総 説

犬の橈骨骨折の癒合不全

西 村 亮 平

Ununited Fracture of the Radius in the Dog

Ryohei NISHIMURA

は じ め に

骨折の癒合不全とは、なんらかの原因で正常な癒合機転が遅延あるいは停止した状態を指し、それぞれ遷延治癒骨折および偽関節と呼ばれることが多い。概念的にはこの両者間には明確な相違があり、前者は緩慢ながらもある程度の癒合の進行を認めるもの、後者は全く認めないものと理解されている。しかし特に獣医学領域においては臨床的に両者を区別する明確な定義はない。このため以下においては、正常な癒合機転を示さないものを一括して癒合不全という用語を用いることにする。

動物における骨折の癒合不全と橈骨の癒合不全

動物における骨折の癒合不全に関するまとまった報告は少なく、十分な検討がなされているとは言えないが、2825頭の犬の骨折例を対象に行われた調査結果によれば、癒合不全の発生率は3.4% (96頭)であり、その中で橈尺骨の癒合不全が40.6%と最も多数を占めていたことが報告されている⁸⁾。その他発生部位に関して、やはり橈尺骨が最も頻度が高かったとする報告⁴⁾や、橈尺骨

の癒合不全は、トイ種あるいはミニチュア犬種で特に発生の危険性が高いとする報告⁴⁾がある。

一方、本学附属家畜病院においても、1985年から1989年の間に来院した癒合不全例14例のうち、橈骨の癒合不全が9例と最も多数を占めており、その大部分が橈骨遠位部分におけるものであった。さらにこの9例の品種をみると、ポメラニアンが6例、トイプードルが1例とトイ種が大部分を占めていた (表1)。このように、小型犬種が主体を占める地域の獣医師が日常の診療で遭遇する癒合不全例としては、前述の報告と同様、トイ犬種における橈骨遠位骨折例が最も多数を占めて

表 1 橈骨癒合不全例の概要

症例	品 種	性別	年齢 (歳)	体重 (kg)
1	ポメラニアン	雌	3	2.1
2	ポメラニアン	雌	5	2.5
3	ポメラニアン	雄	1	2.5
4	ポメラニアン	雌	1	1.0
5	ポメラニアン	雄	4	4.0
6	ポメラニアン	雄	11	2.0
7	シェットランド シープドッグ	雌	2	5.7
8	シェットランド シープドッグ	雄	3	19.0
9	トイプードル	雌	4	3.0

(東京大学附属家畜病院：1985～1989_年)

東京大学農学部獣医外科学講座 (東京都文京区弥生 1-1-1, 〒113)
Department of Veterinary Surgery, Faculty of
Agriculture, The University of Tokyo, 1-1-1,
Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

表 2 骨折癒合不全の原因

生体側の問題
・骨折状態の不良（骨欠損等）
・周囲軟部組織の重度損傷
・感染
・全身疾患
・解剖学的素因
手技手法上の問題
・整復，固定の不良
・固定期間の不足

いるものと考えられる。このため本稿においては、トイ種あるいはミニチュア種などの小型犬種における橈骨の癒合不全を中心に、その原因、診断、治療法について概説することとしたい。さらにこれらに先立ち、小型犬種において橈骨の癒合不全が多い背景についても考えてみたい。

背 景

表 1 と同じ 1985 年から 1989 年の間に本学家畜病院に来院した犬の骨折例は、小型犬種および中～大型犬種ではほぼ同数であったが、この中で橈骨骨折の割合は、中～大型犬種で 10% 強であったのに対し、小型犬種では 25% と 2 倍以上の割合を示していた。さらに小型犬種における橈骨骨折の原因を見ると、椅子やベッドから飛び降りた、抱いていて落としたなど些細なものが大半を占めていた。このように小型犬種、特にトイ種では橈骨が非常に骨折しやすく、このことが小型犬種における橈骨の癒合不全が多い一つの大きな背景となっていると考えられる。

原 因

癒合不全を招来する原因には数多くのものがあるが、大きく生体側の問題と手技手法上の問題に分けることができる(表 2)。このうち生体側の主要な問題としては、骨欠損や粉碎骨折など骨折状態の不良、感染、周囲軟部組織の重度損傷、全身疾患および解剖学的素因などであり、手技手法上の主要な問題としては、骨折の整復・固定の不良、固定期間の不足などが挙げられる。

図 1 橈骨遠位周囲の筋肉

図 2 骨折の治療機転における外骨性血液供給 (Brooker²⁾ 一部改変)

この中で小型犬の橈骨遠位の癒合不全においては、まず解剖学的素因が大きな要因の一つとなっているものと考えられる。橈骨遠位部分は解剖学的に骨周囲の筋肉が少なく、これはもともと筋肉量の少ないトイ種では特に顕著である(図 1)。一方、骨折の治療機転においては、図 2 に示すように、外骨性の血液供給、すなわち筋肉を中心とし

た骨周囲軟部組織からの血液供給が大幅に増大し、骨髓側からの供給増加とともに、血液需要の増大に対応することが認められている。このため周囲軟部組織における重度の損傷を伴った骨折では、癒合不全を招来しやすいことが知られているが、橈骨遠位のように元来骨周囲の筋肉が少ない部位で骨折が生じた場合にも同様の現象が生じ²⁾、重度の軟部組織損傷を伴わなくても、周囲からの十分な血液供給がなされにくい。筋肉量の少ないトイ種ではこれが特に顕著であり、容易に癒合不全を来しやすいと考えられる。

もう一つの主要な要因としては固定の不良が挙げられる。当院に来院した橈骨癒合不全例をみると、全例がギプス単独あるいは髄内ピンにより固定されていた。Lappin³⁾らは犬の橈尺骨骨折における固定法による成績の違いを検討した成績を報告しているが⁵⁾、その中でトイ種成犬についての結果をみると、プレートによる内固定では癒合不全が全く認められていないのに対し、ギプスなどによる外固定あるいは髄内ピンによる内固定では高率に認められている。小型犬種の橈骨は非常に細いうえに、遠位で骨折することが多く遠位側の骨が短いため、ギプスなどによる固定あるいは、キルシュナー鋼線を用いた髄内ピンによる固定がなされることが少なくないと思われる。しかし一般に丸形の髄内ピンによる内固定は、図3に示すように回転に対する安定性に欠け、このため骨折治癒の足場となる結合線維芽網あるいは毛細血管芽が遷断され、癒合不全の原因となりやすいことが知られている。同時に髄内ピンによる内固定を行うと、場合によっては髄腔からの血流を障害する可能性も指摘されている⁵⁾。前述のようにトイ犬種の場合には筋肉量が少ないため、髄内ピンによる固定では回転に対する安定性が特に得にくく、これに髄腔からの血液供給減少が加わることで癒合不全を生じやすいものと考えられる。

診 断

一般に癒合不全と判断するのは表3に示す項目を認める場合、すなわち骨折した後長期間の治療経過があり、骨折部に疼痛、機能障害、異常動揺

図3 髄内ピンによる内固定
一回転に対する安定性を欠く

表3 癒合不全の診断

- ・骨折後長期間の治療経過がある
- ・骨折部の疼痛
- ・機能障害
- ・異常動揺性
- ・骨折間隙の存続
- ・架橋仮骨の形成不全
- ・骨折端の骨髓腔閉鎖を伴う骨硬化
- ・骨折端の骨萎縮

性が証明され、X線学的に骨折間隙の存続、架橋仮骨の形成不全、骨折端の骨髓腔閉鎖を伴う骨硬化、あるいは骨萎縮を認める場合に行う。しかし実際には、動物の年齢、骨折の状態、固定方法により、正常な治癒期間が異なるため、どの時点で癒合不全と判断するか明確な基準はない。しかし特に前述のような臨床症状が、継続あるいは増強してくる場合には癒合不全を強く疑うべきである。

癒合不全と診断した場合には、さらに得られたX線像からどのようなタイプの癒合不全であるか

図4 癒合不全のX線学的分類 (Weber⁹⁾ 一部改変)

を正確に見極める必要があり、これはその後の治療法を選択する上での重要な判断基準となる。図4はWeberらによる癒合不全のX線学的分類⁹⁾であり、局所の血液供給が良好で主として過剰な仮骨が認められ、十分な生物学的反応の見られるタイプと、血液供給が乏しく仮骨の出現が少ない、骨の萎縮が認められるなど生物学的反応が非常に弱い、あるいは全く認められないタイプに分類できることが示されている。この中で小型犬種の橈骨遠位の癒合不全においては、図5に示すように、仮骨がわずかにあるいは全く認められず、骨折断端の萎縮の強い生物学的反応に乏しいタイプが多い。

治療

大部分の症例がすでに1回～数回の手術を受けており、骨萎縮や周囲軟部組織の損傷が強い場合が少なくない。また前述のように元来橈骨遠位部分の周囲は軟部組織が乏しいことから、治療に当たっては軟部組織にさらに大きな損傷を与えたり、血流を阻害したりすることのないよう細心の注意を払う必要がある。具体的な治療法としては、まず第1に骨折端の正確な整復と強固な固定を行う。我々は通常AO/ASIFのヒト頬骨用あるいは

図5 橈骨遠位の癒合不全—生物学的反応に乏しい

はミニダイナミック圧迫プレートを用いた内固定を実施している。このプレートは長さ22mm(4穴)～42mm(8穴)、幅5mm、厚さ0.8～1.0mmと非常に小さいためトイ種の橈骨でも十分適用可能である。さらにスクリューを締め込むと、斜めに切ったプレートホールを滑ることにより骨折端同士の圧迫が得られるダイナミック圧迫プレートであるため、専用のドリルガイド以外に特殊な器具を必要とせず、非常に強固な固定が容易に得られるという特徴を有している。

このように強固な固定が得られれば、図6に示すように出現する仮骨量は少なく、周囲組織が骨折の治癒機転上で果たす役割は減少するため、周囲軟部組織が少なく、また軟部組織の損傷が強くても影響を受けにくく、良好な成績が期待できる。ただし、トイ種を中心とした橈骨遠位の癒合不全例では、強固な固定を行うだけでは不十分であり、さらに骨折断端切除による髓腔の開放、骨移

図 6 ダイナミック圧迫プレートによる内固定
—仮骨の出現が少ない

植あるいは電気刺激などの積極的な治療をあわせて行う必要がある。

すなわちこれらの癒合不全例では、前述のように大部分の例が血液供給が少なく仮骨の出現の少ないタイプであり、骨折端は萎縮し、髓腔が閉鎖していることが多く、そのままでは断端間の十分な接合ならびに癒合が期待できない。そのため正常と思われる部位まで骨切除を行うことにより髓腔を開き、断端面を整形する。骨切除により図7に示すように左右の肢長が異なるが、ある程度までの短縮であれば、術後一定期間経過すると外観上では歩行時にも気が付かない程度にまで補正される。

同時に骨形成の刺激および新生骨形成の足場を与えることを期待して骨折端に骨移植を実施する。一般に移植骨としては図8に示すように前腕骨、脛骨あるいは腸骨稜などから採取した自家海綿骨が用いられる。トイ種では十分量の海綿骨採

図 7 骨切除による左右肢長の違い

図 8 自家海綿骨の採取部位

取が困難なことが少なくないが、腸骨稜からは比

較的大量の採取が可能である。

さらに我々はこれらの治療法に外部から微弱な電気刺激を加えることにより仮骨形成や骨癒合の促進を促す電気刺激療法を併用している^{6,7)}。この治療法は、骨に力を加え変形させると、圧電気現象により電気が発生することの発見に端を発し、骨における治癒機転や代謝反応が、内因性ホルモンあるいは骨の局所因子とともに、微弱な内因性の電氣的信号によって制御されていること、逆に外部から適切な電気信号、すなわち微弱な直流などを骨に流すことにより、骨の形成が促されること（図9）をもとに開発された方法である。現在用いられている電気刺激法にはさまざまな方式があるが、その中で我々は生体に非侵襲的な刺激方法である変動電磁場照射による刺激法を用いている。

実際の応用にあたっては、内固定術後に装着したトーマスプリントに図10に示すように、2つのヘルムホルツコイルを骨折端が中央にくるように相対させて固定し、このコイル間に変動磁場を発生させることによって内部に微小電流を誘導させる。照射は1日12～24時間ケージ内で行い、定期的にX線検査を行い、照射時間および期間を決定している。

症 例

以下前述の方法で実際に治療を行った症例について紹介する。症例1はポメラニアン種の雌、5歳齢、体重3.3kgで、左橈骨および尺骨骨折により1.5か月間ギブスによる外固定を受けたが、癒合が見られないため、本学附属家畜病院に来院した。初診時、患畜は患肢にほとんど負重せず、患肢全体の筋萎縮と、手根関節上部の異常可動性が認められたが、疼痛は顕著ではなかった。さらにX線所見で橈骨および尺骨の遠位約1/5の部位に骨折が認められるものの、骨折部位では骨性仮骨の形成が認められず、骨折端における骨萎縮が著明に認められた（図11-1）。以上の臨床所見およびX線所見から、本症例を生物学的活性のない、萎縮型の癒合不全と判断し、ダイナミック圧迫プレートによる強固な内固定と、骨移植ならびに変

図9 骨軸に平行に通電した場合の電氣的仮骨（保田¹⁰⁾）

図10 変動電磁場の照射方法

動電磁場による電気刺激療法を実施した。

経過は順調で、手術3週間後（図11-2）にはすでに骨折端間のX線透過性の低下がわずかに認められるようになり、手術4週間後、手術6週間後（図11-3）とその傾向はさらに顕著となった。さらに8週間後（図11-4）には臨床的癒合に達したと判断し、照射を終了した。その後の経過も順調で、骨折部位の異常は認められず、また変動電磁場照射によると考えられる合併症も全く認められ

図 11 症例 1: 初診時 (11-1), 手術 3 週間後 (11-2), 手術 6 週間後 (11-3), 手術 8 週間後 (11-4) の X 線所見

図 12 症例 2：初診時（12-1，2），手術3週間後（12-3），手術9週間後（12-4）のX線所見

なかった。

症例 2 は、トイプードルの避妊雌 4 歳齢、体重 3.0 kg で、右橈骨および尺骨骨折のため、髓内ピンあるいはギプスによる固定を 3 回受けたものの、癒合が得られず、骨折から 4 か月後に当院に来院した。初診時の状態、および X 線所見 (図 12-1, 12-2) などは症例 1 とほぼ同様であった。本例も生物学的活性のない、萎縮型の癒合不全と判断し、ダイナミック圧迫プレートによる強固な内固定と、骨移植ならびに変動電磁場による電気刺激療法を実施した。

本例も経過は順調で手術 3 週間後 (図 12-3) にはすでに、骨折端間の X 線透過性が低下し始めた。その後手術 9 週間後 (図 12-4) には臨床的癒合に達したと判断し、変動電磁場照射を終了した。

ま と め

以上のように小型犬種を中心とした橈骨遠位の癒合不全の発生頻度はかなり高く、治療に難渋する例が少なくないと思われる。これらの例の診断にあたっては X 線学的所見とともに、臨床症状の継続あるいは増悪が重要な基準となり、同時にその後の治療方針の決定のために正確なタイプ分けが必要である。治療法としては十分な整復と強固な内固定に加え、骨折断端の活性化、骨移植さらに電気刺激などの積極的な方法を用いることにより良好な成績が得られている。特にダイナミック圧迫プレートによる強固な内固定と変動電磁場による電気刺激の組み合わせは、トイ種など小型犬種での応用が容易であり、非常に有効な方法であると考えられる。しかしこのような方法を用いても十分な治療効果を得るためには長期間にわたる加療が必要であり、動物はもとより飼い主の負担も大きいため、やはり癒合不全を来さないように心掛けること、すなわち初回の治療、手術を行う際に周囲軟部組織をできる限り傷つけない、十分な整復固定を行うことなどが重要であることは言うまでもない。

本稿は 1990 年 6 月 9, 10 日に町田で行われた第 41 回獣医麻酔外科学会におけるワークショップでの講演内容に、若干の手を加えたものである。

文 献

- 1) Aron, D.N. (1985) : Delayed union and nonunion. *In* : Textbook of Small Animal Orthopaedics (Newton, C.D. and Nunmaker, D.M. eds.), pp. 895-901. J.B. Lippincott, Philadelphia.
- 2) Atilola, M.A.O. and Sumner-Smith, G. (1984) : Nonunion fractures in dogs. *J. Vet. Orthop.* 3 : 21-24.
- 3) Brooker, M. (1971) : The blood supply of bone. Butterworths, London.
- 4) DeAngelis, M.P., Olds, R.B., Stoll, S.G. (1973) : Repair of fractures of the radius and ulna in small dogs. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 9 : 435-441.
- 5) Lappin, M.R., Aron, D.N., Herron, H.L., and Malnati, G. (1983) : Fractures of the radius and ulna in the dog. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 19 : 643-650.
- 6) 林 永昌, 西村亮平, 竹内 啓, 伊達宗宏, 金沢不二磨 (1988) : 新鮮骨折に対する変動電磁場の治癒促進効果に関する検討Ⅱ—骨性癒合に対する効果. 生体電気刺激研究会誌, 2 : 93-94.
- 7) 西村亮平, 佐藤右典, 林 永昌, 竹内 啓, 伊達宗宏, 鍵和田和男, 金沢不二磨 (1988) : 犬に対する変動電磁場の基礎的研究および偽関節例に対する臨床応用. 生体電気刺激研究会誌, 1 : 53-54.
- 8) Vaughan, L.C. (1964) : A clinical study of non-union fractures in the dog. *J. Small Anim. Pract.* 5 : 173-177.
- 9) Weber, B.G. and Cech, O. (1976) : Pseudoarthrosis. *Hans Huber Med. Pub., Berne.*
- 10) 保田岩夫, 長山 寿, 加藤常行, 原 治, 岡田 皖, 野口和彦, 佐多徹郎 (1953) : 骨折治療に関する基礎的諸問題. 京都医会誌, 4 : 395-406.