

患肢温存術

Limb-sparing surgery

Julius M. Liptak

Alta Vista Animal Hospital

翻訳

新木美絵, 望月 学

Mie SHINKI, Manabu MOCHIZUKI / 東京大学大学院農学生命科学研究科獣医学専攻高度医療科学研究室 (東京都文京区弥生 1-1-1 〒113-8657)

❖ 適用できる腫瘍と症例の選択

患肢温存術が適用される症例は、断脚に適さない犬（例えば神経疾患や重篤な整形外科疾患をもつ）や、飼い主が断脚を拒否した場合（こちらのほうが多い）である^{4, 23, 37)}。

臨床学的ステージ分類には以下の検査が必要である。すなわち触診、所属リンパ節の細針吸引生検（FNA）、画質のよい3方向胸部X線検査または呼吸を止めた状態でのヘリカルCT撮像による肺転移の評価^{5, 32, 40, 42)}、全身の骨シンチグラフィまたはX線撮影による骨転移の評価^{5, 8, 12, 19)}である。四肢の原発性骨腫瘍の犬は患肢温存術の適用となり得るが、運動機能を良好に保つことができるのは全手根関節固定術のみであるため、橈骨遠位の腫瘍のみが患肢温存術に適しているのが実情である^{4, 22)}。肩関節、足根関節、膝関節の関節固定術は術後の運動機能の回復が乏しいため、手根関節以外での患肢温存術はほとんど行われない^{11, 16, 22)}。しかしながら、膝・股関節全置換術が腫瘍外科や関節温存手術でも実施可能となってきたため、今後は脛骨近位、大腿骨遠位および大腿骨近位に関しても患肢温存術がより一般的になるかもしれない¹⁴⁾。

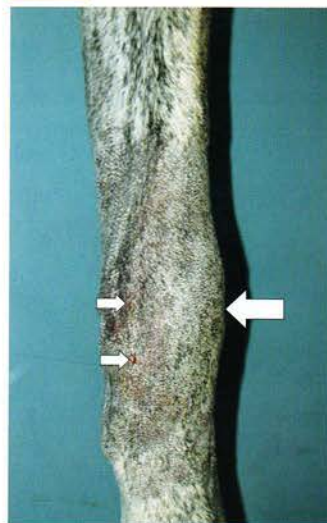
最後に、患肢温存術の適用症例として、腫瘍が固く、軟部組織への浸潤が少なく、境界が明瞭であり、病的な骨折がなく、腫瘍サイズが骨の長さの50%以下、という条件が望ましい^{4, 5, 23, 37)}（図1）。加えて、膿皮症を発症しておらず、循環器、泌尿器、骨髄の機能に異常があってはならない。隣接軟部組織に境界不明瞭な浮腫を起こしている場合、とくに患肢の360度全周に及んでいる犬は不適用である（図2）。病的骨折がある場合は、とくに骨片の変位が最小限であっても、腫瘍細胞が周囲に飛散している可能性があり、局所再発の恐れがあるため、患肢温存術は禁忌とされている^{4, 5, 23)}。しかしながら、この説は証明されていない。局所の化学療法や放射線療法の追加によって腫瘍の局所再発のリスクを最小限に抑えられるか、検証が必要である。

❖ 術前のマージン評価

四肢の原発性骨腫瘍は通常、腫瘍の偽被膜に包まれており、周辺の皮膚から腫瘍が完全切除できればマージンは確保できる。筋腹や腱などのほかの軟部組織は、可能であれば2～3cmのマージンを取り、切除する^{4, 5, 23)}。骨は最低限3cmのマージンを取るべきである^{4, 5, 23)}。腫瘍の骨への浸潤具合は事前のX線画像や骨シンチグラフィ、CT画像、MRI画像で評価できる。

犬の橈骨遠位の骨肉腫をX線検査したときの、近位への波及の評価については報告によって意見の相違があり、過大評

図1



患肢温存術に適していると考えられたグレート・デーンの症例。触診では患部に硬結感があり、周囲軟部組織への浸潤は少なく、境界は明瞭であった。2つの小矢印は患肢内側部分のコア生検の跡である。外側の大矢印は橈骨遠位骨幹端で軽度拡張した患部を示す。

図2



患肢温存術に適さない症例の橈骨遠位部の外側 (A) と尾側 (B)。軟部組織浸潤が360度全周に渡り、浮腫を起こしている。

図3

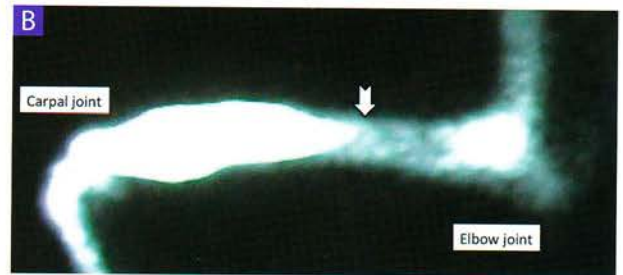


患肢温存術に適している症例の橈骨遠位のX線画像、前後像。患部は比較的小さく、境界明瞭、関節内への浸潤がなく、病的骨折の所見がみられない。近位骨髓内への浸潤が骨の長さの50%以下である。

図4



患肢温存術に適した犬の骨シンチグラフィ。骨幹端にかけて患部がコンパクトにまとまっている。



患肢温存術に適していない犬の橈骨遠位部の骨シンチグラフィ。骨シンチグラフィは腫瘍の浸潤を過大評価するが、近位1/3近くまでテクネチウムの集積が広く認められる。通常の方法では、マージンを確保しながら腫瘍を切除し、橈骨を温存、再建することは難しいと思われる。仮に患肢温存術を行うとした場合の骨切り位置を矢印で示す。

価もしくは過小評価の双方があり得る^{14, 17, 21, 33)} (図3)。骨シンチグラフィでは腫瘍病変部位を最大で14%過大評価する可能性がある^{21, 39)} (図4)。また、CT画像でも腫瘍の骨髓内への波及を最大27%過大評価する^{3, 39)}。MRI画像のT1強調画像は骨髓内の波及を判断するために有用であり、過大評価も最大3%に留まっている。また、造影増強画像で軟部組織への浸潤も評価することができる³⁹⁾ (図5)。近位への腫瘍浸潤を過大評価することで、不完全切除のリスクを減らしているかもしれないが、逆に腫瘍が骨長の50%を超えていると誤診することで、患肢温存術適用症例を除外してしまう可能性もある²¹⁾。

図5



橈骨の骨肉腫の犬のMRIT1強調画像、矢状断像 (白矢頭は遠位骨幹端)。短矢印は橈骨骨髓内の病的な部分 (矢印の左側) と正常な部分 (矢印の右側) の移行部分である。長矢印は正常な骨髓内脂肪を表しており、T1強調画像で白く描出される。切れ込みのある矢印は尺骨である。

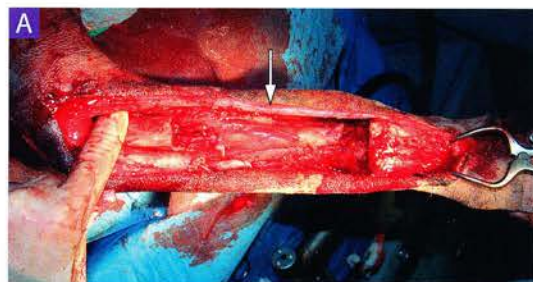
❖ 手術手技

1. 腫瘍切除

BOX 1 腫瘍切除術

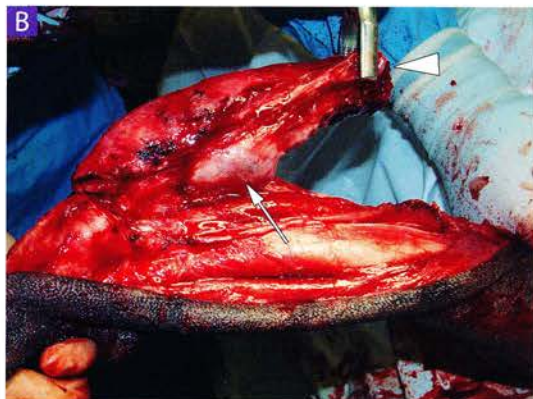
1 術前準備として肢全体の剃毛を行う。手術全体を通して厳格な無菌状態が要求される。皮膚切開の30分前には抗菌薬（セファゾリン22 mg/kg）を静脈内投与し、術中は1.5～2時間おきに投与する。術後24時間は6～8時間おきに投与する^{4,5)}。ストックネット、接着性のヨード剤含有ドレッシング、またはその2つを併用して患肢を覆い隠し、術者と皮膚の接触を最小限にする。執刀医や看護師がチームとなり、効果的な無菌状態をつくり出すことが重要である。

2 犬は横臥位か仰臥位に保定する。肘関節から中手指節関節レベルまで頭側、頭外側もしくは頭内側アプローチにより切開し、第3中手骨の上まで切開を進める^{4,5)}。橈側皮静脈は慎重に温存する⁵⁾ (図A)。もし事前に切開生検を行っていたら、生検部位は骨片と一緒に一括切除する^{4,5, 23)}。頭外側アプローチの場合、橈側手根伸筋と総指伸筋の間の前腕筋膜を切開し、両筋をゲルピー開創器で牽引し、橈骨骨幹と回外筋、回内筋を露出させる。患肢温存用のプレートの設置は通常橈骨近位にまで及ぶため、骨膜剥離子でこれらの筋肉を橈骨近位部から挙上させておく⁴⁾。



血液還流を維持し、術後の合併症を減らすために、橈側皮静脈 (矢印) を温存する。

3 遠位橈骨と尺骨から皮膚を剥離し、遠位に術創を広げていく。腫瘍周囲の剥離は慎重を要し、腫瘍の偽被膜の外側で鋭性または鈍性に剥離し、腫瘍の側に正常な薄い一層の皮下組織を残すように試みる^{4, 23)} (図B)。腫瘍の偽被膜は、異常な色をしており、伸展された筋膜の腫瘍血管から延びた血管増生によって鑑別可能である。長第一指外転筋の起始部と、関連する伸筋 (橈側手根伸筋、総指伸筋、外側指伸筋、+/- 尺側手根伸筋) は骨の切断予定位置で離断する^{4,5)}。必要であれば、4つの伸筋すべてを離断したとしても、患肢の機能は障害されない。しかし、インプラントに接触する軟部組織を残すために、少なくとも尺側手根伸筋は温存するほうが好ましい。



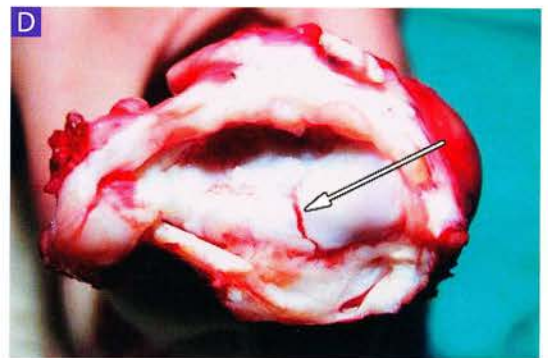
腫瘍の偽被膜 (矢印) に沿ってマージナルな (境界ぎりぎりの) 切除を行っている。術前の画像診断に基づき、橈骨は腫瘍の近位先端より最低3cmのマーゼンをとって骨切りした (矢頭)。可能ならば軟部組織 (とくに生検部位) は広く切除することが望ましいが、つねに可能とは限らない。

BOX 1 腫瘍切除術 (つづき)

- 4 次に前腕手根関節を屈曲させた状態で、関節横切開を行う (図C)。関節包のマージンを遠位側に最大限確保するために、橈骨遠位よりも橈側手根骨に近い部位で関節包を切開するとよい^{4,5)}。関節横切開後、橈骨遠位の関節表面を調べ、病的骨折がないか確認する (図D)。もし病的骨折が疑われる場合、腫瘍の局所再発リスクが高まるため、断脚術への術式変更を考慮すべきである。あるいは、より広い遠位のマージンを得るために橈側手根骨、尺側手根骨、一部の副手根骨を取り除く。病的骨折が確認されなければ、関節切開を尺骨まで外側に広げ、続いて内側に広げて短橈側副靭帯を分離する (図C)。これは橈側手根伸筋腱を遠位終止部で離断するためである。鋭利な骨ノミとマレットを使い、尺骨内側の一部を遠位から近位へ斜めに切断する (尺骨遠位の外側2/3は温存し、内側1/3は橈骨とともに切除することで局所再発のリスクを軽減させる)^{4,5)}。橈骨と一緒に尺骨を一括で切除する場合には、関節包切開を外側に広げ短尺側副靭帯を切断する。

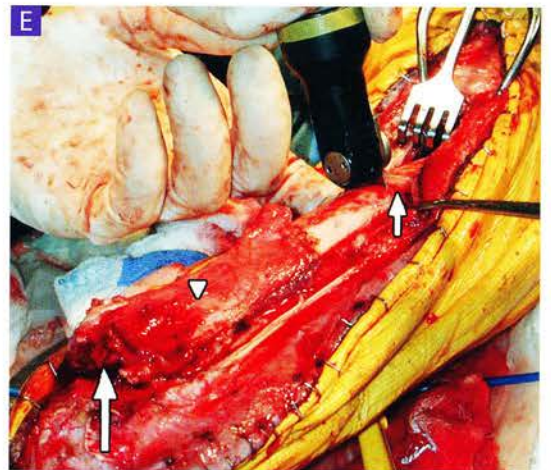


前腕手根関節の屈曲位での関節横切開 (写真はミズーリ大学患肢温存コース Dr. Jimi Cookのご厚意による)。



橈骨遠位部の関節表面の病的骨折 (矢印)。このような病巣がないか確認し、もし存在したら、腫瘍細胞の播種による局所再発のリスクが高いため、断脚術への術式変更を考慮する (写真はDr. Charles Kuntzのご厚意による)。

- 5 橈骨骨切り予定のおよその位置まで、橈骨尾側の内側筋膜を切開する。橈骨遠位の尾側にある組織を指で触診し、屈筋に接する腫瘍の偽被膜を確認する。術前に決めておいた前腕手根関節からのマージンを測定するか、もしくはインプラント (例: 体内プロテアーゼ) を橈骨遠位に合わせて、橈骨中央の骨切り位置を決定し、橈骨に電気メスで印をつける。サジタルソーを用いて橈骨骨幹の予定位置で骨切りを行う (もしも尺骨をベースにした患肢温存術を行う場合は後骨間動脈を損傷しないようにする) (図E)。インプラントと症例の骨をぴったり接合させるために、骨切りの切断面は確実に水平断になるよう注意する。



橈骨遠位の骨肉腫の腫瘍部分 (矢頭) のマージナルな切除。腫瘍偽被膜に傷をつけないよう最大限の注意を払う。腫瘍の近位部は橈骨の骨幹中央部でサジタルソーを使用して切断する (短矢印)。骨切りの方向が頭尾方向にも内外側方向にも垂直であることが重要である。長矢印は骨端の関節離断部位。

6 腫瘍に隣接していない屈筋を保存しながら、骨の内側に沿って手根関節まで筋膜剥離を進める。大血管は結紮またはヘモクリップで止血しながら、尾側関節包を切開し、関節離断術を完了する^{4,5)}。橈骨と一緒に尺骨遠位部を一括で切除した場合、尺骨骨切り術は橈骨の骨切り部位と同位置で行う。あるいは、橈骨骨切り位置の2~3cm遠位で階段状に行ってもよい。

7 閉創の前に切除した骨と腫瘍をX線撮影し、サージカルマージンを評価する^{4,5)}(図F)。キュレットかフォルクマン鋭匙を用い、残った橈骨近位の切断面から骨髄を採取し、病理組織学的にマージン評価を行う^{4,5)}。



切除した橈骨遠位部骨肉腫の検体のX線画像、前後像。矢頭は近位の骨切り位置、短矢印は腫瘍の近位境界と推定される位置、切れ込み矢印は橈骨遠位の関節表面。術前X線撮影よりも、術中のX線撮影のほうがより詳細にマージン評価が可能である。十分なマージンが確保できていることがわかれば閉創に移る。

8 橈骨遠位部にインプラント(同種皮質骨移植や体内プロテーゼ)がぴったりと接合するように、サジタルソーを使用して橈骨近位と尺側手根骨の骨切り面を平坦に整える(図G)。正しい関節固定術では、すべての手根骨の関節軟骨をデブリードマンし、関節間隙に海綿骨を充填すべきとされているが、現在ではこれは不必要だと考えられている。完全な骨癒合がなくても、ほとんどの四肢骨肉腫の犬では、安定した四肢の機能を死ぬまで保つことができるからである。



橈側手根骨(短矢印)と尺側手根骨(切れ込み矢印)は、関節軟骨を除去するためにオシレーティングソーかサジタルソーで切断し、同種骨片や体内プロテーゼと接合できる平坦な面を作製する。

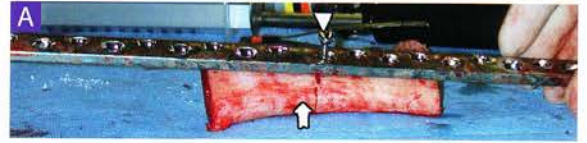
2. 同種皮質骨移植

犬の患肢温存術において、橈骨遠位部再建に大きな同種皮

質骨片を使用する方法は、歴史的に最も多く行われた術式であり、現在でも一部の外科医に支持されている^{4,5,13,18,30)}。

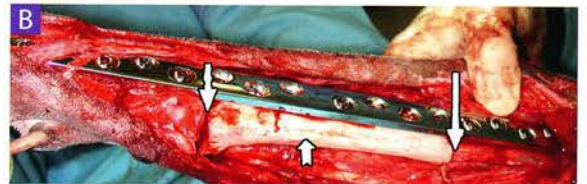
BOX 2 同種皮質骨移植

1 ドナー皮質骨の遠位端を水平に骨切りし、関節軟骨を除去して、橈側手根骨とぴったり接合させる^{4,5)}。次に、症例の橈骨欠損部と同じ長さになるよう、移植骨片の近位を骨切りする。骨セメント（ポリメチルメタクリレート：PMMA）を髓腔内に充填するために、髓腔をキュレットで搔爬して骨髄を除去する。患肢温存プレートを移植骨片に1、2本の皮質骨スクリューで一時的に固定する（1本は遠位に、1本は近位または中央部に）。この際、橈側手根骨の3.5/4.5 mmプレート穴が移植骨片のすぐ近くに位置するように調整する（図A）。



移植直前の同種骨（切れ込み矢印）の内側観。1本のスクリュー（矢頭）でプレートと同種骨を固定する。

2 スクリューを抜去し、移植骨片の骨髄腔にアミカシン（1000 mg）を添加したPMMAを充填する^{4,5)}。PMMAを加えることによって、移植骨片の強度が有意に増加し、スクリューのルースニングを減らすことができる¹⁵⁾。PMMAが固まりはじめたら、皮質骨スクリューを再挿入し、移植骨片に患肢温存プレートを固定する。プレートが固定された移植骨片を患肢の骨欠損部位に設置し、プレートを皮質骨スクリューで固定する。移植骨片の両側、すなわち近位橈骨、橈側手根骨、第3中手骨にスクリューを挿入し、移植骨片が移植部位に強固に固定されるように配慮する^{4,5)}（図B）。中手骨骨折を予防するためには、中手骨の長さの最低80%がプレートで覆われるべきである。



抗菌薬添加骨セメントを充填した同種骨（切れ込み矢印）を橈骨欠損部に圧迫固定する（4.5 mm幅のダイナミックコンプレッションプレートを使用して各断端で2 mmの圧迫を行う）。短矢印は橈側手根骨と同種骨片遠位端を、長矢印は橈骨近位部と同種骨片近位端を示す。

3. 体内プロテーゼ

体内プロテーゼ（Veterinary Orthopedic Implant社製）は同種皮質骨移植の代替としてDr. Charles Kuntzによって開発された。体内プロテーゼの利点は同種皮質骨移植の供給上の問題（移植骨の採取やボーンバンクの維持）を回避できること、すぐに使用できるので手術時間を短縮できることである^{23, 24, 27)}。橈骨用体内プロテーゼは当初、長さ122 mmと145 mmの一体型として製造された（図6-A）。その後、The Veterinary Society of Surgical Oncology Endoprosthesis Working Groupが改良を加え、さらに短いもの（98 mm）や、患肢温存用ロッキングプレートと互換性をもたせたもの、体内プロテーゼの先端をハイドロキシアパタイトでコーティングして症例の骨との癒合促進をめざしたものなどが開発され

た（図6-B）。

死体を使用した負荷試験では、同種皮質骨より体内プロテーゼのほうが生体力学的に優れていることが示された²⁷⁾。この報告では、生体のシミュレーションとして体重の30～100%の負荷を繰り返しかけたが、10万回まで試験した4本の肢すべてにおいて破綻はみられなかった。結果的には最終的に破綻した。体内プロテーゼは、同種皮質骨で再建した肢と比べて、降伏荷重、降伏時のエネルギー、最大荷重において有意に高値であった²⁷⁾。この報告では尺骨切除による影響も検討されている。尺骨を温存することで降伏荷重と最大荷重を増大させることができ、同種皮質骨で再建した場合はそれぞれ41%と29%、体内プロテーゼを使用した場合は12%と13%の増加であった²⁷⁾。しかしながら、これらの差には統計



122 mmの第一世代橈骨用体内プロテーゼと複合型患肢温存プレート。



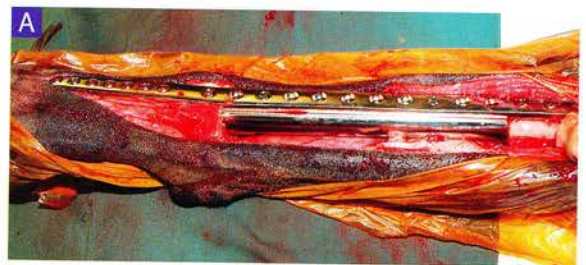
98 mmの第二世代橈骨用体内プロテーゼ。体内プロテーゼが短くなり窪みがあった。断端がハイドロキシアパタイトでコーティングされ、骨組織が入り込みやすく生物学的固定を可能とした第三世代の体内プロテーゼがすでに販売されている。また第三世代プロテーゼは患肢温存ロックプレートが併用でき、生体力学的な固定力がさらに改善している。これらの改善点は橈骨近位部のインプラント破綻を解決するために考案された。

学的有意性はみられず、剛性、降伏荷重とエネルギー、最大荷重とエネルギーにおいて、いずれの再建方法でも、尺骨温存と尺骨切除の間に有意差は認められなかった²⁷⁾。この結果の臨床的意義は重要である^{34, 36)}。橈骨の代わりに尺骨を使用する方法（例えば尺骨転移術^{34, 36)}）を用いずに、犬で患肢温存術を行う場合、腫瘍をもつ橈骨と尺骨を一括切除することで手術を簡略化できる。これは、尺骨茎状突起から腫瘍の偽被膜を破壊せずに遠位橈骨を分離することは困難だからである。また、この一括切除で局所再発率を20~28%、報告によっ

ては最高で60%減らすことができる^{18, 24, 30, 41)}。尺骨への腫瘍浸潤の診断が難しい場合もままたり、そういった場合にはMRI検査のような高額な画像診断が必要となる。つまりこの研究の結果からは、尺骨への浸潤が疑わしい症例であれば、それにはあまりこだわらず高度な画像診断もせずに、尺骨を一括切除することも正当化され得る。この死体による急性の負荷試験結果は尺骨温存の重要性についていくらかの情報を提供しているが、これらの結果を検証するためにさらなる検討が必要である。

BOX 3 体内プロテーゼ

1 体内プロテーゼの挿入に際して、患肢温存プレートを手根関節の高さで10度曲げて使用する外科医もいれば、曲げずに使用する外科医もいる²⁴⁾ (図A)。次に患肢温存プレートと体内プロテーゼを特殊なスクリューで固定し、金属部分と症例の骨との接触が最大になるよう気をつけながら体内プロテーゼ/プレートを欠損部に入れる。インプラントと症例の骨（遠位では橈側手根骨、近位では橈骨）の間に間隙があると、ひずみとインプラント破綻のリスクを有意に増加させる（未発表事項）ため、間隙がないか、あっても最小限にすることが重要である。



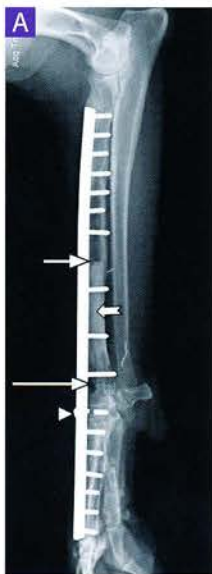
前腕遠位の骨肉腫による欠損部位を第一世代の体内プロテーゼで再建した術中写真。橈側手根骨と体内プロテーゼの接合位置で10度のベンディングを行っている。体内プロテーゼと症例の骨との間に間隙はないことに留意。間隙を最小にすることでひずみとインプラント破綻の危険性を減らすことができる。さらに中手骨の骨折リスクを減らすために、患肢温存プレートの遠位部は中手骨の80%以上を覆うようにする。



BOX 3 体内プロテーゼ (つづき)

- 2 接触状態と回転軸方向の配置に問題がなければ、プレートで症例の骨に固定する。遠位では、プレートは第3中手骨に固定されることが多いが、患肢のアライメントをよりよくするためには第4中手骨に固定することも可能である。ほとんどの大型犬では橈骨近位と橈側手根骨に3.5 mmの皮質骨スクリューを使用し、中手骨には2.7 mmのスクリューを使用する²⁴⁾。超大型犬では、4.5 mmのスクリューを橈骨近位に、3.5 mmのスクリューを中手骨の遠位に使用する。中手骨骨折を防ぐために、少なくとも中手骨の長さの80%はプレートで覆われている必要がある³⁶⁾。

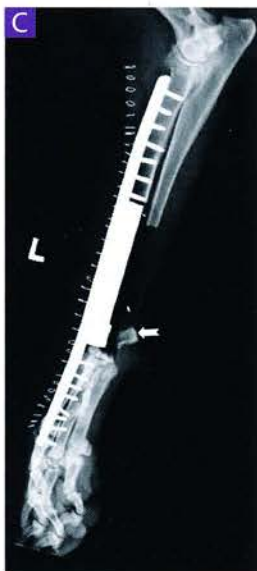
図7



橈骨遠位部の同種骨移植の術後14カ月のX線画像、側面像。橈骨近位部と橈側手根骨部の癒合はX線画像上では明らかである（近位部と遠位部の接合部は短矢印と長矢印でそれぞれ示した）。手根骨部分のスクリューは1本折れている（矢頭）。骨セメントが移植骨の骨髓内に充填されている（切れ込み矢印）。



122 mmの第一世代体内プロテーゼ挿入手術直後のX線画像、側面像。複合型患肢温存プレートは3.5 mmと4.5 mmの皮質骨スクリューを使うことができる（この場合は3.5 mm）。遠位では3.5 mmと2.7 mmの皮質骨スクリューが使用可能である（この場合は6本の2.7 mm スクリューと、抜けてしまった2.7 mm スクリューの代わりに2本の3.5 mm スクリューを使用している）。金属と症例の骨の接合部はそれぞれ近位を短矢印で、遠位を長矢印で示した。尺骨茎状突起の内側遠位部（矢頭）は腫瘍の完全切除を期すために橈骨と一括で切除した。



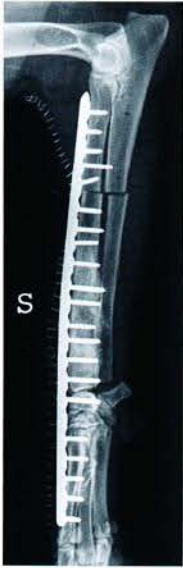
98 mmの第二世代体内プロテーゼと複合型患肢温存ロックプレートX線画像、側面像。橈骨近位には7本の3.5 mmロックングスクリューを、第3手根骨には7本の2.7 mmのスクリューを設置した。尺骨への干渉を予防して、遠位1/3の尺骨は橈骨と一緒に切除した。さらに、橈側手根関節が腫瘍に近いことが懸念されたため、橈側手根骨と尺側手根骨を橈骨と一緒に一括で切除し、広範なマージンを確保した。橈側手根骨を同時に切除するには副手根骨（切れ込み矢印）の部分切除が必要となる。98 mmの短い体内プロテーゼを使用している。5本しかスクリューが打てない122 mmの長い体内プロテーゼに比べて、98 mmプロテーゼは橈骨近位にスクリュー2本を追加できる。

4. 閉創

手術部位は大量の滅菌生理食塩水で洗浄する。外科医の多くは肘の近位から閉鎖吸引ドレーンを術創に挿入している⁵⁾。閉創の際、回内筋、回外筋、伸筋の筋腹をモノフィラメント吸収性糸で縫合する。最後に、皮下組織と皮膚を定法通り閉創するが、橈側皮静脈を温存するよう皮膚断端の並置に最大限留意する。

術後にX線撮影し、インプラントの位置を確認する。この際、橈骨近位部に最低4本のスクリューが尺骨に接触せずに（前腕の回内、回外運動によってスクリューにゆるみが生じる危険性がある）挿入されているか、インプラント本体と症例の骨の接合に問題がないこと、第3中手骨のスクリューのアライメントが良好で中手骨の長さの少なくとも80%をカバーしていることを確認する^{5,24,36)} (図7)。患肢はソフトパ

図8



犬の橈骨遠位部の骨肉腫において低温殺菌法を用いた患肢温存手術の術後X線画像、側面像。遠位半分の橈骨と尺骨を切除し、低温殺菌後に欠損部に戻し、LC (Limited Contact) ダイナミックコンプレッションプレートで固定した。

ド包帯を装着し、術創からの排液がなくなるまで毎日交換する。通常24時間以内に閉鎖吸引ドレインは抜去できる。

❖ そのほかの患肢温存法

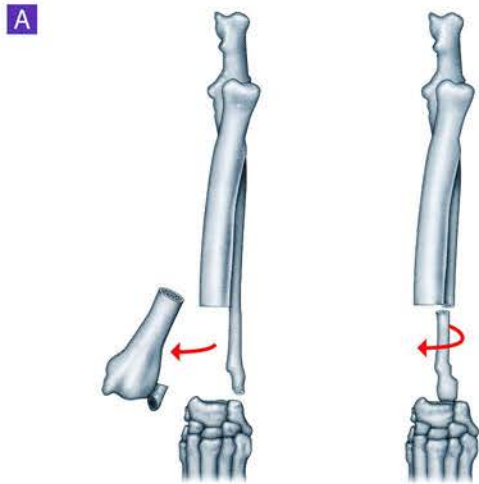
1. 自家橈骨移植

近年、同種皮質骨移植に代わる患肢温存方法がいくつか挙げられている。手術のアプローチは同様で、骨腫瘍部分と隣接する組織を的確なマージンで切除することから始まるが、橈骨欠損部位の再建方法が異なる。自家橈骨をオートクレーブ、放射線、低温殺菌（パスチャライゼーション）してから移植する方法が行われている^{1, 2, 25, 26, 31, 43}。低温殺菌法は、腫瘍部分を含む骨を65度の生理食塩水に40分間浸漬する^{2, 31}（図8）。オートクレーブと低温殺菌は熱によって腫瘍細胞を完全に壊死させる。低い温度では骨形成タンパク質（BMP）のようなタンパク質が破壊されないため、オートクレーブより低温殺菌法のほうに利点がある^{2, 31}。これらのタンパク質を残すことで、移植骨が症例の骨と一体化しやすくなる。

2. 尺骨の自家移植

尺骨の自家移植には、同側の尺骨に血管をつけたまま移植骨として転移して使用する方法と、微小血管吻合により対側の尺骨を使用する遊離グラフトなどがあり、前者は尺骨転移術²⁴とも呼ばれる⁹（図9）。尺骨転移術では、橈骨骨切り位置の1～2mm遠位の部分と、橈骨との環状関節面近位の細くなっている部分の2カ所で尺骨の水平骨切り術を行う。この操作中に、血液供給と尺骨遠位部の軟部組織（後骨間動脈、長第一指外転筋、方形回内筋、深指屈筋尺骨頭）を温存することが重要である³⁶。同種骨移植のときと同様に、自家骨を

図9



尺骨転移術の模式図。尺骨の遠位と近位で骨切りし、尺骨を回転させて橈骨欠損部に移植し、プレートで橈骨近位と第3中手骨に固定する。この方法の成功のカギは、尺骨周囲をカバーする軟部組織（後骨間動脈、長第一指外転筋、方形回内筋、深指屈筋尺骨頭）をいかに温存するかにかかっている（文献36より許可を得て複写）。



尺骨転移術の術後142日目のX線画像、側面像。長いスクリューによって尺骨の透過性が亢進している（長矢印）。橈骨近位と転移した尺骨近位部分で骨癒合が起こり骨密度が上昇している（短矢印）。

プレートで固定する。この方法の利点は、別の部位でドナー骨を採取する必要がないこと、自家骨であること、血管柄付き移植片であるため感染に強く回復も早いことが挙げられる³⁶。欠点としては、尺骨のサイズが小さいため、生体力学的な破綻が起こりやすいことである³⁴。

尺骨転移術の変法にDr. Seguinが記載した肢端部外方転移術がある。この方法では尺骨の骨切りは遠位の1カ所のみで行い、尺骨近位の骨切りは行わない。手根部以遠を外側に移動させ、第3中手骨を尺骨と同一軸上に配置し、SOPプレー

図 10



A 犬の橈骨遠位骨肉腫切除部位の巨大欠損に対する骨片移動型骨形成術の術直後X線画像。



B 5週間目には中間点まで延長。



C 16週目には遠位断端まで骨が新生された。



D 36週目には骨が硬化し、サーキュラー創外固定器を外すことができた。

トで固定する。さらに通常の患肢温存背側プレートを用いて橈骨断端と第2中手骨を固定する。血管構造を傷害せず、通常の尺骨転移術よりもシンプルな術式である。

3. 骨片移動型骨形成術

骨片移動型骨形成術 (bone transport osteogenesis: BTO) は、切断した橈骨遠位を新生骨で徐々に置換していく新しい方法で、仮骨延長法と呼ばれる。仮骨延長法についてはロシアの外科医Gabriel Ilizarovが何年も前に記述したことが最初である。この術式は橈骨と脛骨の遠位に発生した骨肉腫切除後の骨欠損再建法として用いられてきた^{7, 35, 38)}。骨欠損部を小骨片が骨欠損部の端から端まで移動する形の仮骨延長法を縦型BTOと呼ぶ^{7, 35, 38)} (図10)。BTOの最大の利点は自家骨であること、血管豊富であること²⁹⁾、感染に強いこと、固定器具を除去したあとはインプラントなしで過ごせることである⁷⁾。この方法は患肢温存術の第一選択肢で、また、ほかの救済法が失敗した際や、感染が起きている場合にも使用される^{7, 35, 38)}。最大の欠点は、サーキュラー型創外固定器を装着している時間が長いことである。骨を延長する時間は欠損部のサイズによって決まるが、癒合までの平均延長時間は123日 (範囲66~150日) で、固定を外すことができるまで平均205日 (範囲90~350日) であった^{7, 38)}。ダブルBTOと呼ばれる改良法では、2つの骨片を同時にそれぞれ反対方向へ異なる速度で移動させる方法で、単一骨片の方法よりも

早く欠損部を埋めることができる。ダブルBTOは犬の脛骨遠位部の骨肉腫に対して使用されており、92日間で11 cmの欠損部を延長し (有効延長速度1.5 mm/day)、固定器の除去までの日数は162日であった³⁵⁾。延長時間と固定時間の短縮を目指して考案された横型BTOは、尺骨遠位を橈骨欠損部に向けて内側に移動させる方法で、死体と実験犬1頭を用いた報告がある¹³⁾。横型BTOでは、橈骨の切断レベルから茎状突起まで、尺骨を縦方向に切断する。尺骨の半分を、橈骨欠損部を横断するように移動し、最終的には残った橈骨近位断端と橈側手根骨につながることになる。縦型BTOと異なり、延長距離は骨欠損部のサイズとは関係なく、橈骨内側から外側までの幅によって決まる。理論的には、縦型BTOより横型BTOのほうが延長距離はかなり短いため、固定器を外すまでの日数も短くなる¹³⁾。この方法の臨床応用報告はまだない。

4. 術中体外放射線療法

犬の四肢の骨肉腫に対する患肢温存術として、術中体外放射線療法が少数ながら行われている^{1, 10, 25, 26)}。この方法は腫瘍の上部または下部 (腫瘍の解剖学的位置による) で骨切りを行い、関節包と支持靭帯 (例: 側副靭帯) は残しながら、骨腫瘍部分から正常な組織を除去する。神経血管束、筋肉、皮膚は罹患骨から牽引して剥離し、骨腫瘍部分は90度回転させて術創の外側へ牽引する^{1, 25)}。骨腫瘍部分に70Gyの放射



A 同種皮質骨によって患肢温存術を行い、重度の術後感染を起こした犬の症例。感染によって皮膚が消失し、同種皮質骨と患肢温存プレートが露出している。ステントを用いた減張縫合が残存している。



B 体内プロテーゼを使用した患肢温存術後の重度感染により、皮膚の脱落と患肢温存プレートの露出が起きた症例。感染率と重症度は、同種皮質骨移植と体内プロテーゼの間で大きな差はない。



C 抗菌薬含有ポリメチルメタクリレートビーズ (矢印) を用いて改善した症例。この症例は2枚の患肢温存プレートを使用していた。最初の手術から2週間後に橈骨近位のスクリュー部位で骨折したため、2回目のプレート固定を行った。

線単回照射を行う。プレートやインターロッキングネールによる内固定後の骨治癒を阻害しないよう、骨切り部位から1 cmは放射線が当たらないように照射範囲を調節する。この方法の利点は隣接関節の関節固定を必ずしも必要としないことである（橈骨遠位と尺骨以外の骨における患肢温存術では、関節固定は大きな制約因子となり得る）^{1, 25, 26)}。最初の14症例の報告では、術直後の肢の機能は良好であったが、50%の犬で5～9カ月後には断脚を含む再手術が必要となった²⁵⁾。さらに、4頭の犬に局所再発と感染が認められた。大腿骨遠位部と脛骨の腫瘍では骨切り術を行わずに生体内での放射線療法が可能である。橈骨遠位部の術中体外放射線療法では、橈骨の軟骨下骨破壊とそれに伴うインプラント破損が認められた¹⁾。軟骨下骨の破壊を防ぐには、橈骨の軟骨下骨をまたぐ第3中手骨までの経関節プレート固定が推奨される。術中体外放射線療法の実施には、さらなる検討と手技の改良が必要である^{1, 10, 25, 26)}。

❖ 美容と機能的予後

橈骨の患肢温存術による美容的な予後は非常に良好である。多くの飼い主は、前腕手根関節が屈曲できなくなることを除けば、患肢に異常が残ったとは感じていない。合併症がない

限り、ほとんどの犬で肢の機能は良好あるいは優秀と言えよう^{4, 5, 18, 24, 30)}。

❖ 起こり得る合併症

患肢温存術において、感染は最もよく遭遇する合併症である^{6, 9, 15, 18, 20, 24, 30)} (図11-A)。感染の原因は多岐にわたるが、大きな軟部組織切除による血管の傷害と血液低還流、軟部組織の被覆不足、大きなインプラントや血管柄のない骨（同種皮質骨）の埋植、同種皮質骨の免疫抗原性の残存、局所または全身性の化学療法などが考えられている⁶⁾。30～70%の犬で感染が起こり、そのうちの2/3は手術後6カ月以上経ってから発見される^{6, 9, 15, 18, 20, 24, 30)}。金属製の体内プロテーゼや血管柄付き尺骨移植は感染のリスクを減らし、少なくとも感染が起きても同種皮質骨に比べて治りやすくなるだろうと期待された。しかしながら、これら2つの方法と、同種皮質骨移植の間で、感染率や感染の重症度は同等であった^{9, 24)} (図11-B)。単一細菌の感染と多種の細菌の同時感染はほぼ50%ずつの割合で起きており、さまざまな細菌が検出されている⁶⁾。感染の初期治療として、細菌培養結果に基づいた抗菌薬投与、等張生理食塩水での洗浄、wet-to-dryバンデージ法が挙げられる。再発したり、投薬に反応しないようならば、抗菌薬含



体内プロテーゼを使用し、尺骨を温存した患肢温存術後に前腕遠位の局所再発がみられた。腫瘍の局所再発で骨溶解が起き、茎状突起が空洞状に見える(矢印)。



体内プロテーゼを使用し、患肢温存術を行った犬の症例で、腫瘍の局所再発によって橈側手根骨が溶解している(矢印)。この症例は術前に病的骨折を呈していたが、飼い主が断脚を拒み、患肢温存術を希望した。

- Comparison of radiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging for evaluation of appendicular osteosarcoma in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 220: 1171-1176.
4. Dernell, W. S. (2003): Limb-sparing surgery for dogs with bone neoplasia. In: *Textbook of Small Animal Surgery* (Slatter, D. ed.), 3rd ed., pp.2272-2284, Saunders, Philadelphia.
 5. Dernell, W. S., Ehrhart, N. P., Straw, R. C., et al. (2007): Tumors of the skeletal system. In: *Small Animal Clinical Oncology* (Withrow, S. J., Vail, D.M., ed.), 3rd ed., pp.540-582, Saunders, Philadelphia.
 6. Dernell, W. S., Withrow, S. J., Straw, R. C., et al. (1998): Clinical response to antibiotic impregnated polymethyl methacrylate bead implantation of dogs with severe infections after limb sparing and allograft replacement -18 cases (1994-1996). *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 11: 94-99.
 7. Ehrhart, N. (2005): Longitudinal bone transport for treatment of primary bone tumors in dogs: technique description and outcome in 9 dogs. *Vet. Surg.*, 34: 24-34.
 8. Forrest, L. J., Thrall, D. E. (1994): Bone scintigraphy for metastasis detection in canine osteosarcoma. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 35: 124-130.
 9. Hodge, S. C., Degner, D., Walshaw, R., et al. (2011): Vascularized ulnar bone grafts for limb-sparing surgery for the treatment of distal radial osteosarcoma. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 47: 98-111.
 10. Huber, D. J., Withrow, S. J., LaRue, S. M., et al. (2000): Limb-sparing with intraoperative radiation for bone sarcomas. *Vet. Surg.*, 29: 464.
 11. Huber, D. J., Withrow, S. J., Straw, R. C., et al. (1998): Limb-sparing surgery for primary bone tumors of the canine tibia. *Proc. Vet. Cancer Soc. Conf.*, 18: 58.
 12. Jankowski, M. K., Steyn, P. F., Lana, S. E., et al. (2003): Nuclear scanning with 99mTc-HDP for the initial evaluation of osseous metastasis in canine osteosarcoma. *Vet. Comp. Oncol.* 1: 152-158.
 13. Jehn, C. T., Lewis, D. D., Farese, J. P., et al. (2007): Transverse ulnar bone transport osteogenesis: a new technique for limb salvage for the treatment of distal radial osteosarcoma in dogs. *Vet. Surg.*, 36: 324-334.
 14. King, M. A., Casarett, G. W., Weber, D. A., et al. (1980): A study of irradiated bone. III. Scintigraphic and radiographic detection of radiation induced osteosarcomas. *J. Nucl. Med.*, 21: 426-431.
 15. Kirpensteijn, J., Steinheimer, D., Park, R. D., et al. (1998): Comparison of cemented and non-cemented allografts in dogs with osteosarcoma. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 11: 178-184.
 16. Kuntz, C. A., Asselin, T. L., Dernell, W. S., et al. (1998): Limb salvage surgery for osteosarcoma of the proximal humerus: outcome in 17 dogs. *Vet. Surg.*, 27: 417-422.
 17. Lamb, C. R., Berg, J., Bengtson, A. E. (1990): Preoperative measurement of canine primary bone tumors, using radiography and bone scintigraphy. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 196: 1474-1478.
 18. LaRue, S. M., Withrow, S. J., Powers, B. E., et al. (1989): Limb-sparing treatment for osteosarcoma in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 195: 1734-1744.
 19. LaRue, S. M., Withrow, S. J., Wrigley, R. H. (1986): Radiographic bone surveys in the evaluation of primary bone tumors in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 188: 514-516.
 20. Lascelles, B. D., Dernell, W. S., Correa, M. T., et al. (2005): Improved survival associated with postoperative wound

- infection in dogs treated with limb-salvage surgery for osteosarcoma. *Ann. Surg. Oncol.*, 12: 1073-1083.
21. Leibman, N. F., Kuntz, C. A., Steyn, P. F., *et al.* (2001): Accuracy of radiography, nuclear scintigraphy, and histopathology for determining the proximal extent of distal radius osteosarcoma in dogs. *Vet. Surg.*, 30: 240-245.
 22. Lesser, A. S. (2003): Arthrodesis. In: *Textbook of Small Animal Surgery* (Slatter, D. ed.), 3rd ed., pp.2170-2180, Saunders, Philadelphia.
 23. Liptak, J. M., Dernell, W. S., Ehrhart, N., *et al.* (2004): Canine appendicular osteosarcoma: curative-intent treatment. *Comp. Contin. Educ. Pract. Vet. Small Anim.*, 26: 186-197.
 24. Liptak, J. M., Dernell, W. S., Ehrhart, N., *et al.* (2006): Cortical allograft and endoprosthesis for limb-sparing surgery in dogs with distal radial osteosarcoma: a prospective clinical comparison of two different limb-sparing techniques. *Vet. Surg.*, 35: 518-533.
 25. Liptak, J. M., Dernell, W. S., Lascelles, B. D., *et al.* (2004): Intraoperative extracorporeal irradiation for limb sparing in 13 dogs. *Vet. Surg.*, 33: 446-456.
 26. Liptak, J. M., Dernell, W. S., Straw, R. C., *et al.* (2004): Intercalary bone grafts for joint and limb preservation in 17 dogs with high-grade malignant tumors of the diaphysis. *Vet. Surg.*, 33: 457-467.
 27. Liptak, J. M., Ehrhart, N., Santoni, B., *et al.* (2006): Cortical bone graft and endoprosthesis in the distal radius of dogs: a biomechanical comparison of two different limb-sparing techniques. *Vet. Surg.*, 35: 150-160.
 28. Liptak, J. M., Pluhar, G. E., Dernell, W. S., *et al.* (2005): Limb-sparing surgery in a dog with osteosarcoma of the proximal femur. *Vet. Surg.*, 34: 71-77.
 29. Matsuyama, J., Ohnishi, I., Kageyama, T., *et al.* (2005): Osteogenesis and angiogenesis in regenerating bone during transverse distraction: Quantitative evaluation using a canine model. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 433: 243-250.
 30. Morello, E., Buracco, P., Martano, M., *et al.* (2001): Bone allografts and adjuvant cisplatin for the treatment of canine appendicular osteosarcoma in 18 dogs. *J. Small Anim. Pract.*, 42: 61-66.
 31. Morello, E., Vasconi, E., Martano, M., *et al.* (2003): Pasteurized tumoral autograft and adjuvant chemotherapy for the treatment of canine distal radial osteosarcoma: 13 cases. *Vet. Surg.*, 32: 539-544.
 32. Nemanic, S., London, C. A., Wisner, E. R. (2006): Comparison of thoracic radiographs and single breath-hold helical CT for detection of pulmonary nodules in dogs with metastatic neoplasia. *J. Vet. Intern. Med.*, 20: 508-515.
 33. Parchman, M. B., Flanders, J. A., Erb, H. N., *et al.* (1989): Nuclear medical bone imaging and targeted radiotherapy for evaluation of skeletal neoplasms in 23 dogs. *Vet. Surg.*, 18: 454-458.
 34. Pooya, H. A., Seguin, B., Mason, D. R., *et al.* (2004): Biomechanical comparison of cortical radial graft versus ulnar transposition graft limb-sparing techniques for the distal radial site in dogs. *Vet. Surg.*, 33: 301-308.
 35. Rovesti, G. L., Bascucci, M., Schmidt, K., *et al.* (2002): Limb sparing using a double bone-transport technique for treatment of a distal tibial osteosarcoma in a dog. *Vet. Surg.*, 31: 70-77.
 36. Seguin, B., Walsh, P. J., Mason, D. R., *et al.* (2003): Use of an ipsilateral vascularized ulnar transposition autograft for limb-sparing surgery of the distal radius in dogs: an anatomic and clinical study. *Vet. Surg.*, 32: 69-79.
 37. Straw, R. C., Withrow, S. J. (1996): Limb-sparing surgery versus amputation for dogs with bone tumors. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 26: 135-143.
 38. Tommasini, M., Ehrhart, N., Feretti, A., *et al.* (2000): Bone transport osteogenesis for limb salvage following resection of primary bone tumors: experience with six cases (1991-1996). *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 13: 18-22.
 39. Wallack, S. T., Wisner, E. R., Werner, J. A., *et al.* (2002): Accuracy of magnetic resonance imaging for estimating intramedullary osteosarcoma extent in pre-operative planning of canine limb-salvage procedures. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 43: 432-441.
 40. Waters, D. J., Coakley, F. V., Cohen, M. D., *et al.* (1998): The detection of pulmonary metastases by helical CT: a clinicopathologic study in dogs. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 22: 235-240.
 41. Withrow, S. J., Liptak, J. M., Straw, R. C., *et al.* (2004): Biodegradable cisplatin polymer in limb-sparing surgery for canine osteosarcoma. *Ann. Surg. Oncol.*, 11: 705-713.
 42. Wrigley, R. H. (2000): Malignant versus nonmalignant bone disease. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 30: 315-347.
 43. Yamamoto, T., Hitora, T., Marui, T., *et al.* (2002): Reimplantation of autoclaved or irradiated cortical bones invaded by soft tissue sarcomas. *Anticancer Res.*, 22: 3685-3690.