

前腕変形に対し 3D プリンターモデルをもとに 変形矯正を行った犬の 1 例

小林 聡^{1),2)†} 森 淳和^{1),2)} 安川慎二^{1),2)} 伊澤幸甫³⁾ 藤井康一³⁾

1) 横浜市 開業 (DVMs どうぶつ医療センター横浜: 〒224-0044 横浜市都筑区川向町 966-5)

2) 横浜市 開業 (ONE for Animals: 〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-5-14 WISE NEXT 新横浜 3F)

3) 横浜市 開業 (藤井動物病院: 〒222-0011 横浜市港北区菊名 1-14-11)

(2016 年 4 月 8 日受付・2016 年 8 月 24 日受理)

要 約

8 カ月齢、避妊雌、体重 4.6kg のイタリアン・グレーハウンドが右側の前肢跛行を主訴に紹介来院した。X 線及び CT 検査において右側前腕の重度変形を認めた。過去に橈尺骨骨折の治療履歴があったことより骨折時の外傷に起因する前腕変形であると診断した。変形が重度であり、従来のコンピュータ画面上での三次元立体構築像のみを使用する変形矯正方法ではランドマークの設定が行いにくく、術中の矯正程度の判断が困難で術後にアライメント不良が生じる可能性があった。そのため、CT データより 3D プリンターモデルを作成し事前にシミュレーション手術を実施し、骨切り部分の確認やインプラント形状設定を行い矯正が問題なく実施できることを確認した後、実際の手術を行った。術後の経過は良好で骨癒合が認められ患肢の使用も良好であった。

——キーワード: 骨切り変形矯正, ロッキングコンプレッションプレート, 3D プリンターモデル。

-----日獣会誌 69, 747~751 (2016)

重度の前腕変形では、患肢の機能障害や肘関節や手根関節の骨関節炎などが生じるため [1]、骨切り変形矯正が必要となる。変形矯正方法に関してはプレートや創外固定器を使用する方法などこれまでにいくつか報告されている [2, 3]。単独な変形点で骨軸上に存在する場合には容易に変形矯正が可能だが、実際には変形点が複数あり骨軸上に存在しない場合も多く、複数の骨切り矯正を必要とする場合が多い。今回、骨軸外に複数の変形点が存在し複数の骨切りが必要な前腕変形症例に対し三次元立体構築像に加え 3D プリンターモデルを使用しシミュレーション手術を行い矯正計画の作成及び手術を実施し良好な結果を得たため報告する。

材料及び方法

症例は、イタリアン・グレーハウンド、8 カ月齢、避妊雌、近医にて 3 カ月齢で右側橈尺骨骨幹部骨折に対してプレートにて整復固定を行っており、骨癒合後の 5 カ

月齢で抜プレートを実施していた。この時点の X 線画像検査にて右側前腕に大きな変形は認められずカルテ所見でも経過良好であった。しかし術後経過観察中の 8 カ月齢で来院した際、右側の前腕変形と跛行が認められ DVMs どうぶつ医療センター横浜二次診療センター整形外科に紹介来院した。身体検査では右側前肢に著しい外反変形を認めた。そのため X 線及び CT 検査を実施した (動物病院用 3D マイクロ CT R_mCT AX, (株)リガク, 東京)。CT 検査は 80kv 400 μ A スライス厚 0.6mm の条件にて撮影を行った。CT 画像はウィンドウ幅 (Window Width: WW) 1002, ウィンドウ値 (Window Level: WL) 1011 で 3D 再構築し、画像解析ソフト (Osirix MD, Pixmeo, Switzerland) を用い解析した (図 1)。橈骨の頭尾側像の計測では Carpal valgus angle: CVA (手根外反角) は 36.8° を呈し外反変形を認め、変形中心は骨軸外に存在していた。Sagittal plane angle: SPA (矢状面前屈角) は 10.2° を呈し、複数の変形点が認め

† 連絡責任者: 小林 聡 (DVMs どうぶつ医療センター横浜)

〒224-0044 横浜市都筑区川向町 966-5

☎ 045-479-6999 FAX 045-473-1208

E-mail: kobayashi@dvms.co.jp

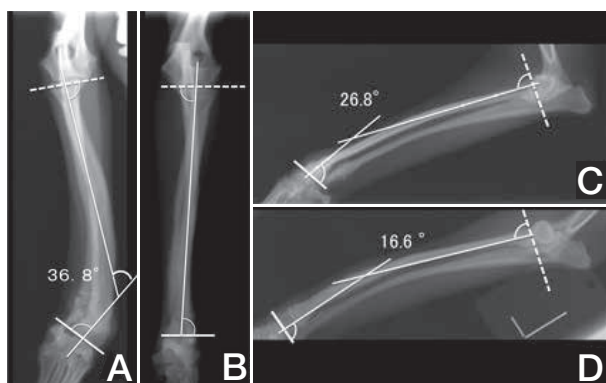


図1 A: 右側前肢頭尾側像 (患肢)
 橈骨及び尺骨の外板変形が認められ、橈骨には36.8°の外反が認められ変形中心は橈骨の骨軸外であった
 B: 左側前肢頭尾側像
 C: 右側前肢内外側像 (患肢)
 左側に対し10.2°の前屈変形と複数の変形点を認めた
 D: 左側前肢内外側像

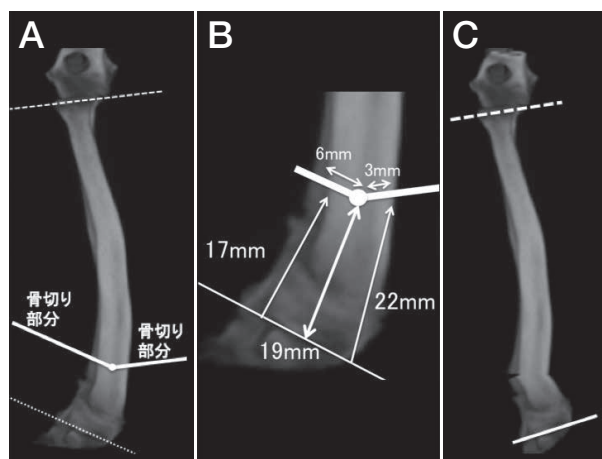


図2 A: 右側前肢骨切り計画
 B: 骨切り部分の詳細
 橈骨遠位外側・内側端よりそれぞれ17mm・22mmの位置から遠位・近位橈骨関節面との平行線の接する部分で、橈骨遠位関節面の中心から19mmの場所を骨切り基準点とした
 C: 平面画像上での変形矯正後の画像

られ特に遠位橈骨では側面像で円弧状の変形を認めた。橈骨の骨軸上での変形矯正が計画できなかったため、矯正は橈骨の最大変形点にて近位と遠位の関節軸を矯正することを計画した。そしてCT画像よりコンピュータ画面上で立体構築像を作成し、近位及び遠位の関節軸が矯正でき、かつ骨接合が良好に得られる点を設定した。1点の骨切り変形矯正を実施し、骨切り部分をオープンウェッジにして変形矯正を実施した場合、骨同士の接点が少ない術後に固定の破綻が生じる可能性や骨長が変化することが考えられた。そのため、橈骨近位関節面及び橈骨遠位関節面に平行になるように2点の骨切りを行い、変形矯正後にオープンウェッジとクローズドウェッジが混在し、橈骨同士が接合し安定するように変形矯正の計画を行った。この条件を満たす骨切りラインを二次元画像上で試作したところ、頭尾側像にて遠位橈骨関節面と平行で遠位橈骨外側端より近位へ17mmの部分で橈骨外側の骨皮質を通過する線と、近位橈骨関節面に平行で遠位橈骨内側端より近位へ22mmの部分で橈骨遠位内側の骨皮質を通過する線とが接する点で骨切りを行った場合に計画どおりの矯正が可能であったので、この点を骨切り基準点と設定した(図2)。実際の骨切り時には、骨切り基準点をまず設定し、骨切り基準点を通過し遠位橈骨関節面と平行に骨切りを行った。その後、骨切り基準点より、近位橈骨関節面へ平行に3mm骨切りを行うことを計画した。側面像では頭尾側像で設定した骨切り基準点より橈骨遠位関節面に平行に骨切りを行い10°後屈させることを計画した(図3)。

CT画像による二次元画像上で作成した骨切り変形矯正は骨切り部分などが複雑であるため、実際に変形矯正

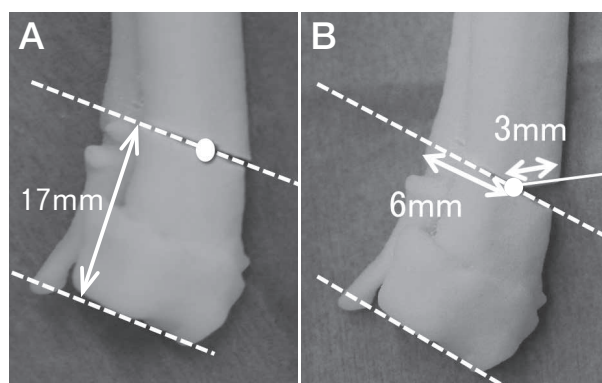


図3 A: 骨切り基準点を通過するように橈骨遠位外側より17mmの部分で橈骨遠位関節面に平行に骨切りを行った
 B: 橈骨遠位関節面に平行に骨切りを行った後、骨切り基準点より近位橈骨関節面と平行に3mm骨切りを行った

が実施可能かを確かめる目的で3Dプリンターモデルでの確認を行った。CTデータを3Dプリンターモデル作成会社(ファソテック(株), 千葉)に送付し、ポリジェット方式3Dプリンター(OBJET500 CONNEX3, Stratasys, U.S.A.)を用い16μmの三次元積層法にて実物大の3Dプリンターモデルを作成した。3Dプリンターモデルには耐熱性のアクリル系UV硬化樹脂(VeroWhite Plus RGD835, Stratasys, U.S.A.)を使用した。完成した3Dプリンターモデルを実際の手術器具を用いて、シミュレーション手術を実施した。シミュレーション手術はコンピュータ画面上で設定した骨切り計画どおりに変形矯正が行えるかの確認と実物大モデルでのランド

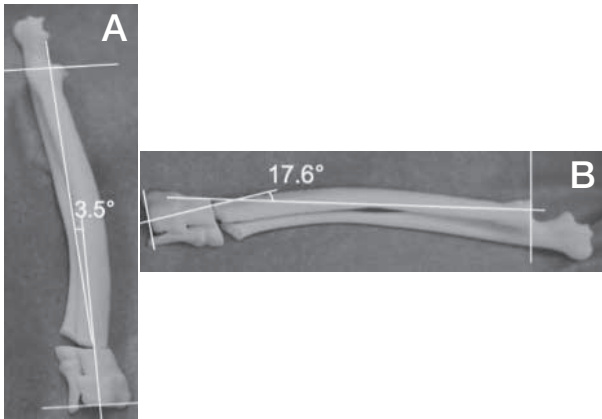


図4 A: 3D プリンターモデルでの模擬手術後
 頭尾像では外反変形は3.5°へ矯正されていた
 B: 側面像では前屈は術前の26.8°から17.6°へ矯正されていた(対側肢16.6°)

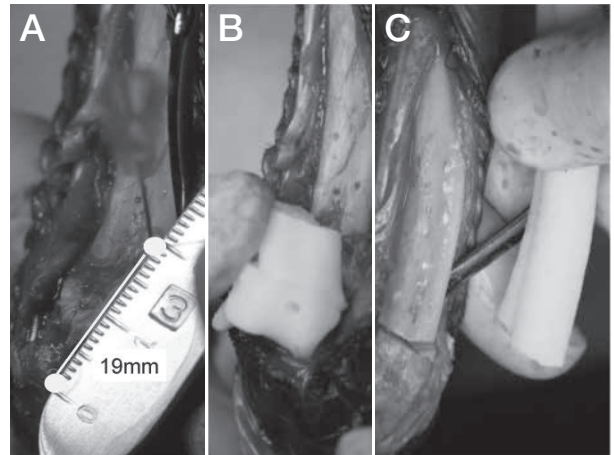


図5 A: 橈骨の長さを測定し手術計画どおり基準点を作成した
 B: 3D プリンターモデルを用い設定した骨切り基準点が予定部分であるかの確認を行った
 C: 骨切り中にも3D プリンターモデルを指標として用いた

マークの設定, 手術に使用するプレートの形状設定を行った. シミュレーション手術では橈骨のCVAは36.8°から3.5°へ, 側面像にてSPA 26.8°から17.6°と矯正されることが確認された(図4). 対側肢のCVAは0°, SPAは16.6°であった. 良好な矯正が可能であったため, 橈骨の固定用に2.4mm コンディラーロックングコンプレッションプレート(249-679, ジョンソン・エンド・ジョンソン(株)デピューシンス・ジャパン, 東京)を3Dプリンターモデルに適合するようベンドし形状設定を行った. 3Dプリンターモデル及びロックングコンプレッションプレートは洗浄の後, エチレンオキサイドガス滅菌を40°で5時間行い手術時に持ち込んだ.

手術は, 前投薬としてアトロピン硫酸塩0.025mg/kg SC, 導入はミタゾラムを0.2mg/kg IV, 酒石酸ブトルファンールを0.2mg/kg IV, プロポフォルを6mg/kg IVにて行った. 麻酔中は維持薬としてイソフルラン及び純酸素の吸入にて維持を行った. 鎮痛薬はメロキシカムを0.2mg/kg SCで使用し, 抗生物質はセファゾリンナトリウムを20mg/kg IVで使用した. 患部は毛刈り後, 消毒を行い, 外科用ドレープ(3M™ アイオバン™ インサイズドレープ, スリーエム ジャパン(株), 東京)にてドレーピングを行った. 手術は橈骨へ頭外側アプローチを行い, 橈骨の骨幹部及び遠位を露出した. その後に, 骨切り基準点を計画どおりに設定し骨切りを行った. 滅菌された3Dプリンターモデルは, 骨切り位置がシミュレーション手術と同一にあるかの判定に使用した(図5). 橈骨の矯正後はシミュレーション手術にてあらかじめ設定してあったプレートにて橈骨の固定を行った(図6). その後は常法どおりに筋膜, 皮下組織, 皮内, 皮膚の縫合を行った.



図6 固定後の橈骨と3Dプリンターモデル
 計画どおりの矯正が実施可能であった.

成 績

術後のX線検査では, 頭尾側像ではCVAは36.8°より3.6°と矯正されており(図7), 側面像ではSPAは26.8°より14.8°に矯正されていることを確認した(図8). これまでに報告のある関節軸の参考値[4]とほぼ同等であった. 今回, 回旋方向の評価に関しては, 手術中に頭尾側像・側面像での変形矯正を確認したのちに,



図7 A: 患肢術前頭尾側像
 B: 患肢術後頭尾側像
 内反は3.6°まで矯正されていた。
 C: 正常肢頭尾側像

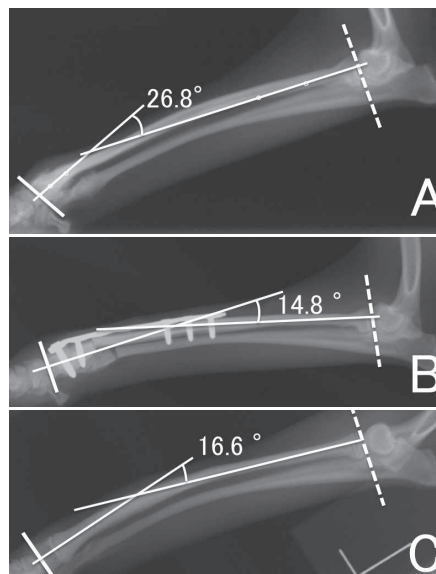


図8 A: 患肢術前内外側側像
 B: 患肢術前内外側側像
 前屈角度14.8°まで矯正されていた
 C: 正常肢前内外側側像

術中の触診及び、術後画像検査にて手根関節・肘関節の可動にてアライメント不良がないことを確認した。機能障害や術後合併症は認められず術後、4カ月で経過は良好であった。

考 察

今回の変形に関して、CORA (Center of rotation of angulation) 法に基づいて、変形矯正を実施する場合、橈骨の変形が多軸であるため、近位及び遠位に2点のCORAポイントが設定される。このポイントで2点の骨切り矯正を行った場合、骨切り後の橈骨の固定が困難となることが考えられた。そのため、今回は近位及び遠位橈骨の関節軸を矯正することで変形矯正を行うこととし、矯正計画の作成はCT画像をもとに行った。CT画像を用いた三次元立体構築像にて変形の精査をすることで変形矯正手術の際、手術計画の作成や実物をイメージするのに役立つ。しかしCT画像を用いた三次元立体構築像は、CT撮影画像をコンピュータグラフィックス技術にて影付け表現などを行い三次元様に見せた画面上のイメージである。そのため、生体の複雑な立体構造を的確に把握し、正確に手術シミュレーションを行うことには一定の限界が存在する。実際、手術中には骨以外に筋肉等の周囲軟部組織が存在し術野が限られるなど著しい変形を伴う症例についてはコンピュータ画面上で設定したランドマークが確認しにくいことを経験する。3Dモデル技術は、実物大のモデルを作成可能で、モデルを触知可能であるため、コンピュータ画面上でのシミュレ-

ションの欠点を補完できる可能性がある。3Dモデル技術は適切な治療方針の決定、正確な手術シミュレーション、複数のスタッフ間でのイメージの共有に有用であるとされ医療領域では使用され始めている。また矯正後の骨同士の動きが重要となる顎関節の矯正手術 [5, 6] や肘関節付近の変形矯正 [7] などでの報告がされている。しかしわれわれの知る限りでは獣医療での報告は少ない [8]。今回3Dモデルを使用することで、骨切りラインやプレートの接置部位などが実物大のモデルで確認できること、3Dモデルに合わせ術中の骨切りが可能なこと、術前に矯正後の骨に適合するようにプレートをベントできるので計画どおりの矯正が行いやすいこと、スタッフ間で手術手順などの共通認識が深まり手術がスムーズに行えることが利点として確認された。上記のように3Dモデルを用い治療することで有用な点が多々認められ獣医領域でも使用が可能であると考えられた。特に骨格の変形矯正手術の場合であれば3Dプリンターモデル作製までの時間的制約が強くないため、今回のような変形矯正に対しては有用な方法の一つであると考えられた。しかし3Dモデルは骨のモデルであり、筋肉や靭帯といった軟部組織を考慮していないため、3Dプリンターのみで矯正計画をしても軟部組織の異常が強い場合には矯正ができない症例も存在することが考えられる。今後、筋量の多い上腕骨や大腿骨等も含め3Dプリンターの適応に関してさらに検討していく必要があると考えられた。

引用文献

- [1] Donald P, Gretchen Flo, Charles D : Small Animal Orthopedics and Fracture Repair, 4th ed, 758-760, Elsevier, Missouri (2006)
- [2] Johnson AL : Treatment of growth deformities with external skeletal fixation, *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, 22, 209-223 (1992)
- [3] Johnson AL, Hulse DA : Management of specific fractures: Radial and ulnar growth deformities, *Small Animal Surgery*, 2th ed, 955-963, Mosby (2002)
- [4] Fox DB, Tomlison JL, Breshears LM : Principles of Uniapical and Biapical Radial Deformity Correction Using Dome Osteotomies and the Center of Rotation of Angulation Methodology in Dogs, *Vet Surg*, 35, 67 (2006)
- [5] Santler G, Kärcher H, Ruda C : Indications and limitations of three-dimensional models in cranio-maxillofacial surgery, *J Craniomaxillofac Surg*, 26, 11-16 (1998)
- [6] 沼尻敏明, 中村寛子, 五影志津, 秋田梨恵 : 三次元実体模型を使用して手術シミュレーションを行った下顎再建の経験, *京府医大誌*, 123, 617-626 (2014)
- [7] Banchong M, Kriskrai S, Philip O, Trongtum T : Rapid prototyping model for surgical planning of corrective osteotomy for cubitus varus: Report of two cases, *Injury Extra*, 37, 176-180 (2006)
- [8] 神田鉄平, 佐々木崇了, 前田憲孝, 藤岡 透, 長井 新, 古本佳代, 古川敏紀 : 小動物臨床における3Dプリンターの応用, *日獣会誌*, 64, 640-643 (2011)

Treatment of an Antebrachial Deformity Using a Three-Dimensional Printing Model in a Dog

Satoshi KOBAYASHI^{1),2)†}, Hirokazu MORI^{1),2)}, Shinji YASUKAWA^{1),2)},
Kosuke IZAWA³⁾ and Koichi FUJII³⁾

- 1) *DVMs Animal Medical Center Yokohama, 966-5 Kawamukocho, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, 224-0044, Japan*
- 2) *ONE for Animals, WISE NEXT Shin-Yokohama 3F, 2-5-14 Shin-Yokohama, Kohoku-ku, Yokohama-shi, 222-0033, Japan*
- 3) *Fujii Animal Hospital, 1-14-11 Kikuna, Kohoku-ku, Yokohama-shi, 222-0011, Japan*

SUMMARY

An eight-month-old spayed female Italian greyhound with a body weight of 4.6 kg was referred to our hospital for examination due to lameness in the right forelimb. An x-ray and computed tomography showed severe deformity of the right radius and ulna. The deformity of the right forelimb was determined to have been caused by a past radioulnar fracture. The degree of deformity was severe and complex. It was difficult to locate an accurate landmark for corrective osteotomy using conventional computed images, which were predicted to lead to malalignment. We constructed 3D printed models from computed tomography, performed a simulated operation, and made an implant through this method. After the simulated operation, a good prognosis for correction was confirmed and we actually performed the operation. After the surgery, the lameness was resolved and at the time of this writing, the dog is clinically normal with completely healed bones. — Key words : Corrective osteotomy, Locking compression plate, 3D printing model.

† Correspondence to : Satoshi KOBAYASHI (*DVMs Animal Medical Center Yokohama*)

966-5 Kawamukocho, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, 224-0044, Japan

TEL 045-479-6999 FAX 045-473-1208 E-mail : kobayashi@dvms.co.jp

J. Jpn. Vet. Med. Assoc., 69, 747 ~ 751 (2016)