

3次元MRIを用いた先天性内反足に対する Ponseti法直後の足根骨形態, 配列解析

吉田清志¹⁾・太田陽香¹⁾・樋口周久²⁾
大槻大²⁾・吉川秀樹¹⁾・菅本一臣³⁾

1)大阪大学医学部 整形外科

2)大阪母子医療センター 整形外科

3)大阪大学医学部 整形外科 運動器バイオマテリアル学

要旨 【目的】先天性内反足の足根骨形態, 配列を3次元解析した。【方法】6名の片側先天性内反足の両側下肢単純MRIから3次元骨, 軟骨モデルを作成し患側, 健側の足根骨形態および配列評価を行った。【結果】距骨形態は, 患側で距骨頸部の内転傾向を認めた(内転角, 平均 12° : $-0.7 \sim 24.6^\circ$)。内転角度は症例により大きなばらつきを認め, 距骨頸部内転症例では舟状骨は外側偏位していた。また, 距骨に対する遠位脛腓関節の位置は, 距骨頸部内反が強い症例では遠位脛腓関節が内旋位にあった(距骨外旋角平均 8.1° : $-6.8 \sim 18.2^\circ$)。【結論】片側先天性内反足患者において, 距骨頸部は多様性を認めた。距骨頸部が内転している症例では, 舟状骨が外転し, 遠位脛腓関節が内旋するという関節アライメント変化を認めた。

序文

先天性内反足に対するPonseti法治療は幅広く普及しており, 良好な初期治療成績が報告されている¹⁰⁾¹²⁾。しかし一方で, Ponseti法治療後の再発が10~40%と高率に報告されている⁴⁾⁶⁾¹¹⁾。装具コンプライアンス不良などの一部の原因とされているが¹²⁾, いまだ再発原因解明には至っていない。Ponseti法初回治療後に, 多くの症例は良好な関節可動域および外観上良好な形態を呈していて, X線では足根骨は踵骨, 距骨の骨化核を用いた評価が行われている。X線では舟状骨や踵骨, 距骨の骨化核以外の軟骨成分の評価は困難である。過去に先天性内反足の初回保存治療後の足根骨配列および形態異常の報告があり⁷⁾⁹⁾, 我々はPonseti法初回治療後の足根骨配列, 形態が症例により大きく異なり, 高い再発率の原因の一つ

となる可能性を検討している。そこで, 今回はまずPonseti法初回治療後の患者で良好に矯正し得た内反足の症例に対し, 3次元MRIを用いた足根骨の骨, 軟骨解析を行い, 健側と比較しその特徴を調査した。

対象・方法

片側の先天性内反足患者6例(男児3例, 女児3例, 全例右側が患側)を対象とした。全例新生児期にPonseti法に準じた矯正ギプスおよびアキレス腱皮下切腱を施行した。初回矯正は全例良好であり, 初回治療後3か月は1日23時間の足部外転装具を装着した。初回治療後3か月に撮影した両下肢単純MRI(SIEMENS社, 1.5テスラ)を本研究では利用した。T1強調画像冠状断のDICOMデータを3次元画像解析システム(富士フイルム社, SYNAPSE VINCENT)を用いて脛

Key words : congenital clubfoot(先天性内反足), tarsal morphology(足根骨形態), three-dimensional MRI(3次元MRI)

連絡先 : 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-2 大阪大学医学部 整形外科 吉田清志 電話(06)6879-3552

受付日 : 2019年1月31日

骨、腓骨、距骨、舟状骨の骨成分、軟骨成分を抽出し3次元骨・軟骨モデルを作成した(図1)⁵⁾。基準座標軸はPonseti法に準じて足部中心として距骨中心に座標中心を置き、脛骨骨軸をY軸、X距骨軸をZ軸として、X、Y軸に直行するZ軸を作成した。骨、軟骨モデルを独自開発ソフトで3次元評価を行った。具体的には、距骨頸部内転変形の評価として距骨体部軸と距骨頸部軸の成す角度を距骨頸部内転角として計測した。距骨体部軸は、距骨体部の脛骨遠位との関節面に近似円柱を作成し、距骨頸部軸は距骨頸部関節面を抽出し、関節面の重心を通る軸を作成した(図2-a)。距骨頸部軸と距骨体部軸の成す角度を距骨頸部内転角として計測した(図2-b)。距舟関節アライメントの評価として、距骨頸部軸と舟状骨軸の成す角度を舟状骨内転角として計測した。舟状骨軸は舟状骨の内側、外側端を結んだ軸の midpoint を通る垂線とした(図2-c)。遠位脛腓関節アライメントの評価としては、遠位脛腓関節の内側、外側端を結んだ軸が距骨座標軸に対して成す角度を遠位脛腓関節内旋角として計測した(図2-d)。計測はすべて個々の症例での患側差において評価した。

統計にはJMP Statistical Software, Version14 (SAS Institute Inc)を用いて行い、距骨頸部内転角、舟状骨内転角、遠位脛腓関節内旋角の健側と患側の差をWilcoxonの符号付順位和検定を用い

て分析し、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。距骨の距舟関節アライメントと遠位脛腓関節アライメントの関係性を調べるために、距骨頸部内転角、舟状骨内転角、遠位脛腓関節内旋角の健側と患側の差の相関関係をPearsonの相関係数を用いて分析した。

結果(図3, 4)

MRI撮影時年齢は平均5.4か月(3~11か月)であった。距骨頸部内転角は健側平均 26.4° ($21.7 \sim 32.2^\circ$)、患側平均 38.4° ($28.2 \sim 46.3^\circ$)であった。個々の症例における患側差は平均 12° ($-0.7 \sim 24.6^\circ$)であり、患側が健側に比して内転症例と健側と同程度の頸部形態の症例が混在しており、統計学的に有意差を認めなかった。舟状骨内転角は健側平均 -13.3° ($-25.5 \sim 2.7^\circ$)、患側平均 -8.3° ($-55 \sim 22.1^\circ$)であった。個々の症例における患側差は平均 5.1° ($-30 \sim 39.9^\circ$)と内転症例と外転症例が混在しており、有意差を認めなかった。遠位脛腓関節内旋角は健側 17.1° ($9.3 \sim 27.9^\circ$)、患側 26.2° ($14.9 \sim 46^\circ$)であり、患側で優位に健側よりも内旋していた。

距骨頸部内転角、舟状骨内転角、遠位脛腓関節内旋角の相関では、距骨頸部内転角と舟状骨内転角に負の相関、距骨舟状骨内転(距骨頸部内転角+舟状骨内転角)と遠位脛腓関節内旋角に正の相関を認めた。

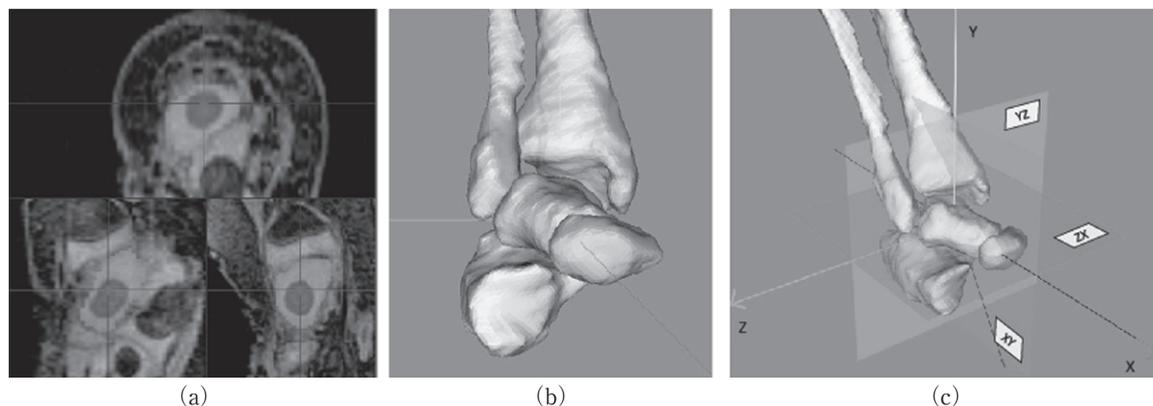


図1. 3次元骨、軟骨モデル
(a)セグメンテーション
(b)3次元骨、軟骨モデル
(c)基準座標軸

考 察

先天性内反足患者における軟部組織異常の報告は多数認めるが³⁾⁸⁾、骨形態や関節アライメントに関する報告は少ない。過去には内反足患者では距骨頸部が内転し、舟状骨も内転していると報告されている。しかし、過去の研究では罹患側全体と健側全体を比較しており、個々の症例での比較

がなされていない。調査人数も少なく、元々距骨頸部形態は個人差が大きいことから、片側例における個々の症例での患健側差の比較が望ましいと考えている。そのため、本研究では片側例のみを対象として健側との比較を行った。

本研究では、内反足患者の距骨頸部形態は内転している症例も存在するが、健側と同等の形態をしている症例もあった。健側に比較して距骨頸部

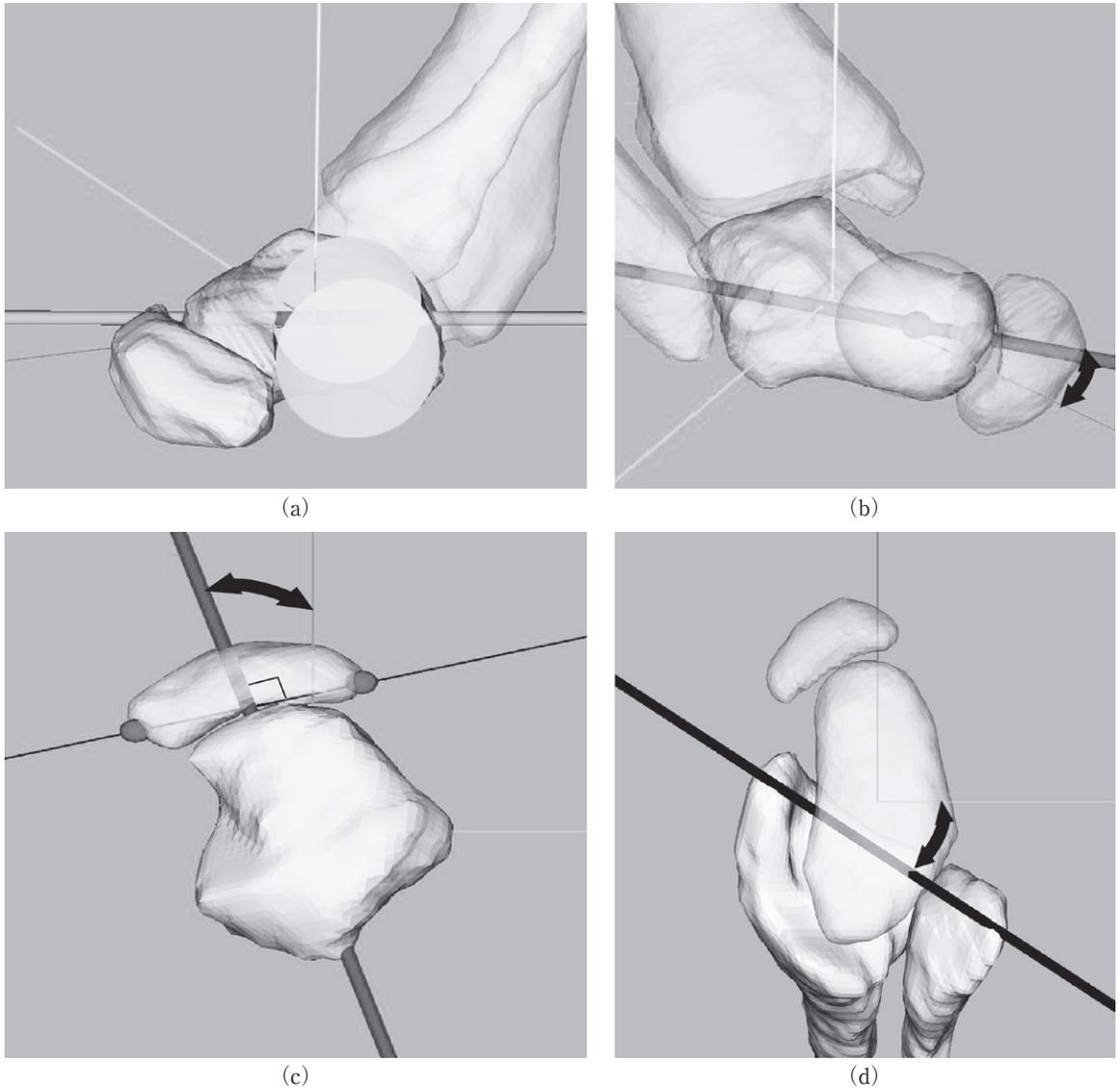


図2. 距骨頸部および舟状骨アライメント計測方法

- (a) 距骨体部軸
- (b) 距骨頸部軸 矢印は距骨頸部内転角
- (c) 舟状骨骨軸 矢印は舟状骨内転角
- (d) 遠位脛腓関節内旋軸 矢印は遠位脛腓関節内旋角

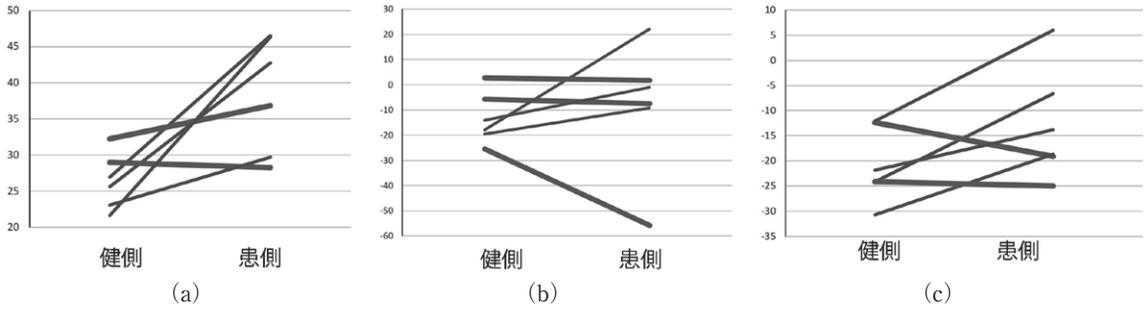


図3. 各症例の計測結果

- (a) 距骨頸部内転角
- (b) 舟状骨内転角
- (c) 遠位脛腓関節内旋角

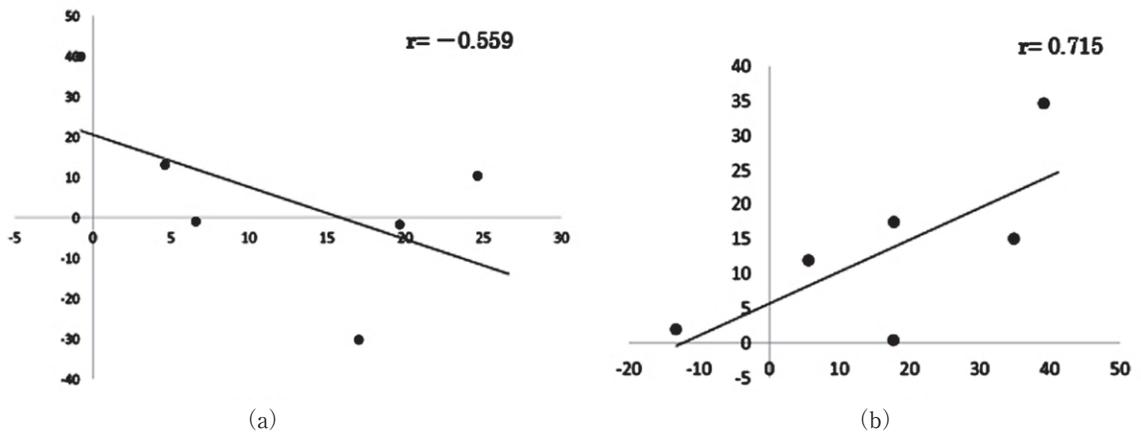


図4. 計測角度間の相関

- (a) 距骨頸部内転角(横軸)と舟状骨内転角(縦軸)
- (b) 距骨頸部内転角(横軸)と遠位脛腓関節内旋角(縦軸)

内転が強ければ、距舟関節アライメントが外転、遠位脛腓関節が内旋している特徴があった。このような距骨頸部骨形態が関節アライメントに及ぼす影響が、Ponseti法による矯正によるものかどうか、本研究では治療前の病態把握ができていないため不明であるが、今後治療前の評価および再発例との関連を継続調査する予定にしている。

本研究のlimitationは、症例数が少なく、骨形態の評価を生後直後でなく平均5か月時点で行っている点、本研究の評価方法は独自に開発しており、信頼性、妥当性評価を行っていない点である。

結 論

片側先天性内反足患者において、距骨頸部は多様性を認めた。距骨頸部が内転している症例で

は、舟状骨が外転し、遠位脛腓関節が内旋するという関節アライメント変化を認めた。

文献

- 1) Azarpira MR, Emami MJ, Vosoughi AR et al : Factors associated with recurrence of clubfoot treated by the Ponseti method. World J Clin Cases 4 : 318-322, 2016.
- 2) Dobbs MB, Rudzki JR, Purcell DB et al : Factors predictive of outcome after use of the Ponseti method for the treatment of idiopathic clubfeet. J Bone Joint Surg Am 86-a : 22-27, 2004.
- 3) Duce SL, D'Alessandro M, Du Y et al : 3D MRI analysis of the lower legs of treated idiopathic congenital talipes equinovarus (clubfoot). PLoS One 8 : e54100, 2013.

- 4) Hosseinzadeh P, Kiebzak GM, Dolan L et al : Management of Clubfoot Relapses With the Ponseti Method : Results of a Survey of the POSNA Members. J Pediatr Orthop **39** : 38-41, 2019.
- 5) Itohara T, Sugamoto K, Shimizu N et al : Assessment of the three-dimensional relationship of the ossific nuclei and cartilaginous anlagen in congenital clubfoot by 3-D MRI. J Orthop Res **23** : 1160-1164, 2005.
- 6) Mahan ST, Spencer SA, May CJ et al : Clubfoot relapse : does presentation differ based on age at initial relapse ? J Child Orthop **11** : 367-372, 2017.
- 7) 三浦洋子, 亀ヶ谷真琴, 西須 孝ほか : 先天性内反足における舟状骨角と距骨頸体角の術後変化 MRIにおける経時的变化. 日小整会誌 **14** : 22-25, 2005.
- 8) Moon DK, Gurnett CA, Aferol H et al : Soft-Tissue Abnormalities Associated with Treatment-Resistant and Treatment-Responsive Clubfoot : Findings of MRI Analysis. J Bone Joint Surg Am **96** : 1249-1256, 2014.
- 9) 大槻 大, 吉田清志, 浜野大輔ほか : MRIを用いた先天性内反足における Ponseti 法治療後の足根骨 3次元解析 距骨舟状骨を中心に. 日小整会誌 **25** : 91-95, 2016.
- 10) Ponseti IV : Treatment of congenital club foot. J Bone Joint Surg Am **74** : 448-454, 1992.
- 11) Ponseti IV : Relapsing clubfoot : causes, prevention, and treatment. Iowa Orthop J **22** : 55-56, 2002.
- 12) Zionts LE, Ebramzadeh E, Morgan RD et al : Sixty Years On : Ponseti Method for Clubfoot Treatment Produces High Satisfaction Despite Inherent Tendency to Relapse. J Bone Joint Surg Am **100** : 721-728, 2018.