

足部関節軸位の吟味，とくに内反足における 下腿外旋について

川崎医科大学 整形外科科学教室

島 津 晃，松 田 英 雄
山 野 慶 樹，中 嶋 一 行

大阪市大 医学部 整形外科科学教室

岡 島 幹 雄

(昭和51年9月28日受付)

Rotation Deformity of the Tibia due to Mechanical Properties of the Subtalar Joint Axis in Club Foot

Akira Shimazu, Hideo Matsuda, Yoshiki Yamano,
and Kazuyuki Nakazima

Divisions of Orthopedics Surgery, Kawasaki Medical School

Mikio Okajima

Divisions of Orthopedics Surgery, Osaka City University
Medical School

(Accepted on Sept. 28, 1976)

立位の足部は距骨下関節軸，距腿関節軸と，足縁と床面の間に起こる回旋軸の3つの組合せ運動をしている。これらの軸の方向の異常から，先天性内反足の変形要素のかかりあいに検討を加えた。

とくに，距骨下関節軸の走行の異常が，下腿の異常な回旋運動を起こすことから，この間の関係式を投影作図によって求めた。

回外は

$$\angle \theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \beta}{\cos \alpha'} \times \sin (\alpha' - n^\circ) \right\}$$

回内は

$$\angle \theta = \tan^{-1} (\tan \beta \times \sin n^\circ + \tan \alpha \times \cos n^\circ)$$

下腿の外旋変形は内転変形の残存のみでなく，回外変形によって影響される。また下腿の外旋変形は，距骨滑車上面の扁平化に関係しており，尖足すなわち矢状面傾斜角の低下例には出現しにくいことなどを明らかにした。

In the standing position, external rotation of the tibia, or abduction of the talus is derived from the combined mechanical properties of the three joints,

i. e. talo-crural joint, subtalar joint and calcaneo-contact joint, between sole and ground.

Club foot deformity is influenced by abnormal position of these joint axis. Relationship between external rotation of the tibia and position of subtalar joint axis was studied by geometrical method and the following equations were set up. In inversion

$$\angle \theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \beta}{\cos \alpha'} \times \sin (\alpha' - n^\circ) \right\}$$

In eversion

$$\angle \theta = \tan^{-1} (\tan \beta \times \sin n^\circ + \tan \alpha \times \cos n^\circ)$$

$\angle \theta$ is a degree of external rotation of the tibia.

$\angle \alpha$ is an inclination of subtalar joint axis on horizontal plane.

$\angle \beta$ is an inclination of subtalar joint axis on sagittal plane.

$\angle \alpha'$ is an inclination of subtalar joint axis on coronal plane.

$\angle n$ is a degree of supination or pronation of calcaneo-contact joint.

The above findings have clarified the following points: The external rotation of the tibia is not only a remnant of the abduction deformity, but it is affected by the supination deformity of the foot. Moreover, the supination deformity is related to the flattening of the supratrochlear surface, and its incidence reduce in the equinus position, i. e. in the case with a decreased inclination of the subtalar joint axis on sagittal plane.

1. ま え が き

先天性内反足の遠隔成績を調査すると、足部の変形はほぼ矯正されていても、内旋歩行をし、また、側面レ線像上、下腿は外旋し、距骨滑車の扁平化をみることがある。これは、Ferguson, Wynne-Davies¹⁾, Swann²⁾ らによって指摘され、筆者³⁾ も下腿の外旋と距骨滑車上面の扁平化の間に一定の相関関係のあることを発表してきた。

元来、距骨下関節の運動は回外・回内が主であるが、これに内・外転、底・背屈が加わっている。立位のまま回外・回内運動をすれば、足外縁あるいは内縁と床面との間に回転軸を持つ運動となり、これに下腿を垂直に保つための距腿関節の補正運動が加わり、下腿の外旋・内旋が起こる。これは Rose⁴⁾ も指摘し、扁平足の足挿板設計に応用した発表がある。

一方、筆者は内反足を剖検し、距骨を中心とする骨格変形・配列の異常に注目してきた。内

反足の遠隔成績の調査時にみられる内旋歩行、下腿の内旋位は、この変形の遺残に由来することはいうまでもない。しかし、外観上、この変形の存在を正確に指摘するのは容易ではない。これは、足部が距腿関節、距骨下関節の組合せによって自在つぎ手運動をしているため、隠されてしまうことが理由の一つにあげられる。

そこで、内反足変形すなわち、異常な関節軸位を持つ足部の運動の吟味を計画した。なお、立位では足縁と床面の間の回旋も加わり、3つの関節軸を持つ運動となる。

2. 足部模型による検討

図1のように距腿関節と距骨下関節を持つ模型を作成し、矢状、垂直、側方の3方向から写真撮影を施行。正常の距骨下関節軸は、矢状面では前上から後方へ42°、水平面では前内から後外へ16°傾斜している⁵⁾。内反足の剖検結果みられたこの軸の異常は^{6,7)} 遺残変形に残存し

ているわけであり，この軸方向を可変できるようにした．立位を前提としているため，前述のように回外時には足外縁に，回内時には足内縁

にもう一つの軸ができ，計 3 つの関節軸を持つ運動，変形位の検討が可能な模型である．足外縁軸を矢状軸に平行に置き回外運動時の変動を 3 方向に投影すると，前額面では距骨下関節軸は立上ると同時に外方へ回旋し，足外縁の投影点に回旋軸を持つ扇状の軌跡となる．矢状面では距骨頭の上下運動になり，距骨下関節軸の傾斜角は増減する．これに伴って下腿を絶えず垂直位に置くためには距腿関節の背底屈を起こす．水平面投影では距骨下関節軸は足外縁上に頂点を置く三角形を画いて行く．下腿は距骨下関節軸の移動に一致して方向を変える．従って，下腿の回旋の程度はこの水平面投影を読めばよいことがわかる．

しかしながら，立位，すなわち，下腿の垂直位を条件とした回外運動は 3 つの関節軸の立体交叉角度の組合せによっては不可能なことがある．すなわち，この組合せは表 1 のように 18 通りあり，×印は立位をとるのは不可能であり○印の 5 通りには下腿の回旋は起こらず，◎印の 8 通りに，回外とともに下腿の外旋が起こる．回旋を伴うのは，いずれも一つの軸が他に対して斜走している場合であり，生体では距骨下関節軸が該当する．

これらは一定条件下の総合された多

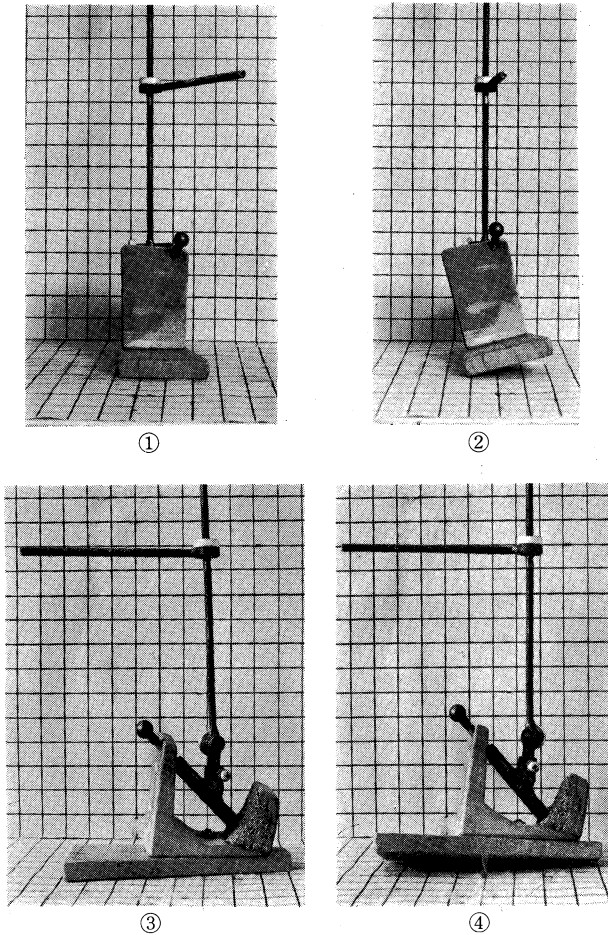


図 1

表 1 距腿関節 (A)，距骨下関節 (B) と足底外縁回旋 (C) の組合せ

距骨下関節軸が水平面にある場合

	B // C	B ⊥ C	B ≠ C
A // B	○	×	×
A ⊥ B	○	○	◎
A ≠ B	○	◎	◎

距骨下関節軸が水平面から傾斜している場合

B // C	B ⊥ C	B ≠ C
×	×	×
◎	○	◎
◎	◎	◎

// : 2 つの関節軸が平行
 ⊥ : " 直交
 ≠ : " 非直角交叉

× : 下腿は垂直位をとれない
 ○ : 下腿回旋なく垂直位をとる
 ◎ : 下腿回旋を伴い垂直位をとる

軸運動になり、距腿・距骨下関節の運動中心はともに移動する。従って、回外と下腿の外旋、また、回外と距腿関節の背屈の間は簡単な等差関係にはない。ここに関係式を立体作図から求めた。

3. 投影作図による運動軌跡の関係式

前項の結果、距骨下関節軸が下腿の回旋を忠実にあらわすことから、足外縁の回旋軸を中心に、足の回外運動に際しての距骨下関節軸の軌跡を投影作図し、関係式を求めた。足外縁の回旋軸と距骨下関節軸の位置関係から数種の作図が可能であるが、いずれにせよ、求める数値にかわりはないから、図2のように足外縁軸を矢状軸に平行に置いた作図を用いた。

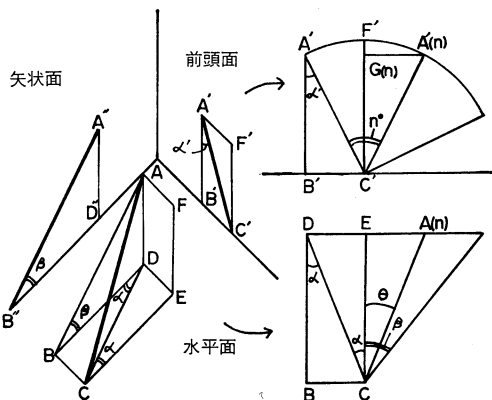


図2 足部回外の場合の距骨下関節軸の回旋軌跡

$$\begin{aligned}\overline{B'C'} &= \overline{BC} = \overline{BD} \tan \alpha \\ \overline{A'B'} &= \overline{A'D'} = \overline{B'D'} \tan \beta \\ \alpha' &= \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right) \\ \overline{A'C'} &= \tan \beta \times \frac{1}{\cos \alpha'} \\ \overline{En(n)} &= \overline{G(n)A'(n)} \\ &= \overline{A'C'} \times \sin(\alpha' - n^\circ) \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{\tan \beta}{\cos \alpha'} \times \sin \alpha' - n^\circ \right)\end{aligned}$$

α° は水平面投影の傾斜角度、 β° は矢状面投影の傾斜角度、 n° は任意の回外角度とする。 β° の立上り角度をもった直角三角柱の斜面 $\square ABCF$ の上に α° の傾きをもつ線分 AC が距骨下関節軸であり、これに垂直に下腿があると

みなし得る。

この水平面投影は $\square DBCE$ 、前額面投影は $\square A'B'C'F'$ 、矢状面投影は $\triangle A''B''D''$ であり、それぞれ、 DC 、 $A'C'$ 、 $A''B''$ が距骨下関節軸にあたる。前額面投影の $\triangle A'B'C'$ が C' を中心に時計廻りをするのが回外運動である。回外によって A' は $A'C'$ を半径とする弧上を移動する。 $\overline{B'C'}$ は \overline{BC} に等しく、 $\overline{A'B'}$ は矢状面の $\overline{A'D'}$ に等しく、ここから $\overline{B''D''} \times \tan \beta$ となる。これから $\overline{A'C'}$ はピタゴラスの定理、あるいは、三角法によって $\overline{A'C'} = \tan \beta \times \frac{1}{\cos \alpha'}$ によって求められる。ただし $\alpha' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)$ である。

今、回外 n° の $A'(n)$ 点の $\overline{F'C'}$ までの距離すなわち $\overline{G(n)A'(n)}$ は $\overline{A'C'} \times \sin(\alpha' - n)$ となり、これは水平面に投影の $\overline{A(n)E}$ に一致する。ここにおいて $\angle ECA(n)$ を求めると、これが水平面の距骨下関節軸の回旋角、下腿の外旋角度となる。すなわち、求める角度 θ の関係式は

$$\angle \theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \beta}{\cos \alpha'} \times \sin(\alpha' - n^\circ) \right\}$$

また、回外によって起こる矢状面投影の $\angle \beta$ の変化も同様に求めることができる。この関係式

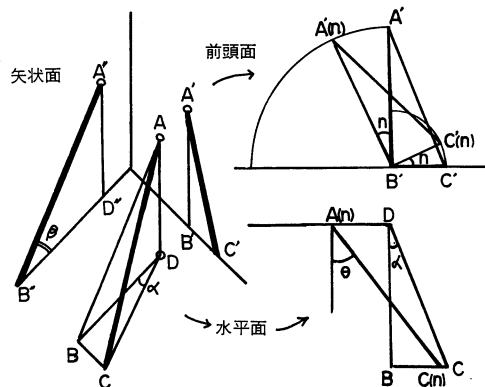


図3 足部回内の場合の距骨下関節軸の回旋軌跡

$$\begin{aligned}\overline{A'B'} &= \overline{AD} = \overline{BD} \tan \beta \\ \overline{A(n)D} &= \overline{BD} \tan \beta \times \sin n \\ \overline{B'C'} &= \overline{BC} = \overline{BD} \tan \alpha \\ \overline{BC(n)} &= \overline{BD} \tan \alpha \times \sin n \\ \theta &= \tan^{-1} (\tan \beta \times \sin n + \tan \alpha \times \cos n)\end{aligned}$$

$$\text{は } \angle \beta(n) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \beta}{\cos \alpha'} \times \sin(\alpha' - n^\circ) \right\}$$

回内の場合は図 3 のように水平面では \overline{BD} 、前頭面では B' を中心とする運動であり、 $A'(n)$ 点は $\overline{A'B'}$ を半径とする弧、 $C'(n)$ 点は $\overline{B'C'}$ を半径とする弧を画く。

回内 n° の $A'(n)$ 点から $\overline{A'B'}$ までの距離と $C'(n)$ 点から $\overline{A'B'}$ までの距離は、それぞれ

$$\overline{A(n)D} = \overline{BD} \tan \beta^\circ \times \sin n^\circ$$

$$\overline{BC(n)} = \overline{BD} \tan \alpha^\circ \times \sin n^\circ$$

によって求められる。両者の和の \tan^{-1} が求める距骨下関節軸の回旋角、下腿の内旋角度となる。すなわち、求める角度 θ の関係式は

$$\angle \theta = \tan^{-1}(\tan \beta \times \sin n^\circ + \tan \alpha \times \cos n^\circ)$$

4. 距骨下関節の軸の偏位による運動軌跡の変動

正常足の立位における回外および回内時の距骨下関節軸の軌跡は、図 4 のように、水平面投影では外旋、内旋が起こる。回外、回内を 10° の間差でみると、回旋角度の最高は回内 10° から 20° の間の 9.4° であり、これを中心に回外 50° から回内 10° の範囲の間差は 7° 以上と大きい。矢状面投影では、回外 20° を頂点に、ゆるやかなカーブをえがいた立上りを示すが、そ

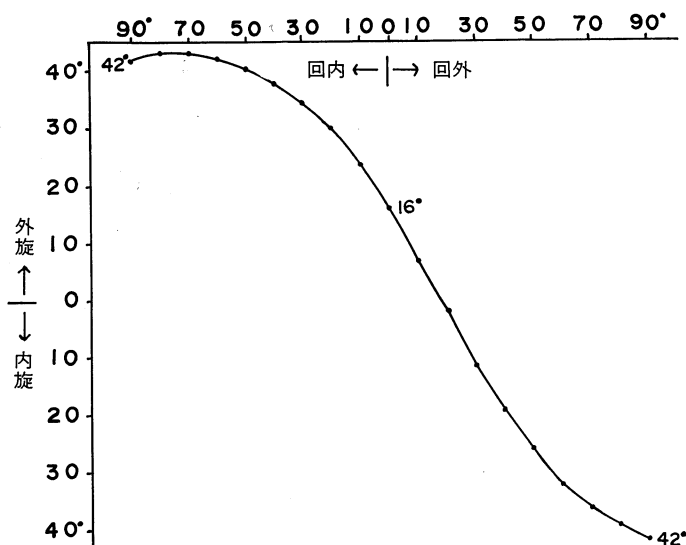


図 4 矢状面傾斜角 42° 水平面傾斜角 16° における回内、回外による下腿の回旋

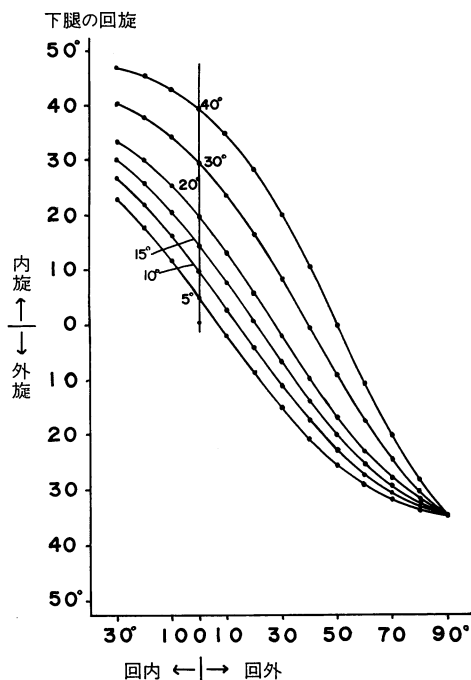


図 5 矢状面傾斜角 35° かつ種々の水平面傾斜角における下腿の回旋推移

の程度は 1° あまりであり、回外 30° 以上になると逆に強く平低化がおり、これに伴って距腿関節では回外の始めに軽度の背屈ついで底屈が起こることになる。

病的な場合として、距骨下関節軸を水平面投影上 $0^\circ \sim 55^\circ$ 、また矢状面投影上 $30^\circ \sim 55^\circ$ を想定し、それぞれの組合せにおける回外による軌跡を求めた。図 5, 6 は矢状面傾斜角 35° 、 50° の場合をグラフにあらわしたものである。正常の 42° の場合とほぼ同様なカーブを画くが、それぞれ、水平面傾斜角が 0° の場合は下腿の回旋は起こらず、これが増加する。すなわち、内転変形の強いほど回旋は大きくなる。

表 2 と 3 は回外 20° および 40° における距骨下関節軸、すなわち、下腿の外旋度を示した

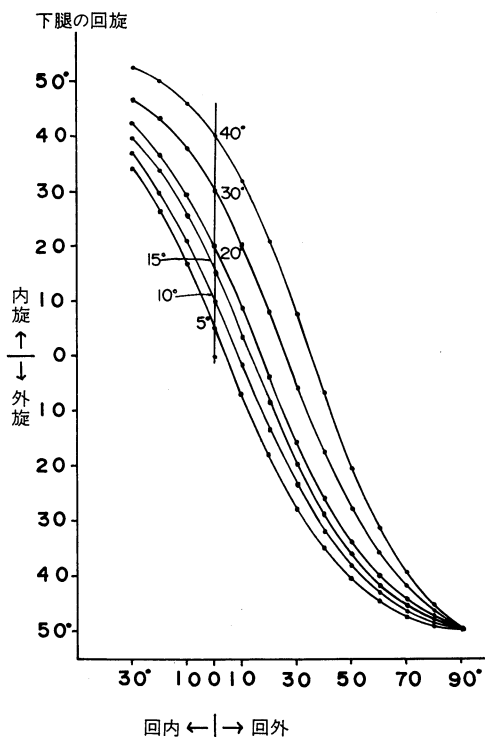


図6 矢状面傾斜角50°かつ種々な水平面傾斜角における下腿の回旋推移

表2 回外20°における下腿の外旋程度

水平面傾斜角 矢状面傾斜角	5°	10°	15°	20°	30°	40°
30°	11.5	11.8	12	11.8	11	9.3
35°	13.5	14.2	14.3	14.2	13.2	11.2
40°	14.5	17	17	16.8	15.7	13.3
42°	17.7	18.1	18.2	18.1	16.8	14.3
45°	19.5	20	20.1	20	18.7	16
50°	23	23.7	23.8	23.7	22.2	19.2

表3 回外40°における下腿の外旋程度

水平面傾斜角 矢状面傾斜角	5°	10°	15°	20°	30°	40°
30°	21.8	23.3	24.5	25.3	26	24.8
35°	26	27.5	28.7	29.7	30.5	29
40°	26.7	32	33.5	34.5	35.5	34.2
42°	32.1	33.9	35.5	36.7	37.7	36.3
45°	35	37	38.7	40	41.3	40
50°	40	42.3	43.8	46	47.8	47

ものであり、回外20°では、水平面傾斜角15°が最も外旋が大きくなっているのに対し、回外40°では、水平面傾斜角30°にその頂点がある。すなわち、内転変形が下腿の外旋に影響するのみでなく、これに、回外変形が加わった場合、とくにこれが高度の場合に下腿の外旋がより強くなることを示すものである。

一方、矢状面傾斜角が大きいと外旋は増大する。この関係をより明瞭に示したのが図7であり、凹足変形がある例ほど回外変形による影響は大きく、尖足があれば、下腿の回旋への影響は少なくなる。

次に回外運動における矢状面投影傾斜角の

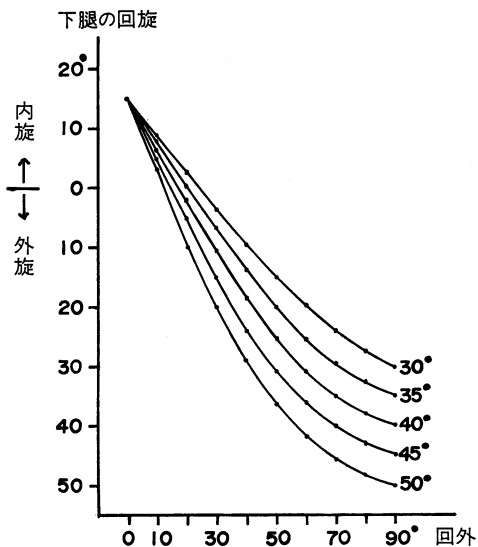


図7 水平面傾斜角15°における矢状面傾斜角の差による下腿の回旋の推移

表4 矢状面傾斜角の変動

水平面傾斜角 矢状面傾斜角	10°	15°	20°	30°	40°
35°	0.8 -2.0	1.4 0.3	2.0 2.6	3.3 7.2	4.9 12.1
42°	0.5 -3.2	1.0 -1.2	1.5 0.7	2.6 4.7	3.9 8.9
50°	0.3 -4.3	0.5 -2.7	1.0 -1.1	1.9 2.1	2.9 5.4

上段は回外10°、下段は回外40°のとき

変化をしらべたところ、水平面傾斜角の大きいほど、また回外変形の大きいほど、変動は強く、より急峻となる。従って距腿関節における背屈が強られる。矢状面傾斜角の少ないほど（尖足変形）回外による矢状面投影角度の変動は大きく、傾斜角の大きいほど（凹足変形）少ない逆比例の関係にある。

5. 考 察

筆者は、剖検ならびに臨床例の分析から、内反足に遺残する下腿の外旋に注目し、これと距骨滑車上面の扁平化との関係について、すでに発表し、滑車上面の投影像は、下腿の外旋、つまり距骨の外転と回外によって丸味を失い、高さを減ずる。距骨滑車の半径は、凡そ 2 cm のものが、 10° の外転によって 4 cm、 20° では 4.5 cm、 30° では 5.3 cm、 40° では 6 cm 以上になることを明らかにしてきた³⁾。

この下腿の外旋は、距骨下関節における回外と足部の接地による足底間に生ずる回旋の結果起こるものであり、内反足の距骨下関節軸が正常よりも内転し、かつ内反の残存している場合に、より強く下腿の外旋を生ずることを今回は数量的に明らかにした。

内反足の変形要素を関節軸の偏位からみると、1. 踵部内反変形は距骨下関節の回外変形であり、距腿関節の底屈も伴う。立位では、一定の回外範囲内において、距骨下関節軸の矢状面における急峻化と距腿関節の背屈が起こる。2. 内転変形は、距骨下関節軸の内方偏位。3. 尖足は、距腿関節における底屈変形であり、距骨下関節軸の矢状面における傾斜の減少を伴う。4. 凹足は多分に医原性要素があり、後足部の回外を残したまま前足部を回内した場合にみられ、距骨下関節軸の急峻化を起こしている。5. 舟底足変形は距骨下関節軸の強い平低化と外方偏位といえる。6. 距骨滑車上面の

扁平化は、従来、尖足矯正に暴力をふるい、滑車上面を圧縮したためと誤解し、いわゆる「くるみ割り」なる発生機序が考えられていたが⁸⁾、内反内転変形が残存したまま尖足を矯正すれば、距骨下関節軸の態度からして、距骨の外転、下腿の外旋が起こりやすく、みかけ上の扁平化を起こし、一方、尖足を残せば距骨下関節軸の平低化のためたとえ、内反、内転変形が残存しても起こりにくい。結局は、尖足矯正による関節軸のちがひによる出現の難易の差であり骨硬化、壊死像が少ないことからも圧迫のためとは考えにくい。ただし、踵部が完全に床面からはなれ、中足頭列に支持部が移動した場合についての検討は、今後に残されている。

これまで下腿の外旋の指摘はあっても、内反内転変形との関係を関節機構の立場から、数量的に明らかにした論文はない。これは、胎生期すでにある距骨の頸、頭部の内転、内旋変形に注目せず、軟部組織の拘縮と位置の異常を重要視していたため、外観上の変形の改善があれば関節軸の異常まで考慮しなかったためかもしれない。Swann²⁾らは後脛骨筋の拘縮のあるまま矯正すれば下腿に外旋が起こり、この固定化した例には脛骨の内旋骨切り術さえ行っている⁹⁾。これ以前の初期治療に後脛骨筋の延長術が大切であるが、距骨変形があれば、これのみでは不十分な処置になる。いずれも関節軸の異常の視点に欠けている。足部は多軸関節によって自在つぎ手運動をしており、このなかに埋没し距骨下関節の運動一つを取り出し正確に測定すること、また軸の走行の異常を指摘することは困難であることも事実である。この困難さが立位における回外運動には下腿の外旋を起こすことへの分析を遅らせたものであろう。

内反足における内旋歩行は立位での下腿の外旋の、歩行という動的な状態における表現であり、これも異常な距骨下関節軸に結びつくものである。

文 献

- 1) Wynne-Davies, R.: Talipes equinovarus, a review of 84 cases after completion of treatment. J. Bone & Joint Surg., 46-B: 464 (1964)
- 2) Swann, M. G., Lloid-Roberts, G. C. & Catterall, A.: The anatomy of uncorrected club foot. A study of rotation deformity. J. Bone & Joint Surg., 51-B: 263 (1969)
- 3) 島津晃ほか: 先天性内反足治療後の残存変形について. 医療, 26: 778 (1972)
- 4) Rose, G. K.: Correction of the pronated foot. J. Bone & Joint Surg., 44-B: 642 (1962)
- 5) Hicks, J. H.: The mechanics of the foot. J. Anat. London, 87: 345 (1953)
- 6) 島津晃ほか: 剖検例からみた先天性内反足の病理解剖学的変化. 整形外科, 24: 803 (1973)
- 7) Irani, R. & Sherman, M. S.: The pathological anatomy of club foot. J. Bone & Joint Surg., 45-A: 45 (1963)
- 8) Keim, H. A. & Ritchie, G. W.: "Nutcracker" treatment of clubfoot. J. A. M. A., 189: 613 (1964)
- 9) Lloid-Roberts, G. C., Swann, M. & Catterall, A.: Medial rotational osteotomy for severe residual deformity in club foot. A preliminary report on a new method of treatment. J. Bone & Joint Surg., 56-B: 37 (1974)