatol.Soc., Univ.Tokyo Press, Tokyo.

Nakatsukasa,M.,1991. Monkey Performance and Morphology of Bones: An Influence on Japanese Macaque Postcrania with Long Term Trained Bipedal Walking. In: Primatological Today:493-494. A.Ehara, T.Kimura, O.Takenaka and M. Iwamoto (Eds.). Elsevier Science Pub., Amsterdam.

Napier,J.R.,1963. Brachiation and Brachiators. Symp.Zool. Soc.Lond.,10:183-195.

Napier,J.R. and P.H.Napier,1967. "Handbook of Living Primates". Academic Press, London and New York.

Napier,J.R. and P.H.Napier,1985. "The Natural History of the Primates". British Museum (Natural History), London.

Napier,J.R. and A.C.Walker,1967. Vertical Clinging and Leaping - A Newly Recognized Category of Locomotor Behavior of Primates. Folia Primatol.,6:204-219.

Nash,L.T.,1978. The Development of the Mother-Infant Relationship in Wild Baboons (Papio anubis). Anim. Behav.,26:746-759.

Negayama,K., K.Kondo and N.Itoigawa,1983. Development of Locomotor Behavior in Infant Japanese Macaques (Macaca fuscata). Ann.Sci.Nat.Zool.,Paris. 13e Sér.,5:169-180.

Negayama,K.,Negayama,T. and K.Kondo,1986. Behavior of Japanese Monkey (Macaca fuscata) Mother and Neonates at Parturition. Int.J.Primatol.,7:365-378.

Niemiz,C.,1985. Leaping Locomotion and the Anatomy of the Tarsier. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:235-250. S.Kondo, H. Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

和　秀雄,1975. 志賀A群のニホンザル・オスの性成熟. 生理生態, 16:47-53.

Nigi,H., T.Tiba, S.Yamamoto, Y.Floescheim and N.Ohsawa,1980. Sexual Maturation and Seasonal Changes in A Reproductive Phenomena of Male Japanese Monkeys (Macaca fuscata) at Takasakiyama. Primates,21:230-240.

乗越皓司,1971. ニホンザルの発達段階. 京都大学霊長類研究所年報,1:75.

Norikoshi,K.,1974. The Development of Peer-Mate Relationships in Japanese Macaque Infants. Primates,15:39-46.

Okada,M.,1985. Primate Bipedal Walking: Comparative Kinematics. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:47-58. S.Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

Okada,M., N.Yamazaki, H.Ishida, T.Kimura and S.Kondo,1983. Biomechanical Characteristics of Hylobatid Bipedal Walking on Flat Surface. Ann.Sci.Nat.Zool.,Paris,13e Sér.,5:137-144.

岡本　勉,1970. 乳幼児（1歳児）ならびに幼児（2歳児）における歩行の習得・習熟過程の筋電図的研究. 関西医大教養部紀要, 3:19-65.

岡本　勉,1980. 乳幼児の習熟過程における下肢筋群の筋電図的特徴. 関西医大教養部紀要,8:1-14.

Okamoto,T. and Y.Goto,1985. Human Infant Pre-Independent Walking. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:25-45. S.Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

Parsons,P.E. and C.R.Taylor,1977. Energetics of Brachiation versus Walking: A Comparison of a Suspended and an Inverted Pendulum Mechanism. Physiol.Zool.,50:182-188.

Payton,A.J.,1986. Determination of the Moment of Inertia of Limb Segments by a Simple Method. J.Biomechanics,19: 405-410.

Pedotti,A.,1977. A Study of Motor Coordination and Neuromuscular Activities in Human Locomotion. Biol.Cybanet., 26:53-62.

Preuschoft,H., S.Hayama and M.M.Günter,1988. Curvature of the Lumber Spine as a Consequence of Mechanical Necessities in Japanese Macaques Trained for Bipedalism. Folia Primatol.,50:42-58.

Procter,P. and J.P.Paul,1982. Ankle Joint Biomechanics. J. Biomechanics,15:627-634.

Prost,J.H.,1965a. A Difinitional Systems for the Classification of Primate Locomotion. Am.Anthrop.,67:1198-1214.

Prost,J.H.,1965b. The Methodology of Gait Analysis and Gaits of Monkeys. Am.J.Phys.Anthrop.,23:215-240.

Prost,J.H.,1967. Bipedalism of man and Gibbon Compared Using Estimates of Joint Motion. Am.J.Phys.Anthrop.,26:135-148.

Prost,J.H.,1969. A Replication Study on Monkey Gaits. Am.J. Phys.Anthrop.,30:203-208.

Prost,J.H.,1970. Gaits of Monkeys and Horses: A Methodological Critique. Am.J.Phys.Anthrop.,32:121-128.

Prost,J.H. and R.W.Sussman,1969. Monkey Locomotion on Inclined Surfaces. Am.J.Phys.Anthrop.,31:53-58.

Quanbury,A.O., D.A.Winter and G.D.Reimer,1975. Instantaneous Power & Power Flow in Body Segments during Walking. J. Hum.Move.Stud.,1:59-67.

Rollinson,J. and R.D.Martin,1981. Comparative Aspects of Primate Locomotion, with Special Reference to Arboreal Cercopithecines. Symp.Zool.Soc.Lond.,48:377-427.

Rose,M.D.,1973. Quadrupedalism in Primates. Primates,14:337-357.

Rose,M.D.,1974. Postural Adaptations in New and Old World Monkeys. In: Primate locomotion:201-222. F.A.Jenkins (Ed.). Academic Press, London & New York.

Rose,M.D.,1977. Positional Behaviour of Olive Baboons (Papio anubis) and its Relationship to Maintenance and Social Activities. Primates,18:59-116.

Rosenrot,P., J.C.Wall and J.Charteris,1980. The Relationship between Velocity, Stride Time, Support Time and Swing Time during Normal Walking. J.Hum.Move.Stud.,6:323-335.

Scheving,L.E. and J.E.Pauly,1959. An Electromyographic Study of Some Muscles Acting on the Upper Extremity of Man. Anat.Rec.,135:239-245.

Schultz,A.H.,1929. The Technique of Measuring the Outer Body of Human Fetuses and of Primates in General. Contrib. Embryol.,117:213-257.

Schultz,A.H.,1937. Fetal Growth and Development of the Rhesus Monkey. Contrib.Embryol.,155:71-101.

Schultz,A.H.,1940. Growth and Development of the Chimpanzee. Contrib.Embryol.,170:1-63.

Schultz,A.H.,1941. Growth and Development of the Orang-Utan. Contrib.Embryol.,182:57-111.

Schultz,A.H.,1956. Postembryonic Age Changes. Primatologia, 1:887-964.

Schultz,A.H.,1960. Age Changes in Primates and their Modification in Man. In: Human Growth. Symp.Soc.Stud.Hum. Biol. Vol.3:1-20. Pergamon Press, Oxford.

Shapiro,L.J. and W.L.Jungers,1988. Back Muscle Function during Bipedal Walking in Chimpanzee and Gibbon: Implications for the Evolution of human locomotion. Am. J.Phys.Anthrop.,77:201-212.

Shimpson,M.J.A., A.E.Simpson and S.Howe,1986. Changes in the Rhesus Mother-Infant Relationship through the First Four Months of Life. Anim.Behav.,34:1528-1539.

Smith,A.H., T.M.Butler and N.Pace,1975. Weight Growth of Colony-Reared Chimpanzees. Folia Primatol.,24:29-59.

Smith,R.M. and B.B.Rubenstein,1940. Adolescence of Macaques. Endcrinol.26:667-679.

Statham,L. and M.P.Murry,1971. Early Walking Patterns of Normal Children. Clinic.Orthop.,79:8-24.

Stern,Jr.,J.T. and R.L.Susman,1981. Electromyography of Gluteal Muscles in Hylobates, Pongo, and Pan: Implications for the Evolutions of Hominid Bipedality. Am.J. Phys.Anthrop.,55:153-166.

Stern,Jr.,J.T., J.P.Wells, A.K.Vangor and J.G.Fleagle,1976. Electromyography of Some Muscles of the Upper Limb in Ateles and Lagothrix. Yrbk.Phys.Anthrop.,20:498-507.

Stern,Jr.,J.T., J.P.Wells, W.L.Jungers, A.K.Vangor and J.G. Fleagle,1980. An Electromyographic study of the Pectorialis major in Atelines and Hylobates, with Special Reference to the Evolution of a Pars Clavicuralis. Am.J.Phys.Anthrop.,52:13-25.

Susman,R.L. and J.T.Stern,Jr.,1979. Telemeterd Electromyography of Flexor digitorum profundus and Flexor digitorum superficialis in Pan troglodytes and Implication of the O.H.7 Hand. Am.J.Phys.Anthrop.,50:565-574.

Sutherland,D.H. and J.L.Hagy,1972. Measurement of Gait Movements from Motion Pictures Film. J.Bone Joint Surg.,54-a:787-797.

Sutherland,D.H., R.Olsen, L.Cooper and S.L.-Y. Woo,1980. The Development of Mature Gait, J.Bone Joint Surg.,62-A: 336-353.

竹下秀子,1983. ニホンザル (Macaca fuscata) 乳児の手操作の発達と姿勢運動機能. 哺乳類科学,47:13-24.

竹下秀子・田中昌人・松沢哲郎,1983. ニホンザル乳児の姿勢反応の発達. 動物心理学年報,33:71-83.

Taylor,C.R. and V.J.Rowntree,1973. Running on Two or on Four Legs: Which Consumes More Energy? Science,179:186-187.

Taylor,C.R., K.Schmidt-Nielsen and J.L.Raab,1970. Scaling of Energetic Cost of Running to Body Size in Mammals. Am. J.Physiol.,219:1104-1107.

Tokuriki,M.,1973. Electromyographic and Joint-Mechanical Studies in Quadrupedal Locomotion. I. Walk. Jap.J. Veter.Sci.,35:433-446.

富田　守,1967. 歩行の四肢運動様式に関する研究 [1] 哺乳類における二種の歩行型式の存在およびその意義. 人類学雑誌,75: 120-146.

富田　守,1967. 歩行の四肢運動様式に関する研究 [2] 歩行における四肢筋活動様式の筋電図的研究. 人類学雑誌,75:173-194.

鳥越隆士,1984. ニホンザル乳児の姿勢と位置移動の発達. 動物心理学年報,34:11-18.

Torigoe,T.,1985. Comparison of Object Manipulation among 74 Species of Non-Human Primates. Primates,26:182-194.

Torigoe,T.,1986. Development of Object Manipulation in the Infant of Japanese Monkeys. Jap.Psychol.Res.,28:149-154.

Torre,C.,G.Giacobini and G.Ardito,1978. Skeletal Development of an Orang-Utan Premature Newborn: A Comparative Study with Man. J.hum.Evol.,7:143-149.

Townsend,M.A.,1981. Dynamics and Coordination of Torso Motions on Human Locomotion. J.Biomechanics,14:727-738.

Tuttle,R.H.,1967. Knuckle-Walking and the Evolution of Hominoid Hands. Am.J.Phys.Anthrop.,26:171-206.

Tuttle,R.H. and J.V.Basmajian,1974. Electromyography of Brachial Muscle in Pan gorilla and Hominoid Evolution. Am.J.Phys.Anthrop.,41:71-90.

Tuttle,R.H. and J.V.Basmajian,1976a. Electromyography of Pongid Shoulder Muscles. I. Retractor of the Humerus and Rotators of the Scapla. Yrbk.Phys.Anthrop.,20:491-497.

Tuttle,R.H. and J.V.Basmajian,1976b. Electromyography of Pongid Shoulder Muscles. II. Deltoid, Rhomboid and "Rotators Cuff". Am.J.Phys.Anthrop.,49:47-56.

Tuttle,R.H. and J.V.Basmajian,1978. Electromyography of Pongid Shoulder Muscles. III. Quadrupadal Positional Behavior. Am.J.Phys.Anthrop.,49:57-70.

Tuttle,R.H., J.V.Basmajian and H.Ishida,1979. Activities of Pongid Thigh Muscles during Bipedal Behavior. Am.J. Phys.Anthrop.,50:123-136.

Tuttle,R.H., J.V.Basmajian, E.R.Regnos and G.Shine,1972. Electromyography of Knuckle-Walking: Result of Four Experimants on the Forearm of Pan gorilla. Am.J.Phys. Anthrop.,37:255-266.

Tuttle,R.H., M.J.Velte and J.V.Basmajian,1983. Electromyography of Brachial Muscles in Pan troglodytes and Pongo pygmaeus. Am.J.Phys.Anthrop.,61:75-83.

Tuttle,R.H. and Watts,D.P.,1985. The Positional Behavior and Adaptivce Complexes of Pan gorilla. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism: 261-288. S.Kondo, H.Ishida, T.Kimura, M.Okada, N. Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

Vangor,A.K. and J.P.Wells,1983. Muscle Recruitment and the Evolution of Bipedality: Evidence from Telemetered Electromyography of Spider, Wolly and Patas monkeys. Ann.Sci.Nat.Zool.,13e Sér.,5:125-135.

van Wagnen,G. and C.W.Asling,1958. Roentgenographic Estimation of Bone Age in the Rhesus Monkey. Am.J. Anat.,103:163-185.

van Wagnen,G. and H.R.Catchpole,1956. Physical Growth of the Rhesus Monkey (Macaca mulatta). Am.J.Phys.Anthrop.,14: 245-273

Vilensky,J.A.,1980. Trot-Gallop Transition in a Macaque. Am.J.Phys.Anthrop.,53:347-348.

Vilensky,J.A.,1983. Gait Characteristics of Two Macaques, with Emphasis on Relationship with Speed. Am.J.Phys. Anthrop.,61:255-265.

Vilensky,J.A. and E.Gankiewicz,1986. Effects of Size on Vervet (Cercopithecus aethiops) Gait Parameters: A Preliminary Analysis. Folia Primatol.,46:104-117.

Vilensky,J.A. and E.Gankiewicz,1989. Early Developmant of Locomotor Bahavior in Vervet Monkey. Am.J.Primatol.,17: 11-25.

Vilensky,J.A. and E.Gankiewicz,1990. Effects of Growth and Speed on Hindlimb Joint Angular Displacement Pattern in Vervet MOnkeys (Cercopithecus aethiops). Am.J.Phys. Anthrop.,81:441-449.

Vilensky,J.A. and E.Gankiewicz and D.W.Townsend,1988. Effects of Size on Vervet (Cercopithecus aethiops) Gait Parameters: A Cross-Sectional Approzch. Am.J.Phys. Anthrop.,76:463-480.

Vilensky,J.A. and E.Gankiewicz and D.W.Townsend,1990. Effects of Size on Vervet (Cercopithecus aethiops) Gait Parameters: A Longitudinal Approach. Am.J.Phys. Anthrop.,81:429-439.

Walker,A.C.,1974. Locomotor Adaptations in Past and Present Prosimian Primates. In: Primate Locomotion:349-381. F. A.Jenkins (Ed.). Academic Press, London & New York.

Walker,A.C., R.E.F.Leakey, J.M.Harris and F.H.Brown,1986. 2.5-Myr Australopithecus boisei from West of Lake Turkana. Nature,322:517-522.

Washburn,S.L.,1943. The Sequence of Epiphysial Union in Old World Monkeys. Am.J.Anat.,72:339-360.

渡辺　毅,1975. 生体計測よりみたニホンザル志賀A群の特徴. 生理生態,16:55-63.

渡辺　毅・相見　満・松本　真,1979. 「ニホンザル若令期の成長と性差」『ニホンザル地域集団における性の役割についての社会生物学的研究』:6-20. 京都大学霊長類研究所,犬山.

Watts,E.S.,1985. Adlescent Growth and Development of Monkeys, Apes and Humans. In: Nonhuman Primate Models for Human Growth and Development: 41-65. E.S.Watts (Ed.). Alan R.Liss, Inc., New York.

Watts,E.S.,1986. Skeletal Development. In: Comparative Primate Biology, Vol.3, Reproduction and Development: 415-439. W.R.Dukelow and J.Erman (Eds.)., Alan R. Liss, Inc., New York.

Watts,E.S. and J.A.Gavan, 1982. Postnatal Growth of Nonhuman Primates: The Problem of the Adlescent Spurt. Hum. Biol.,54:53-70.

Weinbach,A.P.,1938. Contour Maps, Center of Gravity, Moment of Inertis and Surface Area of the Human Body. Hum. Biol.,10:356-371.

Wella,J.P. and G.A.Wood,1975. The Application of Bio-mechanical Motion Analysis to Aspects of Green Monkey (Cercopithecus a. sabaeus) Locomotion. Am.J.Phys. Anthrop.,43:217-226.

Wells,J.P., G.A.Wood and G.Tebbetts,1977. The Vertical Leap of Cercopithecus aethiops sabaeus: Biomechanics and Anatomy. Primates,18:417-434.

Winter,D.A.,1980. Overall Principle of Lower Limb Support during Stance Phase of Gait. J.Biomechanics,13:923-927.

Wooldridge,F.L.,1971. Colobus guereza: Birth and Infant Development in Captivity. Anim.Behav.,19:481-485.

山崎信寿,1975.　計算機シミュレーションによる生物の歩行の研究　. 昭和50年度慶応義塾大学博士論文.

Yamazaki,N.,1985. Primate Bipedal Walking: Computer Simulation. In: Primate Morphophysiology, Locomotor Analyses and Human Bipedalism:105-130. S.Kondo, H. Ishida, T.Kimura, M.Okada, N.Yamazaki and J.H.Prost (Eds.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

Yamazaki,N., H.Ishida, T.Kimura and M.Okada,1979. Biomechanical Analysis of Primate Bipedal Walking by Computer Simulation. J.Hum.Evol.,8:337-349.

Yamazaki,N., H.Ishida, M.Okada and T.Kimura,1983. Biomechanical Evaluation of Evolutionary Models for Prehabitual Bipedalism. Ann.Sci.Nat.Zool,Paris,13e Sér.,5: 159-168.

Ybarra,M.A.S.,1984. Locomotion and Postures of Red Howlers in a Deciduous Forest-Savanna Interface. Am.J.Phys. Anthrop.,63:65-76.

Zarrugh,M.Y.,1981. Kinematic Prediction of Intersegment Loads and Power at the Joints of the Leg in Walking. J. Biomechanics,14:713-725.

付録

計算機シミュレーションプログラムリスト

```
C*********************************************************************
C
C       SIMULATION FOR QUADRUPEDAL LOCOMOTION   Part-1
C
C       GMOVE1
C
C       POSITION MEASUREMENT & SMOOTHED FILE CREATING
C
C               GENERATE OUTPUT FILE OR SMOOTHED FILE
C
C               NO OUTPUT FILE OF ANGLE ALTHOUGH CALICURATE THEM
C
C               FILE STRACTURE
C                       REC#1  ===> TOTAL FRAME NUMBER
C                       REC#2  ===> FRAMING RATE
C                       REC#3  ===> NUMBER OF POSITION THAT IS MEASURED
C                       REC#4  ===> STANDARD LENGTH ( mm )
C                       REC#5  ===> ORIGINAL POINT Xa
C                       REC#6  ===> ORIGINAL POINT Ya
C                       REC#7  ===> ORIGINAL POINT Xb
C                       REC#8  ===> ORIGINAL POINT Yb
C                       REC#9  ===> POS(1,1,X)
C                       REC#10 ===> POS(1,1,Y)
C                       REC#11 ===> POS(1,2,X)
C                               -       -       -
C                               -       -       -
C
C*********************************************************************
C
        PROGRAM GMOVE1
C
C******[ SECTION 0 : DATA SECTION ]*****************************************
C
C------< PROGRA RESTART ADRESS >----------------------------------------
C
1       CONTINUE
C
        CALL    ERASAL(0)
C
C------< DATA SECTION >-----------------------------------------------
C
        LOGICAL*1       DEVICE(5),EXTEN(5),INSTR(7),DDV(11)
        LOGICAL*1       DFNAME(15)
C
        DIMENSION       POSX(20),POSY(20)
C
C******[ SECTION 1 : GET FILE NAME & OPEN FILE ]****************************
C
C------< START PROMPT >-----------------------------------------------
C
        WRITE(7,211)
        TYPE*,'THIS IS POSITION MEASUREMENT'
        TYPE*,'NUMBER OF MEASURED POINT IS VARIABLE'
        TYPE*
        TYPE*,'ASSIGN ANY DEVICE AS DSK:'
        TYPE*
        TYPE*,'AN OUTPUT FILE(*.INT) IS GENERATED THROUGH THIS JOB'
        TYPE*
        PAUSE'START OK?'
C
C------< GET FILE NAME >----------------------------------------------
C
        TYPE*,'GIVE A NAME FOR OUTPUT FILE (within 6 characters)'
C
```

```
C
      CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
      CALL    SCOPY('.DAT',EXTEN,4)
C
      CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
      CALL    CONCAT(DDV,EXTEN,DFNAME)
C
C------< OPEN & DEFINE IT >-----------------------------------------------
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAME,0,'NEW')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NREC)
C
      NREC=2
C
C******[ SECTION 2 : PRESET DISPLAY ]*****************************************
C
C------< SELECT MODE >----------------------------------------------------
C
      WRITE(7,211)
211   FORMAT(1H /////)
      TYPE*,'OPEN DATA WINDOW ON THE VIDEO DISPLAY'
      TYPE*,'SELECT DATA WINDOW MODE'
      TYPE*,' 1.PROJECT BY EVERY FLAME'
      TYPE*,' 2.PROJECT BY EVERY POINT'
      TYPE*,' 3.WINDOW OFF'
C
      ACCEPT*,MODE1
      WRITE(7,211)
C
C******[ SECTION 3 : GET MEASUREMENT CONDITION ]***************************
C
C------< GET FRAMING RATE >-----------------------------------------------
C
      TYPE*,'INPUT FRAMING RATE (frames/second)'
      ACCEPT*,IRATE
      WRITE(10'NREC)  IRATE
C
C------< GET #OF POSITION WHICH WILL BE MEASURED >----------------------------
C
      TYPE*,'HOW MANY POSITIONS DO YOU MEASURE?'
      ACCEPT*,NUMPOS
      WRITE(10'NREC)  NUMPOS
C
C------< GET ORIGINAL AXIS DIRECTION >-----------------------------------
C
      PAUSE'MEASUREMENT START'
C
      TYPE*
      TYPE*,'DIGITIZE THE LOWER LEFT OF MEASURING AREA'
      CALL    DIGIN(IXL,IYL)
      XL=FLOAT(IXL)
      YL=FLOAT(IYL)
C
      TYPE*,'DIGITIZE THE UPPER RIGHT OF MEASURING AREA'
      CALL    DIGIN(IXH,IYH)
      XH=FLOAT(IXH)
      YH=FLOAT(IYH)
C
      XBI=XH-XL
      YBI=YH-YL
      YBI=YBI*1.5
      BI=AMAX1(XBI,YBI)
C
      TYPE*,'POINT AT STANDARD COORDINATE(Xa,Ya)'
      CALL    DIGIN(IXA,IYA)
```

```
      NREC=5
C
      WRITE(10'NREC)  IXA
      WRITE(10'NREC)  IYA
      TYPE*
C
      TYPE*,'POINT AT STANDARD COORDINATE(Xb,Yb)'
      CALL    DIGIN(IXB,IYB)
      WRITE(10'NREC)  IXB
      WRITE(10'NREC)  IYB
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT THE STANDARD LENGTH ( mm )'
C
      ACCEPT*,ISTAN
C
      NREC=4
      WRITE(10'NREC)  ISTAN
C
C======> DEBUG !!! <=================================================
C
      KFRAME=1
      NREC=9
C
C******( SECTION 4 : MEASURE ONE FRAME )******************************
C
4000  CONTINUE
C
C------< GET POINT COORDINATE VALUE THEN SET THEM INTO ARRAY >-------------
C
      TYPE*
      TYPE 400,KFRAME
400   FORMAT(' ***** FRAME NUMBER : ',I5,' *****')
      TYPE*,'POINT EACH TARGET'
C
      DO 4010 LOOP=1,NUMPOS
C
      TYPE 402,LOOP
402   FORMAT(' POINT NUMBER',I5)
C
C-----------------------------------------------------(GET DATA)
C
      CALL    DIGIN(IDIGX,IDIGY)
      POSX(LOOP)=FLOAT(IDIGX)
C
      POSY(LOOP)=FLOAT(IDIGY)
C
      IF(MODE1.NE.2)  GO TO 4015
C
      IVDX=(POSX(LOOP)-XL)/(BI/500.)
      IVDY=(POSY(LOOP)-YL)*1.5/(BI/500.)
      CALL    POINT(IVDX,IVDY,1)
C
4015  CONTINUE
C
4010  CONTINUE
C
C------< DISPLAY TEMPORARY DATA >-------------------------------------
C
      IF(MODE1.NE.1)  GO TO 5000
C
C-----------------------------------------------------(DIRECT PROJECTION)
C
4110  CONTINUE
C
```

```
C
              IVDX=(POSX(LOOP)-XL)/(BI/500.)
              IVDY=(POSY(LOOP)-YL)*1.5/(BI/500.)
              CALL    POINT(IVDX,IVDY,1)
C
4111    CONTINUE
C
C******[ SECTION 5 : CHECK TERMINATOR ]************************************
C
5000    CONTINUE
C
C------< GET RESPONCE >-------------------------------------------------
C
        TYPE*,'SELECT FUNCTION WITH THE TENKEY ON THE DIGITIZER'
        TYPE*,' 0.RETRY'
        TYPE*,' 1.CONTINUE'
        TYPE*,' 9.END'
C
        CALL    TENKEY(IRES)
        IF(IRES.NE.0)   GO TO 6000
C
C------< CLEAR VIDEO DISPLAY >------------------------------------------
C
C-----------------------------------------------(DIRECT PROJECTION)
C
5100    CONTINUE
C
        DO 5101 LOOP=1,NUMPOS
C
              IVDX=(POSX(LOOP)-XL)/(BI/500.)
              IVDY=(POSY(LOOP)-YL)*1.5/(BI/500.)
              CALL    POINT(IVDX,IVDY,0)
C
5101    CONTINUE
C
        GO TO 4000
C
C******[ SECTION 6 : WRITE DOWN FROM A FRAME ]*************************
C
6000    CONTINUE
C
C------< WRITE DOWN DATA TO DISK >-------------------------------------
C
        DO 6001 LOOP=1,NUMPOS
C
              WRITE(10'NREC)  POSX(LOOP)
              WRITE(10'NREC)  POSY(LOOP)
C
6001    CONTINUE
C
C------< JUMP IF END >--------------------------------------------
C
        IF(IRES.EQ.9)   GO TO 7000
C
C------< INCREMENT OF COUNTER THEN LOOP >------------------------------
C
        KFRAME=KFRAME+1
        GO TO 4000
C
C******[ SECTION 7 : COMPLETION ]*****************************************
C
7000    CONTINUE
C
        NREC=1
        WRITE(10'NREC)  KFRAME
```

```
7001    CONTINUE
C
        TYPE 701, KFRAME
701     FORMAT(' You have measured ',I5,' frames.')
        TYPE 702,NUMPOS
702     FORMAT(' Each frames includes ',I3,' points.')
        IRES=KFRAME*NUMPOS
        TYPE 703,IRES
703     FORMAT(' so you have measured ',I8,' points !')
        WRITE(7,211)
C
        PAUSE'DID YOU CONFIRM?'
C
C------< WRITE INPUT DATA >----------------------------------------------
C
        WRITE(7,211)
        TYPE*,'IF YOU WANT,FOLLOWING FUNCTIONS ARE PREPARED'
        TYPE*,' 1.PRINT OUT RAW DATA'
        TYPE*,' 2.MEASURE NEXT FILE'
        TYPE*,' 3.STOP EXECUTION'
        ACCEPT*,IRES
        WRITE(7,211)
C
        GO TO (9000,10000,10000)        IRES
C
C******[ SECTION 8 : ERROW MONITOR ]**********************************
C
9000    CONTINUE
C
C------< RESEARVE MEASUREMENT CONDITION ON HARD COPY >-------------------
C
C
        WRITE(6,211)
        WRITE(6,904)    KFRAME
        WRITE(6,905)    NUMPOS
        WRITE(6,906)    IRATE
        WRITE(6,907)    ROTANG
        WRITE(6,211)
C
C-----< WRITE   DATA >-------------------------------------------------
C
        NREC=9
C
        WRITE(6,921)    (J,J=1,NUMPOS)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        DO 9200 LOOP=1,KFRAME
C
C-------------------------------------------------(GET DATA FROM ONE FRAME)
C
                DO 9210 ILOOP=1,NUMPOS
C
                        READ(10'NREC)   POSX(ILOOP)
                        READ(10'NREC)   POSY(ILOOP)
C
9210    CONTINUE
C
C-------------------------------------------------(WRITE THEM)
C
                WRITE(6,925)    LOOP,(POSX(J),J=1,NUMPOS)
                WRITE(6,926)    LOOP,(POSY(J),J=1,NUMPOS)
C
9200    CONTINUE
C
```

```
C
      WRITE(6,930)
      GO TO 7001
C
C------< SECTION FOR FORMATER >----------------------------------------
C
904   FORMAT(' TOTAL NUMBER OF FRAMES    : ',I5)
905   FORMAT(' NUMBER OF MEASURED POINTS : ',I5)
906   FORMAT(' FRAMING RATE              : ',I5,' (frames/second)')
907   FORMAT(' ANGLE OF ROTATION         : ',F10.3,' (degree)')
C
921   FORMAT(1H ,19HFRAME #  X/Y  POINT,9(I2,7H  POINT))
925   FORMAT(1H0,2H  ,I5,5H  X  ,10(3H   ,F7.1))
926   FORMAT(1H ,2H  ,I5,5H  Y  ,10(3H   ,F7.1))
C
930   FORMAT('                 ')
C
C******[ FINAL STEP ]*********************************************
C
10000 CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
C
      IF(IRES.EQ.2)  GO TO 1
C
      CALL    ERASAL(0)
C
      STOP
      END
```

```
C*****************************************************************
C
C       SIMULATION FOR QUADRUPEDAL LOCOMOTION
C
C       CALICURATION OF ACCELERATION OF C.G.
C
C       GACCC1
C
C*****************************************************************
C
        PROGRAM GACCC2
C
C******[ SECTION 1 : DATA READING ]*********************************
C
        LOGICAL*1       DEVICE(5),EXTEN(5),EXT02(5),EXT03(5),EXT04(5)
        LOGICAL*1       EXT05(5),INSTR(7),DDV(11),DFNAME(15),DFNAM2(15)
        LOGICAL*1       DFNAM3(15),DFNAM4(15),DFNAM5(15)
        LOGICAL*1       EXT06(5),DFNAM6(15)
C
        DIMENSION       XYPOS(2,60),AKEEP(8,60)
        DIMENSION       DATAX(60),DATAY(60)
        DIMENSION       SDATAX(60),SDATAY(60)
C
        DATA    NK(1),NK(2),NK(3),NK(4),NK(5),NK(6),NK(7),NK(8)
     &          /8,8,7,7,7,7,8,8/
        DATA    NK(9),NK(10),NK(11),NK(12),NK(13),NK(14),NK(15),NK(16)
     &          /8,8,7,7,7,7,8,8/
        DATA    NK(17),NK(18)/7,7/
        DATA    NK(21),NK(22),NK(23),NK(24),NK(25),NK(26),NK(27),NK(28)
     &          /8,8,6,6,6,6,8,8/
        DATA    NK(29),NK(30),NK(31),NK(32),NK(33),NK(34),NK(35),NK(36)
     &          /8,8,6,6,6,6,8,8/
        DATA    NK(37),NK(38)/6,6/
C
        COMMON  /FOUR/DATA(2,60),FOU(2,60),DFOU(2,60),DDFOU(2,60)
        COMMON  /PRT/KR(20),KS(20),NK(40),INSTR
        COMMON  /ANG/SLC(10),SLEN(10),KSHA(2),KSFA(2)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
211     FORMAT(1H /////)
C
        WRITE(7,211)
        TYPE*
        TYPE*,'ACCELERATION etc. ARE CALICULATED THROUGH THIS JOB'
        TYPE*
C
C       PAUSE'START OK?'
C
1       CONTINUE
C
        WRITE(7,211)
        TYPE*
        TYPE*,'WHICH DO YOU SELECT ?'
        TYPE*
        TYPE*,'  1. NEW CALICULATION.'
        TYPE*,'  2. PRINT OUT ONLY.'
        ACCEPT*,JPR
C
        WRITE(7,211)
        TYPE*,'INPUT FILE NAME'
C
        CALL    GETSTR(5,INSTR,6,IERR)
        CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
        CALL    SCOPY('.GIZ',EXTEN,4)
```

```
      CALL    SCOPY('.GYD',EXT03,4)
      CALL    SCOPY('.GPA',EXT04,4)
      CALL    SCOPY('.GCC',EXT05,4)
      CALL    SCOPY('.GCA',EXT06,4)
      CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
      CALL    CONCAT(DDV,EXTEN,DFNAME)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT02,DFNAM2)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT03,DFNAM3)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT04,DFNAM4)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT05,DFNAM5)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT06,DFNAM6)
C
      IF(JPR.EQ.2)    GO TO 8900
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAM2,0,'OLD')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE2)
C
      NRE2=1
C
      READ(10'NRE2)   STAND
C
      NRE2=3
      READ(10'NRE2)   BAI
      READ(10'NRE2)   S
      READ(10'NRE2)   T
C
      NRE2=6
C
      DO 20   I=1,9
C
              READ(10'NRE2)   SLEN(I)
C
20    CONTINUE
C
      NRE2=22
C
      DO 30   I=1,7
C
              READ(10'NRE2)   SLC(I)
C
30    CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      CALL    ASSIGN(11,DFNAME,0,'OLD')
      DEFINE FILE     11(15000,2,U,NREC)
C
      NREC=1
      READ(11'NREC)   NOUT
C
      NREC=3
      READ(11'NREC)   NUMPOS
C
      NREC=12
C
      DO 15   I=1,10
C
              READ(11'NREC)   KR(I)
C
15    CONTINUE
```

```
C-----------------------------------------------------------------
C
      WRITE(7,211)
      TYPE*,'INPUT SECOND RE-DIVISION NUMBER'
      TYPE*
      ACCEPT*,NFF
C
      NF=NFF-1
C
      A1=FLOAT(NF)/FLOAT(NOUT-1)
      PHASE=FLOAT(NOUT-1)/2.
      NPH=IFIX(PHASE+0.5)
      PHASE=PHASE*A1+0.5
C
      PHA2=FLOAT(NF)/2.+0.5
      IPH2=IFIX(PHA2)
C
      IPHASE=IFIX(PHASE)
      NFP=NF-IPHASE
C
      DO 100  K=1,10
C
              KS(K)=IFIX(A1*FLOAT(KR(K))+0.5)
C
100   CONTINUE
C
C     KRHP=MINO(KR(1),KR(2))
C     KRHA=MAXO(KR(1),KR(2))
C     KRFP=MINO(KR(6),KR(7))
C     KRFA=MAXO(KR(6),KR(7))
C
C     KSHP=MINO(KS(1),KS(2))
      KSHA(1)=MAXO(KS(1),KS(2))
C     KSFP=MINO(KS(6),KS(7))
      KSFA(1)=MAXO(KS(6),KS(7))
C
      DO 110  K=1,10
C
              KS(K+10)=KS(K)+IPH2
              KR(K+10)=KR(K)+NPH
              IF(KS(K+10).GT.NF)      KS(K+10)=KS(K+10)-NF
              IF(KR(K+10).GT.NOUT-1)  KR(K+10)=KR(K+10)-NF
C
110   CONTINUE
C
              KSHA(2)=KSHA(1)+IPH2
              KSFA(2)=KSFA(1)+IPH2
              IF(KSHA(2).GT.NF)       KSHA(2)=KSHA(2)-NF
              IF(KSFA(2).GT.NF)       KSFA(2)=KSFA(2)-NF
C
C-----------------------------------------------------------------
C
      JR1=-10
      JR2=-10
      JR3=-10
      JR4=-10
C
      DO 3000 JBBA=1,NUMPOS
C
      JB=JBBA
C
      TYPE*,'POINT =',JB
C
      DO 10   JC=1,NOUT
C
                    NREC=JD+(JC-1)*NUMPOS*2+(JB-1)*2
```

```
                    READ(11'NREC)   XYPOS(1,JC)
                    READ(11'NREC)   XYPOS(2,JC)
C
10      CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        IF(JB.NE.1)     GO TO 16
C
        ORGX=XYPOS(1,1)
        ORGY=XYPOS(2,1)
C
16      CONTINUE
C
C******[ SECTION 2 : MODIFICATION OF X,Y,DATA (DISPLACEMENT) ]************
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
                AX=XYPOS(1,1)-XYPOS(1,NOUT)
                BB=XYPOS(2,1)-XYPOS(2,NOUT)
C
                DO 510  JC=1,NOUT
C
                        SDATAX(JC)=(XYPOS(1,JC)+AX*FLOAT(JC-1)/
     &                          FLOAT(NOUT-1)-ORGX)*BAI
                        SDATAY(JC)=(XYPOS(2,JC)+BB*FLOAT(JC-1)/
     &                          FLOAT(NOUT-1)-ORGY)*BAI
C
510     CONTINUE
C
        IF(JB.EQ.17)    GO TO 580
        IF(JB.EQ.18)    GO TO 580
        JBZ=MOD(JB,8)
C
        IF(JBZ.NE.1)    GO TO 550
        JR1=JR1+10
C
        BB=XYPOS(2,1)-XYPOS(2,NOUT)
C
        IF(KR(JR1+4).LT.KR(JR1+1))      GO TO 520
C
        KRL=NOUT-KR(JR1+4)+KR(JR1+1)-1
C
        DO 511  J=KR(JR1+4),NOUT-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR1+4)+1)/FLOAT(KRL)
     &                  -ORGY)*BAI
C
511     CONTINUE
C
        DO 512  J=1,KR(JR1+1)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J+NOUT-KR(JR1+4))
     &                  /FLOAT(KRL)-ORGY)*BAI
C
512     CONTINUE
C
        DO 513  J=KR(JR1+1),KR(JR1+4)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR1+1))-ORGY)*BAI
C
513     CONTINUE
C
        GO TO 550
```

```
520     CONTINUE
C
        DO 514  J=KR(JR1+4),KR(JR1+1)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR1+4))/
     &                  FLOAT(KR(JR1+1)-1-KR(JR1+4))-ORGY)*BAI
C
514     CONTINUE
C
        DO 515  J=KR(JR1+1),NOUT-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR1+1))-ORGY)*BAI
C
515     CONTINUE
C
        DO 516  J=1,KR(JR1+4)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR1+1))-ORGY)*BAI
C
516     CONTINUE
C
550     CONTINUE
C
        IF(JBZ.NE.2)    GO TO 560
        JR2=JR2+10
C
        BB=XYPOS(2,1)-XYPOS(2,NOUT)
C
        IF(KR(JR2+3).LT.KR(JR2+2))      GO TO 530
C
        KRL=NOUT-KR(JR2+3)+KR(JR2+2)-1
C
        DO 521  J=KR(JR2+3),NOUT-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR2+3)+1)/FLOAT(KRL)
     &                  -ORGY)*BAI
C
521     CONTINUE
C
        DO 522  J=1,KR(JR2+2)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J+NOUT-KR(JR2+3))
     &                  /FLOAT(KRL)-ORGY)*BAI
C
522     CONTINUE
C
        DO 523  J=KR(JR2+2),KR(JR2+3)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR2+2))-ORGY)*BAI
C
523     CONTINUE
C
        GO TO 560
C
530     CONTINUE
C
        DO 524  J=KR(JR2+3),KR(JR2+2)-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR2+3))/
     &                  FLOAT(KR(JR2+2)-1-KR(JR2+3))-ORGY)*BAI
C
524     CONTINUE
C
        DO 525  J=KR(JR2+2),NOUT-1
C
                SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR2+2))-ORGY)*BAI
```

```
525   CONTINUE
C
      DO 526  J=1,KR(JR2+3)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR2+2))-ORGY)*BAI
C
526   CONTINUE
C
560   CONTINUE
C
      IF(JBZ.NE.7)    GO TO 570
      JR3=JR3+10
C
      IF(KR(JR3+8).LT.KR(JR3+6))      GO TO 565
C
      KRL=NOUT-KR(JR3+8)+KR(JR3+6)-1
C
      DO 535  J=KR(JR3+8),NOUT-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR3+8)+1)/FLOAT(KRL)
     &                -ORGY)*BAI
C
535   CONTINUE
C
      DO 536  J=1,KR(JR3+6)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J+NOUT-KR(JR3+8))
     &                /FLOAT(KRL)-ORGY)*BAI
C
536   CONTINUE
C
      DO 537  J=KR(JR3+6),KR(JR3+8)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR3+6))-ORGY)*BAI
C
537   CONTINUE
C
      GO TO 570
C
565   CONTINUE
C
      DO 538  J=KR(JR3+8),KR(JR3+6)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR3+8))/
     &        FLOAT(KR(JR3+6)-1-KR(JR3+8))-ORGY)*BAI
C
538   CONTINUE
C
      DO 539  J=KR(JR3+6),NOUT-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR3+6))-ORGY)*BAI
C
539   CONTINUE
C
      DO 540  J=1,KR(JR3+8)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR3+6))-ORGY)*BAI
C
540   CONTINUE
C
570   CONTINUE
C
      IF(JBZ.NE.0)    GO TO 580
      JR4=JR4+10
```

```
      IF(KR(JR4+9).LT.KR(JR4+7))      GO TO 575
C
      KRL=NOUT-KR(JR4+9)+KR(JR4+7)-1
C
      DO 541  J=KR(JR4+9),NOUT-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR4+9)+1)/FLOAT(KRL)
     &                -ORGY)*BAI
C
541   CONTINUE
C
      DO 542  J=1,KR(JR4+7)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J+NOUT-KR(JR4+9))
     &                /FLOAT(KRL)-ORGY)*BAI
C
542   CONTINUE
C
      DO 543  J=KR(JR4+7),KR(JR4+9)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR4+7))-ORGY)*BAI
C
543   CONTINUE
C
      GO TO 580
C
575   CONTINUE
C
      DO 544  J=KR(JR4+9),KR(JR4+7)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,J)+BB*FLOAT(J-KR(JR4+9))/
     &        FLOAT(KR(JR4+7)-1-KR(JR4+7))-ORGY)*BAI
C
544   CONTINUE
C
      DO 545  J=KR(JR4+7),NOUT-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR4+7))-ORGY)*BAI
C
545   CONTINUE
C
      DO 546  J=1,KR(JR4+9)-1
C
              SDATAY(J)=(XYPOS(2,KR(JR4+7))-ORGY)*BAI
C
546   CONTINUE
C
580   CONTINUE
C
C------< FOURIE SERIES EXPANTION >----------------------------------------
C
      MOUT=NOUT-1
C
      JBX=JB
      JBY=JB+20
C
      IBX=1
      IBY=2
C
      DO 600  JC=1,NOUT-1
C
              DATA(IBX,JC)=SDATAX(JC)
              DATA(IBY,JC)=SDATAY(JC)
C
600   CONTINUE
```

```
              CALL    GFOURI(IBX,MOUT,NF,NK(JBX),T)
              CALL    GFOURI(IBY,MOUT,NF,NK(JBY),T)
C
C-----------------------------------------------------
C
      DO 640  J=1,NF
C
              DATA(1,J)=FOU(1,J)
              FOU(1,J)=FOU(1,J)+S*FLOAT(J-1)/FLOAT(NF)
C
640   CONTINUE
C
C     PAUSE'FOURIE FINISHED'
C
C******[ SECTION ACCELERATION OF POINT ]*************************
C
      DDT=(FLOAT(NF)/T)**2
C
      DATA(1,1)=FOU(1,NF-2)-S
      DATA(1,2)=FOU(1,NF-1)-S
      DATA(1,3)=FOU(1,NF)-S
      DATA(2,1)=FOU(2,NF-2)
      DATA(2,2)=FOU(2,NF-1)
      DATA(2,3)=FOU(2,NF)
      DATA(1,NF+4)=FOU(1,1)+S
      DATA(1,NF+5)=FOU(1,2)+S
      DATA(1,NF+6)=FOU(1,3)+S
      DATA(2,NF+4)=FOU(2,1)
      DATA(2,NF+5)=FOU(2,2)
      DATA(2,NF+6)=FOU(2,3)
C
      DO 1020 JC=1,NF
C
              DATA(1,JC+3)=FOU(1,JC)
              DATA(2,JC+3)=FOU(2,JC)
C
1020  CONTINUE
C
      NEF=NF+3
C
      DO 1010 JC=4,NEF
C
              DDFOU(1,JC-3)=(9.*DATA(1,JC-3)+6.*DATA(1,
     &                       JC-2)-5.*DATA(1,JC-1)-20.*
     &                       DATA(1,JC)-5.*DATA(1,JC+1)+
     &                       6.*DATA(1,JC+2)+9.*DATA(1,
     &                       JC+3))*DDT/100.
C
              DDFOU(2,JC-3)=(9.*DATA(2,JC-3)+6.*DATA(2
     &                       ,JC-2)-5.*DATA(2,JC-1)-20.*
     &                       DATA(2,JC)-5.*DATA(2,JC+1)
     &                       +6.*DATA(2,JC+2)+9.*DATA(2
     &                       ,JC+3))*DDT/100.
C
1010  CONTINUE
C
C     PAUSE'ACCEL. OF POINT FINISHED'
C
C******[ SECTION 4 : ACCELERATION OF C.G. ]*******************************
C
      IF(JB.EQ.17)    GO TO 1900
      IF(JB.EQ.18)    GO TO 1900
      IF(JBZ.EQ.1)    GO TO 1500
      IF(JBZ.EQ.2)    GO TO 1600
      IF(JBZ.EQ.7)    GO TO 1700
      IF(JBZ.EQ.0)    GO TO 1800
```

```
C
1500    CONTINUE
C
        SSNEW=SDATAX(KR(JR1+1))+S*FLOAT(KS(JR1+1)-1)/FLOAT(NF)
        STNEW=SSNEW-S
C
        IF(KS(JR1+4).LT.KS(JR1+1))      GO TO 1550
C
        DO 1520 J=KS(JR1+1),KS(JR1+4)-1
C
                FOU(1,J)=SSNEW
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=0.
                DDFOU(2,J)=0.
C
1520    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1550    CONTINUE
C
        DO 1560 J=1,KS(JR1+4)-1
C
                FOU(1,J)=STNEW
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=0.
                DDFOU(2,J)=0.
C
1560    CONTINUE
C
        DO 1570 J=KS(JR1+1),NF
C
                FOU(1,J)=SSNEW
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=0.
                DDFOU(2,J)=0.
C
1570    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1600    CONTINUE
C
        SSNEW=SDATAX(KR(JR2+2))+S*FLOAT(KS(JR2+2)-1)/FLOAT(NF)
        STNEW=SSNEW-S
C
        IF(KS(JR2+3).LT.KS(JR2+2))      GO TO 1650
C
        DO 1610 J=KS(JR2+2),KS(JR2+3)-1
C
                FOU(1,J)=SSNEW
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR2+2))
                DDFOU(2,J)=0.
C
1610    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1650    CONTINUE
C
        DO 1660 J=1,KS(JR2+3)-1
C
                FOU(1,J)=STNEW
                DDFOU(1,J)=0.
```

```
              FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR2+2))
              DDFOU(2,J)=0.
C
1660    CONTINUE
C
        DO 1670 J=KS(JR2+2),NF
C
              FOU(1,J)=SSNEW
              DDFOU(1,J)=0.
              FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR2+2))
              DDFOU(2,J)=0.
C
1670    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1700    CONTINUE
C
        SSNEW=SDATAX(KR(JR3+6))+S*FLOAT(KS(JR3+6)-1)/FLOAT(NF)
        STNEW=SSNEW-S
C
        IF(KS(JR3+8).LT.KS(JR3+6))      GO TO 1750
C
        DO 1710 J=KS(JR3+6),KS(JR3+8)-1
C
              FOU(1,J)=SSNEW
              DDFOU(1,J)=0.
              FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR3+6))
              DDFOU(2,J)=0.
C
1710    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1750    CONTINUE
C
        DO 1760 J=KS(JR3+6),NF
C
              FOU(1,J)=SSNEW
              DDFOU(1,J)=0.
              FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR3+6))
              DDFOU(2,J)=0.
C
1760    CONTINUE
C
        DO 1770 J=1,KS(JR3+8)-1
C
              FOU(1,J)=STNEW
              DDFOU(1,J)=0.
              FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR3+6))
              DDFOU(2,J)=0.
C
1770    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1800    CONTINUE
C
        SSNEW=SDATAX(KR(JR4+7))+S*FLOAT(KS(JR4+7)-1)/FLOAT(NF)
        STNEW=SSNEW-S
C
        IF(KS(JR4+9).LT.KS(JR4+7))      GO TO 1850
C
        DO 1810 J=KS(JR4+7),KS(JR4+9)-1
C
```

```
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR4+7))
                DDFOU(2,J)=0.
C
1810    CONTINUE
C
        GO TO 1900
C
1850    CONTINUE
C
        DO 1860 J=KS(JR4+7),NF
C
                FOU(1,J)=SSNEW
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR4+7))
                DDFOU(2,J)=0.
C
1860    CONTINUE
C
        DO 1870 J=1,KS(JR4+9)-1
C
C               FOU(1,J)=SDATAX(1)
                FOU(1,J)=STNEW
C               FOU(1,J)=FOU(1,1)
                DDFOU(1,J)=0.
                FOU(2,J)=SDATAY(KR(JR4+7))
                DDFOU(2,J)=0.
C
1870    CONTINUE
C
1900    CONTINUE
C
C------< WRITE ON FILE X & Y DISPLACEMENT >---------------------------------
C
        IF(JB.NE.1)     GO TO 2010
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM3,0,'NEW')
        GO TO 2020
C
2010    CONTINUE
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM3,0,'OLD')
C
2020    CONTINUE
C
        DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE3)
C
        NRE3=1
C
        WRITE(10'NRE3)  NF
        WRITE(10'NRE3)  NUMPOS
C
        DO 2050 JC=1,NF
C
                NRE3=3+(JC-1)*NUMPOS*2+(JB-1)*2
C
                WRITE(10'NRE3)  FOU(1,JC)
                WRITE(10'NRE3)  FOU(2,JC)
C
2050    CONTINUE
C
        IF(JB.NE.1)     GO TO 2055
C
        NRE3=3+(NF-1)*NUMPOS*2+(NUMPOS-1)*2
C
        WRITE(10'NRE3)  DUMMY
```

```
C
2055    CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(10)
C
C------< WRITE ON FILE POINT ADD. >--------------------------------
C
        IF(JB.NE.1)     GO TO 2070
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM4,0,'NEW')
        GO TO 2080
C
2070    CONTINUE
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM4,0,'OLD')
C
2080    CONTINUE
C
        DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE4)
C
        NRE4=1
C
        WRITE(10'NRE4)  NF
        WRITE(10'NRE4)  NUMPOS
C
        DO 2060 JC=1,NF
C
                NRE4=3+(JC-1)*NUMPOS*2+(JB-1)*2
C
                WRITE(10'NRE4)  DDFOU(1,JC)
                WRITE(10'NRE4)  DDFOU(2,JC)
C
2060    CONTINUE
C
        IF(JB.NE.1)     GO TO 2065
C
        NRE4=3+(NF-1)*NUMPOS*2+(NUMPOS-1)*2
C
        WRITE(10'NRE4)  DUMMY
        WRITE(10'NRE4)  DUMMY
C
2065    CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(10)
C
3000    CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(11)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        IK=0
        JR1=-10
        JR2=-10
        JG1=0
        JG2=0
        SLEN(7)=SLEN(8)
C
        DO 4000 III=1,17
C
        I=III
        II=MOD(I,8)
C
        TYPE*
        TYPE*,'No. =',I
```

```
      IF(I.EQ.4)      GO TO 5000
      IF(I.EQ.8)      GO TO 5000
      IF(I.EQ.12)     GO TO 5000
      IF(I.EQ.16)     GO TO 5000
C
      CALL    GACANG(I,IK,IZ,JR1,JR2,JG1,JG2,S,T)
C
5000  CONTINUE
C
4000  CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------
C
      TYPE*
      TYPE*
      TYPE*,'DO YOU NEED PRINT OUT ?'
      TYPE*,' 1. YES  2. NO'
      ACCEPT*,IYN
      IF(IYN.EQ.2)    GO TO 9000
C
C*****( PRINT OUT SECTION )*****************************************
C
6900  CONTINUE
C
      CALL    GACPRT
C
C-----------------------------------------------------------------
C
9000  CONTINUE
C
      TYPE*
      TYPE*,'NEXT FILE OR END ?'
      TYPE*,' 1. NEXT FILE'
      TYPE*,' 2. END'
      ACCEPT*,IYN2
      IF(IYN2.EQ.1)   GO TO 1
C
      STOP
C
      END
```

```
C*****************************************************************
C
C       GANGL1.FOR
C
C               ANGLE CALCULATION
C
C               SORCE FILE IS GENERATED THROUGH POSITP or PREDIS
C               *.QIM
C
C*****************************************************************
C
        PROGRAM GANGL1
C
C******[ DATA SECTION ]*************************************************
C
        LOGICAL*1       DEVICE(5),EXTEN(5),DDV(11),INSTR(7),DFNAME(15)
        LOGICAL*1       EXTEN2(5),DFNAM2(15)
C
        INTEGER*2       KK(10)
        INTEGER*2       MANG(20,3)
C
        REAL*4  POSX(40),POSY(40),WORK(20,150)
        REAL*4  ANGLE(20),X(3),Y(3)
C
C******[ SECTION 1 : GET FILE NAME & OPEN IT ]*********************
C
C------< GET FILE NAME >-----------------------------------------
C
        CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
        CALL    SCOPY('.QIM',EXTEN,4)
        CALL    SCOPY('.GNG',EXTEN2,4)
C
        TYPE*,'INPUT FILE NAME'
        CALL    GETSTR(5,INSTR,6,IERR)
C
        CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
        CALL    CONCAT(DDV,EXTEN,DFNAME)
        CALL    CONCAT(DDV,EXTEN2,DFNAM2)
C
C------< OPEN IT >-----------------------------------------------
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAME,0,'OLD')
        DEFINE FILE     10(15000,2,U,NR10)
        NR10=1
C
        CALL    ASSIGN(11,DFNAM2,0,'NEW')
        DEFINE FILE     11(15000,2,U,NR11)
        NR11=1
C
C******[ SECTION 2 : GET INFORMATION ABOUT FILE ]**********************
C
        READ(10'NR10)   NOUT
        READ(10'NR10)   IRATE           !FRAMING RATE
        READ(10'NR10)   NUMPOS          !NUMBER OF MEASURED POINT
C
        NR10=12
C
        DO 5    J=1,10
C
                READ(10'NR10)   KK(J)
C
5       CONTINUE
C
C******[ SECTION 3 : DEFINE ANGLE ]************************************
C
```

```
      TYPE 3100,NUMPOS
C
3100  FORMAT(' ',I5,' points are on the file.')
C     TYPE*,'HOW MANY ANGLES MAY I CALCULATE ?'
C     ACCEPT*,NANG
      NANG=6
      K1=1
      K2=2
      K3=3
C
C     TYPE*
C     TYPE*,'DEFINE ANGLES WITH POINT NUMBER'
C     TYPE*
C
      DO 3200 LOOP=1,NANG
C
C           TYPE 3201,LOOP
C
3201        FORMAT(' DEFINE ANGLE NUMBER ',I3,'   ( ##, ##, ## )')
C
C           ACCEPT*,MANG(LOOP,1),MANG(LOOP,2),MANG(LOOP,3)
            MANG(LOOP,1)=K1
            MANG(LOOP,2)=K2
            MANG(LOOP,3)=K3
            K1=K1+1
            K2=K2+1
            K3=K3+1
C
3200  CONTINUE
C
C******[ SECTION 4 : SAVE INFORMATION TO OUPUT FILE ]******************
C
C*********************************************************************
C                                                                    *
C     REC #  1 ===> NOUT (NUMBER OF FRAME CALCULATED)                *
C     REC #  2 ===> NANG (NUMBER OF ANGLE)                           *
C     REC #  3 - 12 ===> CONTACT OR OFF TIMING                       *
C     REC # 13 ===> DATA                                             *
C                                                                    *
C*********************************************************************
C
      WRITE(11'NR11)  NOUT
      WRITE(11'NR11)  NANG
C
      DO 15   J=1,10
C
            WRITE(11'NR11)  KK(J)
C
15    CONTINUE
C
C******[ SECTION 5 : CALCULATION ]************************************
C
C------( GRAND LOOP )-----------------------------------------------
C
      DO 5001 LOOP=1,NOUT
C
C-----------------------------------------------( SET DATA INTO ARRAY )
C
            DO 5100 ILOOP=1,NUMPOS
C
                  READ(10'NR10)   POSX(ILOOP)
                  READ(10'NR10)   POSY(ILOOP)
C
5100        CONTINUE
C
C-----------------------------------------------( CALCULATE ANGLE )
```

```
C
              DO 5200 ILOOP=1,NANG
C
                      DO 5210 JLOOP=1,3
C
                              KLOOP=MANG(ILOOP,JLOOP)
C
                              X(JLOOP)=POSX(KLOOP)
                              Y(JLOOP)=POSY(KLOOP)
C
5210                  CONTINUE
C
                      SAX=X(1)-X(2)
                      SAY=Y(1)-Y(2)
                      SBX=X(3)-X(2)
                      SBY=Y(3)-Y(2)
                      SCX=X(3)-X(1)
                      SCY=Y(3)-Y(1)
C
                      SA=SQRT(SAX**2+SAY**2)
                      SB=SQRT(SBX**2+SBY**2)
                      SC=SQRT(SCX**2+SCY**2)
C
                      SS=(SA+SB+SC)/2.
C
                      ST2=SQRT(((SS-SA)*(SS-SB))/(SB*(SS-SC)))
C
                      ANGLE(ILOOP)=(ATAN(ST2)*2.)*57.2958
C
                      BA=SAY/SAX
                      BB=Y(1)-BA*X(1)
                      BC=BA*X(3)+BB
C
                      IF(BA.GT.0.)    GO TO 5400
C
                      IF(BC.LE.Y(3))  ANGLE(ILOOP)=360.-ANGLE(ILOOP)
                      IF(SAX.GT.0.)   ANGLE(ILOOP)=360.-ANGLE(ILOOP)
C
                      GO TO 5500
C
5400          CONTINUE
C
                      IF(BC.GT.Y(3))  ANGLE(ILOOP)=360.-ANGLE(ILOOP)
                      IF(SAX.LE.0.)   ANGLE(ILOOP)=360.-ANGLE(ILOOP)
C
5500    CONTINUE
C
5200          CONTINUE
C
C-----------------------------------------( WRITE DOWN TO DISK )
C
              DO 5300 ILOOP=1,NANG
C
                      WORK(ILOOP,LOOP)=ANGLE(ILOOP)
C
5300          CONTINUE
C
C
C------< CLOSE GRAND LOOP >-------------------------------------
C
5001    CONTINUE
C
        DO 6000 J=1,NANG
C
              DW=WORK(J,NOUT)-WORK(J,1)
              DDW=DW/FLOAT(NOUT-1)
```

```
C
              DO 6001 K=1,NOUT
C
                     WORK(J,K)=WORK(J,K)-DDW*FLOAT(K-1)
C
6001    CONTINUE
C
6000    CONTINUE
C
        DO 6500 K=1,NOUT
C
              DO 6510 J=1,NANG
C
                     WRITE(11'NR11)  WORK(J,K)
C
6510    CONTINUE
C
6500    CONTINUE
C
C******[ SECTION 6 : CLOSE FILES ]***********************************
C
        CALL    CLOSE(10)
        CALL    CLOSE(11)
C
        STOP
        END
```

```
C*****************************************************************
C
C       PHYSICAL CONSTANT
C
C       QPHYC1
C
C       PHYSICAL CONSTANT CALICULATION
C
C               READING SMOOTHED FILE & CREATING CONSTANT FILE
C
C               FILE STRACTURE
C
C                       REC#1  ===> STANDARD LENGTH
C                       REC#2  ===> TOTAL WEIGHT
C                       REC#3  ===> BAIRITSU
C                       REC#4  ===> STRIDE
C                       REC#5  ===> CYCLE TIME
C                       REC#6 - 14  ===> LENGTH OF EACH SEGMENTS
C                                   ( HAND, FOREARM, UPPER ARM, BODY,
C                                     THIGH, SHANK, FOOT, A-T, A-H )
C                       REC*15 - 21 ===> WEIGHT OF EACH SEGMENTS
C                                   ( HAND, FOREARM, UPPER ARM, BODY,
C                                     THIGH, SHANK, FOOT )
C                       REC#22 - 28 ===> LENGTH OF CENTER OF GRAVITY
C                                   ( HAND, FOREARM, UPPER ARM, BODY,
C                                     THIGH, SHANK, FOOT )
C                       REC#29 - 36 ===> MOMENT OF INERTIA
C                                   ( HAND, FOREARM, UPPER ARM,
C                                     BODY-Shoulder, BODY-Hip,
C                                     THIGH, SHANK, FOOT )
C
C*************************************************************************
C
      PROGRAM QPHYC1
C
C******[ SECTION 1 : DIMENSION ]*********************************************
C
      LOGICAL*1       DEVICE(5),EXTEN(5),EXTO2(5),INSTR(7),DDV(11)
      LOGICAL*1       DFNAME(15),DFNAM2(15)
C
      INTEGER*2       KA(10)
      DIMENSION       APOS(2,150),BPOS(2,150)
      DIMENSION       SLEN(7),GM(7),SLC(7),SI(8)
      DIMENSION       GSM(7),SLL(7),SGL(7),SGM(7),SGI(8)
C
C------< READING SMOOTHED DATA >-----------------------------------------
C
1     CONTINUE
C
      WRITE(7,211)
C
211   FORMAT(1H /////)
C
      TYPE*,'THIS IS SMOOTHED OLD FILE'
      TYPE*,'PHYSICAL CONSTANT FILE IS CREATED THROUGH THIS JOB'
      TYPE*
      TYPE*,'ONLY FOR JAPANESE MONKEY !!'
      TYPE*
C
C-------------------------------------------------------------
C
      TYPE*
      TYPE*,'WHICH FUNCTION DO YOU NEED ?'
      TYPE*,' 1. CREATING NEW FILE OF PHYSICAL CONSTANT.'
      TYPE*,' 2. READING OLD FILE.'
```

```
      TYPE*,' 3. END'
      ACCEPT*,ID1
C
      IF(ID1.EQ.3)    GO TO 3000
C
      TYPE*,'INPUT FILE NAME'
C
      CALL    GETSTR(5,INSTR,6,IERR)
C
      IF(ID1.EQ.2)    GO TO 1000
C
      CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
      CALL    SCOPY('.QIM',EXTEN,4)
      CALL    SCOPY('.GCT',EXT02,4)
      CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
      CALL    CONCAT(DDV,EXTEN,DFNAME)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT02,DFNAM2)
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAME,0,'OLD')
      CALL    ASSIGN(11,DFNAM2,0,'NEW')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NREC)
      DEFINE FILE     11(15000,2,U,NRE2)
C
C-----------------------------------------------------------------------
      NREC=1
      READ(10'NREC)   NOUT
      READ(10'NREC)   IRATE
      READ(10'NREC)   NUMPOS
      READ(10'NREC)   ISTAND
      READ(10'NREC)   IXA
      READ(10'NREC)   IYA
      READ(10'NREC)   IXB
      READ(10'NREC)   IYB
C
      NREC=10
      READ(10'NREC)   N1
      READ(10'NREC)   N2
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
C     WRITE(7,211)
C     TYPE*,'WHAT KIND OF SUBJECT?'
C     TYPE*
C     TYPE*,' 1.Chimpanzee'
C     TYPE*,' 2.Japanese monkey'
C     TYPE*,' 3.Man'
C
C     ACCEPT*,ID
C
C     GO TO (200,210,220)     ID
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
200   CONTINUE
C
C     DATA    GGM/1.,1.,1.,0.7588,0.0651,0.0329,0.0216/
C     DATA    SLL/1.,1.,1.,0.60,0.41,0.50,0.37/
C     DATA    SGL/1.,1.,1.,0.478,0.213,0.217,0.102/
C     DATA    SGM/1.,1.,1.,25.8,1.215,1.117,0.735/
C     DATA    SGI/1.,1.,1.,1.,0.5487,0.0091,0.0046,0.0006/
C     DATA    STH,SAH/1.157,0.240/
C
C     GO TO 290
C
210   CONTINUE
C
```

```
      DATA    SGM/0.0069,0.0213,0.0282,0.7074,0.0487,0.0277,0.0157/
      DATA    SLL/0.43,0.505,0.412,0.656,0.471,0.406,0.334/
      DATA    SGL/0.0590,0.0793,0.0635,0.2470,0.0641,0.0670,0.0878/
      DATA    SGM/0.013,0.040,0.047,1.330,0.092,0.052,0.030/
      DATA    SGI/0.00001,0.00007,0.00005,0.03596,0.02273,0.00014,
     &        0.00006,0.00004/
      DATA    STH,SAH/1.157,0.240/
C
C     GO TO 290
C
220   CONTINUE
C
C     DATA    GGM/1.,1.,1.,0.6565,0.1,0.0532,0.01935/
C     DATA    SLL/1.,1.,1.,0.62,0.42,0.42,0.38/
C     DATA    SGL/1.,1.,1.,0.692,0.373,0.365,0.177/
C     DATA    SGM/1.,1.,1.,40.7,6.2,3.3,1.2/
C     DATA    SGI/1.,1.,1.,1.,1.8140,0.0783,0.0389,0.0028/
C     DATA    STH,SAH/1.296,0.667/
C
C     GO TO 290
C
C******[ SECTION 2 : LENGTH OF SEGMENT ]***********************************
C
290   CONTINUE
C
      WRITE(7,211)
      TYPE*,'INPUT WEIGHT OF SUBJECT   ( kg ) '
      ACCEPT*,WEI
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ METACARPUL ]'
      ACCEPT*,KA(1)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ WRIST ]'
      ACCEPT*,KA(2)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ ELBOW ]'
      ACCEPT*,KA(3)
C
      WRITE(7,211)
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ SHOULDER ]'
      ACCEPT*,KA(4)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ HIP ]'
      ACCEPT*,KA(5)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ KNEE ]'
      ACCEPT*,KA(6)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ ANKLE ]'
      ACCEPT*,KA(7)
C
      TYPE*
      TYPE*,'INPUT POINT NUMBER OF [ METATARSUL ]'
      ACCEPT*,KA(8)
C
      TAI=WEI*9.8
C
      STAND=FLOAT(ISTAND)/1000.
      BAI=STAND/SQRT((FLOAT(IXA)-FLOAT(IXB))**2+(FLOAT(IYA)-FLOAT(
     &        IYB))**2)
```

```
C
      DO 501  JB=1,7
C
              J1=KA(JB)
              J2=KA(JB+1)
              SLEN(JB)=0.
C
              DO 502  JC=1,NOUT
C
                      NREC=22+(J1-1)*2+(JC-1)*NUMPOS*2
C
                      READ(10'NREC)   APOS(1,JC)
                      READ(10'NREC)   APOS(2,JC)
C
                      NREC=22+(J2-1)*2+(JC-1)*NUMPOS*2
C
                      READ(10'NREC)   BPOS(1,JC)
                      READ(10'NREC)   BPOS(2,JC)
C
                      SLEN(JB)=SLEN(JB)+SQRT((APOS(1,JC)-BPOS(1,JC))
     &                        **2+(APOS(2,JC)-BPOS(2,JC))**2)
C
502   CONTINUE
C
              SLEN(JB)=BAI*SLEN(JB)/FLOAT(NOUT)
C
501   CONTINUE
C
      NNUM=NUMPOS-1
C
      SLTH=STH*SLEN(7)
      SLAH=SAH*SLEN(7)
C
      SLAT=SLEN(7)
      SLEN(7)=SLTH
C
C-----------------------------------------------------------------
C
      S=SQRT((BPOS(1,NOUT)-BPOS(1,1))**2+(BPOS(2,NOUT)
     &        -BPOS(2,1))**2)*BAI
C
      T=FLOAT(N2-N1)/FLOAT(IRATE)
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C******[ SECTION 3 : WEIGHT OF SEGMENT ]******************************
C
      DO 510  K=1,7
C
C             GM(K)=GGM(K)*TAI
              GM(K)=GGM(K)*WEI
C
510   CONTINUE
C
C******[ SECTION 4 : POSITION OF C.G. ]*************************************
C
      DO 520  K=1,7
C
              SLC(K)=SLL(K)*SLEN(K)
C
520   CONTINUE
C
C******[ SECTION 5 : MOMENT INERTIA ]*************************************
C
      DO 530  K=1,4
C
```

```
              SI(K)=SGI(K)*(SLEN(K)/SGL(K))**2*GM(K)/SGM(K)
C
530     CONTINUE
C
        SI(5)=SGI(5)*(SLEN(4)/SGL(4))**2*GM(4)/SGM(4)
C
        DO 535  K=6,8
C
              SI(K)=SGI(K)*(SLEN(K-1)/SGL(K-1))**2*GM(K-1)/SGM(K-1)
C
535     CONTINUE
C
C******[ SECTION 6 : WRITING DATA ON FILE ]*******************************
C
        NRE2=1
C
        WRITE(11'NRE2)  STAND
        WRITE(11'NRE2)  WEI
        WRITE(11'NRE2)  BAI
        WRITE(11'NRE2)  S
        WRITE(11'NRE2)  T
C
        DO 600  K=1,7
C
              WRITE(11'NRE2)  SLEN(K)
C
600     CONTINUE
C
              WRITE(11'NRE2)  SLAT
              WRITE(11'NRE2)  SLAH
C
        DO 601  K=1,7
C
              WRITE(11'NRE2)  GM(K)
C
601     CONTINUE
C
        DO 602  K=1,7
C
              WRITE(11'NRE2)  SLC(K)
C
602     CONTINUE
C
        DO 603  K=1,8
C
              WRITE(11'NRE2)  SI(K)
C
603     CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(10)
        CALL    CLOSE(11)
C
        TYPE*
        TYPE*,' DO YOU NEED PRINT OUT ?'
        TYPE*,' 1.YES'
        TYPE*,' 2.NO'
        ACCEPT*,IYN
C
        IF(IYN.EQ.2)    GO TO 1
C
C******[ SECTION 7 : PRINT OUT ]*************************************
C
700     CONTINUE
C
        WRITE(7,211)
C
```

```
      CALL    PUTSTR(6,INSTR,' ')
C
      WRITE(6,301)    WEI
C
      WRITE(6,302)    S
      WRITE(6,303)    T
C
      WRITE(6,304)
      WRITE(6,305)    SLEN(3),GM(3),SLC(3),SI(3)
      WRITE(6,306)    SLEN(2),GM(2),SLC(2),SI(2)
      WRITE(6,307)    SLEN(1),GM(1),SLC(1),SI(1)
      WRITE(6,308)    SLEN(4),GM(4),SLC(4),SI(4),SI(5)
      WRITE(6,309)    SLEN(5),GM(5),SLC(5),SI(6)
      WRITE(6,310)    SLEN(6),GM(6),SLC(6),SI(7)
      WRITE(6,311)    SLEN(7),GM(7),SLC(7),SI(8)
C
      WRITE(6,330)    SLAT
      WRITE(6,331)    SLAH
C
301   FORMAT(1H ,8X,'TOTAL WEIGHT=',F6.2)
302   FORMAT(1H ,14X'STRIDE=',F6.3)
303   FORMAT(1H ,10X'CYCLE TIME=',F6.3)
304   FORMAT(1H ,/12X,' LENGTH (m) ','WEIGHT (kg) ','C.G. (m)  ',
     &         'M.I. (kg(m**2))')
305   FORMAT(1H ,/'  UPPER ARM ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
306   FORMAT(1H ,/'    FOREARM ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
307   FORMAT(1H ,/'       HAND ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
308   FORMAT(1H ,/'      TRUNK ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,4X,'Sh.'
     &                     ,F9.5,2X,'Hip',F9.5)
309   FORMAT(1H ,/'      THIGH ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
310   FORMAT(1H ,/'      SHANK ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
311   FORMAT(1H ,/'       FOOT ',2X,F8.4,4X,F8.4,3X,F8.4,7X,F9.5)
330   FORMAT(1H ,///'LENGTH FROM A TO T',2X,F8.4)
331   FORMAT(1H ,/'LENGTH FROM A TO H',2X,F8.4)
C
C-----------------------------------------------------------------
C
      GO TO 1
C
C-----------------------------------------------------------------
C
1000  CONTINUE
C
      CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
      CALL    SCOPY('.DCT',EXTEN,4)
      CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
      CALL    CONCAT(DDV,EXTEN,DFNAME)
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAME,0,'OLD')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NREC)
C
      NREC=1
      READ(10'NREC)   STAND
      READ(10'NREC)   WEI
      READ(10'NREC)   BAI
      READ(10'NREC)   S
      READ(10'NREC)   T
C
      DO 1600 K=1,7
C
              READ(10'NREC)   SLEN(K)
C
1600  CONTINUE
C
      READ(10'NREC)   SLAT
      READ(10'NREC)   SLAH
```

```
      DO 1601 K=1,7
C
            READ(10'NREC)   GM(K)
C
1601  CONTINUE
C
      DO 1602 K=1,7
C
            READ(10'NREC)   SLC(K)
C
1602  CONTINUE
C
      DO 1603 K=1,8
C
            READ(10'NREC)   SI(K)
C
1603  CONTINUE
C
C-------------------------------------------------------------
C
      CALL    CLOSE(10)
C
      GO TO 700
C
C-------------------------------------------------------------
C
3000  CONTINUE
C
      STOP
      END
```

```
C*****************************************************************
C
C       GFORCE.FOR
C
C               SAMPLING DATA FOR "SIMULATION" FAMILY
C
C       SAMPLLED DATA
C               Z1 - Z4 ---> CHANNEL 1 - 4
C               X1 - X2 ---> CHANNEL 5 - 6
C               Y1 - Y2 ---> CHANNEL 7 - 8
C
C       TWO OUTPUT FILES WILL BE GENERATED THROUGH THIS JOB
C                *.RAD ---> RAW DATA FILE OF CHANNEL 1 - 8
C
C       MEASUREMENT SYSTEM
C
C               KISTLER CHARGE AMPLIFIER UNIT
C                 --> RCD728
C                  --> ADV11
C                   --> PDP11
C
C       CODED BY H.K.
C       MODIFIED BY Y.N.
C
C****************************************************************
C
        PROGRAM GFORCE
C
C*****[ PART 0 : DATA SECTION ]***********************************
C
        COMMON  /ADDATA/IADBUF(8,1000)
        COMMON  /INFORM/DFNAM1,DFNAM2
C
C*****[ PART 1 : PROGRAMM RESTART ADRESS ]************************
C
1       CONTINUE
C
C*****[ PART 2 : CALL MESSAGE ROUTINE ]***************************
C
        CALL    GMSGOU
C
C*****[ PART 3 : SEARCH with GPIB ]*******************************
C
        TYPE*,'SAMPLING with RCD 728'
C
        WRITE(7,900)
C
900     FORMAT(1H ,////)
C
        CALL    GGPCTR
C
        GO TO 5
C
C*****[ PART 5 : EDIT OUTPUT FILE ]*******************************
C
5       CONTINUE
C
        WRITE(7,900)
        TYPE*,'EDIT AVAILABLE DATA'
        WRITE(7,900)
C
        IRECOR=1
C
        CALL    GEDDAT(IOK,IRECOR)
C
```

```
      GO TO (6,5,5)   IOK
C
C*****[ PART 6 : PLOT OUT EDITED DATA ]*****************************
C
6     CONTINUE
C
      WRITE(7,900)
      TYPE*,'DATA REPORT OF LAST DATA'
      WRITE(7,900)
C
      CALL    QFRPLO
C
C*****[ PART 8 : DECIDE JUMP ADRESS ]*******************************
C
      TYPE*,'SELECT NEXT STEP'
C
      TYPE*,'    1. RETRY TO MAKE ANOTHER FILE FROM LAST DATA'
      TYPE*,'    2. SAMPLE NEXT DATA FILE'
      TYPE*,'    3. END OF JOB'
C
      ACCEPT*,IRES
C
      GO TO (5,1,9)   IRES
C
C*****[ PART 9 : ALL END ]*****************************************
C
9     CONTINUE
C
      STOP
      END
```

```
C*************************************************************
C
C       SUBROUTINE GEDDAT(IOK,IRECOR)
C
C       SUBROUTINE #4 for SYSTEM "SIMULATION"
C
C       EDIT OUTPUT FILE
C
C*************************************************************
C
        SUBROUTINE      GEDDAT(IOK,IRECOR)
C
C******[ DATA SECTION ]*****************************************
C
        LOGICAL*1       DEVICE(5),EXTEN1(5),EXTEN2(5),INSTR(7)
        LOGICAL*1       DDV(11),DFNAM1(15),DFNAM2(15)
        INTEGER*2       IPOINT(2)
C       INTEGER*2       NPEAK(3),XPEAK(3),SPEAK(4)
C
        COMMON  /ADDATA/IADBUF(8,1000)
        COMMON  /INFORM/DFNAM1,DFNAM2
C
C       DATA    NPEAK/-9999,-9999,-9999/
C       DATA    XPEAK/9999,9999,9999/
C
C
C******[ SECTION 1 : DISPLAY RAW DATA (ON VD) ]**********************
C
C------< SET VIDEO DISPLAY >---------------------------------------
C
        CALL    ERASAL(0)               !INITIALIZE VD
C
        CALL    POS(100,500)
        CALL    SYMBOL('FORCE PLATE MONITOR WINDOW',26,1)
C
C       CALL    POS(50,447)
C       CALL    SYMBOL('Fy',2,1)
C       CALL    POS(50,347)
C       CALL    SYMBOL('Fz',2,1)
C       CALL    POS(50,247)
C       CALL    SYMBOL('sy',2,1)
C       CALL    POS(50,147)
C       CALL    SYMBOL('DDR',3,1)
C
C------< SEARCH PEAK VALUE >----------------------------------
C
C       DO 47100 LOOP=1,2000
C
C               DO 47100 ILOOP=1,3
C
C                       ITEMP=IADBUF(ILOOP,LOOP)
C
C                       IF (ITEMP .LT. NPEAK(ILOOP))    NPEAK(ILOOP)=ITEMP
C                       IF (ITEMP .GT. XPEAK(ILOOP))    XPEAK(ILOOP)=ITEMP
C
C47100  CONTINUE
C
C------< DECIDE TRANSFFER UNIT >----------------------------------
C
C       DO 47110 LOOP=1,3
C
C               SPEAK(LOOP)=XPEAK(LOOP)-NPEAK(LOOP)
C
C47110  CONTINUE
C
```

```
C       SPEAK(4)="7777
C
C------< DISPLAY DATA >-----------------------------------------
C
42200   CONTINUE
C
        DO 42000 ILOOP=1,5      !ARRAY INCLUDES 5 PAGES OF DATA
C
                TYPE 43200,ILOOP
C
                DO 42005 LLOOP=1,2
C
                IF(LLOOP.EQ.2)  GO TO 42006
C
                CALL    POS(50,447)
                CALL    SYMBOL('Z1',2,1)
                CALL    POS(50,347)
                CALL    SYMBOL('Z2',2,1)
                CALL    POS(50,247)
                CALL    SYMBOL('Z3',2,1)
                CALL    POS(50,147)
                CALL    SYMBOL('Z4',2,1)
                GO TO 42007
C
42006   CONTINUE
C
                CALL    POS(50,447)
                CALL    SYMBOL('X1',2,1)
                CALL    POS(50,347)
                CALL    SYMBOL('X2',2,1)
                CALL    POS(50,247)
                CALL    SYMBOL('Y1',2,1)
                CALL    POS(50,147)
                CALL    SYMBOL('Y2',2,1)
C
42007   CONTINUE
C
                DO 42010 JLOOP=1,4      !CHANNEL LOOP
C
                        JJLOOP=JLOOP+4*(LLOOP-1)
C
                        DO 42011 KLOOP=1,200    !DATA LOOP
C
                                KKLOOP=KLOOP*2
C
                                ICUE=200*(ILOOP-1)+KLOOP
                                IVOLT=IADBUF(JJLOOP,ICUE)*2
C
                                IPEAK="7777
                                VDY=FLOAT(IVOLT)*100.0/FLOAT(IPEAK)
                                IVDY=IFIX(VDY)+(5-JLOOP)*100-50
C
                                CALL    POINT(KKLOOP+80,IVDY,1)
C
42011                   CONTINUE
C
42010           CONTINUE
C
                IF(LOOP.NE.1)   GO TO 42015
                PAUSE'OTHER 4 DATA DISPLAY OK?'
                GO TO 42016
C
42015   CONTINUE
C
                PAUSE'NEXT PAGE OK?'
C
```

```
42016   CONTINUE
C
              CALL    ERASE(0,0,499,499,0)
C
C             DO 42019 JLOOP=1,4      !CHANNEL LOOP
C
C                     DO 42018 KLOOP=1,200    !DATA LOOP
C
C                             KKLOOP=KLOOP*2
C
C                             IDUE=400*(ILOOP-1)+KLOOP
C                             IVOLT=IADBUF(JLOOP,IDUE)*2
C
C                             IPEAK="7777
C                             VDY=FLOAT(IVOLT)*100/FLOAT(IPEAK)
C                             IVDY=IFIX(VDY)+(5-JLOOP)*100-50
C
C                             CALL    POINT(KKLOOP+80,IVDY,0)
C
C42018                  CONTINUE
C
C42019          CONTINUE
C
42005           CONTINUE
C
42000   CONTINUE
C
C------< REVIEW? >-----------------------------------------------
C
        TYPE*,'CHECK ONCE MORE?     1.YES     2.NO'
        ACCEPT*,IRES
C
        IF(IRES .EQ. 1) GO TO 42200
C
C------< EVALUATE DATA >-----------------------------------------
C
        TYPE*,'IS THIS GOOD DATA?     1.YES     2.NO'
        ACCEPT*,IRES
        IF(IRES .EQ. 2) GO TO 49000     !IN THIS STEP ORIGINAL DATA IS BAD
C
C------< IF DATA IS GOOD,ACCEPT SAMPLING CONDITION>---------------
C
        WRITE(7,40100)
C
40100   FORMAT(1H ,////)
C
        TYPE*,'INPUT SAMPLING RATE?'
        ACCEPT*,ISPLGR
C
        TYPE*
        TYPE*,'INPUT RANGE OF KISTLER AMPLIFIER'
        TYPE*,'   for Fx (Kgf/volt)'
        ACCEPT*,FXRANG
C
        TYPE*,'   for Fy (kgf/volt)'
        ACCEPT*,FYRANG
C
        TYPE*,'   for Fz (kgf/volt)'
        ACCEPT*,FZRANG
C
C******[ SECTION 2 : MAKE RAW DATA FILE ]*************************
C
C*****[ SECTION 3 : EDIT OUTPUT FILE ]****************************
C
C-----{ DECIDE SEARCH MODE }-------------------------------------
C
```

```
      TYPE*
      TYPE*,'SELECT SEARCH MODE'
      TYPE*,'    1.AUTOMATIC'
      TYPE*,'    2.MANUAL'
      ACCEPT*,JRES
C
      GO TO (48900,48000)     JRES
C
C-----{ MANUAL MODE }-------------------------------------------
C
48000 CONTINUE
C
      DO 48100 LOOP=1,2
C
C-----------------------------------------------( DISPLAY )
C
              WRITE(7,40100)
C
              IF(LOOP.EQ.2)   GO TO 48105
              TYPE*
              TYPE*,'START POINT'
              GO TO 48106
C
48105         CONTINUE
              TYPE*
              TYPE*,'END POINT'
C
48106         CONTINUE
C
              TYPE*
              TYPE*,'SELECT PAGE NUMBER'
              ACCEPT*,IPAGE
C
              TYPE*,'SELECT TARGET DATA'
              TYPE*,' 1. Fz'
              TYPE*,' 2. Fx OR Fy'
              ACCEPT*,IXYZ
C
              DO 48700 JLOOP=1,4
C
                      JJLOOP=JLOOP+4*(IXYZ-1)
C
                      DO 48710 KLOOP=1,200
C
                              KKLOOP=KLOOP*2
C
                              ICUE=200*(IPAGE-1)+KLOOP
                              IVOLT=IADBUF(JJLOOP,ICUE)*2
C
                              IPEAK="7777
                              VDY=FLOAT(IVOLT)*100/FLOAT(IPEAK)
                              IVDY=IFIX(VDY)+(5-JLOOP)*100-50
C
                              CALL    POINT(KKLOOP+80,IVDY,1)
C
48710                 CONTINUE
C
C
48700         CONTINUE
C
C-----------------------------------------------( SEARCH )
C
              TYPE 48907,LOOP
48907         FORMAT(' SEARCH POINT : PART ',I2)
C
              TYPE*,'WHICH CHANNEL DO CURSOR MOVE ON?  ( 1 -- 4 )
```

```
              WRITE(*,1000)
C
              KY=(5-IRES)*100+50
C
              TYPE*,'HIT [S] KEY,THEN NEXT STEP'
C
              WRITE(7,48901)
48901         FORMAT(1H )
C
              CALL    SETCUR(1,15,1)
48008         CONTINUE
C
              DO 48009 KKX=80,480
C
                      KX=KKX
C
                      CALL    CURSOR(KX,KY,1)
                      CALL    CHKABT(IAB)
C
                      IF(IAB .NE. 0)  GO TO 48006
C
48009         CONTINUE
C
              GO TO 48008
C
48006         PAUSE'DUST SHOOT [CR]'
C
C------< FINE ADJUSTMENT >-----------------------------------
C
              TYPE*,'THIS IS FINE ADJUSTMENT'
C
              TYPE*
              TYPE*,'IF YOU WANT TO MOVE CURSOR'
              TYPE*,'       1. TO RIGHT HIT [R]'
              TYPE*,'       2. TO LEFT HIT [L]'
              TYPE*,'       3. JUMP FROM THIS ROUTINE,HIT [S]'
              TYPE*
C
47200         CONTINUE
C
              CALL    CHKKEY(IANS)
C
              IF(IANS .EQ. "123)      GO TO 47201
              IF(IANS .EQ. "122)      KX=KX+1
              IF(IANS .EQ. "114)      KX=KX-1
C
              CALL    CURSOR(KX,KY,1)
C
              GO TO 47200
C
C------< OK ? >-----------------------------------------------
C
47201         CONTINUE
C
              PAUSE'DUST SHOOT [CR]'
C
              TYPE*,'OK   1.YES   2.NO'
              ACCEPT*,KRES
C
              IF(KRES .EQ. 2) GO TO 48008
C
              IPOINT(LOOP)=(IPAGE-1)*200+IFIX((KX-80)/2)
C
              CALL    ERASE(80,10,512,512,0)
C
48100   CONTINUE
```

```
C-----< DECIDE POINT NUMBER >-------------------------------------
C
      ISTART=IPOINT(1)
      IEND=IPOINT(2)
C
      IF(IEND .LE. ISTART)    TYPE*,'ERROR'
      IF(IEND .LE. ISTART)    GO TO 48000
C
      GO TO 48999
C
C-----< SEARCH START POINT >-------------------------------------
C
48900 CONTINUE
C
      WRITE(7,40100)
C
      ICUE="4000
C
      DO 43100 ILOOP=1,2000
C
              ITEMP=IADBUF(4,ILOOP)
              ICOMP=ICUE-ITEMP
              IF (ICOMP .GT. "700)    GO TO 43101! GRATER THAN 1.8V
              ICUE=ITEMP
C
43100 CONTINUE
C
      GO TO 49001             !CASE OF BAD DATA(EDITING MISS)
C
43101 CONTINUE
C
      ISTART=ILOOP
C
C-----< DISPLAY PAGE WHICH INCLUDE START TIME >--------------------
C
      IPAGE=ISTART/400+1
C
      TYPE 43200,IPAGE
43200 FORMAT(' NOW DISPLAY PAGE NUMBER',I2)
C
      DO 43201 JLOOP=1,4              !CHANNEL LOOP
C
              DO 43202 KLOOP=1,400    !DATA LOOP
C
                      ICUE=KLOOP+(IPAGE-1)*400
                      IVDY=IADBUF(JLOOP,ICUE)*2
                      IPEAK="7777
                      VDY=FLOAT(IVDY)*100/FLOAT(IPEAK)
                      IVDY=IFIX(VDY)+(5-JLOOP)*100-50
C
                      CALL    POINT(KLOOP+80,IVDY,1)
C
43202         CONTINUE
C
43201 CONTINUE
C
C-----< SEARCH END TIME >-----------------------------------------
C
      WRITE(7,40100)
C
      ICUE="0000
C
      DO 43300 ILOOP=ISTART+1,2000
C
```

```
                ICOMP=ITEMP-ICUE
                IF (ICOMP .GT. 700)     GO TO 43301! GRATER THAN 1.8V
                ICUE=ITEMP
C
43300   CONTINUE
C
        GO TO 49001             !CASE OF BAD DATA(DATA MISS)
C
43301   CONTINUE
C
        IEND=ILOOP
C
C-----< DISPLAY PAGE WHICH INCLUDE START TIME >--------------------
C
        IPAGE=IEND/400+1
C
        CALL    ERASE(80,100,512,512,0)
C
        TYPE 43200,IPAGE
C
        DO 43401 JLOOP=1,4              !CHANNEL LOOP
C
                DO 43402 KLOOP=1,400    !DATA LOOP
C
                        ICUE=KLOOP+(IPAGE-1)*400
                        IVDY=IADBUF(JLOOP,ICUE)*2
                        IPEAK="7777
                        VDY=FLOAT(IVDY)*100/FLOAT(IPEAK)
                        IVDY=IFIX(VDY)+(5-JLOOP)*100-50
C
                        CALL    POINT(KLOOP+80,IVDY,1)
C
43402           CONTINUE
C
43401   CONTINUE
C
C*****[ SECTION 3.5 : OPEN OUTPUT FILE ]******************************
C
48999   CONTINUE
C
C-----< MAKE FILE NAME >-------------------------------------------
C
        TYPE*
        TYPE*,'INPUT FILE NAME (within 6 characters)'
        CALL    GETSTR(5,INSTR,7,IERR)
        CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
        CALL    SCOPY('.QAW',EXTEN2,4)
        CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
        CALL    CONCAT(DDV,EXTEN2,DFNAM2)
C
C----< OPEN & DEFINE IT >------------------------------------------
C
        CALL    ASSIGN(9,DFNAM2,0,'NEW')
        DEFINE FILE     9(10000,2,U,NR9)
        NR9=1
C
C+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
C                                                                  +
C       EDITED FILE STRUCTURE                                      +
C                                                                  +
C               REC # 1 ===> SAMPLING RATE                         +
C               REC # 2 ===> DATA NUMBER                           +
C               REC # 3 ===> Fz RANGE (kgf/1V)                     +
C               REC # 4 ===> Fx RANGE (kgf/1V)                     +
C               REC # 5 ===> Fy RANGE (kgf/1V)                     +
C               REC # 6 ===> SHIFT VALUE ( SEE LIST )              +
```

```
C               REC # 7 ===> CONTACTING DURATION ( msec )                +
C               REC # 8 ===> Z1(1) (kgf)                                 +
C               REC # 9 ===> Z2(1) (kgf)                                 +
C               REC #10 ===> Z3(1) (kgf)                                 +
C               REC #11 ===> Z4(1)                                       +
C               REC #12 ===> X1(1)                                       +
C               REC #13 ===> X2(1)                                       +
C               REC #14 ===> Y1(1)                                       +
C               REC #15 ===> Y2(1)                                       +
C               REC #16 ===> Z1(2)                                       +
C               REC #17 ===> Z2(2)                                       +
C                  -     -     -                                         +
C                  -     -     -                                         +
C                  -     -     -                                         +
C                                                                        +
C++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
C
C*****[ SECTION 4 : MODIFIE DATA ]*************************************
C
C-----< SEEK CONTACTING DURATION >-----------------------------------
C
      BSTIME=1000./FLOAT(ISPLGR)      !BASE TIME (msec)
C
      IDUR=IEND-ISTART+1
      CONTAC=FLOAT(IDUR)*BSTIME
C
      WRITE(7,40100)
C
D     TYPE*,'ISTART,IEND,IDUR,CONTAC'
D     TYPE*,ISTART,IEND,IDUR,CONTAC
      TYPE 44100,IDUR,CONTAC
44100 FORMAT(' ',I3,' DATA from ',F10.5,' (msec)')
C
C-----< SEEK CONSTANT FOR 2Vpp or 10Vpp ===> 20Vpp >------------------
C
      IF(IRECOR .EQ. 1)       ISHIFT=2
      IF(IRECOR .EQ. 2)       ISHIFT=5
C
C-----< SHIFT DATA >-------------------------------------------------
C
      DO 44200 ILOOP=1,1000
C
              DO 44210 JLOOP=1,8
C
                      ITEMP=IADBUF(JLOOP,ILOOP)
                      ITEMP=(ITEMP-"4000)*ISHIFT
                      IADBUF(JLOOP,ILOOP)=ITEMP
C
44210         CONTINUE
C
44200 CONTINUE
C
C-----< SEEK CONSTANT >---------------------------------------------
C ON FOLLOWING PROCEDURE,REFFER TO MANUAL OF ADV11
C-----------------------------------------------------( FOR Fx & Fy )
C
      FXUNIT=0.0025*FXRANG
      FYUNIT=0.0025*FYRANG
C
C-------------------------------------------------------( FOR Fz )
C
      FZUNIT=0.0025*FZRANG
C
C-------------------------------------------------------( FOR ay )
C
C     0.0025(V)*50(mm)=0.125(mm/unit)
```

```
C-----------------------------------------------------------------
C
C-----< KEEP CONSTANTS ON FILE >--------------------------------
C
      SPLGR=FLOAT(ISPLGR)
      DATAN=FLOAT(IDUR)
      PEAK=FLOAT(ISHIFT)
C
      WRITE(9'NR9)    SPLGR
      WRITE(9'NR9)    DATAN
      WRITE(9'NR9)    FZRANG
      WRITE(9'NR9)    FXRANG
      WRITE(9'NR9)    FYRANG
      WRITE(9'NR9)    PEAK
      WRITE(9'NR9)    CONTAC
D     TYPE*,'NOW COMPLETED TO WRITE'
D     TYPE*,'SPLGR,DATAN,FYRANG,FZRANG,PEAK,CONTAC'
D     TYPE*,SPLGR,DATAN,FYRANG,FZRANG,PEAK,CONTAC
C
C-----< SET AVAILABLE DATA >-------------------------------------
C
      DO 44300 ILOOP=1,IDUR
C
              IARRAY=ISTART+ILOOP-1
C
C-----------------------------------------------------( FOR Fz )
C
              DO 44310 K=1,4
C
              ITEMP=IADBUF(K,IARRAY)
              TEMP=FLOAT(ITEMP)*FZUNIT
C
              WRITE(9'NR9)    TEMP
C
44310   CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------( FOR Fx )
C
              DO 44320 K=5,6
C
              ITEMP=IADBUF(K,IARRAY)
              TEMP=FLOAT(ITEMP)*FXUNIT
C
              WRITE(9'NR9)    TEMP
C
44320   CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------( FOR Fy )
C
              DO 44330 K=7,8
C
              ITEMP=IADBUF(K,IARRAY)
              TEMP=FLOAT(ITEMP)*FYUNIT
C
              WRITE(9'NR9)    TEMP
C
44330   CONTINUE
C
44300   CONTINUE
C
C-----< CLOSE FILE >--------------------------------------------
C
      CALL    CLOSE(9)
C
C-----< SET GOOD DATA FLAG >------------------------------------
```

```
C
      IOK=1                    !ANSWER TO MAIN
C
      GO TO 49900
C
C*****[ SECTION 5 : RETURN TO MAIN ]*****************************
C
49000 CONTINUE
C
      IOK=3                    !RETRY FROM SAMPLING
C
      GO TO 49900
C
49001 CONTINUE
C
      IOK=2                    !RETRY FROM EDITING
C
      GO TO 49900
C
49900 CONTINUE
C
      RETURN
      END
```

```
C***********************************************************************
C
C       SIMULATION FOR LOCOMOTION   Part-
C
C       GMOMEN
C
C       CALICURATION OF JOINT MOMENT
C
C***********************************************************************
C
        PROGRAM GMOMEN
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        LOGICAL*1       DEVICE(5),EXT01(5),EXT02(5),EXT03(5),EXT04(5)
        LOGICAL*1       EXT05(5),DDV(11),DFNAM1(15),DFNAM2(15)
        LOGICAL*1       DFNAM3(15),DFNAM4(15),DFNAM5(15),INSTR(7)
        LOGICAL*1       INST2(7),INST3(7),DDV2(11),DDV3(11)
        LOGICAL*1       EXT06(5),DFNAM6(15),EXT07(5),DFNAM7(15)
C
        DIMENSION       SLEN(9),SLC(7),GM(7)
        DIMENSION       GI(8),DATAX(15),DATAY(15),BB(15),DDBB(15)
        DIMENSION       X(18,100),Y(18,100),FM(12),FP(12),AF(12)
        DIMENSION       AN(12),AM(2)
C
        COMMON          /FPD/KS(10),KS2(10),FA(5,80),FA2(5,80),
     &                  FT(5,80),FT2(5,80),DFNAM3,DFNAM4
        COMMON          /PRT/DFNAM7
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
1       CONTINUE
C
        TYPE*,'THIS IS MOMENT PROGRAM'
        TYPE*
        TYPE*,'WHICH DO YOU SELECT ?'
        TYPE*
        TYPE*,' 1. NEW CALICULATION'
        TYPE*,' 2. PRINT OUT OLD DATA'
        TYPE*
        ACCEPT*,NZ12
C
        TYPE*,'INPUT FILE NAME OF FILM DATA ( .GI2 )'
C
        CALL    GETSTR(5,INSTR,6,IERR)
C
        IF(NZ12.EQ.2)   GO TO 1900
C
        TYPE*.
        TYPE*,'INPUT FILE NAME OF FORELIMB FORCE PLATE ( .GRN )'
        CALL    GETSTR(5,INST2,6,IERR)
C
        TYPE*
        TYPE*,'INPUT FILE NAME OF HINDLIMB FORCE PLATE ( .GRN )'
        CALL    GETSTR(5,INST3,6,IERR)
C
1900    CONTINUE
C
        CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
        CALL    SCOPY('.GCC',EXT01,4)
        CALL    SCOPY('.GCT',EXT02,4)
        CALL    SCOPY('.GRN',EXT03,4)
        CALL    SCOPY('.GYD',EXT05,4)
        CALL    SCOPY('.GCA',EXT06,4)
        CALL    SCOPY('.GOM',EXT07,4)
```

```
      CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
      CALL    CONCAT(DEVICE,INST2,DDV2)
      CALL    CONCAT(DEVICE,INST3,DDV3)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT01,DFNAM1)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT02,DFNAM2)
      CALL    CONCAT(DDV2,EXT03,DFNAM3)
      CALL    CONCAT(DDV3,EXT03,DFNAM4)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT05,DFNAM5)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT06,DFNAM6)
      CALL    CONCAT(DDV,EXT07,DFNAM7)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAM1,0,'OLD')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE1)
C
      NRE1=1
C
      READ(10'NRE1)   NF
      READ(10'NRE1)   NN2
C
      DO 100  KA=1,10
C
              READ(10'NRE1)   KS(KA)
C
100   CONTINUE
C
      DO 110  KA=1,10
C
              READ(10'NRE1)   KS2(KA)
C
110   CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
C
C-----------------------------------------------------------------------------
C
      PHASE=FLOAT(NF)/2.+0.5
      IPHASE=IFIX(PHASE)
      NFP=NF-IPHASE
C
      IF(NZ12.EQ.2)   GO TO 1901
C
C-------------------------------------------------------------
C
      CALL    QMDFPD(NF,IPHASE,NFP)
C
C-----------------------------------------------------------------
C
1901  CONTINUE
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAM2,0,'OLD')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE2)
C
      NRE2=2
C
      READ(10'NRE2)   WIT
C
      NRE2=4
C
      READ(10'NRE2)   S
      READ(10'NRE2)   T
C
      DO 500  I=1,9
```

```
              READ(10'NRE2)   SLEN(I)
C
500     CONTINUE
C
        DO 510  I=1,7
C
              READ(10'NRE2)   GM(I)
C
510     CONTINUE
C
        DO 520  I=1,7
C
              READ(10'NRE2)   SLC(I)
C
520     CONTINUE
C
        DO 530  I=1,8
C
              READ(10'NRE2)   GI(I)
C
530     CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(10)
C
C-----------------------------------------------------------------
C
        CALL    ASSIGN(11,DFNAM5,0,'OLD')
        DEFINE FILE     11(15000,2,U,NRE5)
C
              NRE5=2
              READ(11'NRE5)   NN5
C
        DO 610  J=1,NF
C
              DO 600  I=1,NN5
C
                     READ(11'NRE5)   X(I,J)
                     READ(11'NRE5)   Y(I,J)
C
600     CONTINUE
C
610     CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(11)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        IF(NZ12.EQ.2)   GO TO 1502
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM1,0,'OLD')
        DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE1)
C
        CALL    ASSIGN(11,DFNAM6,0,'OLD')
        DEFINE FILE     11(15000,2,U,NRE6)
C
        CALL    ASSIGN(12,DFNAM7,0,'NEW')
        DEFINE FILE     12(15000,2,U,NRE7)
C
        IFPM=50
        NRE7=1
C
        WRITE(12'NRE7)  NF
        WRITE(12'NRE7)  IFPM
C
        DO 1000 J=1,NF
```

```
              DO 1100 I=1,NN2
C
                      NRE1=23+(J-1)*NN2*4+(I-1)*4
                      READ(10'NRE1)   DATAX(I)
                      READ(10'NRE1)   DATAY(I)
                      READ(10'NRE1)   DUMMY
                      READ(10'NRE1)   DUMMY
C
1100    CONTINUE
C
              NRE6=2
              READ(11'NRE6)   NN6
C
              DO 1200 I=1,NN6
C
                      NRE6=3+(J-1)*NN6*3+(I-1)*3
                      READ(11'NRE6)   BB(I)
                      READ(11'NRE6)   DUMMY
                      READ(11'NRE6)   DDBB(I)
C
1200    CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
              FFAR=GM(1)*DATAX(7)-FA2(2,J)
              FFKR=GM(2)*DATAX(8)+FFAR
              FFHR=GM(3)*DATAX(9)+FFKR
C
              FFAL=GM(1)*DATAX(1)-FA(2,J)
              FFKL=GM(2)*DATAX(2)+FFAL
              FFHL=GM(3)*DATAX(3)+FFKL
C
              FNAR=FA2(3,J)-GM(1)*(DATAY(7)+9.8)
              FNKR=FNAR-GM(2)*(DATAY(8)+9.8)
              FNHR=FNKR-GM(3)*(DATAY(9)+9.8)
C
              FNAL=FA(3,J)-GM(1)*(DATAY(1)+9.8)
              FNKL=FNAL-GM(2)*(DATAY(2)+9.8)
              FNHL=FNKL-GM(3)*(DATAY(3)+9.8)
C
              IF(KS2(1).GE.KS2(2))  GO TO 1300
C
              IF(KS2(1).GE.KS2(5))    GO TO 1300
              UX2=FA2(5,J)+(X(9,KS2(1))-X(10,J))
              GO TO 1310
C
1300    CONTINUE
C
              IF(J.LT.KS2(5)) GO TO 1305
              UX2=FA2(5,J)+(X(9,KS2(1))-X(10,J))
              GO TO 1310
C
1305    CONTINUE
C
              UX2=FA2(5,J)+(X(9,KS2(1))-S-X(10,J))
C
1310    CONTINUE
C
              FM(7)=GI(1)*DDBB(7)-FA2(2,J)*(Y(10,J)-Y(9,KS2(3)-1))-
     &                FA2(3,J)*UX2+SLC(1)*GM(1)*(DATAX(7)*COS(BB(7
     &                ))+(DATAY(7)+9.8)*SIN(BB(7)))
              FM(8)=GI(2)*DDBB(8)+FM(7)+(FFAR+GM(2)*SLC(2)/SLEN(2)*
     &                DATAX(8))*(Y(11,J)-Y(10,J))-(FNAR-GM(2)*SLC(2)
     &                /SLEN(2)*(DATAY(8)+9.8))*(X(10,J)-X(11,J))
              FM(9)=GI(3)*DDBB(9)+FM(8)+(FFKR+GM(3)*SLC(3)/SLEN(3)*
```

```
     &                 DM(MX(7))*(Y(12,J)-Y(11,J))-(FNKR-GM(3)*SLC(3)
     &                 /SLEN(3)*(DATAY(9)+9.8))*(X(11,J)-X(12,J))
C
               UX=FA(5,J)+(X(1,KS(1))-X(2,J))
C
               FM(1)=GI(1)*DDBB(1)-FA(2,J)*(Y(2,J)-Y(1,1))-FA(3,J)*UX
     &                 +SLC(1)*GM(1)*(DATAX(1)*COS(BB(1))+(DATAY(1)+
     &                 9.8)*SIN(BB(1)))
               FM(2)=GI(2)*DDBB(2)+FM(1)+(FFAL+GM(2)*SLC(2)/SLEN(2)*
     &                 DATAX(2))*(Y(3,J)-Y(2,J))-(FNAL-GM(2)*SLC(2)/
     &                 SLEN(2)*(DATAY(2)+9.8))*(X(2,J)-X(3,J))
               FM(3)=GI(3)*DDBB(3)+FM(2)+(FFKL+GM(3)*SLC(3)/SLEN(3)*
     &                 DATAX(3))*(Y(4,J)-Y(3,J))-(FNKL-GM(3)*SLC(3)/
     &                 SLEN(3)*(DATAY(3)+9.8))*(X(3,J)-X(4,J))
               U=X(17,J)*(FNHR-FNHL)-(FNHR+FNHL)*(SLEN(4)-SLC(4))/
     &                 SLEN(4)*(X(18,J)-X(17,J))+Y(17,J)*(FFHR-FFHL)-
     &                 (FFHR+FFHL)*(SLEN(4)-SLC(4))/SLEN(4)*(Y(18,J)-
     &                 Y(17,J))
C
               FP(1)=FM(1)/WIT/SLEN(1)
               FP(2)=FM(2)/WIT/SLEN(2)
               FP(3)=FM(3)/WIT/SLEN(3)
               FP(7)=FM(7)/WIT/SLEN(1)
               FP(8)=FM(8)/WIT/SLEN(2)
               FP(9)=FM(9)/WIT/SLEN(3)
C
               AN(1)=FNAL
               AN(2)=FNKL
               AN(3)=FNHL
               AN(7)=FNAR
               AN(8)=FNKR
               AN(9)=FNHR
               AF(1)=FFAL
               AF(2)=FFKL
               AF(3)=FFHL
               AF(7)=FFAR
               AF(8)=FFKR
               AF(9)=FFHR
               AM(1)=FM(3)+FM(9)-U
C
C-----< HINDLIMB MOMENT >-----------------------------------
C
               FFAR=GM(7)*DATAX(12)-FT2(2,J)
               FFKR=GM(6)*DATAX(11)+FFAR
               FFHR=GM(5)*DATAX(10)+FFKR
C
               FFAL=GM(7)*DATAX(6)-FT(2,J)
               FFKL=GM(6)*DATAX(5)+FFAL
               FFHL=GM(5)*DATAX(4)+FFKL
C
               FNAR=FT2(3,J)-GM(7)*(DATAY(12)+9.8)
               FNKR=FNAR-GM(6)*(DATAY(11)+9.8)
               FNHR=FNKR-GM(5)*(DATAY(10)+9.8)
C
               FNAL=FT(3,J)-GM(7)*(DATAY(6)+9.8)
               FNKL=FNAL-GM(6)*(DATAY(5)+9.8)
               FNHL=FNKL-GM(5)*(DATAY(4)+9.8)
C
               IF(KS2(6).GE.KS2(10))   GO TO 1500
               UX2=FT2(5,J)+(X(16,KS2(6))-X(15,J))
               GO TO 1510
C
1500    CONTINUE
C
               IF(J.LT.KS2(10))        GO TO 1505
               UX2=FT2(5,J)+(X(16,KS2(6))-X(15,J))
```

```
C
1505    CONTINUE
C
                UX2=FT2(5,J)+(X(16,KS2(6))-S-X(15,J))
C
1510    CONTINUE
C
                FM(12)=GI(8)*DDBB(12)-FT2(2,J)*(Y(15,J)-Y(16,KS2(8)-1)
     &                  )-FT2(3,J)*UX2+SLC(7)*GM(7)*(DATAX(12)*COS(BB(
     &                  12))+(DATAY(12)+9.8)*SIN(BB(12)))
                FM(11)=GI(7)*DDBB(11)+FM(12)+(FFAR+GM(6)*SLC(6)/SLEN(6)
     &                  *DATAX(11))*(Y(14,J)-Y(15,J))-(FNAR-GM(6)*SLC
     &                  (6)/SLEN(6)*(DATAY(11)+9.8))*(X(15,J)-X(14,J))
                FM(10)=GI(6)*DDBB(10)+FM(11)+(FFKR+GM(5)*SLC(5)/SLEN(5)
     &                  *DATAX(10))*(Y(13,J)-Y(14,J))-(FNKR-GM(5)*SLC
     &                  (5)/SLEN(5)*(DATAY(10)+9.8))*(X(14,J)-X(13,J))
C
                IF(KS(6).GE.KS(10))     GO TO 1600
                UX=FT(5,J)+(X(8,KS(6))-X(7,J))
                GO TO 1610
C
1600    CONTINUE
C
                IF(J.LT.KS(10)) GO TO 1605
                UX=FT(5,J)+(X(8,KS(6))-X(7,J))
                GO TO 1610
C
1605    CONTINUE
C
                UX=FT(5,J)+(X(8,KS(6))-S-X(7,J))
C
1610    CONTINUE
C
                FM(6)=GI(8)*DDBB(6)-FT(2,J)*(Y(7,J)-Y(8,KS(6)))-
     &                  FT(3,J)*UX+SLC(7)*GM(7)*(DATAX(6)*COS(BB
     &                  (6))+(DATAY(6)+9.8)*SIN(BB(6)))
                FM(5)=GI(7)*DDBB(5)+FM(6)+(FFAL+GM(6)*SLC(6)/SLEN(6)
     &                  *DATAX(5))*(Y(6,J)-Y(7,J))-(FNAL-GM(6)*SLC(6)
     &                  /SLEN(6)*(DATAY(5)+9.8))*(X(7,J)-X(6,J))
                FM(4)=GI(6)*DDBB(4)+FM(5)+(FFKL+GM(5)*SLC(5)/SLEN(5)
     &                  *DATAX(4))*(Y(5,J)-Y(6,J))-(FNKL-GM(5)*SLC(5)
     &                  /SLEN(5)*(DATAY(4)+9.8))*(X(6,J)-X(5,J))
                U=X(18,J)*(FNHR-FNHL)-(FNHR+FNHL)*SLC(4)/SLEN(4)*(X
     &                  (17,J)-X(18,J))+Y(18,J)*(FFHR-FFHL)-(FFHR+
     &                  FFHL)*SLC(4)/SLEN(4)*(Y(17,J)-Y(18,J))
C
                FP(4)=FM(4)/WIT/SLEN(5)
                FP(5)=FM(5)/WIT/SLEN(6)
                FP(6)=FM(6)/WIT/SLEN(8)
                FP(10)=FM(10)/WIT/SLEN(5)
                FP(11)=FM(11)/WIT/SLEN(6)
                FP(12)=FM(12)/WIT/SLEN(8)
C
                AN(6)=FNAL
                AN(5)=FNKL
                AN(4)=FNHL
                AN(12)=FNAR
                AN(11)=FNKR
                AN(10)=FNHR
                AF(6)=FFAL
                AF(5)=FFKL
                AF(4)=FFHL
                AF(12)=FFAR
                AF(11)=FFKR
                AF(10)=FFHR
                AM(3)=FM(4)+FM(10)-U
```

```
C
C-------------------------------------------------------------
C
      DO 1800 I=1,12
C
            WRITE(12'NRE7)  FM(I)
C
1800  CONTINUE
C
      DO 1810 I=1,12
C
            WRITE(12'NRE7)  FP(I)
C
1810  CONTINUE
C
      DO 1820 I=1,12
C
            WRITE(12'NRE7)  AF(I)
C
1820  CONTINUE
C
      DO 1830 I=1,12
C
            WRITE(12'NRE7)  AN(I)
C
1830  CONTINUE
C
      DO 1840 I=1,2
C
            WRITE(12'NRE7)  AM(I)
C
1840  CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
1000  CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
      CALL    CLOSE(11)
      CALL    CLOSE(12)
C
      TYPE*
      TYPE*,'DO YOU NEED PRINT OUT ?'
      TYPE*
      TYPE*,' 1. YES'
      TYPE*,' 2. NO'
      ACCEPT*,NX12
      IF(NX12.EQ.2)   GO TO 2001
C
1902  CONTINUE
C
C-----< PRINT OUT SECTION >-----------------------------------------
C
      CALL    GMOPRT(NF)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
2001  CONTINUE
C
      TYPE*
      TYPE*,'SELECT MENU'
      TYPE*,' 1. NEXT FILE'
      TYPE*,' 2. END'
C
      ACCEPT*,IQ2
```

```
      IF(IG2.EQ.1)    GO TO 1
C
      STOP
C
      END
```

```
C*****************************************************************************
C
C       SIMULATION FOR LOCOMOTION   Part-
C
C       GMUSCL
C
C       CALICURATION OF MUSCLE FORCE, POWER & TRANSMITTED FORCE
C
C*********************************************************************
C
        PROGRAM GMUSCL
C
C-----------------------------------------------------------------------------
C
        LOGICAL*1       INSTR(7),DEVICE(5),DDV(11),EXT02(5)
        LOGICAL*1       EXT03(5),EXT04(5),EXT05(5)
        LOGICAL*1       DFNAM2(15),DFNAM3(15),DFNAM4(15),DFNAM5(15)
        LOGICAL*1       EXT06(5),DFNAM6(15)
C
        DIMENSION       BB(14),AF(12),AN(12),AM(2)
        DIMENSION       GM(7),FWA(10),FWB(8),GAX(3),GAY(3),GBX(3)
        DIMENSION       GBY(3),GG(6),PP(9),V(6)
C
        COMMON  /MUS/SL(7),FM(12),DSIT(6),DBB(14),FA(10),FB(8),
     &                  VA(10),VB(8)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
1       CONTINUE
C
        WRITE(7,900)
C
C
        TYPE*
        TYPE*,'WHICH DO YOU SELECT ?'
        TYPE*
        TYPE*,' 1. NEW CALICULATION'
        TYPE*,' 2. PRINT OUT OLD DATA'
        TYPE*
        ACCEPT*,NZ12
C
        TYPE*
        TYPE*,'INPUT FILE NAME'
C
        CALL    GETSTR(5,INSTR,6,IERR)
C
        CALL    SCOPY('DSK:',DEVICE,4)
        CALL    SCOPY('.QCT',EXT02,4)
        CALL    SCOPY('.QCA',EXT03,4)
        CALL    SCOPY('.QOM',EXT04,4)
        CALL    SCOPY('.QUS',EXT05,4)
        CALL    SCOPY('.QOW',EXT06,4)
        CALL    CONCAT(DEVICE,INSTR,DDV)
        CALL    CONCAT(DDV,EXT02,DFNAM2)
        CALL    CONCAT(DDV,EXT03,DFNAM3)
        CALL    CONCAT(DDV,EXT04,DFNAM4)
        CALL    CONCAT(DDV,EXT05,DFNAM5)
        CALL    CONCAT(DDV,EXT06,DFNAM6)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        CALL    ASSIGN(10,DFNAM2,0,'OLD')
        DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE2)
C
        NRE2=2
```

```
C
      READ(10'NRE2)   WEI
C
      NRE2=4
C
      READ(10'NRE2)   T
      READ(10'NRE2)   CYC
C
      NRE2=6
C
      DO 100  I=1,9
C
              READ(10'NRE2)   SL(I)
C
100   CONTINUE
C
      DO 110  I=1,7
C
              READ(10'NRE2)   GM(I)
C
110   CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      IF(NZ12.EQ.2)   GO TO 6999
C
      CALL    ASSIGN(10,DFNAM3,0,'OLD')
      DEFINE FILE     10(15000,2,U,NRE3)
C
      NRE3=1
      READ(10'NRE3)   NF
      READ(10'NRE3)   NN3
C
      CALL    ASSIGN(11,DFNAM4,0,'OLD')
      DEFINE FILE     11(15000,2,U,NRE4)
C
      NRE4=2
      READ(11'NRE4)   NN4
C
      CALL    ASSIGN(12,DFNAM5,0,'NEW')
      DEFINE FILE     12(15000,2,U,NRE5)
C
      NRE5=1
      WRITE(12'NRE5)  NF
      NN5=36
      WRITE(12'NRE5)  NN5
C
      CALL    ASSIGN(13,DFNAM6,0,'NEW')
      DEFINE FILE     13(15000,2,U,NRE6)
C
      NRE6=1
      WRITE(13'NRE6)  NF
      NN6=36
      WRITE(13'NRE6)  NN6
C
C-------------------------------------------------------------
C
      DT=T/FLOAT(NF)
      EPT=0.
      EFA=0.
      EFB=0.
      EFV=0.
      EMA=0.
```

```
      EMS=0.
C
C-----------------------------------------------------------
C
      DO 9000 J=1,NF
C
      NRE3=3+NN3*(J-1)*3
C
      DO 200  I=1,NN3
C
              READ(10'NRE3)   BB(I)
              READ(10'NRE3)   DBB(I)
              READ(10'NRE3)   DUMMY
C
200   CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      NRE4=3+(J-1)*NN4
C
      DO 300  I=1,12
C
              READ(11'NRE4)   FM(I)
C
300   CONTINUE
C
      NRE4=27+(J-1)*NN4
C
      DO 310  I=1,12
C
              READ(11'NRE4)   AF(I)
C
310   CONTINUE
C
      NRE4=39+(J-1)*NN4
C
      DO 320  I=1,12
C
              READ(11'NRE4)   AN(I)
C
320   CONTINUE
C
      NRE4=51+(J-1)*NN4
C
      DO 330  I=1,2
C
              READ(11'NRE4)   AM(I)
C
330   CONTINUE
C
C-------------------------------------------------------------------
C
      CALL    QMUSUB
C
C******[ SECTION 2 : POWER ]*************************************************
C
      PA=0.
      PB=0.
      PT=0.
C
      DO 3010 I=1,10
C
              FWA(I)=FA(I)/WEI
              PA=PA+ABS(FA(I)*VA(I))
C
```

```
2000    CONTINUE
C
        DO 3020 I=1,8
C
                FWB(I)=FB(I)/WEI
                PB=PB+ABS(FB(I)*VB(I))
C
3020    CONTINUE
C
        PT=PA+PB
        EFA=EFA+PA*DT
        EFB=EFB+PB*DT
        EFV=EFV+PT*DT
        PT=PT/(WEI*T/CYC)
        EPT=EPT+PT
C
        PP(1)=ABS(FM(1)*DSIT(1))
        PP(2)=ABS(FM(2)*DSIT(2))
        PP(3)=ABS(FM(3)*DSIT(3))
        PP(4)=PP(1)+PP(2)+PP(3)
        EMA=EMA+PP(4)*DT
C
        PP(5)=ABS(FM(4)*DSIT(4))
        PP(6)=ABS(FM(5)*DSIT(5))
        PP(7)=ABS(FM(6)*DSIT(6))
        PP(8)=PP(5)+PP(6)+PP(7)
        EMB=EMB+PP(8)*DT
        PP(9)=PP(4)+PP(8)
        EMS=EMS+PP(4)*DT+PP(8)*DT
C
C******[ SECTION 3 : JOINT ]*************************************************
C
        GAX(3)=-(FA(3)+FA(4)+FA(9)+FA(10))*SIN(BB(2))-AN(1)
        GAY(3)=(FA(3)+FA(4)+FA(9)+FA(10))*COS(BB(2))+AF(1)
        GAX(2)=-(FA(2)+FA(6)+FA(7))*SIN(BB(3))-(FA(3)+FA(8)+FA(9))
     &          *SIN(BB(2))-AN(2)
        GAY(2)=(FA(2)+FA(6)+FA(7))*COS(BB(3))+(FA(3)+FA(8)+FA(9))
     &          *COS(BB(2))+AF(2)
        GAX(1)=(FA(1)+FA(5))*SIN(BB(13))-(FA(2)+FA(6))*SIN(BB(3))
     &          -AN(3)
        GAY(1)=-(FA(1)+FA(5))*COS(BB(13))+(FA(2)+FA(6))*COS(BB(3))
     &          +AF(3)
        GG(1)=SQRT(GAX(1)**2+GAY(1)**2)
        GG(2)=SQRT(GAX(2)**2+GAY(2)**2)
        GG(3)=SQRT(GAX(3)**2+GAY(3)**2)
C
        V(1)=ATAN(GAY(1)/GAX(1))*57.2958
        V(2)=ATAN(GAY(2)/GAX(2))*57.2958
        V(3)=ATAN(GAY(3)/GAY(3))*57.2958
C
        IF(GAX(1).GE.0.)        GO TO 4100
        IF(GAY(1).GE.0.)        GO TO 4010
        V(1)=-180.+V(1)
C
        GO TO 4100
C
4010    CONTINUE
C
        V(1)=180.+V(1)
C
4100    CONTINUE
C
        IF(GAX(2).GE.0.)        GO TO 4200
        IF(GAY(2).GE.0.)        GO TO 4110
        V(2)=-180.+V(2)
C
```

```
C
4110    CONTINUE
C
        V(2)=180.+V(2)
C
4200    CONTINUE
C
        IF(GAX(3).GE.0.)        GO TO 4300
        IF(GAY(3).GE.0.)        GO TO 4210
        V(3)=-180.+V(3)
C
        GO TO 4300
C
4210    CONTINUE
C
        V(3)=180.+V(3)
C
4300    CONTINUE
C
        GBX(3)=-(FB(3)+FB(4)+FB(8))*SIN(BB(5))-AN(6)
        GBY(3)=(FB(3)+FB(4)+FB(8))*COS(BB(5))+AF(6)
        GBX(2)=-(FB(2)+FB(6)+FB(7))*SIN(BB(4))-FB(3)*SIN(BB(5))-AN(5)
        GBY(2)=(FB(2)+FB(6)+FB(7))*COS(BB(4))+FB(3)*COS(BB(5))+AF(5)
        GBX(1)=(FB(1)+FB(5))*SIN(BB(14))-(FB(2)+FB(6))*SIN(BB(4))
     &          -AN(4)
        GBY(1)=-(FB(1)+FB(5))*COS(BB(14))+(FB(2)+FB(6))*COS(BB(4))
     &          +AF(4)
        GG(4)=SQRT(GBX(1)**2+GBY(1)**2)
        GG(5)=SQRT(GBX(2)**2+GBY(2)**2)
        GG(6)=SQRT(GBX(3)**2+GBY(3)**2)
C
        V(4)=ATAN(GBY(1)/GBX(1))*57.2958
        V(5)=ATAN(GBY(2)/GBX(2))*57.2958
        V(6)=ATAN(GBY(3)/GBY(3))*57.2958
C
        IF(GBX(1).GE.0.)        GO TO 5100
        IF(GBY(1).GE.0.)        GO TO 5010
        V(4)=-180.+V(4)
C
        GO TO 5100
C
5010    CONTINUE
C
        V(4)=180.+V(4)
C
5100    CONTINUE
C
        IF(GBX(2).GE.0.)        GO TO 5200
        IF(GBY(2).GE.0.)        GO TO 5110
        V(5)=-180.+V(5)
C
        GO TO 5200
C
5110    CONTINUE
C
        V(5)=180.+V(5)
C
5200    CONTINUE
C
        IF(GBX(3).GE.0.)        GO TO 5300
        IF(GBY(3).GE.0.)        GO TO 5210
        V(6)=-180.+V(6)
C
        GO TO 5300
C
```

```
C
      V(6)=180.+V(6)
C
5300  CONTINUE
C
      DO 5500 I=1,6
C
            G(I)=G(I)/WEI
C
5500  CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
      DO 6010 I=1,10
C
            WRITE(12'NRE5)  FWA(I)
C
6010  CONTINUE
C
      DO 6015 I=1,8
C
            WRITE(12'NRE5)  FWB(I)
C
6015  CONTINUE
C
      DO 6020 I=1,10
C
            WRITE(12'NRE5)  FA(I)
C
6020  CONTINUE
C
      DO 6025 I=1,8
C
            WRITE(12'NRE5)  FB(I)
C
6025  CONTINUE
C
C-----------------------------------------------------
C
      WRITE(13'NRE6)  PA
      WRITE(13'NRE6)  PB
      WRITE(13'NRE6)  PT
C
      DO 6505 I=1,9
C
            WRITE(13'NRE6)  PP(I)
C
6505  CONTINUE
C
      DO 6510 I=1,3
C
            WRITE(13'NRE6)  GAX(I)
C
6510  CONTINUE
C
      DO 6520 I=1,3
C
            WRITE(13'NRE6)  GBX(I)
C
6520  CONTINUE
C
      DO 6530 I=1,3
C
            WRITE(13'NRE6)  GAY(I)
C
```

```
C
      DO 6540 I=1,3
C
            WRITE(13'NRE6)  GBY(I)
C
6540  CONTINUE
C
      DO 6550 I=1,6
C
            WRITE(13'NRE6)  GG(I)
C
6550  CONTINUE
C
      DO 6560 I=1,6
C
            WRITE(13'NRE6)  V(I)
C
6560  CONTINUE
C
9000  CONTINUE
C
      CALL    CLOSE(10)
      CALL    CLOSE(11)
      CALL    CLOSE(12)
C
      WRITE(13'NRE6)  EFA
      WRITE(13'NRE6)  EFB
      WRITE(13'NRE6)  EFV
      WRITE(13'NRE6)  EPT
      WRITE(13'NRE6)  EMA
      WRITE(13'NRE6)  EMB
      WRITE(13'NRE6)  EMS
C
      CALL    CLOSE(13)
C
C-------------------------------------------------------
C
      TYPE*
      TYPE*
      TYPE*,'DO YOU NEED PRINT OUT ?'
      TYPE*,' 1.YES'
      TYPE*,' 2.NO'
      ACCEPT*,IYN
C
      IF(IYN.NE.1)    GO TO 8000
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
6999  CONTINUE
C
      CALL    ASSIGN(12,DFNAM5,0,'OLD')
      DEFINE FILE     12(15000,2,U,NRE5)
C
      NRE5=1
      READ(12'NRE5)   NF
      READ(12'NRE5)   NN5
C
      WRITE(6,901)
      WRITE(6,902)
      WRITE(6,903)
C
      DO 7000 J=1,NF
C
            NRE5=3+NN5*(J-1)
C
```

```
C
                READ(12'NRE5)   FWA(I)
C
7010    CONTINUE
C
7020    CONTINUE
C
            WRITE(6,904)    J,(FWA(I),I=1,10)
C
7000    CONTINUE
C
        WRITE(6,905)
        WRITE(6,906)
C
        DO 7050 J=1,NF
C
            NRE5=13+NN5*(J-1)
C
            DO 7060 I=1,8
C
                READ(12'NRE5)   FWB(I)
C
7060    CONTINUE
C
            WRITE(6,907)    J,(FWB(I),I=1,8)
C
7050    CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(12)
C
900     FORMAT(1H /////)
901     FORMAT(1H ,'MUSCLE FORCE ( / WEIGHT )')
902     FORMAT(//1H ,'FORELIMB')
903     FORMAT(//1H ,2X,,'N',2X,'Delt.post.',X,'Tricep.bra.',2X,
     &          'Flex.carpi',X,'Flex.digit.',3X,'Delt.ant.',2X,
     &          'Bicep.bra.',2X,'Brachialis',X,'Brachiorad.',3X,
     &          'Ext.carpi',2X,'Ext.polli.')
904     FORMAT(1H ,I3,10(2X,F10.4))
905     FORMAT(///1H ,'HINDLIMB')
906     FORMAT(//1H ,2X,'N',3X,'Glut.max.',2X,'Bicep.fem.',5X,
     &          'Gastro.',6X,'Soleus',3X,'Iliopsoas',3X,'Rect.fem.',
     &          6X,'Vastus',4X,'Tib.ant.')
907     FORMAT(1H ,I3,8(2X,F10.4))
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        CALL    ASSIGN(13,DFNAM6,0,'OLD')
        DEFINE FILE     13(15000,2,U,NRE6)
C
        NRE6=1
        READ(13'NRE6)   NF
        READ(13'NRE6)   NN6
C
        WRITE(6,910)
        WRITE(6,902)
        WRITE(6,911)
        WRITE(6,912)
C
        DO 7100 J=1,NF
C
            NRE6=3+NN6*(J-1)
C
            READ(13'NRE6)   PA
C
            NRE6=6+NN6*(J-1)
```

```
              DO 7110 I=1,4
C
                     READ(13'NRE6)   PP(I)
C
7110    CONTINUE
C
              WRITE(6,913)    J,(PP(I),I=1,4),PA
C
7100    CONTINUE
C
        WRITE(6,905)
        WRITE(6,911)
        WRITE(6,914)
C
        DO 7200 J=1,NF
C
              NRE6=4+NN6*(J-1)
C
              READ(13'NRE6)   PB
C
              NRE6=10+NN6*(J-1)
C
              DO 7210 I=5,8
C
                     READ(13'NRE6)   PP(I)
C
7210    CONTINUE
C
              WRITE(6,913)    J,(PP(I),I=8,5,-1),PB
C
7200    CONTINUE
C
        WRITE(6,915)
        WRITE(6,916)
C
        DO 7300 J=1,NF
C
              NRE6=5+NN6*(J-1)
C
              READ(13'NRE6)   PT
C
              NRE6=14+NN6*(J-1)
C
              READ(13'NRE6)   PP(9)
C
              WRITE(6,917)    J,PP(9),PT
C
7300    CONTINUE
C
        NRE6=3+NN6*NF
C
        READ(13'NRE6)   EFA
        READ(13'NRE6)   EFB
        READ(13'NRE6)   EFV
        READ(13'NRE6)   EPT
        READ(13'NRE6)   EMA
        READ(13'NRE6)   EMB
        READ(13'NRE6)   EMS
C
        WRITE(6,900)
        WRITE(6,918)
        WRITE(6,919)
        WRITE(6,920)    EMA,EMB,EMS
        WRITE(6,921)    EFA,EFB,EFV
C
```

```
C
910     FORMAT(///1H ,'POWER')
911     FORMAT(//1H ,19X,'MOMENT*(ANGULAR VELOSITY)',10X,
     &          '(MUSCLE FORCE)*(CONTRACTIVE VELOSITY)')
912     FORMAT(/1H ,2X,'N',7X,'Wrist',7X,'Elbow',4X,'Shoulder',6X,
     &          'Forelimb',16X,'Forelimb')
913     FORMAT(1H ,I3,3(2X,F10.4),4X,F10.4,14X,F10.4)
914     FORMAT(/1H ,2X,'N',7X,'Ankle',8X,'Knee',9X,'Hip',6X,
     &          'Hindlimb',16X,'Hindlimb')
915     FORMAT(///1H ,'TOTAL POWER ( Hindlimb + Forelimb )')
916     FORMAT(//1H ,3X,'MOMENT*(ANGULAR VELOSITY)',2X,
     &          '(MUSCLE FORCE)*(CONTRACTIVE VELOSITY)')
917     FORMAT(1H ,I3,8X,F10.4,22X,F10.4)
918     FORMAT(//1H ,'TOTAL ENERGY')
919     FORMAT(//1H ,15X,'Fore.',5X,'Hind.',5X,'TOTAL')
920     FORMAT(/1H ,'ENERGY-M*S  ',F8.4,2X,F8.4,2X,F8.4)
921     FORMAT(/1H ,'ENERGY-F*V  ',F8.4,2X,F8.4,2X,F8.4)
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
        WRITE(6,930)
        WRITE(6,902)
        WRITE(6,931)
C
        DO 7500 J=1,NF
C
                NRE6=15+NN6*(J-1)
C
                DO 7510 I=1,3
C
                        READ(13'NRE6)   GAX(I)
C
7510    CONTINUE
C
                NRE6=21+NN6*(J-1)
C
                DO 7520 I=1,3
C
                        READ(13'NRE6)   GAY(I)
C
7520    CONTINUE
C
                NRE6=27+NN6*(J-1)
C
                DO 7530 I=1,3
C
                        READ(13'NRE6)   GG(I)
C
7530    CONTINUE
C
        WRITE(6,932)    J,GAX(1),GAY(1),GG(1),GAX(2),GAY(2),GG(2),
     &                  GAX(3),GAY(3),GG(3)
C
7500    CONTINUE
C
        WRITE(6,905)
        WRITE(6,933)
C
        DO 7600 J=1,NF
C
                NRE6=18+NN6*(J-1)
C
                DO 7610 I=1,3
C
                        READ(13'NRE6)   GBX(I)
```

```
7610    CONTINUE
C
                NRE6=24+NN6*(J-1)
C
                DO 7620 I=1,3
C
                        READ(13'NRE6)   GBY(I)
C
7620    CONTINUE
C
                NRE6=30+NN6*(J-1)
C
                DO 7630 I=4,6
C
                        READ(13'NRE6)   GG(I)
C
7630    CONTINUE
C
        WRITE(6,932)    J,GBX(3),GBY(3),GG(6),GBX(2),GBY(2),GG(5),
     &                  GBX(1),GBY(1),GG(4)
C
7600    CONTINUE
C
        CALL    CLOSE(13)
C
930     FORMAT(////1H ,'TRANSMITTED FORCE BY EACH JOINT (KG)')
931     FORMAT(//1H ,2X,'N',5X,'Wrist-X',5X,'Wrist-Y',5X,'Wrist/W',7X,
     &          'Elbow-X',5X,'Elbow-Y',5X,'Elbow/W',4X,'Shoulder-X',
     &          2X,'Shoulder-Y',2X,'Shoulder/W')
932     FORMAT(1H ,I3,3(2X,F10.4),2X,3(2X,F10.4),2X,3(2X,F10.4))
933     FORMAT(//1H ,2X,'N',5X,'Ankle-X',5X,'Ankle-Y',5X,'Ankle/W',8X,
     &          'Knee-X',6X,'Knee-Y',6X,'Knee/W',9X,'Hip-X',7X,'Hip-Y'
     &          ,7X,'Hip/W')
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
8000    CONTINUE
C
        TYPE*
        TYPE*
        TYPE*,'SELECT MENU'
        TYPE*,' 1. NEXT FILE'
        TYPE*,' 2. END OF JOB'
        ACCEPT*,IYN
C
        IF(IYN.EQ.1)    GO TO 1
C
        STOP
C
        END
```