





犬の椎間板ヘルニアに対する Percutaneous Laser Disc Decompression  
(PLDD 法) の基礎的・臨床的研究

麻布大学大学院獣医学研究科

獣医学専攻 獣医臨床科学 獣医診断治療学

DV0601 崔 詠 一

# 要旨

緒言	1 ～ 3 頁
----	---------

第 1 章 ガイド針の穿刺方法の検討	4 ～ 8 頁
--------------------	---------

## 第 1 節 材料および方法

1. 材料
2. 方法

## 第 2 節 結果

1. 第 1 実験 頸椎に対する穿刺方法の検討
2. 第 2 実験 胸腰椎に対する穿刺方法の検討
3. 第 3 実験 腰仙椎に対する穿刺方法の検討

## 第 3 節 小活

第 2 章 レーザー至適照射条件の検討	9 ～ 20 頁
---------------------	----------

## 第 1 節 材料および方法

1. 材料
2. 方法

## 第 2 節 結果

1. 第 1 実験 術中所見とレーザー照射条件に関する検討
2. 第 2 実験 臨床症状の変化とレーザー照射条件に関する検討
3. 第 3 実験 X 線、CT、MRI 検査上における変化と  
レーザー照射条件に関する検討
4. 第 4 実験 病理学的検査とレーザー照射条件に関する検討

## 第 3 節 小活

第 3 章 考案した PLDD 法の臨床例に対する検討	21 ～ 29 頁
-----------------------------	-----------

## 第 1 節 材料および方法

1. 材料および症例
2. 方法

## 第 2 節 結果

1. 第 1 実験 穿刺方法の検討
2. 第 2 実験 犬種間におけるレーザー照射条件の検討
3. 第 3 実験 PLDD 法の治療成績に関する検討

## 第 3 節 小活

第4章 総括および考察 30～33頁

第5章 結論 34～35頁

謝辞 36頁

参考文献

Table.

Figure.



## 要 旨

従来、医学、獣医学領域における椎間板ヘルニアに対する治療法は、内科的な保存療法あるいは造窓減圧術を主体とした外科的治療法が選択されてきた。しかしながら、その病態が複雑多岐にわたることから治療法の実施が困難であり、さらには治療に対する反応が乏しい症例や治療適応外となる症例も少なくない現状にある。近年、医学領域では椎間板ヘルニアに対して低侵襲手術を望む声が多くなり、その中で最も低侵襲とされている経皮的レーザー椎間板減圧術（Percutaneous Laser Disc Decompression, PLDD 法）が注目を集めている。しかし獣医学領域では、Dickey ら（1996 年）、Bartels ら（2003 年）による報告が 2 報あるのみであり、これらの報告もその手技ならびにレーザー照射条件が確立されておらず、施術に当たっては基礎的データが乏しい現状にある。

そこで本研究では、現在、最も低侵襲性の外科的治療法とされている PLDD 法の小動物臨床への応用を目的として、基礎的ならびに臨床的研究を実施した。

## I . 各椎体に対するガイド針の穿刺方法の検討

第 1 章では、安全にガイド針を髄核内に穿刺することを目  
的として、正常ビーグル成犬 6 例を使用し、解剖学的に形態  
の異なる頸椎、胸腰椎、腰仙椎の髄核内への穿刺方法につい  
て検討した。ガイド針は 21 G, 90 mm のスパイナル針を使用  
し、全身麻酔下にて X 線透視装置を用いて行った。

その結果、頸椎においては、犬を仰臥位保定とし、頸部腹  
側から頸部大血管、気管、食道を手指で圧迫した後にガイド  
針を椎体まで刺入し、さらに椎間板腔の中央までガイド針を  
進入させる方法が最適と判断された。その際のガイド針の刺  
入角度は、椎体腹側の正中を基準として、左右  $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$  が  
最適と判断された。胸腰椎においては、犬を横臥位保定とし、  
X 線透視下にてガイド針を棘突起に対し左右  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$   
の角度で穿刺する方法が最適と判断された。腰仙椎において  
は、犬を横臥位保定とし、椎体背側よりガイド針を穿刺し、  
脊柱管を貫通させ椎間板腔まで刺入する方法が最適と判断さ  
れた。

以上の結果から、ガイド針の刺入は、頸椎、胸腰椎、腰仙  
椎の 3 部位に分けて、それぞれ異なる刺入角度から穿刺する  
ことにより可能であることが判明した。



## Ⅱ．レーザーの至適照射条件の検討

第2章では、レーザー照射の至適条件を設定するために、正常ビーグル成犬6例を使用し、ファイバーの先端出力により3W群（3例）と5W群（3例）の2群に分けて実施した。レーザーの照射条件は、照射時間を0.5秒、レーザー休止時間を2秒とし、1例につき7椎間（T11-12～L4-5）へ頭側部から順に40、50、70、100、150、200、300Jで実施した。

評価方法は、術中の肉眼的所見、術後の神経学的検査所見と臨床症状、術後のX線、CT、MRIの各画像検査所見ならびに病理検査所見について検討した。各画像検査は術前、術直後、術後24時間、術後10日目に実施した。

その結果、術中の肉眼的所見としてレーザーファイバーの先端部の炭化が認められたが、レーザー照射熱量との関連性は認められなかった。また、X線ならびにCT検査においては、3W群、5W群の全例において、いずれのレーザー照射熱量においても画像上に変化は認められなかった。また術前と術後における椎間幅にも有意差は認められなかった。MRI検査では、術後24時間から10日目までに3W群の100～300J、5W群の70～300Jにおいて、椎体終板から椎体

骨髄にかけて T2 強調画像で高信号、T1 強調画像で低信号の変化が認められ、照射条件の設定上、不適切と判断された。病理組織学検査では、1 部位を除くほぼ全部位の椎体骨髄に器質化が認められ、一部で線維性骨化が認められた。しかし、この変化に起因する臨床症状の変化は認められなかった。したがって、照射条件の設定上、考慮する必要性はないものと判断された。

術後の臨床症状の変化では、5 W・300 J を照射した 3 例中 1 例において患部（L4-5）の圧痛、右後肢の跛行および右膝蓋腱反射の消失が認められた。同部位の病理組織学検査では、線維輪外側、椎体終板軟骨ならびに神経根の損傷が認められ、照射条件の設定上、不適切と判断された。

以上の結果からレーザー至適照射条件の設定は、MR 画像上ならびに病理組織学的に何らかの変化が認められた照射条件を不適切と判断した。また病理組織学的では変化が認められたが、MR 画像上では変化が認められず、さらに臨床所見上でも異常が認められなかった条件を適正照射条件と判断した。その結果、今回設定したレーザー至適照射条件は、3 W・70 J～5 W・50 J が望ましいと判断された。



### Ⅲ．考案した PLDD 法の臨床例に対する応用

第 3 章では、考案したガイド針の穿刺手技ならびに照射条件を基に実際の臨床例に応用し、その有効性について検討した。

対象とした症例は椎間板ヘルニアと診断された犬 21 例で、犬種はミニチュアダックスフンド 14 例、ウェルシュコーギー 2 例、シーズー、ペキニーズ、ミニチュアピンシャー、ゴールデンレトリバー、ジャーマンシェパード各 1 例であった。症例の年齢は 3 ～ 12 歳（ $6.9 \pm 2.8$  歳）であり、雌雄差は雄 10 例、雌 4 例、去勢雄 4 例、避妊雌 3 例であった。ヘルニアの Hansen 分類では、Hansen type I が 9 例、Hansen type II が 12 例であった。脊髄損傷のグレード分類はグレード（G）II ～ IV であった。また脊髄の圧迫部位は 1 例につき 1 ～ 6 カ所であった。

術後の評価方法は、獣医師とオーナーによって行い、獣医師によるスコア評価は、臨床症状ならびに神経学的検査等を観察し、顕著な改善が認められたものを 3 点、顕著ではないが改善傾向が認められたものを 2 点、変化なしを 1 点、悪化を 0 点の 4 段階とした。そして、オーナーによる評価方法は、歩行状態の評価で、歩行に問題なしを 2 点、問題はあるが歩

行可能を1点、不可能を0点とした。その他9項目を設定し、総合点を20点満点として評価した。

獣医師による評価結果では、3点が8例、2点が10例、1点が1例、0点が2例であった。オーナーによる評価結果では、術前の平均が3.0点であったものが術後1週間では平均が11.5点と上昇の傾向が認められた。また獣医師による評価を基準に改善率を算出したところ、85.7%であった。そして、脊髄損傷のグレード分類ごとの改善率は、GⅡで100%、GⅢで88.9%、GⅣで33.3%であった。さらにHansen typeⅠとtypeⅡに分けてスコア評価の検討を行った結果、Hansen typeⅠの改善率は77.7%であり、Hansen typeⅡの改善率は91.7%であった。

#### Ⅳ．結論

犬の椎間板ヘルニアに対するPLDD法の応用性について検討した結果、ガイド針の穿刺方法は、頸椎、胸腰椎、腰仙椎の3部位に分け、各部位ごとに適応した穿刺方法を用いることにより十分に可能で有ることが判明した。また基準となるレーザー至適照射条件は、3W・70J～5W・50Jと判断された。



上記の条件に基づいて 21 例の臨床例へ応用した結果、いずれの犬種においても、その安全性と治療効果が確認された。また PLDD 法の適応症例は、これまで Hansen type II の症例とされてきたが、Hansen type I の症例においても有効であることが示唆された。

以上のことから、PLDD 法は、各椎間に適した穿刺方法を選択し、3 W・70 J～5 W・50 J の範囲において照射条件を設定することにより、犬の椎間板ヘルニアに対する新しい治療法として、その有効性は高いものと判断された。

## 緒言

小動物臨床において後躯麻痺などの神経症状を主訴として来院する症例は数多くみられ、その原因は先天性疾患をはじめとして、脳障害、脊髄障害など様々である。その内、椎間板ヘルニアと診断される症例が近年増加の傾向にある。これは Computed Tomography (CT) や Magnetic Resonance Imaging (MRI) といった断層画像診断技術の向上に加え、ダックスフンド種やシーズー種などの軟骨異栄養症を持つ犬種の飼育頭数の増加と高齢化がその要因の一つと考えられる。

昨今、椎間板ヘルニアに対する治療法は、医学、獣医学のいずれの領域においても様々な研究がなされてきた<sup>[5,21]</sup>。現在、犬の椎間板ヘルニアに対する治療法は、ケージレストや投薬による内科的な保存療法あるいは片側椎弓切除術などを主体とした外科的治療法が選択されている<sup>[21]</sup>。しかしながら、その病態が複雑多岐にわたることから、治療法の選択が困難であり、さらに現在実施されている治療法では治療に対する反応が乏しい症例や治療適応外となる症例も少なくない現状にある。

医学領域での椎間板ヘルニアに対する治療法は、従来の治療法に加え、低侵襲手術 (Minimally Invasive Surgery, MIS) が実施さ



れている<sup>[52]</sup>。低侵襲手術には、内視鏡下髓核摘出術（Microendoscopic Discectomy, MED）、経皮的椎間板減圧術（Percutaneous Nucleotomy, PN）、経皮的レーザー椎間板減圧術（Percutaneous Laser Disc Decompression, PLDD 法）などがある<sup>[10,26,29]</sup>。その中で PLDD 法は、最も低侵襲な治療法として注目を集めている<sup>[7]</sup>。PLDD 法は、X 線透視下にて経皮的にガイド針を椎間板腔に穿刺し、細いレーザーファイバーの先端を椎間板髓核内に送り込み、レーザーを照射することで、椎間板腔の減圧を期待する方法とされている。PLDD 法に使用するガイド針は静脈注射と同程度の太さの針で実施され、椎間板ヘルニアに対する他の外科的手技と比較し、最も安全性が高いとされている<sup>[5,7]</sup>。

医学領域においては、1986 年に Choy らによって初めて臨床例に対し PLDD 法が実施された<sup>[10]</sup>。その後、多くの施設で PLDD 法が実施され、椎間板ヘルニアの治療法としてその地位を築きつつある。しかし獣医学領域における PLDD 法は、著者の知る限り 1996 年の Dicey ら、2003 年の Bartels らによる報告のみであり<sup>[1,17]</sup>、医学領域における基礎的研究として動物（犬、牛、ヤギ、ウサギ、モルモット）を用いた報告がいくつか存在するが<sup>[7,19,23,27,34,45-48,50]</sup>、いずれの報告も手技ならびにレーザー照射条件が確立されたものではなく、多くの課題が残されている現状であ

る。

そこで本研究では、このような特性を有する PLDD 法の小動物臨床への応用を目的として基礎的研究を実施し、さらに実際の臨床例へ応用し、その手技の確立と有効性に関する研究を行った。

## 第 1 章 ガイド針の穿刺方法の検討

医学領域において PLDD 法は、頸椎、胸腰椎、腰仙椎、すべての部位に対して、それぞれ適した穿刺方法を用いることにより安全に実施されている[7,11-13]。

一方、獣医学領域においては、犬に対する PLDD 法の報告はあるものの、ガイド針の穿刺方法等の手技については明記されていない[1,17]。またいずれの報告も胸腰椎のみに実施されており、さらに第 4-5 腰椎間（以下 L4-5）以降の椎間においては、大腿神経や坐骨神経を損傷する可能性が考えられることから実施されていない。その他に医学領域の基礎的研究として犬、モルモット、ウサギ等の小動物を用いた報告もあるが、いずれも椎間板を外科的に露出し、目視下で椎間板へのレーザー照射を行っており経皮的に行われていない[19,23,27,34,38,45-48,50]。

また穿刺時の合併症として、椎間板脊椎炎、気胸ならびに腹腔臓器や神経根の損傷が報告されている[1,11,24]。

そこで本章では、安全にガイド針を髓核内に穿刺することを目的として、正常ビーグル犬を用いて穿刺方法の検討を行った。

## 第 1 節 材料および方法

### 1. 材料

供試犬には、一般臨床検査上、正常と判断されたビーグル犬 6 例を使用した。またガイド針には、21 G、90 mm のエコーガイド針またはスパイナル針を使用した (Fig. 1.)。

### 2. 方法

実験は、供試犬に対し麻酔前投与薬として硫酸アトロピン (0.025 mg/kg) を使用した後、プロポフォール (6–8 mg/kg) で麻酔導入後、イソフルランによる吸入麻酔で維持麻酔を行った。

穿刺方法は、X 線透視を用いて、解剖学的に形態の異なる頸椎、胸腰椎、腰仙椎の各椎間板腔に対して検討した (麻布大学実験動物委員会承認番号, 080214-1)。

第 1 実験では、頸椎椎間板への穿刺においては、頸部大血管や神経、食道、気管の損傷を回避する穿刺法について検討した。

第 2 実験では、胸腰椎椎間板への穿刺においては、血管や神経、肺、腹腔臓器、肋骨等の解剖学的障害を回避する穿刺方法について検討した。

第 3 実験では、腰仙椎椎間板 (第 6–7 腰椎間, L6–7、第 7 腰椎–第 1 仙椎間, L7–S1) への穿刺においては、腸骨翼が障害とな

ることや坐骨神経の損傷が予想されたため、これらの解剖学的障害を回避する穿刺方法について検討した。

## 第2節 結果

### 1. 頸椎椎間板に対する穿刺方法の検討

頸椎においては、犬を仰臥位で保定し、はじめに頸部腹側より用手的に頸部大血管、食道、気管を指で圧迫した後にガイド針を椎体まで穿刺し、次いでX線透視下にて針先と椎間板腔の位置を確認後、髄核内にガイド針を刺入する方法が有効であった (Fig. 2-A., B., C.)。その際の刺入角度は、解剖学的障害を回避すると、椎体腹側の正中を0°として左右0°～50°が最適と判断された (Fig. 2-D.)。また背側および側方からのアプローチは、頸椎の形態がボックス状であること、ガイド針の刺入に際して横突起が障害となること、椎骨動脈や腹側内椎骨静脈叢を損傷する危険性のあることなどから不適切であると判断した。

### 2. 胸腰椎椎間板に対する穿刺方法の検討

胸腰椎においては、犬を横臥位で保定し、X線透視下にて側背方向より、肋骨ならびに横突起を避け、針先が椎間板腔の中央部へ向

う方向で穿刺する方法が最適であると判断された (Fig. 3-A., B.)。その際の刺入角度は、血管、肺、肋骨等の解剖学的障害を回避すると、棘突起を  $0^{\circ}$  として左右  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$  が最適と判断された (Fig. 3-C.)。また針の刺入開始位置は、椎間板中央から棘突起先端までの距離を  $a$  とすると、棘突起から外側に  $a \sim \sqrt{3}a$  の位置と判断された。(Fig. 3-D.)

### 3. 腰仙椎椎間板に対する穿刺方法の検討

腰仙椎 (L6-L7, L7-S1) においては、犬を横臥位で保定し、背側正中より脊柱管を貫通させ椎間板腔まで刺入する方法が最適と判断された (Fig. 4.)。一方、医学領域で用いられているガイド針を弯曲させて穿刺する方法では、正確に髓核内へ針先を留置することが困難であり、さらに術中に坐骨神経に触れる頻度が高く危険であると判断されたため、小動物領域においては不適切であると判断した。

## 第3節 小活

ガイド針の穿刺は、犬の椎間板腔が人と比較して狭いことから技術的に困難なことが予想された。本章において X 線透視下にてガイ



ド針の穿刺方法を検討した結果、犬の椎間板に対する穿刺方法は、頸椎、胸腰椎、腰仙椎の3部位に分け、各部位ごとに適した方法を用いることにより可能であった。

穿刺時の合併症として、頸椎穿刺時に食道を穿刺することに起因する椎間板脊椎炎が報告されている<sup>[11,24]</sup>。本章においては、食道内にX線不透過性のチューブ等を留置することにより、食道を回避して安全にガイド針を髄核内に穿刺することが可能であった。また胸腰椎穿刺時の合併症として気胸や腹腔臓器の損傷が報告されているが、本章で考案した穿刺方法を用いることによりこれらの合併症を発症する可能性は極めて低いと考えられた<sup>[1,24]</sup>。さらに Dickey<sup>ら</sup><sup>[17]</sup>や Bartels<sup>ら</sup><sup>[1]</sup>は、犬のL4-5以降の腰仙椎に対するガイド針の穿刺は、神経根を損傷する危険性を考慮し実施していない。しかし本章においてL4-5以降の腰仙椎に対して穿刺を実施したところ、考案した穿刺方法を用いることによりガイド針の穿刺に起因する神経根の損傷は認められず、安全性が確認された。

以上のことから、本章にて確立した穿刺方法を用いることにより、各部位においてガイド針を安全に椎間板に穿刺することが可能となった。

## 第 2 章 レーザー至適照射条件の検討

過去に動物（犬、ヤギ、豚、牛、ラット、モルモット）の椎間板を用いて、レーザー照射の基礎的研究を実施した報告が存在する[7,19,23,27,34,45-48,50]。しかしいずれの報告も医学領域におけるレーザー照射時の合併症についての報告であり、小動物臨床への応用を目的としてレーザー至適照射条件を検討した報告は、著者の知る限り存在しない。また小動物臨床では、人と比較して対象となる椎間板腔が狭いことから、レーザー照射時に発生する熱による周辺組織への影響もより重要になると考えられた。しかしいずれの報告も椎体終板（椎体軟骨の椎間板との境界部）における変化についてのみの検討であるため、その他の周辺組織への影響については明らかになっていない[23,34,43,46-48]。さらにレーザー至適照射条件を設定するにあたり、臨床症状、画像診断（X 線、CT、MRI）、病理学的検査を総合的に判断した報告は、著者の知る限り存在しない。

以上のことから本章では、正常ビーグル犬を用いて、術中の肉眼的所見、術後の神経学的検査所見と臨床症状、術後の X 線、CT、MRI の各画像検査所見ならび病理検査所見を基に、周辺組織への影響を評価し、基準となるレーザー至適照射条件について検討した。

## 第 1 節 材料および方法

### 1. 材料

供試犬として、一般臨床検査上、正常と判断されたビーグル犬 6 例を使用した。ガイド針には 21 G、90 mm のエコーガイド針またはスパイナル針を使用した。レーザー発生装置は、医学領域ではホルミウム・ヤグレーザー (Holmium Yttrium Aluminium Garnet, Ho-YAG) やネオジウム・ヤグレーザー (Neodymium Yttrium Aluminium Garnet, Nd-YAG) が一般的に用いられているが、これらのレーザーは発生装置の大きさやコストの観点から、小動物領域における普及は困難であると予想されたため、本章では前記のレーザーと類似した特性を有し、発生装置が小さく、コスト面に優れる半導体レーザー DVL-15 (飛鳥メディカル、京都) を使用した (Fig. 5.)。またレーザーファイバーは、過去の報告の多くではアクティブファイバーやラウンドファイバーを使用しているが<sup>[23,34,43,46-48]</sup>、これらのレーザーファイバーは周辺組織への影響が比較的大きいとされているため、本章では最も周辺組織への影響が少ないとされるコニカルファイバー (飛鳥メディカル、京都) を使用した (Fig. 6.)。また画像診断装置として CT 装置には XvisionGX (東芝メディカルシステムズ、栃木) を用い、MRI 装置には VISART (静磁場強度 1.

5 T, 東芝メディカルシステムズ, 栃木) を使用した。

## 2. 方法

実験は、供試犬に対し麻酔前投与薬として硫酸アトロピン (0.025 mg/kg) を使用した後、プロポフォール (6–8 mg/kg) で麻酔導入後、イソフルランによる吸入麻酔で維持麻酔を行った。評価対象とする群は、ファイバーの先端出力を 3 W と 5 W に設定することで、供試犬 6 例を 3 W 群と 5 W 群の 2 群に分け各群 3 例ずつとした。レーザー照射は、1 例につき 7 椎間 (第 11–12 胸椎間, T11–12 ~ 第 4–5 腰椎間, L4–5) へ頭側部から順に 40、50、70、100、150、200、300 J の照射熱量で実施した。またレーザー照射時間は 0.5 秒、レーザー休止時間は 2 秒に設定した (Table 1.)。これらのレーザー照射条件の設定は、「照射熱量 (J) = 電力 (W) × レーザー照射時間 (sec) × 照射回数」の計算式を基に算出した。

第 1 実験では、術中に発生する変化を記録し、術中の変化とレーザー照射条件との関連性について検討した。

第 2 実験では、神経学的検査や臨床症状の変化を観察し、レーザー照射条件との関連性について検討した。

第 3 実験では、X 線、CT、MRI 検査の各画像検査における画像上

の変化とレーザー照射条件との関連性について検討を行った。各画像検査は術前、術直後、術後 24 時間、10 日目に実施した。また X 線画像では各検査日における椎間幅を測定し、各群において、術前と術直後、術前と術後 24 時間、術前と術後 10 日のそれぞれに対し、ステューデント t 検定 ( $p=0.05$ ) にて有意差の有無を検討した。さらに MRI 検査では、椎間板の厚さを D とし、周辺組織に影響の認められる領域を P とし、P と D の差を周辺組織への影響 (R) とし、レーザー照射条件との関連性について検討した。

第 4 実験では、供試犬の病理解剖および病理組織学検査を実施し、レーザー照射条件との関連性について検討した。術後 10 日目の各画像検査終了後、供試犬に対し麻布大学実験動物委員会ガイドラインに遵って安楽死処置を実施した（麻布大学実験動物委員会承認番号，080214-1）。安楽死処置後、病理組織学検査の検体として、レーザー照射を行った 7 椎間（T11-12～L4-5）の脊髓、椎間板ならびに椎骨を採取した。またコントロールとして第 10-11 胸椎間（T10-11）を採取した。採取後、検体は 10% 中性緩衝ホルマリンにて固定され、さらに椎間板ならびに椎骨は縦状切断した後に 5% 蟻酸にて脱灰した。染色方法は、Hematoxylin-Eosin (HE) 染色、Alcian blue (AB) 染色、Masson's trichrome (MT) 染色、Safranin O 染色を行い観察した。また脊髓については HE、

Luxol fast blue-HE (LFB-HE) 染色を行った。さらに MRI 検査と同様に周辺組織への影響 (R) を求めレーザー照射条件との関連性について検討した。また、周辺組織への影響に対する MRI 検査の感度 (Sensitivity) と特異度 (Specificity) を算出した。MRI 検査の感度は、「感度 = (MRI 検査と病理組織学検査で変化を認めた数) / (病理組織学検査で変化を認めた数) × 100」とし、MRI 検査の特異度は、「特異度 = (MRI 検査と病理組織学検査で変化を認めない数) / (病理組織学検査で変化を認めない数) × 100」と設定した。

## 第 2 節 結果

### 1. 術中所見とレーザー照射条件に関する検討

術中にレーザーファイバーの先端部の炭化が認められた。この変化は、6 例中、40 J で 3 例、50 J で 2 例、70 J で 1 例、100 J で 2 例、150 J で 0 例、200 J で 1 例、300 J で 3 例認められた (Fig. 7., Table 2.)。またレーザー照射熱量との相関は、 $r = 0.05$  となり相関関係は認められなかった。

### 2. 臨床症状の変化とレーザー照射条件に関する検討



3 W 群では、術前と比較しいずれの照射熱量においても、臨床症状の明らかな変化は認められなかった。一方 5 W 群では、400～2000 J のレーザー照射条件内では、臨床症状に明らかな変化は認められなかったが、3000 J を照射した 3 例中 1 例において患部（L4-5）の圧痛、右後肢の跛行および右膝蓋腱反射の消失が認められた。

### 3. X 線、CT、MRI における変化とレーザー照射条件に関する検討

X 線検査では、画像上明確な変化は認められなかった（Fig. 8.）。また X 線画像上で椎間幅を測定したところ、3 W 群における術前の椎間幅の平均値±標準偏差（mm）はラテラル像（Lat）で  $2.18 \pm 0.33$  mm、腹背像（VD）で  $2.32 \pm 0.42$  mm であり、術直後では Lat で  $2.27 \pm 0.37$  mm、VD で  $2.41 \pm 0.50$  mm であり、術後 24 時間では Lat で  $2.36 \pm 0.41$  mm、VD で  $2.34 \pm 0.47$  mm であり、術後 10 日目では Lat で  $2.25 \pm 0.43$  mm、VD で  $2.18 \pm 0.39$  mm であった。同様に 5 W 群においては、術前では Lat で  $2.29 \pm 0.46$  mm、VD で  $2.31 \pm 0.54$  mm であり、術直後では Lat で  $2.38 \pm 0.47$  mm、VD で  $2.40 \pm 0.68$  mm であり、術後 24 時間では

Lat で  $2.31 \pm 0.46$  mm、VD で  $2.31 \pm 0.51$  mm であり、術後 10 日目では Lat で  $2.31 \pm 0.46$  mm、VD で  $2.36 \pm 0.59$  mm であった (Table 3.)。各群において、術前と術直後、術前と術後 24 時間、術前と術後 10 日目のそれぞれに対して学生 t 検定 ( $p = 0.05$ ) を行ったところ、有意差は認められなかった。以上のことから、椎間幅はレーザー照射によって変化しないことが判明した。

CT 検査では、椎間板および周辺組織において、術直後から術後 10 日目までに、レーザー照射を実施した全部位において、明らかな変化は認められなかった。(Fig. 9-A., B.)

MRI 検査では、椎間板においては術直後から術後 10 日目までにレーザー照射を実施した全部位において、明らかな変化は認められなかった (Fig. 10-A.)。しかし椎体終板から椎体骨髄において、T2 強調画像で高信号、T1 強調画像で低信号を示す変化が認められた (Fig. 10-B.)。これらの変化は、術後 24 時間から術後 10 日目までに 3 W 群の  $100 \sim 300$  J、5 W 群の  $70 \sim 300$  J において認められた (Table 4.)。また周辺組織への影響 (R) と照射熱量との相関は、3 W 群で  $r_{3w} = 0.59$ 、5 W 群で  $r_{5w} = 0.67$  であり、明らかな関連性は認められなかった。

#### 4. 病理学的検査とレーザー照射条件に関する検討

病理組織学検査では、椎体骨髄において最も劇的な変化が認められた。椎体骨髄では、造血細胞の壊死、出血、多量のフィブリンが認められた (Fig. 11-A.)。また壊死巣周囲には疎合性結合組織からなる器質化が認められ、一部で線維性骨化が認められた (Fig. 11-B.)。椎体骨髄内の器質化は、3 W 群で 7 椎間、5 W 群では 10 椎間において観察された (Table 5.)。一方で椎体終板軟骨の破壊は、臨床症状で圧痛および膝蓋腱反射の消失が認められた個体の 5 W・300 J を照射した椎間に認められた (Fig. 12.)。

レーザー照射の標的である髄核は、無処置コントロール (T10-11) の全てで残存していた。それに対しレーザー照射を実施した椎間では 3 W 群で 21 椎間中 5 椎間、5 W 群で 21 椎間中 15 椎間において、髄核が部分消失または完全消失していた (Fig. 13., Table 6.)。一方、残存した髄核内には軟骨細胞の壊死が散見された。また髄核とともに椎間板を構成する線維輪では、臨床症状で圧痛および膝蓋腱反射の消失が認められた個体の 5 W・300 J を照射した椎間を除き、膠原線維の損傷や変性は認められなかった。

神経への影響は、臨床症状で圧痛および膝蓋腱反射の消失が認められた個体の 5 W・300 J を照射した椎間のみで認められた。同部位の肉眼所見では、右腹側脊髓硬膜外 (L4-5 右側神経根部) に

直径 4 mm の黒色塊が付着していた (Fig. 14-A.)。またこの黒色塊の病理組織学所見は、微小な硝子軟骨塊、出血、結合組織であった (Fig. 14-B.)。さらに硬膜内右腹側神経束の一部区画で軸索の消失、髄鞘間の水腫、水腫間への線維芽細胞の増生が認められ、LFE-HE 染色においては、軸索の消失、髄鞘の顆粒状化が認められた (Fig. 14-C.)。周辺組織への影響 (R) と照射熱量との相関は、3 W 群で  $r_{3w} = 0.16$ 、5 W 群で  $r_{5w} = 0.70$  であり、明らかな関連性は認められなかった。

また椎体骨髄の変化に対する MRI 検査の感度と特異度を検討した結果、MRI 検査の感度は 64.7%、特異度は 92.0%であった。

### 第 3 節 小活

実験動物を用いて PLDD 法の基礎的研究を行った報告が存在するが、いずれも小動物臨床で使用することを目的として検討されていない [7,19,23,27,34,45-48,50]。そこで本章では、小動物臨床への応用を目的として、犬におけるレーザー至適照射条件の設定と周辺組織への影響について検討した。

術中の肉眼的所見でレーザーファイバーの先端部の炭化が認められたが、レーザー照射熱量との関連性は認められなかったため、レ

レーザー照射条件を設定するにあたり不適であると判断された。

過去の報告では、レーザー照射後に X 線上において椎間板腔の狭小化が認められたと報告されている<sup>[1,17,45]</sup>。しかし本章では明確な椎間板腔の狭小化は認められなかった。X 線上における椎間板幅の変化は、撮影方法等の人為的な要因に大きく依存するため、レーザー照射条件や治療効果を判定する指標として用いることは不適切と判断された。

Bartels らは、PLDD 法を実施した犬に対し CT 検査を行った結果、椎体終板に X 線透過性領域が認められたと報告している<sup>[1]</sup>。本章では、Bartels らが使用したレーザー照射条件（2 W・80 J）よりも強いレーザー照射条件下においても、椎体終板に明らかな変化は認められなかった。以上のことから推察すると、Bartels らの報告に認められた椎体終板の変化は、レーザー照射時にレーザーファイバーの先端部が椎体終板に接していた可能性が考えられ、ガイド針が椎間板腔に対し平行に留置されていない状況や椎間板狭窄症によりレーザーファイバーの先端部が椎体終板に接している条件下では、レーザー照射条件に関わらず椎体終板を損傷する可能性が考えられた。

従来、MRI 検査において PLDD 法実施後に認められる変化は、椎体終板に発生する変化とされてきた<sup>[43,44,47]</sup>。しかし本章で認めら

れた MR 画像上の変化は、病理組織学検査における椎体骨髄内の変化と一致していた (Fig. 15.)。著者の知る限り、PLDD 法実施にもなった骨髄の変化は、MRI 検査ならびに病理組織学検査において報告が認められず、本研究により初めて確認された結果となった。すなわちレーザー照射時に発生する熱による周辺組織への影響は、従来知られていた椎間板自体の炎症や椎体終板の損傷よりも、レーザー照射地点からさらに離れた骨髄に最も顕著な損傷を与えることが判明した。この原因として、骨髄が周辺組織に比べ、熱に対する感受性が高いことが考えられた。さらに骨髄の変化に対する MRI 検査の感度と特異度を検討した結果、MRI 検査は、特異度が高く、形態学的にも生体内の病変を正確に再現しており、熱による周囲組織への影響を評価判定する上で有用であると判断された。

椎間板周囲において痛覚を支配している神経は、線維輪外側に位置しているとされている<sup>[18]</sup>。本章では、術後に圧痛を認めた個体において、線維輪外側に炭化が認められた。また椎体終板の破壊も認められた。

医学領域において、PLDD 法後の合併症として、脊柱管内における肉芽組織形成が報告されている<sup>[43]</sup>。本章では、膝蓋腱反射を消失した個体において、反射を支配する大腿神経 (L4-6) の神経根部に黒色塊が認められ、さらに神経束において軸索の消失、髄鞘の



顆粒状化が認められた。黒色塊は硝子軟骨を含む肉芽組織であったことから、レーザー照射の過剰により椎間板の壊死産物が脊柱管内に突出したものと考えられた。

以上のことから、レーザー至適照射条件は、臨床症状に変化がなく、椎体終板を損傷せず、かつ熱による骨髄の影響を最小限にとどめる必要があると判断し、熱による周辺組織への影響を評価する上で有用であると判断された MRI 検査所見を基に設定した。すなわち設定基準は、MR 画像上で変化の認められたレーザー照射条件を不適とし、MR 画像上で変化の認められない部位を適切な条件と判断した。その結果、基準となるレーザー至適照射条件は、 $3\text{ W} \cdot 70\text{ J}$  ～  $5\text{ W} \cdot 50\text{ J}$  と判断された。

### 第3章 考案した PLDD 法の臨床例に対する検討

獣医学領域では医学領域と異なり対象とする椎間板の大きさに個体差が存在する。しかし犬の椎間板ヘルニアに対する PLDD 法の報告はあるものの、犬種間における穿刺方法の検討およびレーザー照射条件の差異について検討されていない<sup>[1,17]</sup>。

そこで本章では、考案した手技を基に臨床応用を行い、穿刺方法の汎用性および安全性を確認と犬種間におけるレーザー照射条件の差異について検討するとともに、犬の椎間板ヘルニアに対する PLDD 法の有効性について検討した。

#### 第1節 材料および方法

##### 1. 材料および症例

対象とした症例は、椎間板ヘルニアと診断された犬22例で、品種の内訳はミニチュアダックスフンド14例、ウェルシュコーギー2例、シーズー、パピヨン、ペキニーズ、ミニチュアピンシャー、ゴールデンレトリバー、ジャーマンシェパード各1例であった。症例の年齢は3～12歳（ $6.9 \pm 2.8$ 歳）であり、雌雄差は雄11例、雌4例、去勢雄4例、避妊雌3例であった。ヘルニアの Hansen

分類は Hansen type I が 9 例、Hansen type II が 13 例であった。  
小動物臨床において一般的に用いられている脊髄損傷のグレード分類は、グレード (G) II～IV であった (Table 7.)<sup>[22]</sup>。また脊髄の圧迫部位は 1 例につき 1～6 カ所であった。

使用したガイド針、レーザーファイバーおよびレーザー機器は、第 1 章、第 2 章で用いたものと同じものを使用した。

## 2. 方法

PLDD 法は、基礎的研究において設定した方法に基づいて実施した。

第 1 実験では、考案した穿刺方法がさまざまな犬種に対し、安全に実施可能かを検討した。

第 2 実験では、考案したレーザー至適照射条件を基準として、小型犬から大型犬までの各犬種に対し、レーザー照射条件の差異および安全性について検討した。

第 3 実験では、犬の椎間板ヘルニアに対する PLDD 法の治療成績について評価した。術後の評価方法は、獣医師による評価とオーナーによる評価を実施した。獣医師によるスコア評価は、臨床症状ならびに神経学的検査等を観察し、顕著な改善が認められたものを 3 点、顕著ではないが改善傾向が認められたものを 2 点、変化なしを

1点、悪化を0点の4段階とし、評価は来院時に随時実施した。そして、オーナーによる評価方法は、10個の評価項目（①歩き方、②走り方、③散歩に行く意欲、④階段を自由に昇降する、⑤後肢でからだをかくことが可能、⑥尻尾を振る、⑦自力排尿可能、⑧ジャンプして喜ぶ、⑨ソファなどの上に飛び上がる、⑩後肢2本でたつ）を設定し、各項目について問題なしを2点、問題はあるが可能を1点、不可能を0点とし、総合点を20点満点とした。（Table 8.）

オーナーによる評価方法は、評価はオーナーの協力の得られた症例において、PLDD前、PLDD実施翌日、1週間後、1ヶ月後に実施した。

## 第2節 結果

### 1. 穿刺方法の検討

各症例に対し考案した穿刺方法を基準として PLDD 法を実施した結果、ガイド針の穿刺はいずれの犬種においても安全に実施することが可能であった。しかし22症例中1例において、標的とした椎間板腔の変性性脊椎症および椎間板狭窄症により、ガイド針を髄核内に穿刺することが不可能であった（Fig. 16.）。

## 2. 犬種間におけるレーザー照射条件の検討

考案したレーザー至適照射条件を基準として各犬種間におけるレーザー至適照射条件の差異について検討した結果、いずれの犬種においても  $3\text{ W} \cdot 70\text{ J} \sim 5\text{ W} \cdot 50\text{ J}$  までの条件内で治療効果と安全性が確認された。

## 3. PLDD 法の治療成績に関する検討

標的とした椎間板腔の変性性脊椎症および椎間板狭窄症により、PLDD 法が実施されなかった 1 症例を除く、21 症例を治療成績の評価対象とした。治療までの期間は 1 日～1 年（平均 48.2 日）であり、改善傾向を示すまでの期間（獣医師による評価で 2 点以上を示すまでの期間）は 0～11 日（平均 5.5 日）であった。

獣医師による評価では、3 点が 8 例、2 点が 10 例、1 点が 1 例、0 点が 2 例であった（Table 9.）。オーナーによる評価は 21 症例中 12 例で実施され、術前の平均が 3.0 点であったものが術後 1 週間では平均が 11.5 点と上昇の傾向が認められた。また獣医師による評価を基準に改善率（獣医師による評価で 2 点以上を示す症例数／評価対象とした症例数）を算出したところ、85.7%であった。そして、脊髄損傷のグレード分類ごとの改善率は、GⅡで 100%、GⅢで 88.9%、GⅣで 33.3%であった。一方で、2 症

例において PLDD 法実施後に臨床症状の再発が認められ、その再発率は 9.5% であった。

さらに Hansen type I と type II に分けてスコア評価の検討を行った結果、Hansen type I では、治療までの期間は 1 ～ 21 日（平均 5.6 日）であり、改善傾向を示すまでの期間は 0 ～ 10 日（平均 3.4 日）であった。獣医師による評価では、3 点が 3 例、2 点が 4 例、1 点が 0 例、0 点が 2 例であった（Table 10.）。オーナーによる評価は 9 症例中 5 例で実施され、術前の平均が 1.4 点であったものが術後 1 週間では平均が 12.4 点と上昇の傾向が認められた。また改善率は、77.7% であり、脊髄損傷のグレード分類ごとでは、GII で 100%、GIII で 83.3%、GIV で 0% であった。

Hansen type II では、治療までの期間は 2 日～1 年（平均 83.3 日）であり、改善傾向を示すまでの期間は 1 ～ 11 日（平均 4.9 日）であった。獣医師による評価では、3 点が 5 例、2 点が 6 例、1 点が 1 例、0 点が 0 例であった（Table 11.）。オーナーによる評価は 12 症例中 7 例で実施され、術前の平均が 5.0 点であったものが術後 1 週間では平均が 10.9 点と上昇の傾向が認められた。また改善率は、91.7% であり、脊髄損傷のグレード分類ごとでは、GII で 100%、GIII で 100%、GIV で 50% であった。

### 第 3 節 小活

小動物臨床において犬に対する PLDD 法の報告は、いずれの報告も胸腰椎部のみに実施されている<sup>[1,17]</sup>。さらにガイド針の穿刺方法については明記されておらず、レーザー照射条件においても犬種間による差異について検討されていない。そこで本章では、考案した穿刺方法の犬種間における汎用性および安全性について検討した。その結果、いずれの犬種においてもガイド針を安全に穿刺することが可能であり、穿刺に起因する合併症も認められなかった<sup>[1,11,24]</sup>。しかし標的とした椎間板腔に変性性脊椎症および椎間板狭窄症を発症した症例では、ガイド針を髓核内に留置することが困難であり、レーザー照射時に椎体終板を損傷する危険性から、PLDD 法を実施することは不可能であった。椎間板狭窄症をとまなう症例では、ガイド針を刺入することが可能となれば、ガイド針より生理食塩水等を注入し椎間板腔を広げることで、椎体終板を損傷することなく PLDD 法を実施することが可能となると考えられた。

医学領域では身長を基準としてレーザー照射条件が設定されていたが、身長差による椎間板の大きさの差が小さく、高い身長ではレーザー照射過剰となることが判明したため、現在では使用されておらず施設ごとに設定された条件を基に実施されている<sup>[7]</sup>。一方、獣医学領域では、医学領域と比較して対象となる椎間板の大きさが



様々であるにもかかわらず、レーザー照射条件について検討した報告は認められない。そこで本章では、犬種間におけるレーザー至適照射条件の差異について検討した結果、いずれの犬種においても 3 W・70 J～5 W・50 J の範囲で設定したレーザー照射条件において治療効果が確認され、さらに合併症をしめす症例は認められなかった。

犬の椎間板ヘルニアに対する PLDD 法の有効性を評価するために、従来の治療法との間で脊髄損傷のグレード分類ごとの改善率を基に比較を行った。過去の報告によると各治療法の改善率は、保存的治療法では GⅡで 84 %、GⅢで 84 %、GⅣで 81 %、外科的減圧術では GⅡで 95 %、GⅢで 93 %、GⅣで 95 %、椎間板造窓術では GⅡで 93 %、GⅢで 85 %、GⅣで 88 %であった (Table 12.) [2,3,6,14-16,30,37,39,41,42,51]。これに対し PLDD 法の改善率は、GⅡで 100 %、GⅢで 88.9 %、GⅣで 33.3 %であり、GⅡ、GⅢにおいては保存療法ならびに椎間板造窓術より高値を示した。しかし GⅣでは従来の治療法と比較して低値を示したことから、PLDD 法の適応は GⅢまでの症例であると判断された。

Hansen type I と type II の改善率を比較したところ、Hansen type IIの方が高値を示したことから、従来、Hansen type II が治療対象であると考えられていたことを証明する結果となった。

一方で、PLDD 法適応外と考えられていた Hansen type I においても、他の治療方法と比較すると低値ではあるが、改善傾向を示す症例が認められた。医学領域では椎間板ヘルニアを 4 つのタイプ(線維輪突出型、線維輪破損型脱出、靱帯穿破型脱出、遊離型ヘルニア)に分類しているが、獣医学領域では Hansen type I と type II の 2 つのタイプに分類されている (Fig. 17-A., B.) [7,28,32]。両者の分類を比較すると、髄核が線維輪を破り脊柱管内に逸脱すると定義される Hansen type I は靱帯穿破型脱出と遊離型ヘルニアに、線維輪の肥厚と定義される Hansen type II は線維輪突出型に相当すると考えられる。そして、残りの線維輪破損型脱出は、髄核が脊柱管内に逸脱していないため、その定義からは一部外れるが、髄核が線維輪を破り脱出しているので Hansen type I に属すると考えられる。医学領域において PLDD 法の適応となるのは線維輪突出型、線維輪破損型脱出および一部の靱帯穿破型脱出とされている。すなわち Hansen type I と診断されている症例の中にも PLDD 適応と考えられる症例が存在している可能性が考えられた<sup>[7]</sup>。

以上のことから、犬の椎間板ヘルニアに対する PLDD 法の適応は、主に Hansen type II であるが、線維輪破損型脱出や靱帯穿破型脱出に類似した Hansen type I においても有効性が示唆された。

また、犬の椎間板ヘルニアに対する各治療法の再発率は、保存的

治療法では 34 ～ 40 %、外科的減圧術では 6 ～ 19 %、椎間板造窓術では 0 ～ 15 %と報告されている<sup>[1,2,6,15,30,37,51]</sup>。これに対し PLDD 法の再発率は 9.5 %であり、外科的減圧術や椎間板造窓術と同等の結果が得られ、保存的治療法と比較すると良好な結果が得られた。

医学領域では椎間板疾患および PLDD 法の術後評価に様々な方法が用いられている<sup>[5]</sup>。近年、獣医領域においても脊髄疾患に対し、病態をスコア化し評価する方法が提案されている<sup>[35,36]</sup>。また慢性疼痛の評価方法として、オーナーによる評価が行われており、その有効性について報告されている<sup>[20,25,49]</sup>。そこで本章では、前述の評価方法を参考にし、PLDD 法に対するオーナーによる評価を設定し検討した結果、術後に明らかなスコアの上昇が認められた。この結果から、PLDD 法の治療効果は、オーナー自身が臨床症状の改善を実感できるものであると考えられ、小動物臨床において有効性の高い治療法であることが示唆された。

以上のことから、PLDD 法は、犬に対して安全に実施することが可能であり、椎間板ヘルニアに対して有効性の高い治療法であると判断された。

## 第 4 章 総括および考察

従来、医学、獣医学の両領域において、椎間板ヘルニアに対する治療法は、内科的な保存療法と外科的減圧術が選択されてきた<sup>[5,21]</sup>。近年、医学領域では低侵襲手術を望む声が多くなり、椎間板ヘルニアに対してもいくつかの低侵襲手術が実施されている<sup>[10,26,29,52]</sup>。その中で最も低侵襲である PLDD 法が注目を集めている。獣医学領域においても著しい高度医療化にともない、低侵襲手術が注目されはじめている。しかし獣医学領域における PLDD 法は経験的に臨床応用されており、施術にあたり基礎的研究が乏しい現状にある<sup>[1,17]</sup>。また医学領域における基礎的研究として実験動物を用いた報告が存在するが、いずれも小動物臨床に応用することを目的としていないため、その研究結果をそのまま小動物臨床に応用することは危険が高いと考えられた<sup>[7,19,23,27,34,45-48,50]</sup>。そこで本研究では、PLDD 法の小動物臨床への応用を目的として、基礎的研究と臨床的研究を実施した。

基礎的研究では、手技の確立を目的として、ガイド針の穿刺方法の検討とレーザー至適照射条件について検討した。

犬の椎間板に対する穿刺方法は、頸椎、胸腰椎、腰仙椎の 3 部位に分け、各部位ごとに考案した方法を用いることにより、安全に実

施することが可能であった。またガイド針の穿刺による合併症がいくつか報告されているが、本研究で確立した穿刺方法を用いることにより、その危険性はかなり低くなると判断された<sup>[1,11,24]</sup>。

レーザー至適照射条件を設定する目的で、術中の肉眼的所見、術後の神経学的検査所見と臨床症状、術後の X 線、CT、MRI の各画像検査所見ならびに病理検査所見について検討した。術中の肉眼的所見ならびに X 線、CT 検査所見は、レーザー照射条件を設定する上で有用ではなかった。一方、MRI 検査ならびに病理組織学検査では、レーザー照射時に発生する熱による椎体骨髄の器質化が認められた。術後の臨床症状の変化として疼痛と神経検査の異常を示す個体が認められたが、これらは椎体終板ならびに神経根部の損傷に起因するものであり、椎体骨髄の変化による臨床症状の変化は観察されなかった。

以上のことから、レーザー至適照射条件は、臨床症状に変化がなく、かつ熱による骨髄の影響を最小限にとどめる必要があると判断し、MRI 検査所見を基に設定した。すなわち設定基準は、MR 画像上で変化の認められたレーザー照射条件を不適とし、MR 画像上で変化の認められない部位を適切な条件と判断した。その結果、基準となるレーザー至適照射条件は、3 W・70 J～5 W・50 J が望ましいと判断された。

臨床的研究では、基礎的研究で考案した手技を基に、その汎用性と安全性について評価し、さらに臨床応用時の治療成績について検討した。

基礎的研究で考案された穿刺方法は、さまざまな犬種で安全に実施することが可能であった。レーザー照射は、基礎的研究で設定した照射条件の範囲において、症例に合わせた照射条件を設定することにより、疼痛等の合併症をとまわず安全に実施することが可能であった。

PLDD 法の治療成績は、外科的減圧術と比較すると多少劣るが、保存療法ならびに椎間板造窓術と比較すると高い改善率を示したことから、犬の椎間板ヘルニアに対する新たな治療法の 1 つとして、その有効性が示唆された [2,3,6,14-16,30,37,39,41,42,51]。また従来、PLDD 法の作用機序から、Hansen type II が治療対象と考えられてきたが、本研究では Hansen type I においても改善傾向を示す個体が認められた。これは Hansen type I と診断された症例の中に、医学領域で PLDD 法の適応と判断されている線維輪破損型脱出が含まれている可能性が考えられた。しかし現在の画像診断技術ではこれらのタイプを鑑別することは困難であるため、今後の画像診断技術の発展に期待される。また従来、Hansen type II に対する治療法は、背側椎弓切除が多く選択されてきたが、術後成績が芳しくない

ことも少なくない。さらに背側椎弓切除実施後に椎間板内圧が上昇するといった報告が認められる<sup>[31,40]</sup>。したがって、脊柱管内の減圧を目的とする背側椎弓切除と椎間板内圧の減圧を目的とする PLDD 法を組み合わせることにより、より良好な治療効果が得られる可能性が考えられた。

以上のことから、PLDD 法は、各椎間に適した穿刺方法を選択し、3 W・70 J～5 W・50 J の範囲の照射条件を設定することにより、犬の椎間板ヘルニアに対する新しい治療法として、その有効性は高いものと判断された。

## 第 5 章 結論

本研究では、獣医学領域における PLDD 法の有効性について検討した。基礎的研究では、手技の確立を目的として、ガイド針の穿刺方法の検討とレーザー至適照射条件の設定および周辺組織への影響について検討した。臨床的研究では、基礎的研究で考案した手技を基に、その汎用性と安全性について評価し、さらに臨床応用時の治療成績について検討した。

### 1. ガイド針の穿刺方法の検討

犬の椎間板に対するガイド針の穿刺方法は、頸椎、胸腰椎、腰仙椎の 3 部位に分け、各部位ごとに考案した方法を応用することによって、様々な犬種で安全に実施することが可能であった。

### 2. レーザー至適照射条件の設定および周辺組織への影響

臨床上問題となる変化は、疼痛の原因となる椎体終板の変化と神経根の損傷であると考えられた。またレーザー照射時の熱による影響は、椎体骨髄で最も顕著に認められることが判明した。

基準となるレーザー至適照射条件は、 $3\text{ W} \cdot 70\text{ J} \sim 5\text{ W} \cdot 50\text{ J}$ と判断された。また臨床応用時には、設定した照射条件の範囲にお



いて、症例に合わせた照射条件を設定することにより、安全に実施することが可能であった。

### 3. PLDD 法の適応症例

主となる PLDD 法の適応症例は、Hansen type II の GⅢまでの症例であると判断された。一方で本研究の結果から、Hansen type I においても有効な可能性が示唆された。

以上のことから、獣医学領域における PLDD 法は、各部位ごとの適した穿刺方法を選択し、症例にあったレーザー照射条件を設定することにより、椎間板ヘルニアの新しい治療法として有効性の高い治療であると判断された。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み、終始懇切なる御指導ならびに御校閲を賜りました、麻布大学獣医放射線学研究室の菅沼常德教授、信田卓男准教授、茅沼秀樹講師に深甚なる感謝の意を表します。

また、レーザー装置を使用するにあたり多大なる御協力を頂いた、飛鳥メディカル株式会社の中村誠司氏ならびに菊山賢氏に感謝の意を表します。

最後に、研究の実施にあたり、多大なる援助を頂いた麻布大学獣医放射線学研究室室生諸子に感謝の意を表します。

## 参考文献

1. Bartels KE, Higbee RG, Bahr RJ, Galloway DS, Healey TS, Arnold C. Outcome of and complications associated with prophylactic percutaneous laser disk ablation in dogs with thoracolumbar disk disease: 277 cases (1992-2001). J Am Vet Med Assoc. 2003; 222(12): 1733-9.
2. Brisson BA, Moffatt SL, Swayne SL, Parent JM. Recurrence of thoracolumbar intervertebral disk extrusion in chondrodystrophic dogs after surgical decompression with or without prophylactic fenestration: 265 cases (1995-1999). J Am Vet Med Assoc. 2004 ;224 (11): 1808-14.
3. Black AP. Lateral spinal decompression in dog; a review of 39 cases. J Small Anim Pract. 1988; 29: 581-8.
4. Brant-Zawadzki MN, Jensen MC, Obuchowski N, Ross JS, Modic MT. Interobserver and intraobserver variability in interpretation of lumbar disc abnormalities. A comparison of two nomenclatures. Spine (Phila Pa 1976). 1995; 20(11): 1257-63; discussion 1264.

5. Brouwer PA, Peul WC, Brand R, Arts MP, Koes BW, van den Berg AA, van Buchem MA. Effectiveness of percutaneous laser disc decompression versus conventional open discectomy in the treatment of lumbar disc herniation; design of a prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2009; 10: 49.
6. Butterworth SJ, Denny HR. Follow –up study of 100 cases with thoracolumbar disc protrusions treated by fenestration. *J Small Anim Pract*. 1991; 32: 443-447.
7. Choy DS. *Percutaneous Laser Disc Decompression: A Practical Guide*. Springer. 2003.
8. Choy DS, Altman P. Fall of intradiscal pressure with laser ablation. *J Clin Laser Med Surg*. 1995; (3): 149-51.
9. Choy DS, Altman P, Trokel SL. Efficiency of disc ablation with lasers of various wavelengths. *J Clin Laser Med Surg*. 1995; 13(3): 153-6.
10. Choy DS, Case RB, Fielding W, Hughes J, Liebler W, Ascher P. Percutaneous laser nucleolysis of lumbar disks. *N Engl J Med*. 1987; 317(12): 771-2.

11. Choy DS, Fejos AS. Cervical disc herniations and percutaneous laser disc decompression: a case report. *Photomed Laser Surg.* 2004; 22(5): 423-5.
12. Choy DS, Hellinger J, Hellinger S, Tassi GP, Lee SH. 23rd Anniversary of Percutaneous Laser Disc Decompression (PLDD). *Photomed Laser Surg.* 2009; 27(4): 535-8.
13. Choy DS, Michelsen J, Getrajdman G, Diwan S. Percutaneous laser disc decompression: an update--Spring 1992. *J Clin Laser Med Surg.* 1992; 10(3): 177-84.
14. Cudia SP, Duval JM. Thoracolumbar intervertebral disk disease in large, nonchondrodystrophic dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1997; 33(5): 456-60.
15. Davies JV, Sharp NJH. A comparison of conservative treatment and fenestration for thoracolumbar intervertebral disc disease. *J Small Anim Pract.* 1983; 24: 721-729.
16. Davis GJ, Brown DC. Prognostic indicators for time to ambulation after surgical decompression in nonambulatory dogs with acute thoracolumbar disk extrusions: 112 cases. *Vet Surg.* 2002; 31(6): 513-8.

17. Dickey DT, Bartels KE, Henry GA, Stair EL, Schafer SA, Fry TR, Nordquist RE. Use of the holmium yttrium aluminum garnet laser for percutaneous thoracolumbar intervertebral disk ablation in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 1996; 208(8): 1263-7.
18. Forsythe WB, Ghoshal NG. Innervation of the canine thoracolumbar vertebral column. *Anat Rec.* 1984; 208(1): 57-63.
19. Fry TR, Bartels KE, Henry GA, et al. Holmium: YAG laser discectomy in dogs: a pilot study. *proceedings of SPIE* 1994; 2128: 554-559.
20. Gingerich DA, Strobel JD. Use of client-specific outcome measures to assess treatment effects in geriatric, arthritic dogs: controlled clinical evaluation of a nutraceutical. *Vet Ther.* 2003; 4(4): 376-86.
21. Griffin JF, et al. Canine thoracolumbar intervertebral disk disease: diagnosis, prognosis, and treatment. *Compendium.* 2009; 31: E1-E14.
22. Griffiths I. Spinal disease in the dog. *In Pract.* 1982; 4(2): 44-52.
23. Gropper GR, Robertson JH, McClellan G. Comparative histological and radiographic effects of CO2 laser versus standard surgical anterior cervical discectomy in the dog. *Neurosurgery.* 1984; 14(1): 42-7.

24. Hellinger J. Complications of non-endoscopic percutaneous laser disc decompression and nucleotomy with the neodymium: YAG laser 1064 nm. *Photomed Laser Surg.* 2004 Oct; 22(5): 418-22.
25. Hielm-Björkman AK, Kuusela E, Liman A, Markkola A, Saarto E, Huttunen P, Leppäluoto J, Tulamo RM, Raekallio M. Evaluation of methods for assessment of pain associated with chronic osteoarthritis in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 2003; 222(11): 1552-8.
26. Hijikata S. Percutaneous nucleotomy. A new concept technique and 12 years' experience. *Clin Orthop Relat Res.* 1989; (238): 9-23.
27. Jayasree RS, Gupta AK, Bodhey NK, Mohanty M. Effect of 980-nm diode laser and 1064-nm Nd:YAG laser on the intervertebral disc--in vitro and in vivo studies. *Photomed Laser Surg.* 2009; 27(4): 547-52.
28. Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N, Modic MT, Malkasian D, Ross JS. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med.* 1994; 331(2): 69-73.
29. Lee SH, Kang HS. Percutaneous endoscopic laser annuloplasty for discogenic low back pain. *Surg Neurol.* 2009 Mar 26.

30. Levine SH, Caywood DD. Recurrence of neurological deficits in dogs treated for thoracolumbar disc disease. J Am Anim Hosp Assoc. 1984; 20 889-894.
31. Lin HS, Liu YK, Adams KH. Mechanical response of the lumbar intervertebral joint under physiological (complex) loading. J Bone Joint Surg Am. 1978; 60(1): 41-55.
32. McCulloch J, Transfeldt E. Spondylogenic backache: soft tissue lesions. In: Macnab's Backache third edition. Baltimore, MD: Williams & Wilkins; 1997; 200-239.
33. Milette PC, Fontaine S, Lepanto L, Cardinal E, Breton G. Differentiating lumbar disc protrusions, disc bulges, and discs with normal contour but abnormal signal intensity. Magnetic resonance imaging with discographic correlations. Spine (Phila Pa 1976). 1999; 24(1): 44-53.
34. Nerubay J, Caspi I, Levinkopf M, Tadmor A, Bubis JJ. Percutaneous laser nucleolysis of the intervertebral lumbar disc. An experimental study. Clin Orthop Relat Res. 1997; 337: 42-4.
35. Olby NJ, De Risio L, Muñana KR, Wosar MA, Skeen TM, Sharp NJ, Keene BW. Development of a functional scoring system in dogs with acute spinal cord injuries. Am J Vet Res. 2001; 62(10): 1624-8.



36. Olby N, Harris T, Burr J, Muñana K, Sharp N, Keene B. Recovery of pelvic limb function in dogs following acute intervertebral disc herniations. *J Neurotrauma*. 2004; 21(1): 49-59.
37. Olby N, Levine J, Harris T, Muñana K, Skeen T, Sharp N. Long-term functional outcome of dogs with severe injuries of the thoracolumbar spinal cord: 87 cases (1996-2001). *J Am Vet Med Assoc*. 2003; 222(6): 762-9.
38. Sato M, Ishihara M, Arai T, Asazuma T, Kikuchi T, Hayashi T, Yamada T, Kikuchi M, Fujikawa K. Use of a new ICG-dye-enhanced diode laser for percutaneous laser disc decompression. *Lasers Surg Med*. 2001; 29(3): 282-7.
39. Scott HW, McKee WM. Laminectomy for 34 dogs with thoracolumbar intervertebral disc disease and loss of deep pain perception. *J Small Anim Pract*. 1999; 40(9): 417-22.
40. Smith GK, Walter MC. Spinal decompressive procedures and dorsal compartment injuries: comparative biomechanical study in canine cadavers. *Am J Vet Res*. 1988; 49(2): 266-73.
41. Sukhiani HR, Parent JM, Atilola MA, Holmberg DL. Intervertebral disk disease in dogs with signs of back pain alone: 25 cases (1986-1993). *J Am Vet Med Assoc*. 1996; 209(7): 1275-9.

42. Sterna J, Burzykowski T. Assessment of the usefulness of the fenestration method in cases of disc extrusion in the cervical and thoraco-lumbar spine in chondrodystrophic dogs. *Pol J Vet Sci.* 2008; 11(1): 55-62.
43. Takeno K, Kobayashi S, Yonezawa T, Hayakawa K, Hachiya Y, Uchida K, Negoro K, Timbihurira G, Baba H. Salvage operation for persistent low back pain and sciatica induced by percutaneous laser disc decompression performed at outside institution: correlation of magnetic resonance imaging and intraoperative and pathological findings. *Photomed Laser Surg.* 2006; 24(3): 414-23.
44. Tonami H, Yokota H, Nakagawa T, Higashi K, Okimura T, Yamamoto I, Nishijima Y. Percutaneous laser discectomy: MR findings within the first 24 hours after treatment and their relationship to clinical outcome. *Clin Radiol.* 1997; 52(12): 938-44.
45. Turgut M, Açıkgöz B, Kiliç K, Özcan OE, Erben A. Effect of Nd: YAG laser on experimental disc degeneration. Part I. Biochemical and radiographical analysis. *Acta Neurochir (Wien).* 1996; 138(11): 1348-54.

46. Turgut M, Onol B, Kiliniç K, Tahta K. Extensive damage to the end-plates as a complication of laser discectomy. An experimental study using an animal model. *Acta Neurochir (Wien)*. 1997; 139(5): 404-10.
47. Turgut M, Ozcan OE, Sungur A, Sargin H. Effect of Nd: YAG laser on experimental disc degeneration. Part II. Histological and MR imaging findings. *Acta Neurochir (Wien)*. 1996; 138(11): 1355-61.
48. Turgut M, Sargin H, Onol B, Açikgöz B. Changes in end-plate vascularity after Nd: YAG laser application to the guinea pig intervertebral disc. *Acta Neurochir (Wien)*. 1998; 140(8): 819-26.
49. Wiseman-Orr ML, Nolan AM, Reid J, Scott EM. Development of a questionnaire to measure the effects of chronic pain on health-related quality of life in dogs. *Am J Vet Res*. 2004; 65(8): 1077-84.
50. Yonezawa T, Onomura T, Kosaka R, Miyaji Y, Tanaka S, Watanabe H, Abe Y, Imachi K, Atumi K, Chinzei T, et al. The system and procedures of percutaneous intradiscal laser nucleotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990; 15(11): 1175-85.

51. Yovich JC, Read R, Eger C. Modified lateral spinal decompression in 61 dogs with thoracolumbar disc protrusion. J Small Anim Pract. 1994; 35: 351-356.
52. Zhou Y, Abdi S. Diagnosis and minimally invasive treatment of lumbar discogenic pain--a review of the literature. Clin J Pain. 2006; 22(5): 468-81.

Table 1. Laser irradiating conditions in the present study

Power	Site	Duration of laser irradiation (sec)	Interval (sec)	Repetition (times)	Energy (J)	Total time (s)
3 W	T11-12	0.5	2	27	40.5	67.5
	T12-13			34	51	85
	T13-L1			46	69	115
	L1-2			67	100.5	167.5
	L2-3			100	150	250
	L3-4			134	201	335
	L4-5			200	300	500
5 W	T11-12	0.5	2	16	40	40
	T12-13			20	50	50
	T13-L1			28	70	70
	L1-2			40	100	100
	L2-3			60	150	150
	L3-4			80	200	200
	L4-5			120	300	300

Table 2. The relationships between laser energy and carbonization of fibers.

Energy (J)	40	50	70	100	150	200	300
Head (n=6)	3	2	1	2	0	1	3

Table 3. Width of the disc space on the radiographs.

	3 W		5 W	
	Lat (mm)	VD (mm)	Lat (mm)	VD (mm)
Control <sup>a</sup>	2.18±0.33	2.32±0.42	2.29±0.46	2.31±0.54
Immediately <sup>b</sup>	2.27±0.37	2.41±0.50	2.38±0.47	2.40±0.68
1 day <sup>b</sup>	2.36±0.41	2.34±0.47	2.31±0.46	2.31±0.51
10 days <sup>b</sup>	2.25±0.43	2.18±0.39	2.31±0.46	2.36±0.59

All values are given as means±standard deviations. Lat, lateral view; VD, ventro-dorsal view.

<sup>a</sup> Before laser irradiation. <sup>b</sup> After laser irradiation.

Table 4. High-intensity changes of the endplate and the vertebral body marrow in MRI.

	40 J	50 J	70 J	100 J	150 J	200 J	300 J
3 W (head, n=3)	0	0	0	1	1	1	2
5 W (head, n=3)	0	0	1	2	1	2	3

Table 5. Histological appearance of the vertebral body marrow.

	40 J	50 J	70 J	100 J	150 J	200 J	300 J
3 W (head, n=3)	2	1	0	1	1	1	1
5 W (head, n=3)	2	0	1	1	1	2	3

Table 6. Ablation of the nucleus pulposus.

	40 J	50 J	70 J	100 J	150 J	200 J	300 J
3 W (head, n=3)	1	0	2	0	0	2	0
5 W (head, n=3)	2	2	1	3	3	2	2

Table 7. Clinical grading system of neurological signs in dog.

Grade 0	Normal.
Grade 1	Painful back, no neurological deficits.
Grade 2	Ataxia and paraparesis.
Grade 3	Paraplegia with intact deep pain perception.
Grade 4	Paraplegia with intact deep pain perception and urinary incontinence.
Grade 5	Paraplegia with loss of deep pain perception.

This system is commonly used by veterinarians to assess patients.

Table 8. Check sheet of evaluation by owner.

	Excellent	Good	Poor
Gait			
Running			
Desire to go for a walk			
Go up and down the stairs freely			
Scratch the body by the hind limb			
Shake the tail			
Urination for oneself			
Jump with pleasure			
Jump onto the sofa etc.			
stand with the hind limb			

This system is used by owner to assess patients.

Table 9. Postoperative score of PLDD by veterinarians.

Score		Head (n=21), (%)		Improvement rate
3	Excellent	8	(38.1)	85.7%
2	Good	10	(47.6)	
1	Same	1	(4.8)	
0	Poor	2	(9.5)	

Table 10. Postoperative score of Hansen type I by veterinarians.

Score		Head (n=9), (%)		Improvement rate
3	Excellent	3	(33.3)	77.7%
2	Good	4	(44.4)	
1	Same	0	(0)	
0	Poor	2	(22.2)	

Table 11. Postoperative score of Hansen type II by veterinarians.

Score		Head (n=12), (%)		Improvement rate
3	Excellent	5	(41.7)	91.7%
2	Good	6	(50)	
1	Same	1	(8.3)	
0	Poor	0	(0)	



Table 12. Comparison of improvement rate.

Improvement rate (%), (head)							
Grade	PLDD		Conservative treatment		Spinal decompression		Fenestration
II	100	(5/5)	84	(32/38)	95	(36/38)	93 (40/43)
III	88.9	(8/9)	84	(32/38)	93	(43/46)	85 (22/26)
IV	33.3	(1/3)	81	(13/16)	95	(37/39)	88 (7/8)

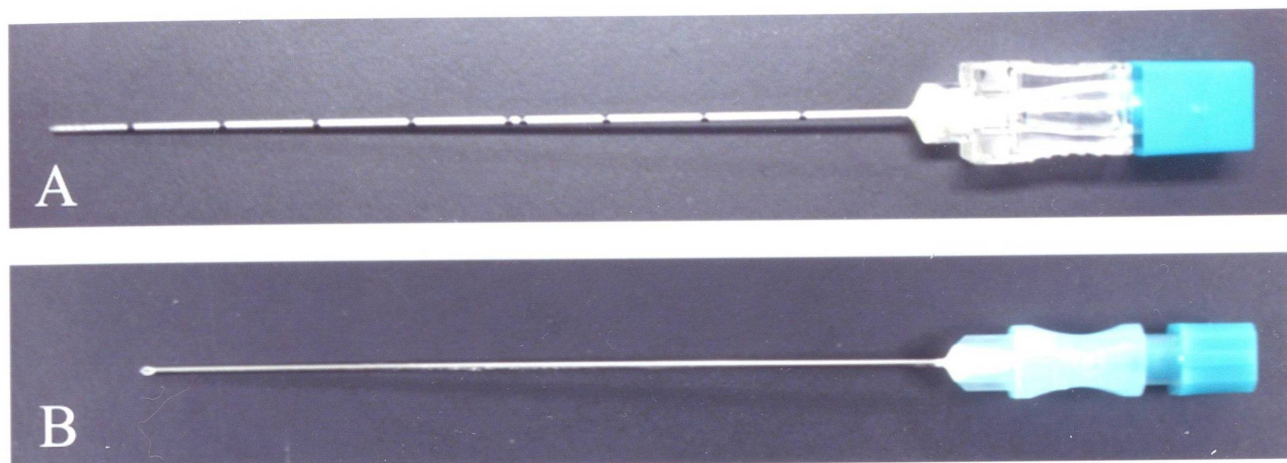


Fig. 1. Needles of PLDD. A: 21gauge, 90mm ultrasound biopsy needle. B: 21gauge, 90mm spinal needle.



Fig. 2-A. The PLDD procedure in cervical discs. Under general anesthesia, the dog is placed in the supine position. The ventro-lateral neck is prepared with clipping and surgical antiseptic.



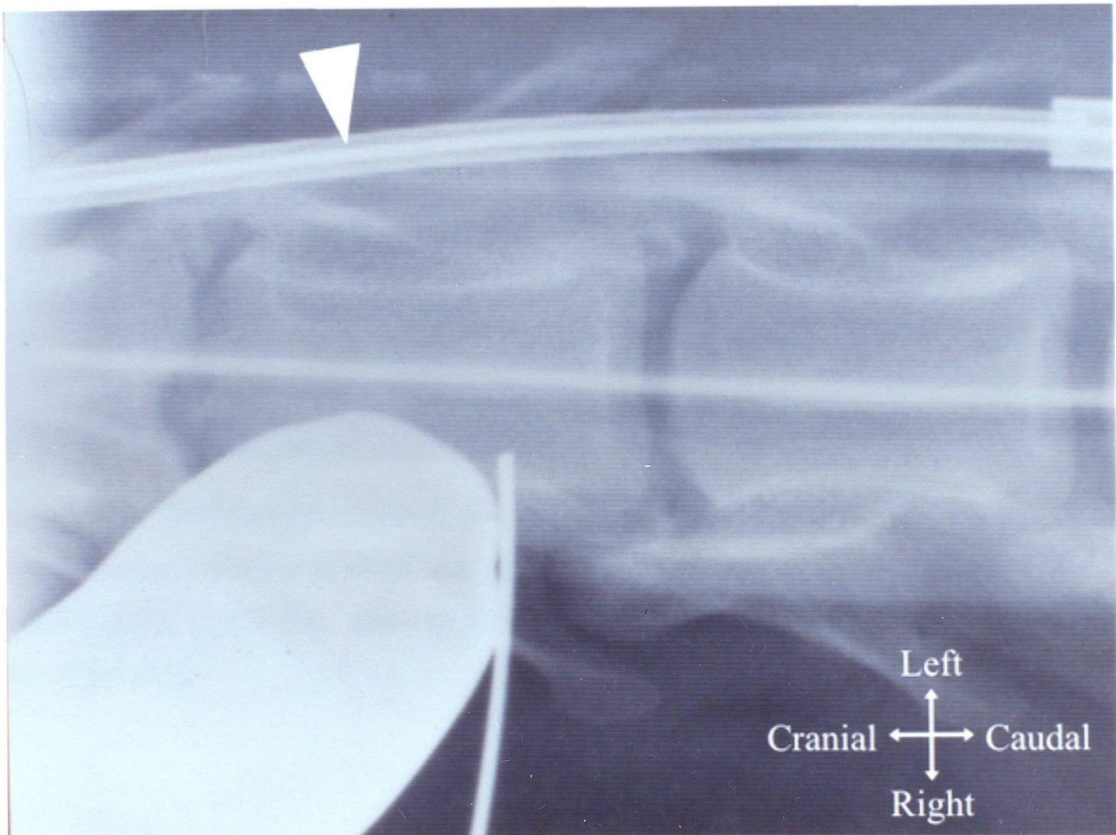
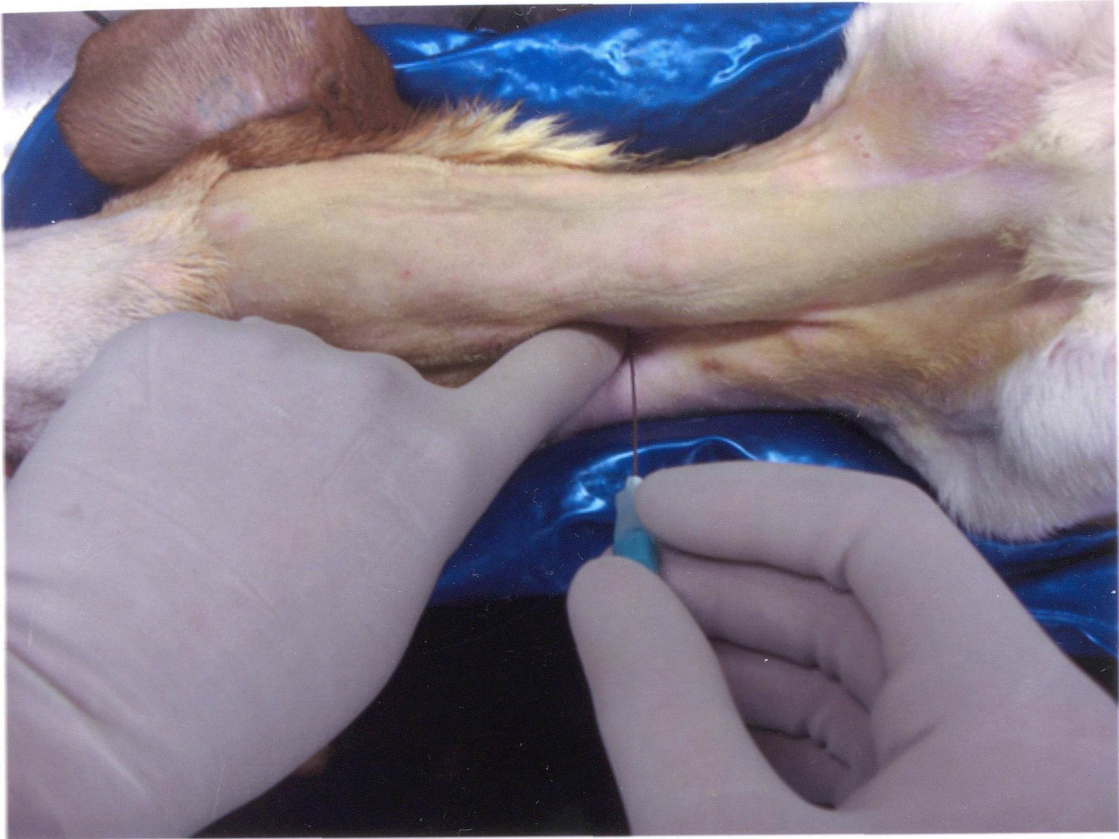


Fig. 2-B. The needle is inserted from a ventro-lateral approach with digital pressure against esophagus and trachea. Notice radiopaque marker was placed in the esophagus (arrowhead).



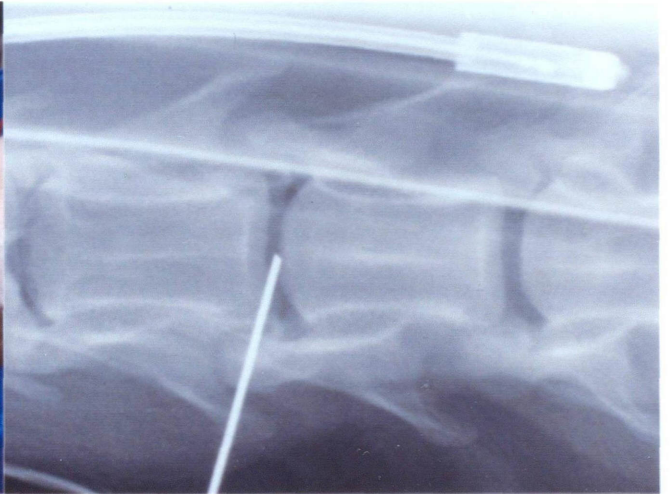
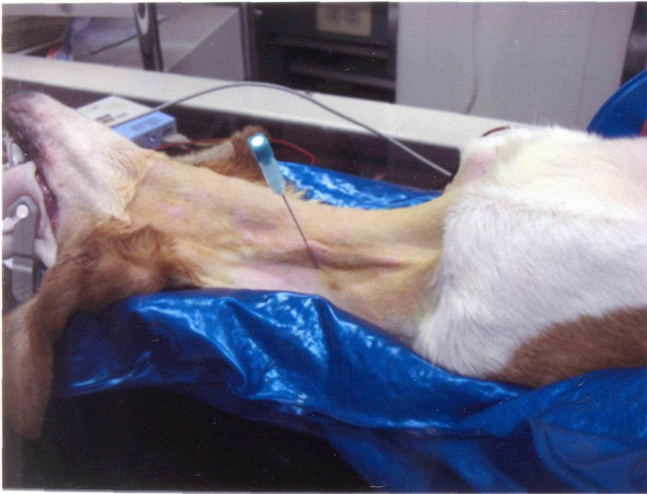
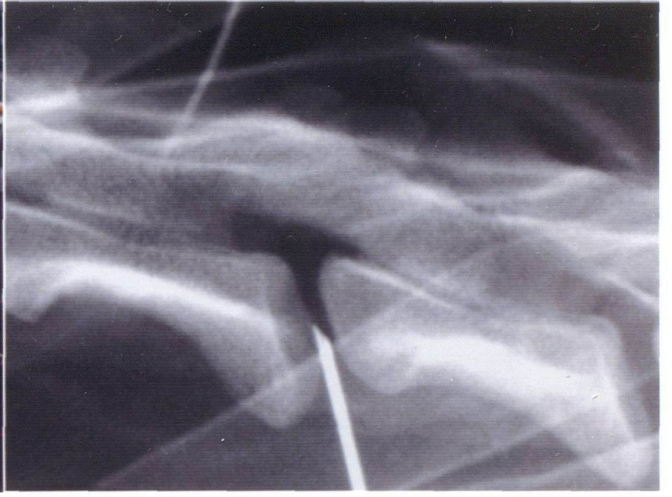
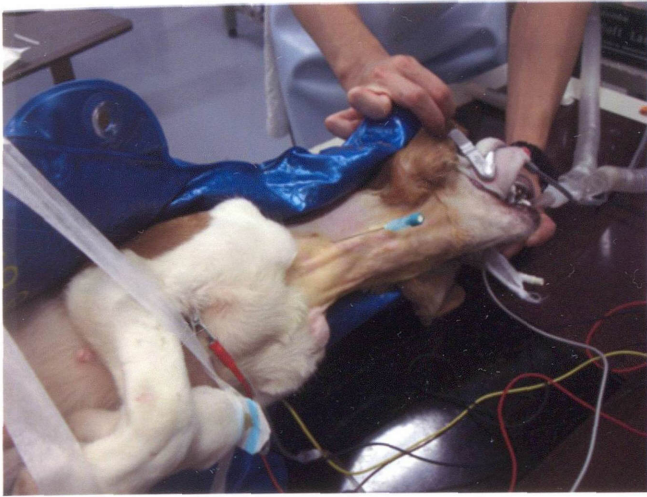
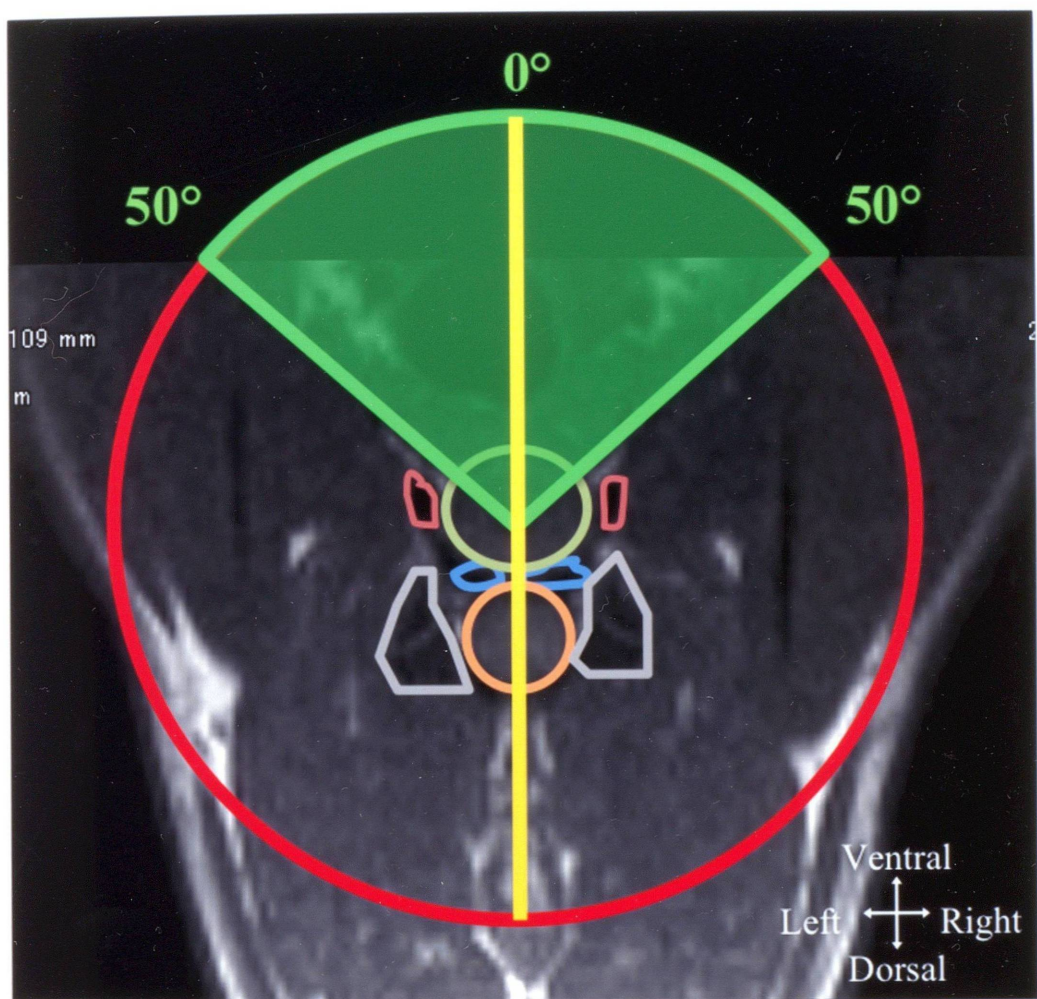


Fig. 2-C. Under fluoroscopic control, the needle is directed toward the center of the disc. Fluoroscopic images are taken to check the position of the needle as it is advanced toward the disc. the needle is parallel to the disc, midway between the cranial and caudal end-plate, until the tip is just center of the disc.



- Intervertebral disc
- Vertebral artery and vein
- Plexus vertebralis internus ventralis
- Spinal cord in vertebral canal
- Cervical vertebra

Fig. 2-D. The optimum angle of needle entry in cervical discs (green area). The yellow line is midline.





Fig. 3-A. The PLDD procedure in thoracolumbar discs. Under general anesthesia, the dog was placed in lateral recumbency. The dorso-lateral back was prepared with clipping and surgical antiseptic. A needle is placed on the trunk of the dog to overlie the target disc. The point of needle entry is decided by measuring the distance from tip of the spinous process.



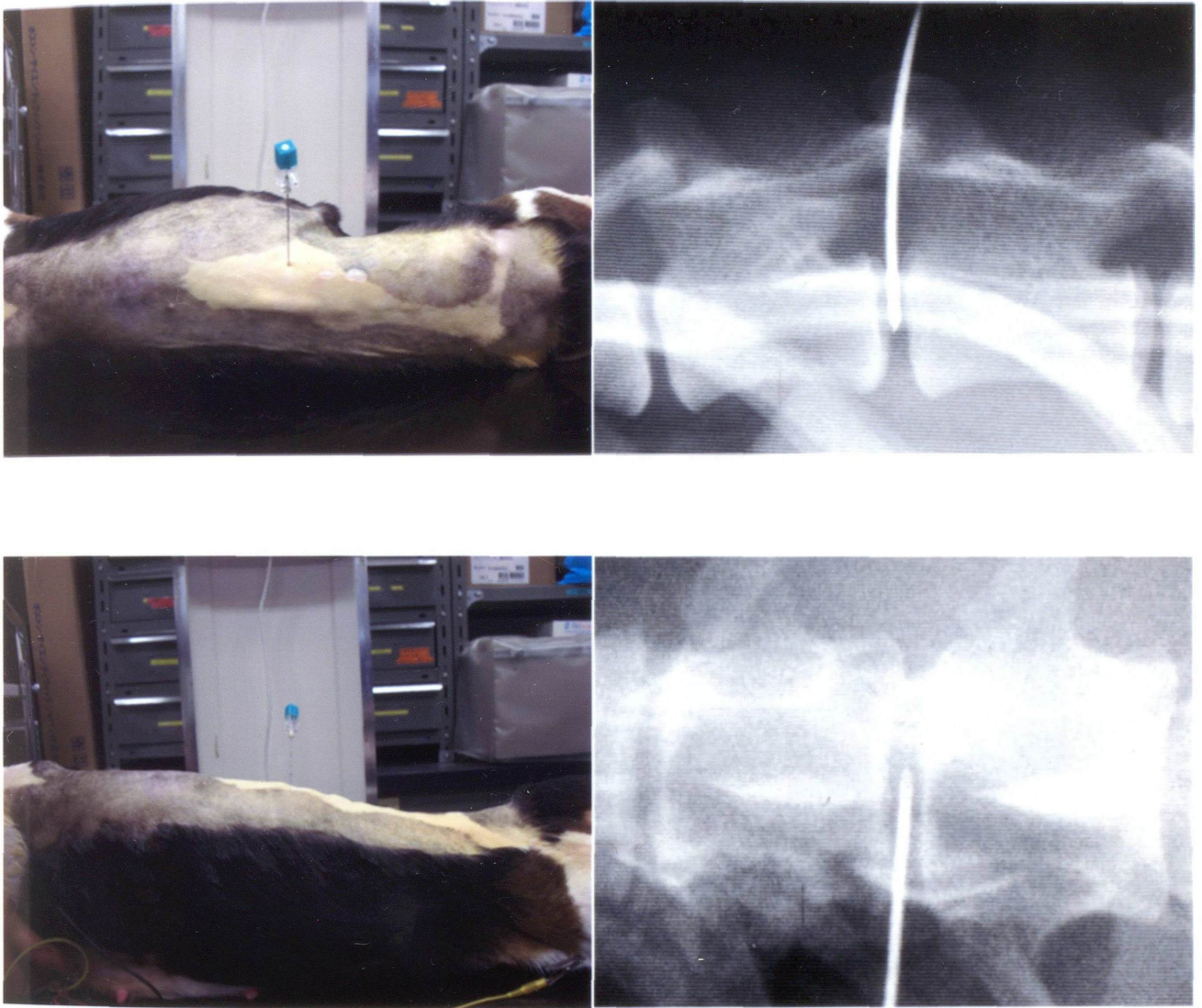
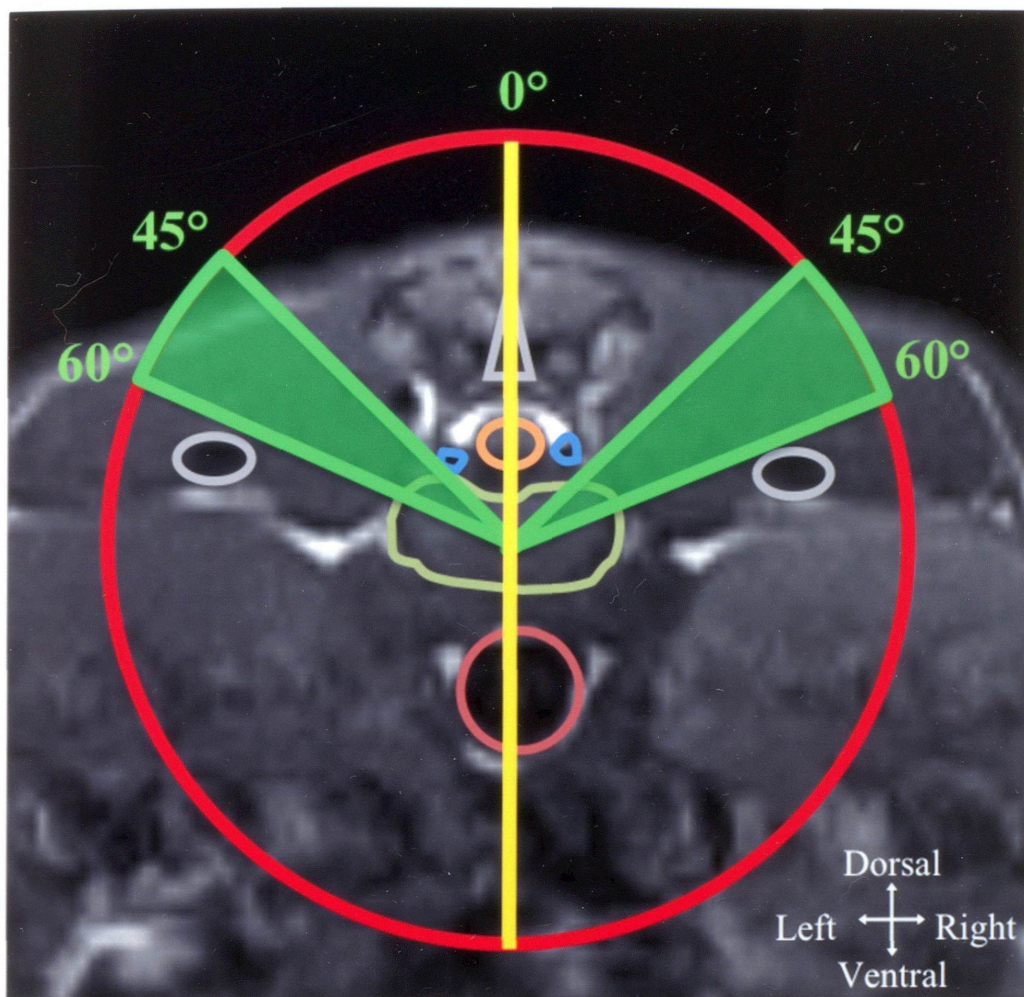


Fig. 3-B. Under fluoroscopic control, the needle is directed toward the center of the disc. The needle is parallel to the disc, midway between the cranial and caudal end-plate.



- Intervertebral disc
- Aorta
- Plexus vertebralis internus ventralis
- Spinal cord in vertebral canal
- Ribs and spinous process

Fig. 3-C. The optimum angle of needle entry in thoracolumbar discs (green area). The yellow line is a midline.



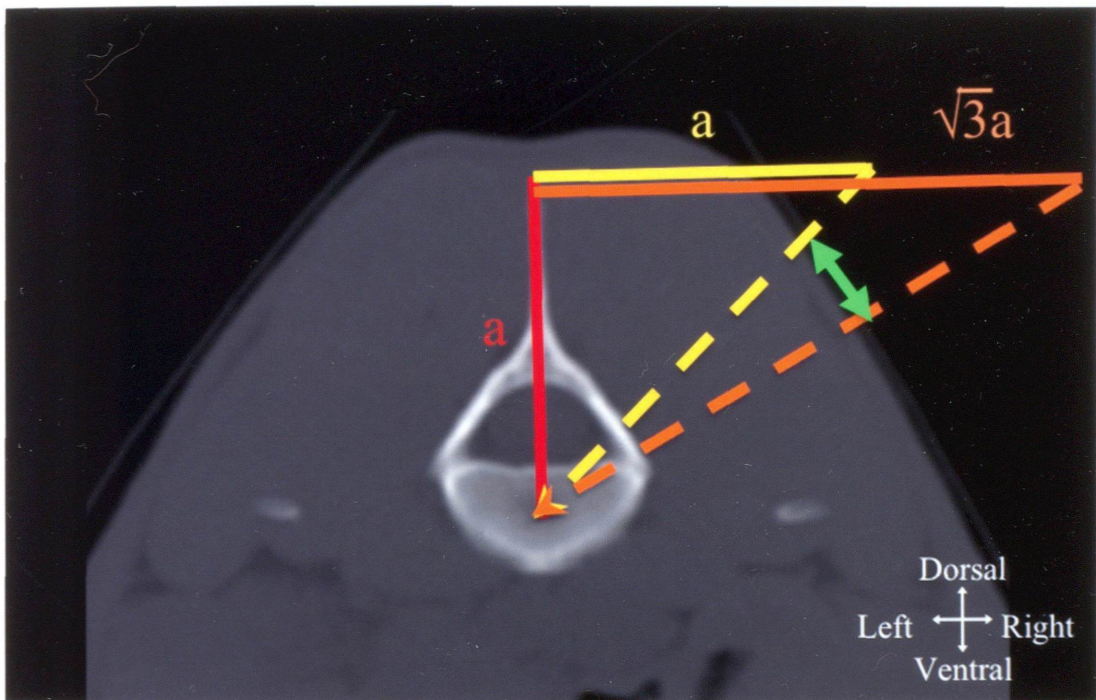


Fig. 3-D. The optimum area of needle entry in thoracolumbar discs (green arrow). This area was calculated from the Pythagorean theorem. Red, distance from center of the disc to tip of the spinous process; yellow, the needle entry point of 45 degrees; orange, the needle entry point of 60 degrees.

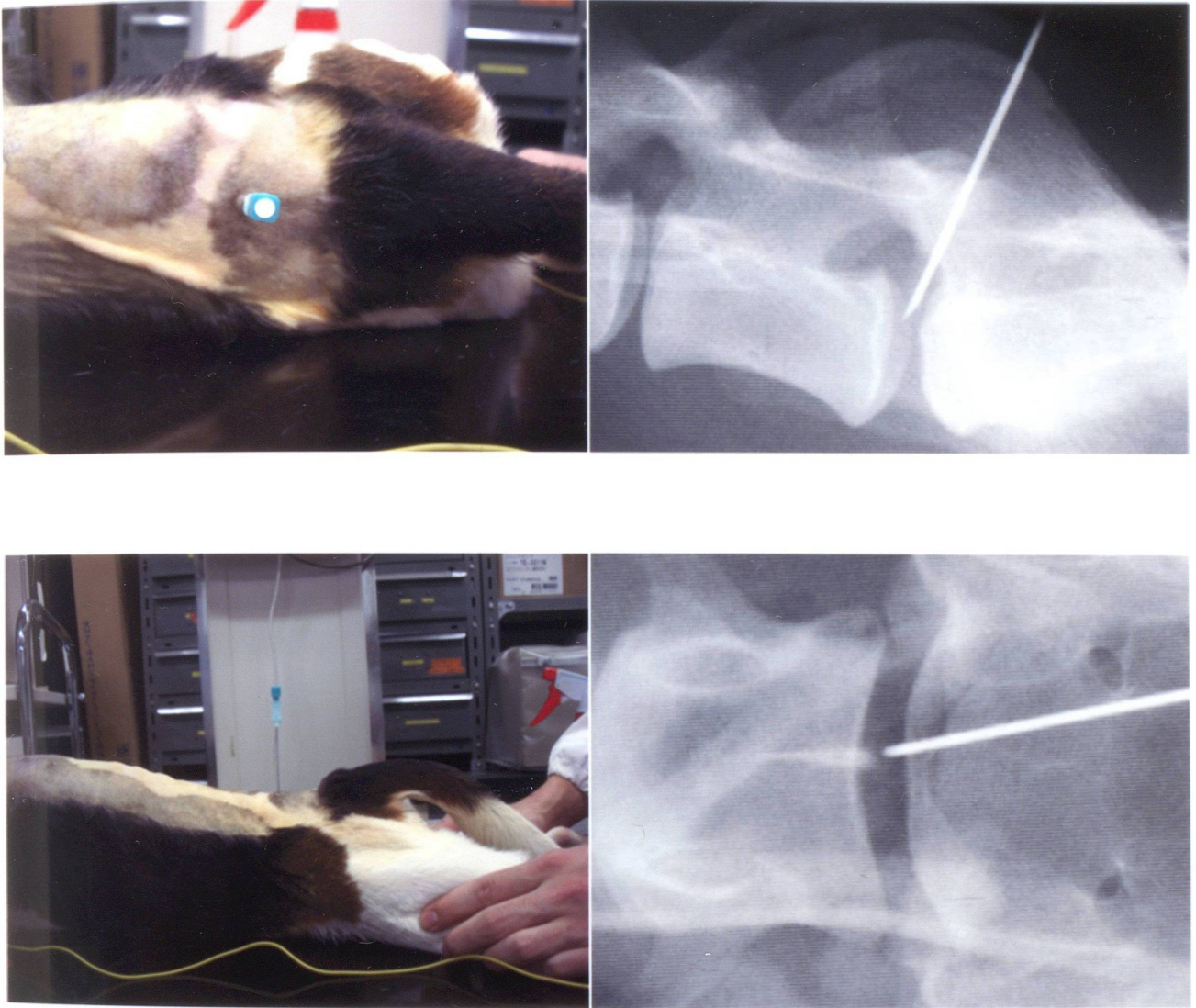


Fig. 4. The PLDD procedure in lumbosacral discs. Under general anesthesia, the dog was placed in lateral recumbency. The dorsal back was prepared with clipping and surgical antiseptic. Under fluoroscopic control, the needle is directed toward the center of the disc, through the vertebral canal.



Fig. 5. Diode laser DVL-15 (Asuka Medical, Inc.). Center wavelength is 810nm.



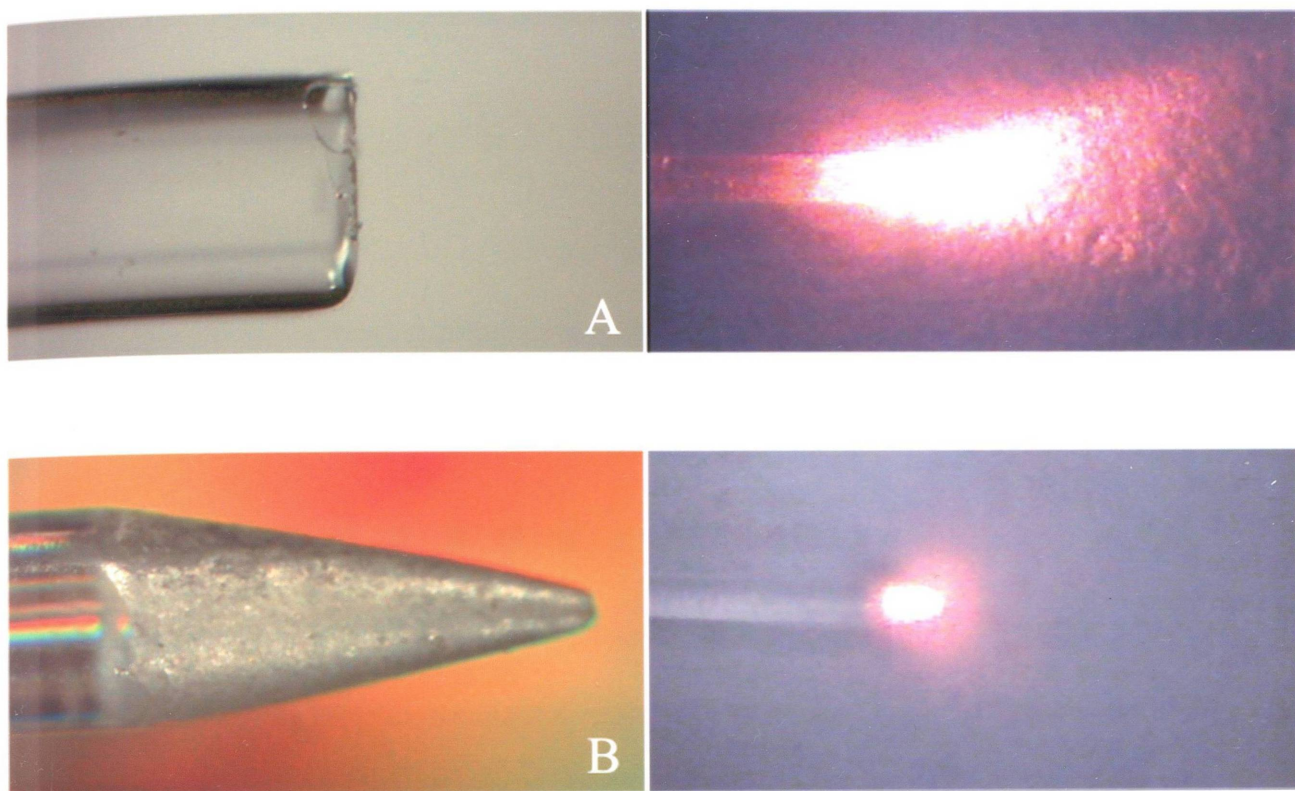


Fig. 6. The laser fibers. A: an active fiber. B: a conical fiber. B was used in this study.

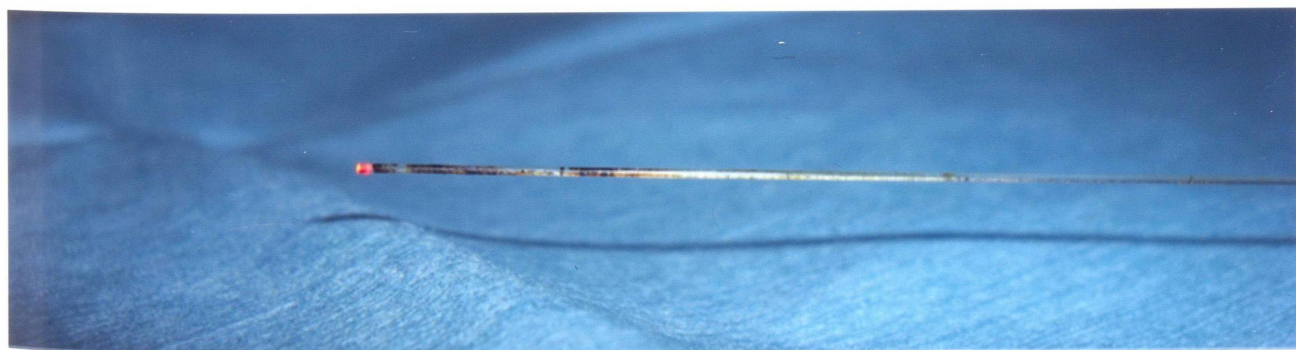


Fig. 7. Carbonization of the fiber.

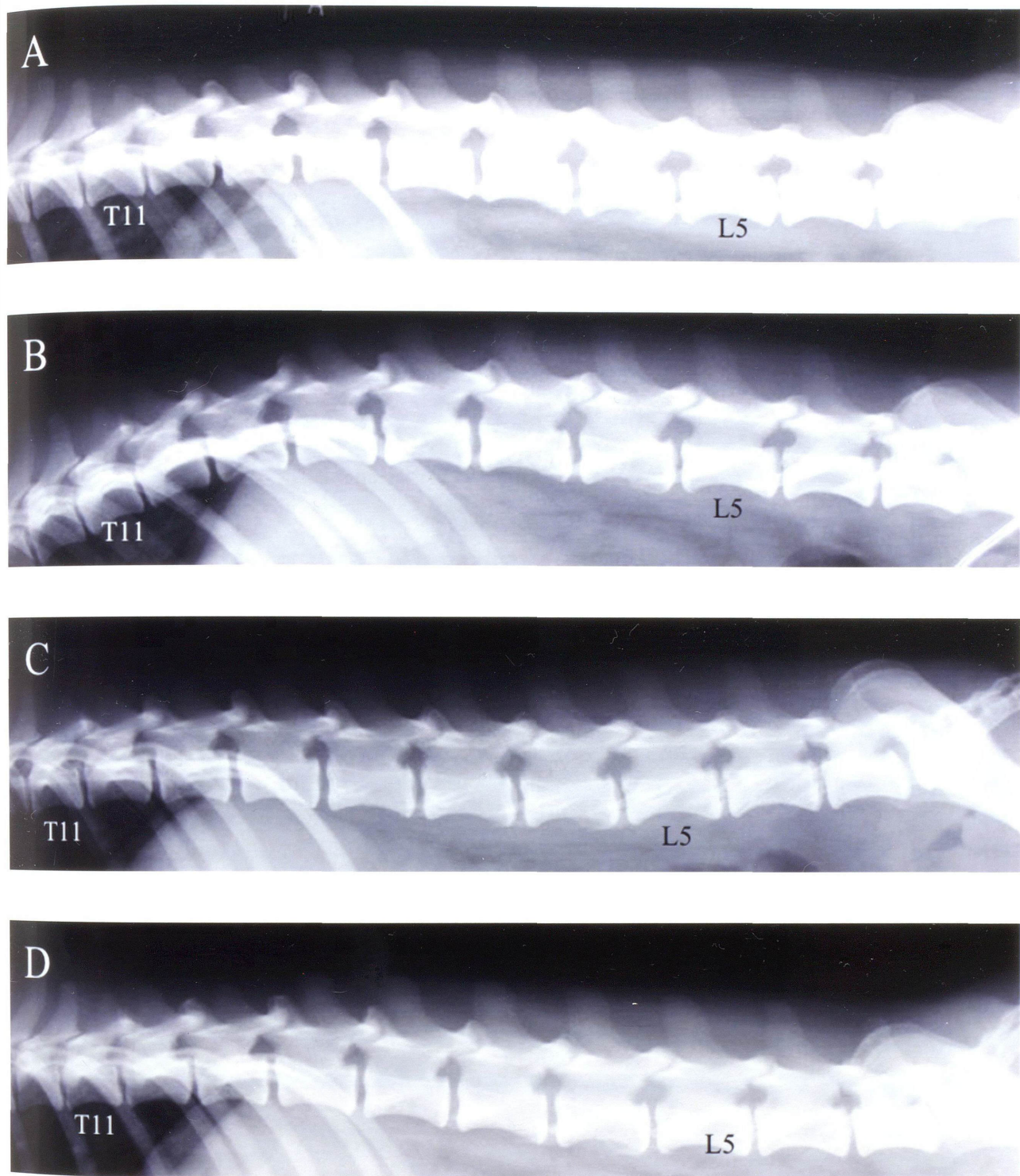


Fig. 8. Radiographs of the thoracolumbar vertebrae. (A) Before laser irradiation. (B) Immediately after laser irradiation. (C) One day after laser irradiation. (D) Ten days after laser irradiation.



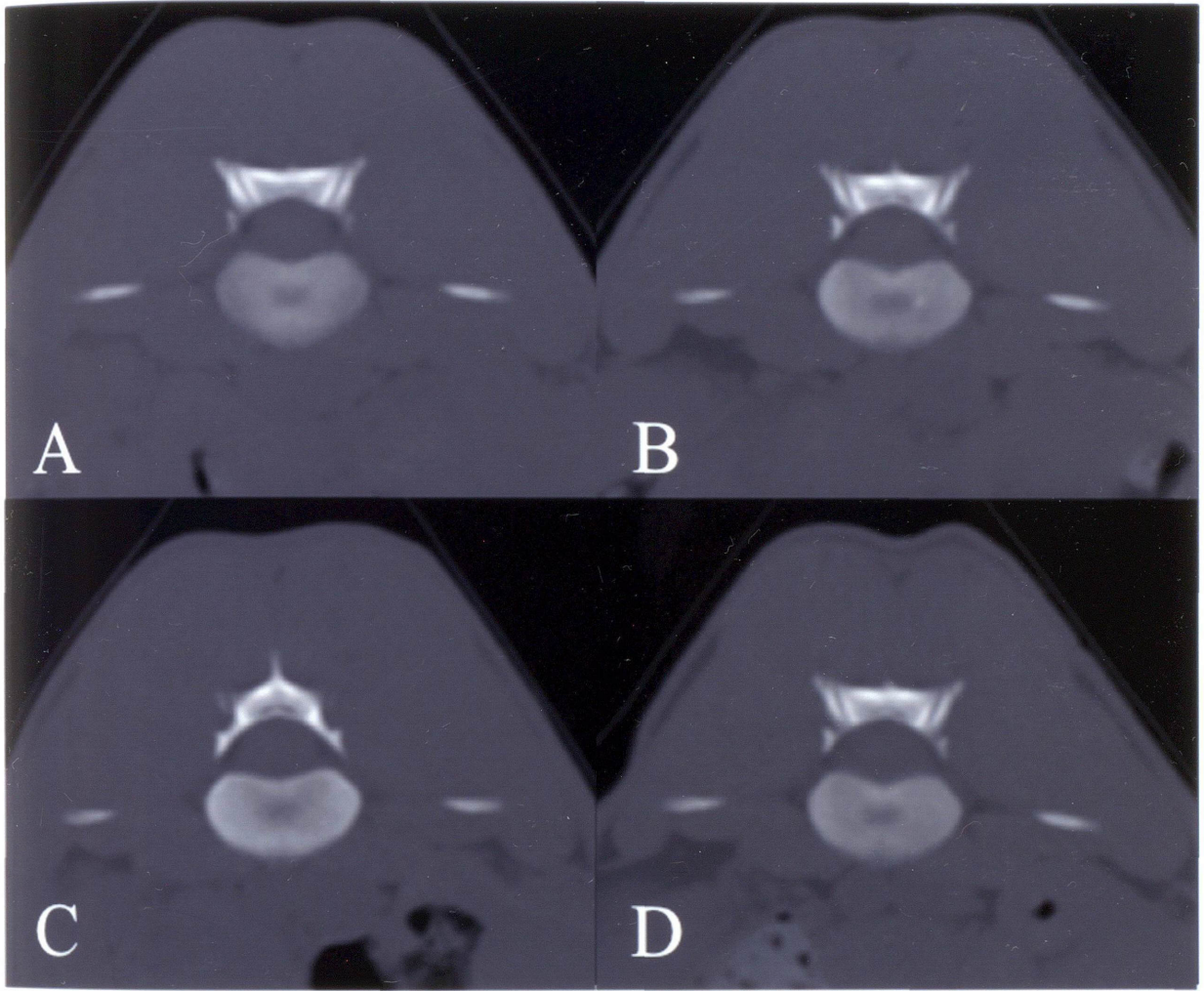


Fig. 9-A. Transverse CT images of the intervertebral disc. (A) Before laser irradiation. (B) Immediately after laser irradiation. (C) One day after laser irradiation. (D) Ten days after laser irradiation.

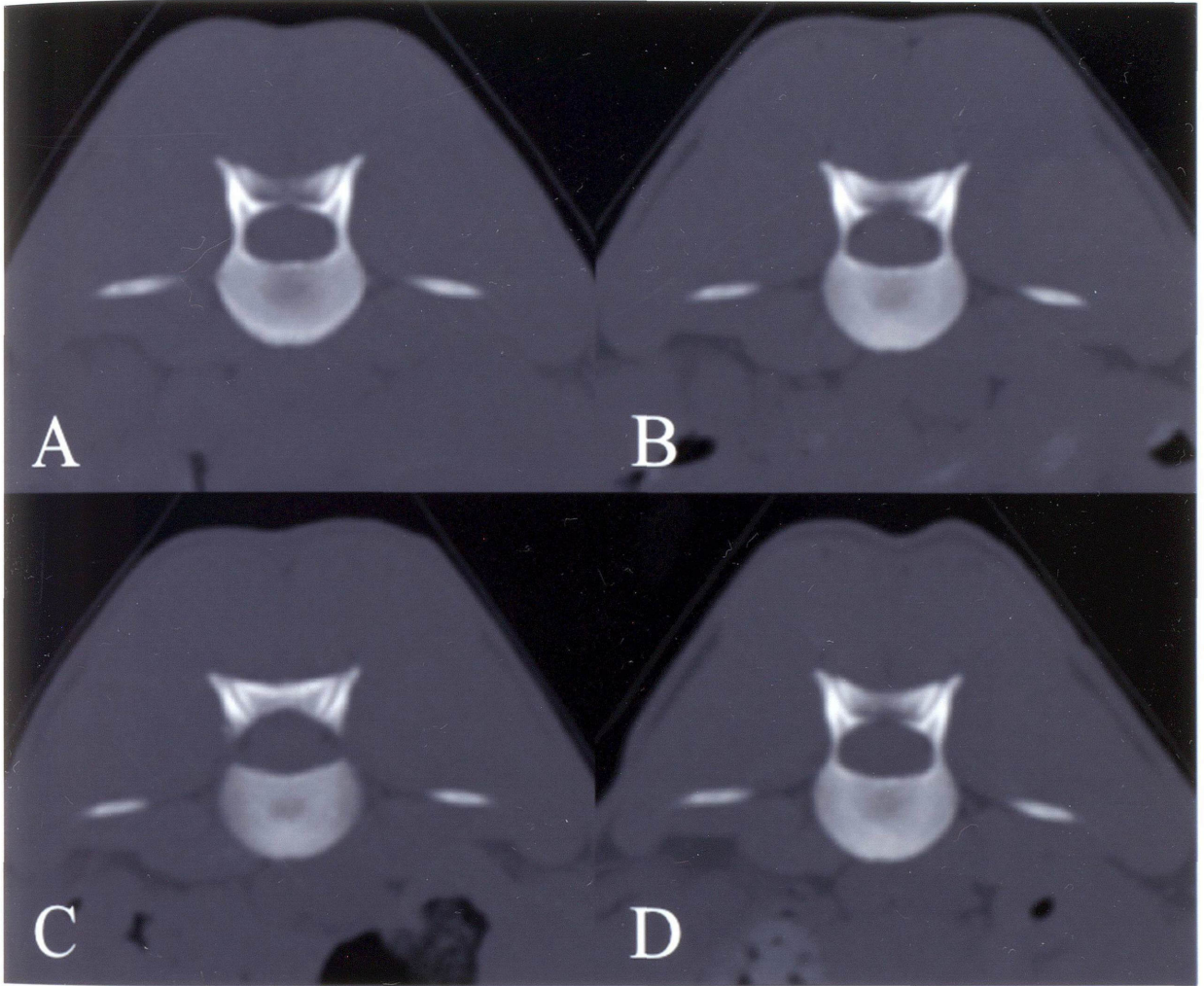


Fig. 9-B. Transverse CT images of the end-plate of the vertebral body. (A) Before laser irradiation. (B) Immediately after laser irradiation. (C) One day after laser irradiation. (D) Ten days after laser irradiation.



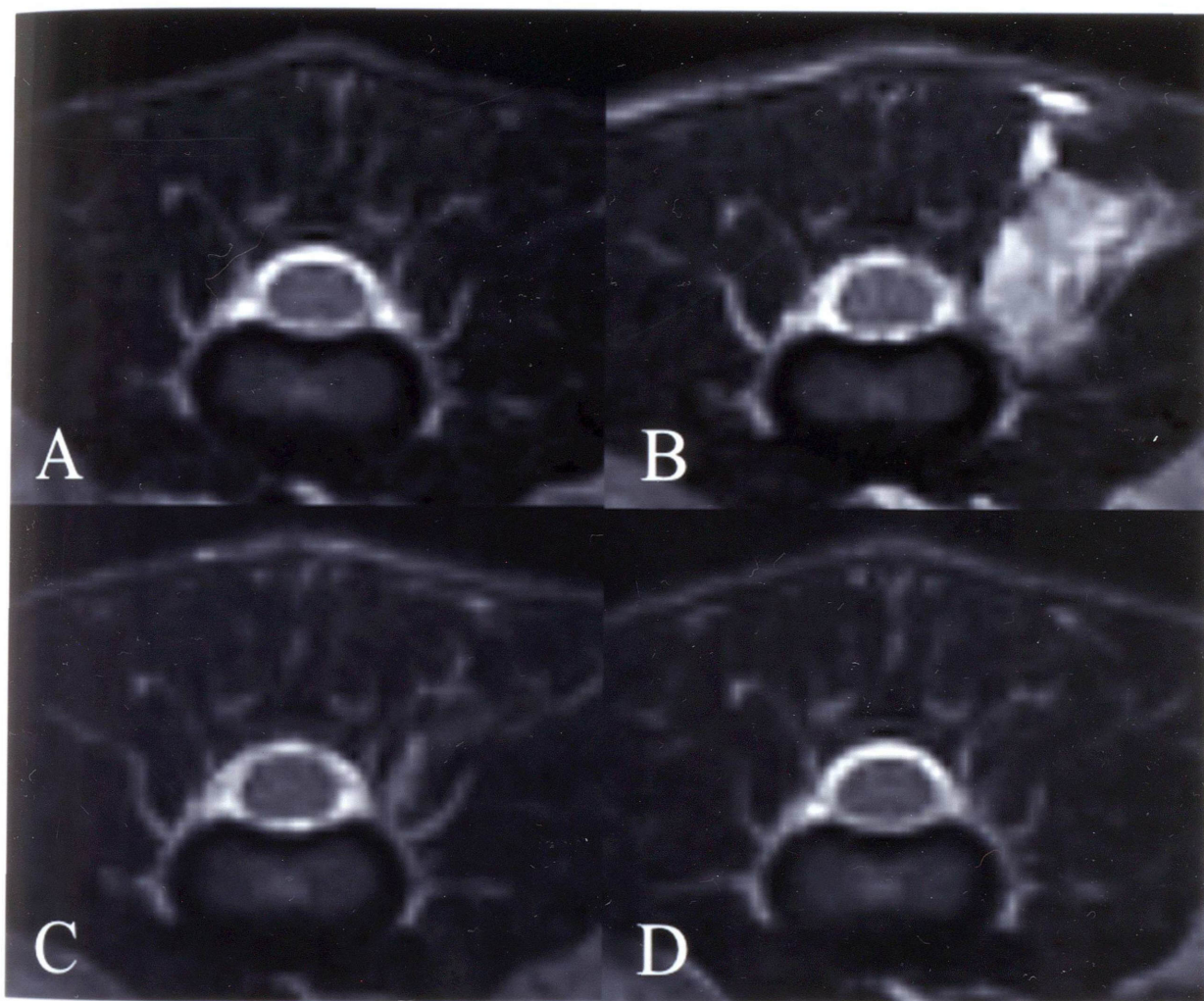


Fig. 10-A. Transverse T2-weighted MR images of the intervertebral disc. (A) Before laser irradiation. (B) Immediately after laser irradiation. (C) One day after laser irradiation. (D) Ten days after laser irradiation.



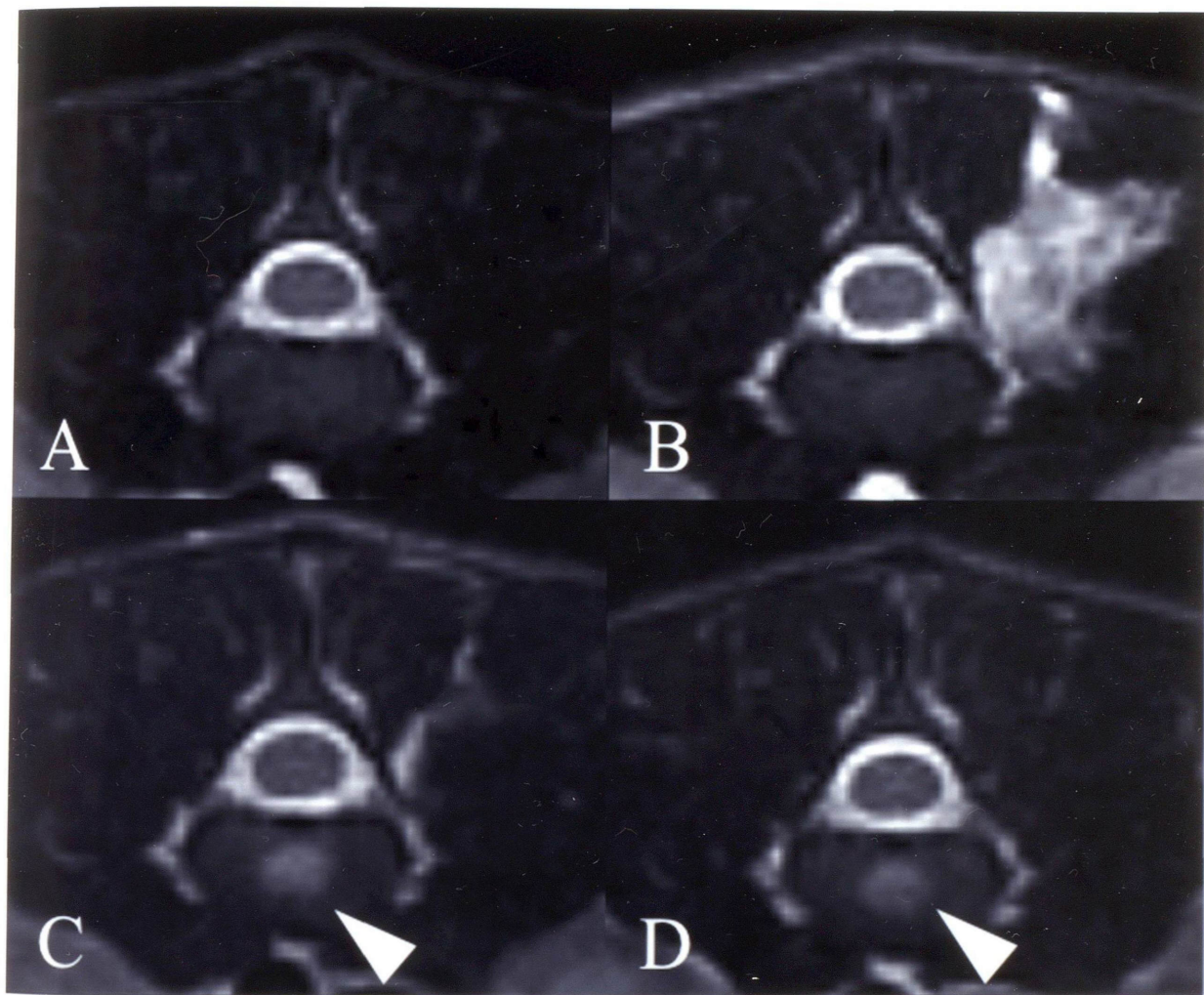


Fig. 10-B. Transverse T2-weighted MR images of the end-plate of the vertebral body. The MR images of 1 day after laser irradiation (C) and 10 days after laser irradiation (D) demonstrated high-intensity changes in the end-plate of the vertebral bodies (arrowheads). (A) Before laser irradiation. (B) Immediately after laser irradiation. (C) One day after laser irradiation. (D) Ten days after laser irradiation.



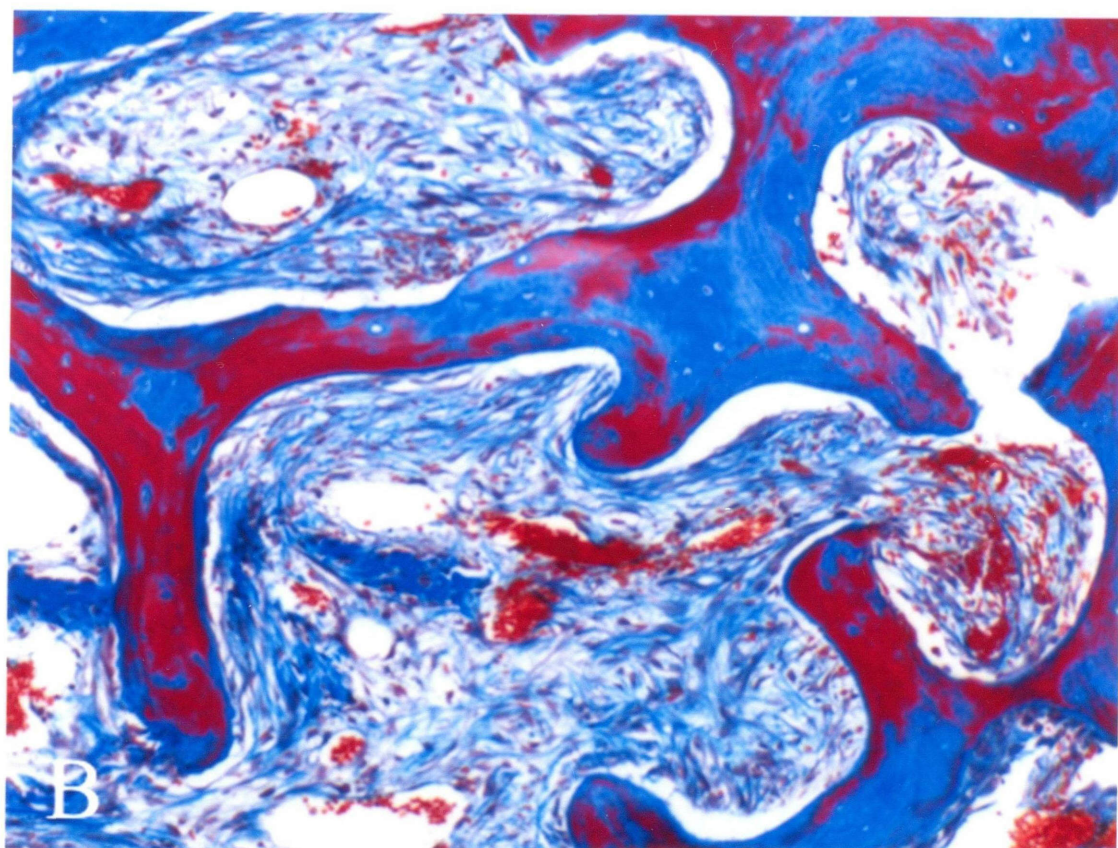
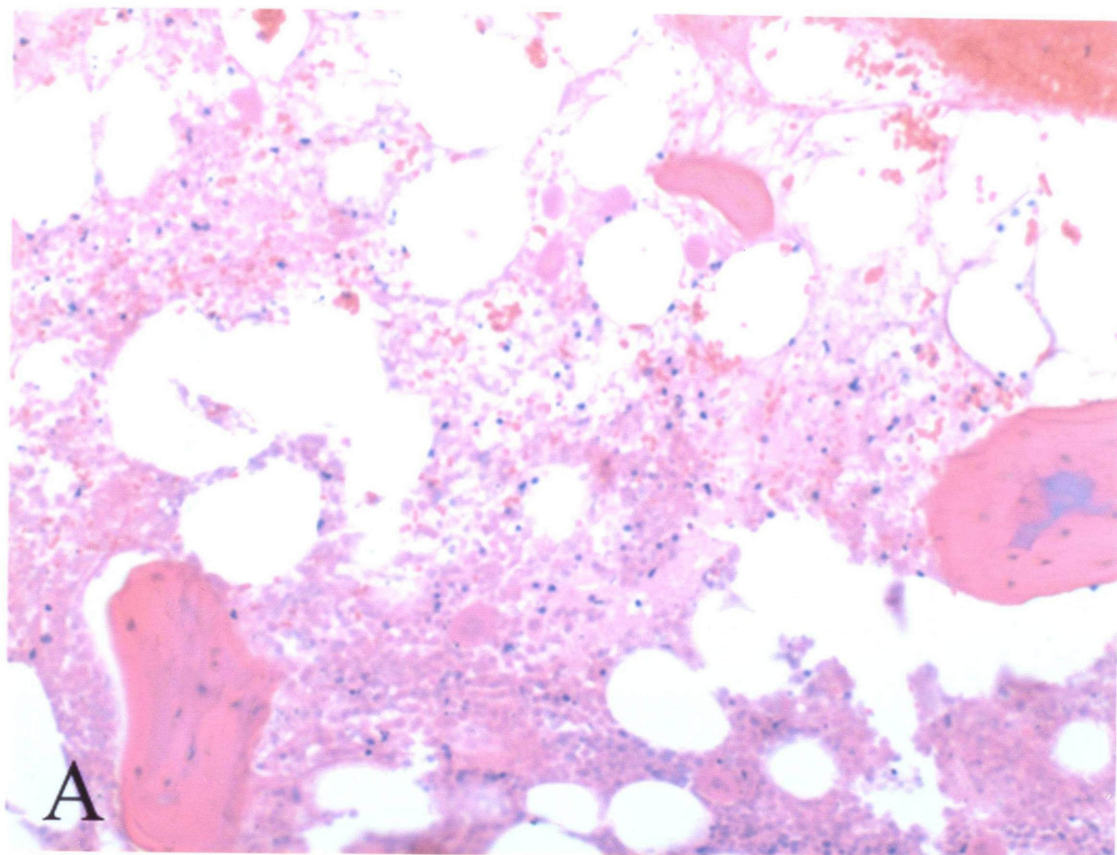


Fig. 11. Histological appearance of the vertebral body marrow at 10 days after laser irradiation. (A) The bone marrow with necrosis (sagittal slice, H. E. stain,  $\times 200$ ). (B) Fiber ossifying intra-organization (sagittal slice, M. T. stain,  $\times 40$ ).

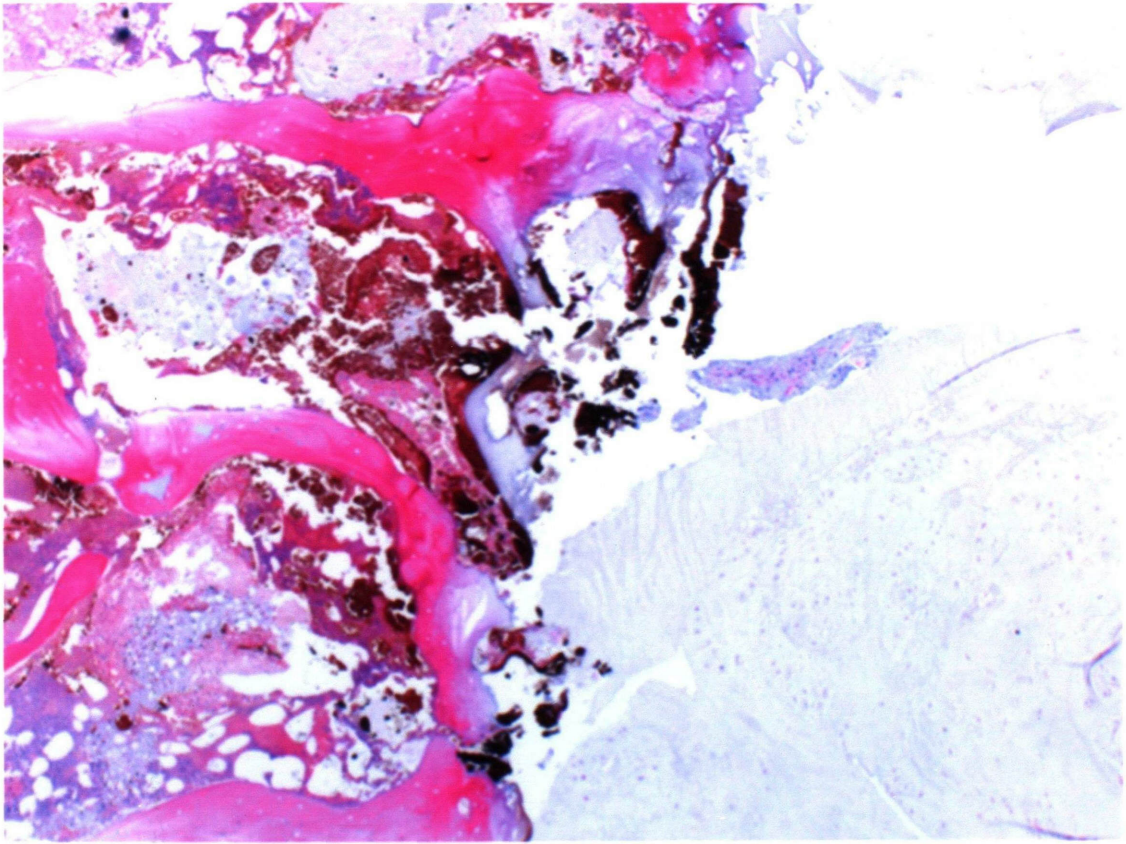
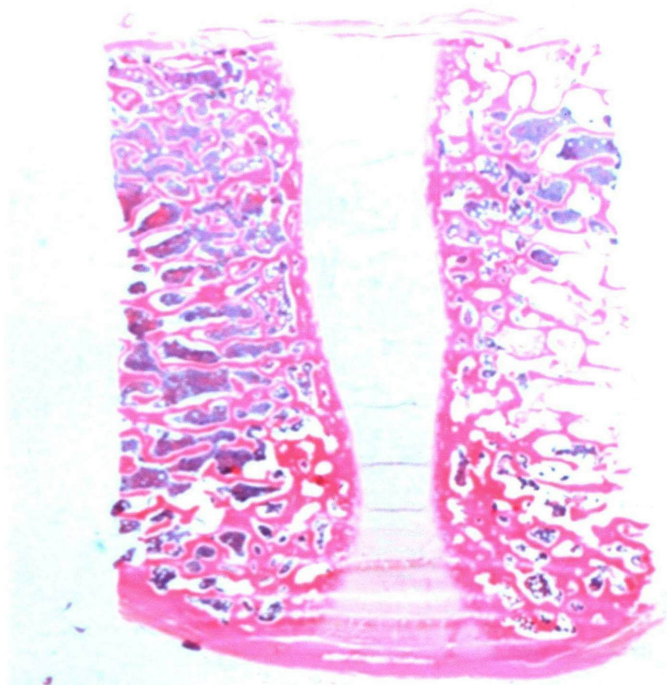
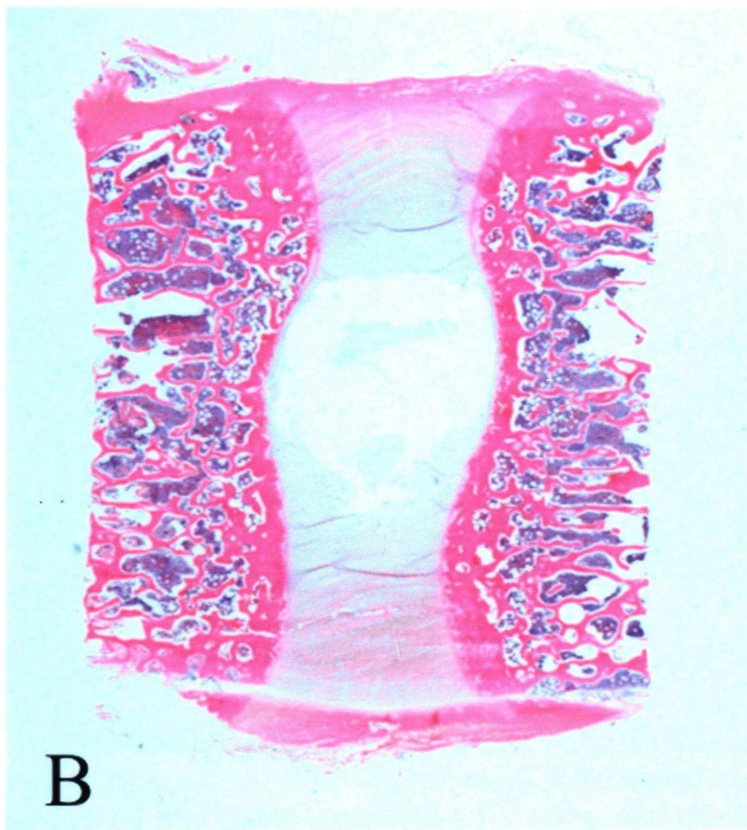


Fig. 12. Histological appearance of the end-plate of the vertebral body at 10 days after laser irradiation (sagittal slice, H. E. stain,  $\times 40$ ).





A



B

Fig. 13. Histological appearance of the nucleus pulposus (sagittal slice, H. E. stain, loupe). (A) Control. (B) Ablation of the nucleus pulposus.

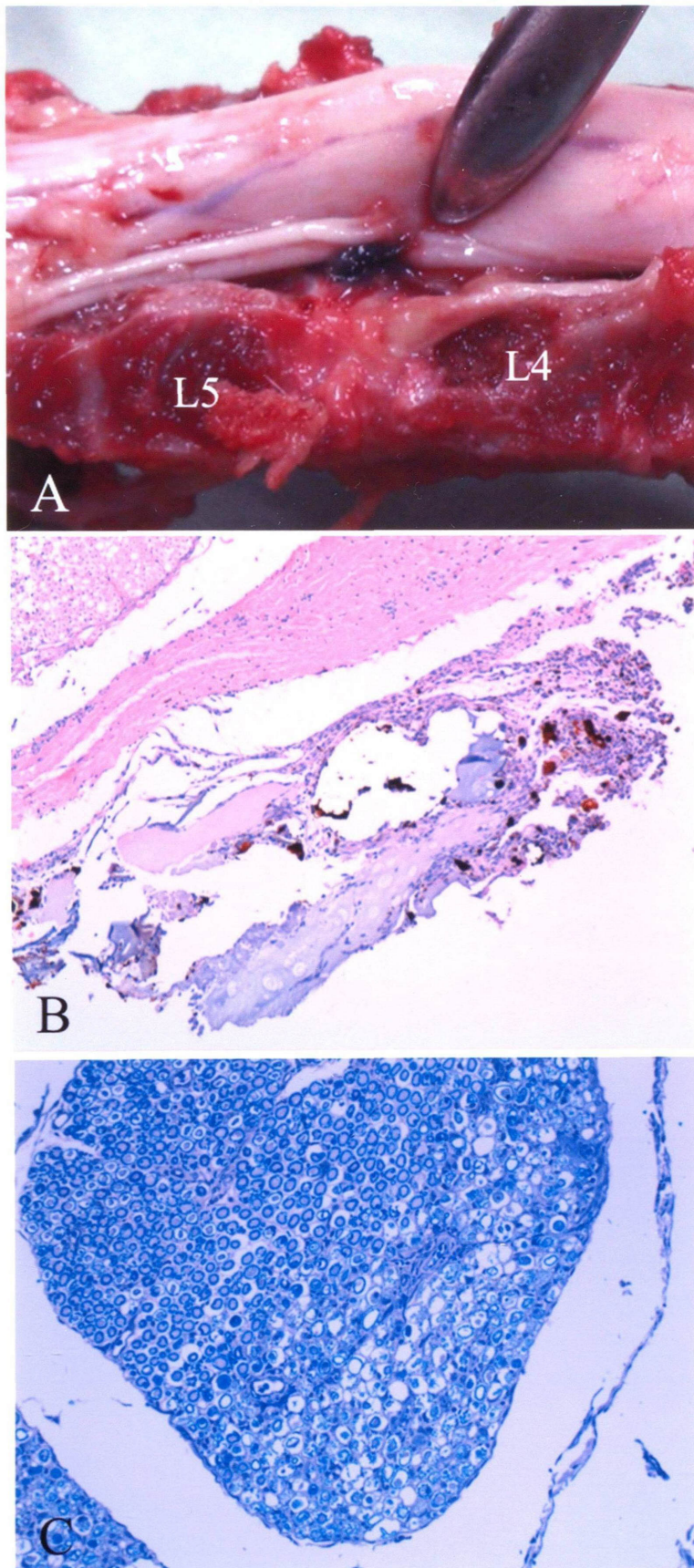


Fig. 14. The pathological lesion of the spinal. The adhesion of herniated mass to nerve root (L4-5) was observed, with carbonized disc tissue surrounding the nerve root and might have their nerve root injured thermally. (A) The macroscopic findings of the spinal nerve root damage. (B) Extradural black mass (H. E. stain,  $\times 100$ ). (C) Damage to the intradural nerve (LFB. H. E. stain,  $\times 400$ ).



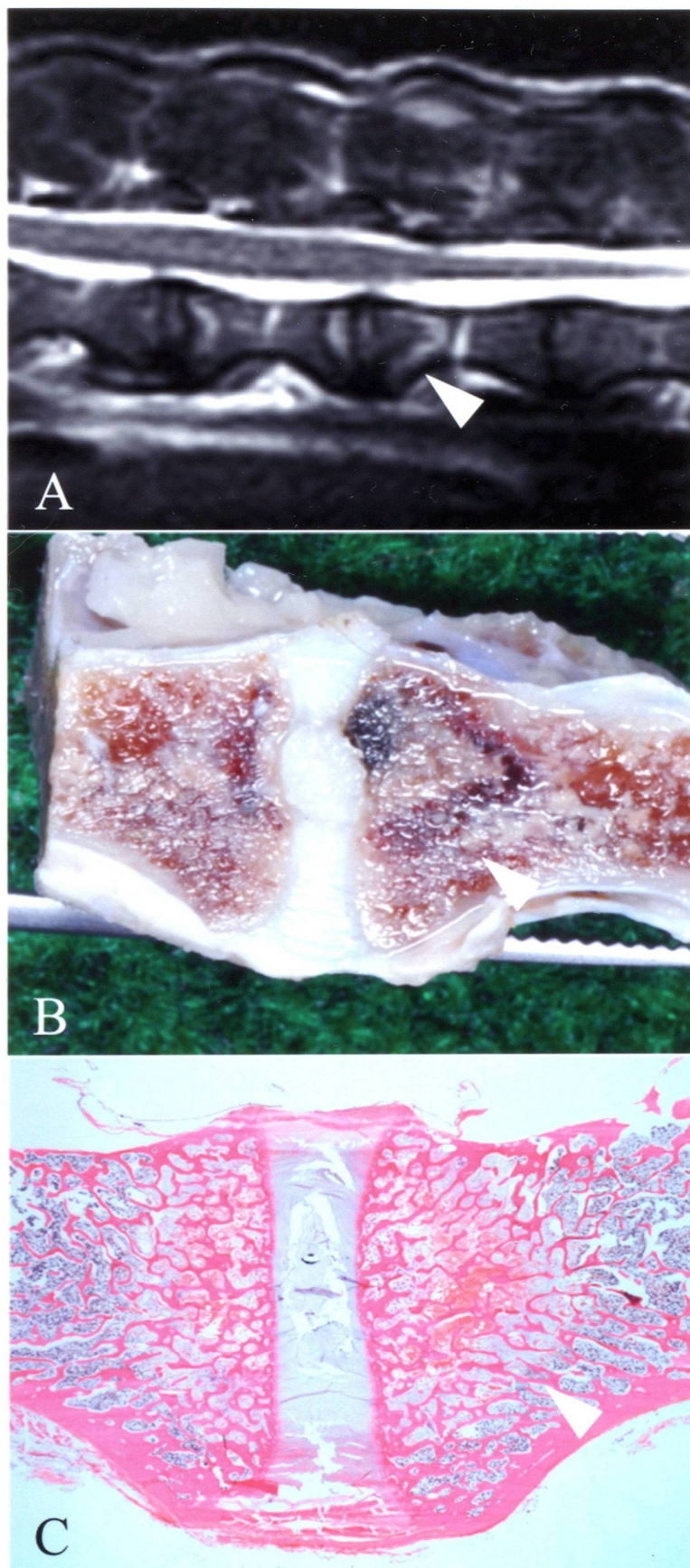


Fig. 15. Comparison between MR images findings and macroscopic findings and pathological findings to the lesion of the vertebral bone marrow (arrowheads). (A) MR images findings. (B) Macroscopic findings. (C) Pathological findings (sagittal slice, H. E. stain, loupe).

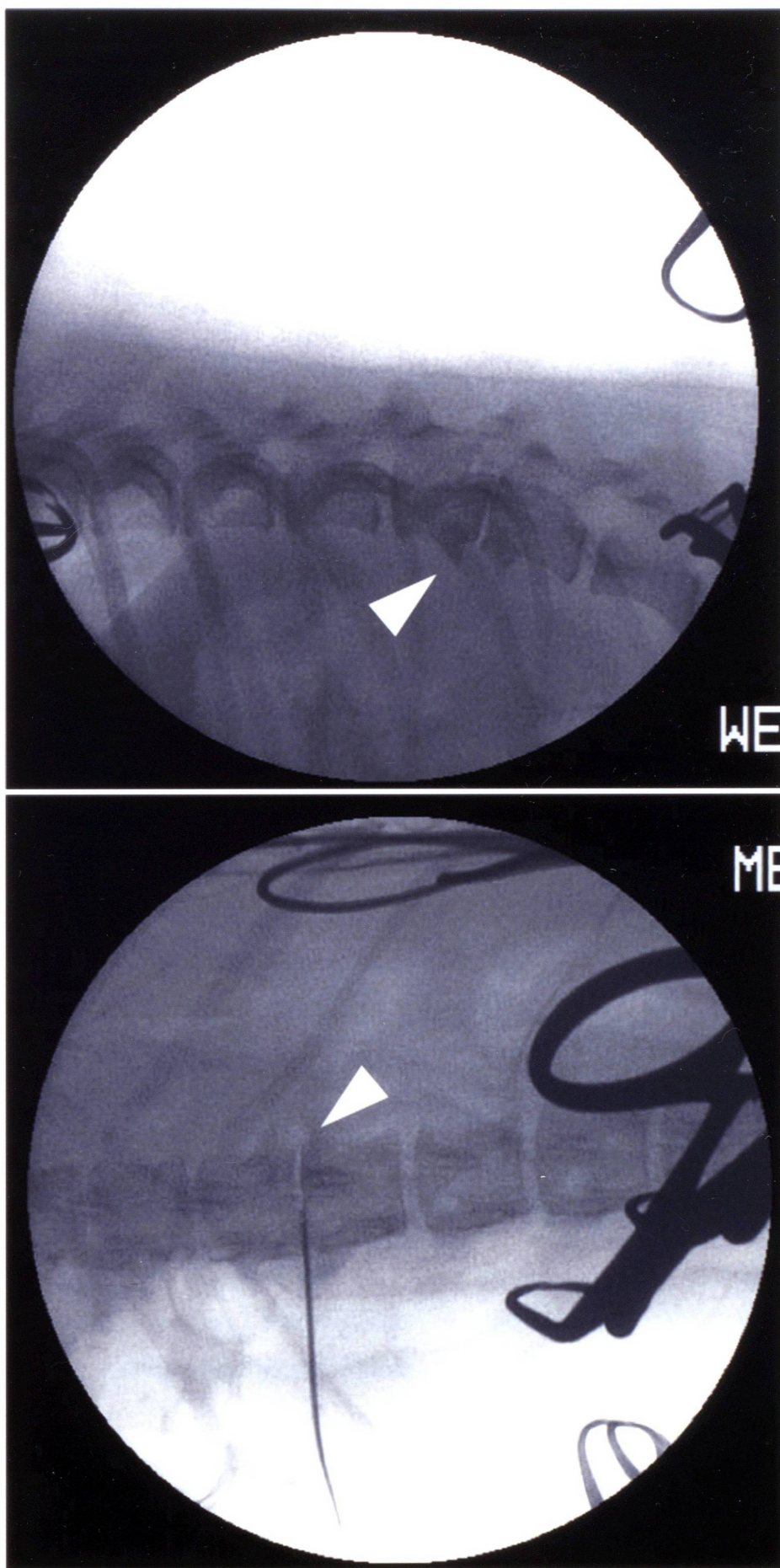


Fig. 16. To tap of the guide needle were impossible, because the target intervertebral disc was a degeneration spondylosis and an intervertebral disc stricture (arrowheads).



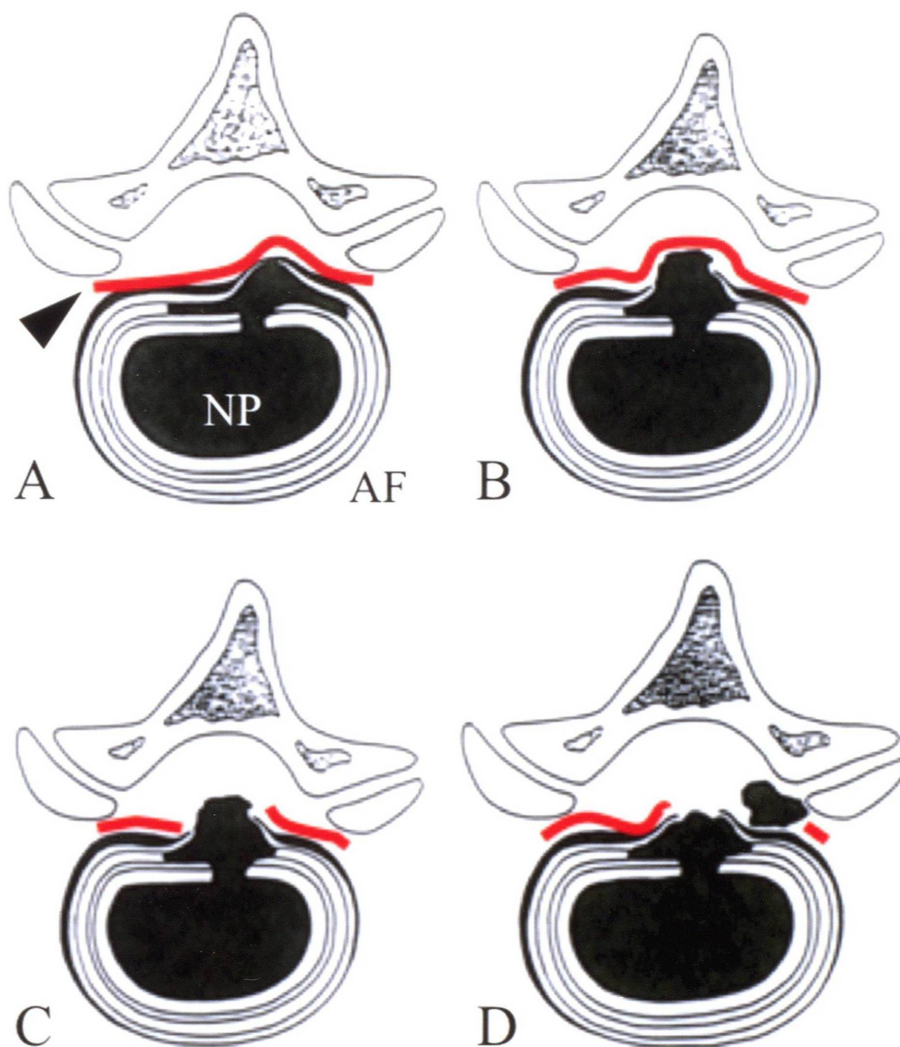


Fig. 17-A. The typing of intervertebral disc hernia in medicine<sup>[7]</sup>. (A) Protrusion type. (B) Subligamentous extrusion type. (C) Transligamentous extrusion type. (D) Sequestration type. NP, nucleus pulposus; AF, annulus fibrosus; Arrowhead, longitudinal ligaments.



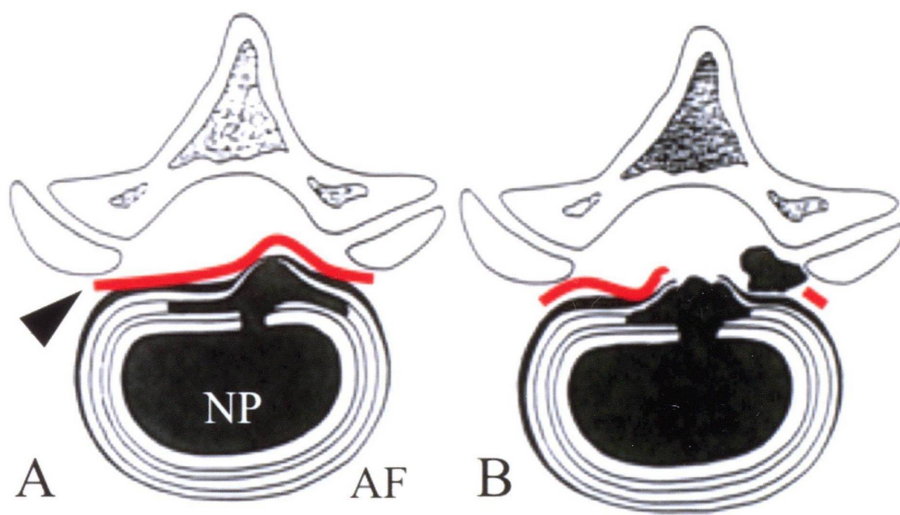


Fig. 17-B. The typing of intervertebral disc hernia in veterinary medicine<sup>[7]</sup>. (A) Hansen type II . (B) Hansen type I . NP, nucleus pulposus; AF, annulus fibrosus; Arrowhead, longitudinal ligaments.