

# 学位論文要旨

氏名 網本 宏和

題目：フォースプレートを用いた四肢の力学的機能評価方法に関する研究

## 論文要旨：

フォースプレートは四肢の床反力（Ground reaction forces: GRFs）を計測することができ、獣医領域では四肢の運動機能を定量化するためのゴールドスタンダードの検査となっている。これまでに整形外科疾患に対するフォースプレートを用いた研究の多くは垂直力の指標である PVF と VI が評価されているが、フォースプレートは制動力（PBF と BI）や推進力（PPF と PI）を測定することができる。また、歩行周期解析やベクトルの解析を行うことも可能であるが、これらの評価はなされていない。

犬の前十字靭帯断裂（Cranial cruciate ligament rupture: CCLR）は後肢跛行を呈する臨床的に非常に重要な疾患の一つであり、関節外制動術、脛骨粗面前進化術や脛骨高平部水平化骨切り術（Tibial plateau leveling osteotomy: TPLO）など様々な術式の客観的な有効性が示されている。しかし、これらの報告の全ては PVF と VI の垂直力の評価に限定されていた。また、小型犬の TPLO に関する情報は非常に限られており、機能回復を客観的に評価した報告はない。本研究ではフォースプレートを用いてこれまでに解析されていない新しい運動機能の評価法の検討と CCLR 罹患犬および TPLO の術後経過の客観的な運動機能回復を評価することを目的にした。

第1章では健常犬における四肢の運動機能の評価方法について調査した。前肢と後肢ともに垂直力が最大の力であり、次に大きな力は前肢では制動力であり後肢では推進力であった。また、歩行周期解析項目である、着地時間、最大制動力、垂直力、推進力および推進力移行時間は後肢と比較して前肢で有意に高値であった。以上より前肢は体重を支える事に加え制動力として機能し、後肢は推進力として機能していることが示された。また、歩行周期解析やベクトルの解析は四肢の詳細な運動機能の評価するために有用な解析項目であることが示唆された。

第2章では前十字靭帯の断裂程度および半月板損傷が四肢の運動機能に与える影響について調査した。靭帯の断裂程度は部分断裂群（PR 群）と完全断裂群（CR 群）に分類し、半月板は半月板損傷なし群（MI 群）と半月板損傷あり群（MT 群）に分類し比較した。すべての群で患肢の GRFs は対側後肢と比較して統計学的に有意に低下していた。また、すべての群で対側後肢と比較して患肢の最大垂直力時間は有意に延長しており、推進力移行時間は有意に短縮していた。PR 群と CR 群の比較では、CR 群における患肢の PVF、VI、PPF および PI は PR 群と比較して有意に低値であった。MI 群と MT 群の比較では、MT 群における患肢の PVF および VI は MI 群と比較して有意に低値であった。また、すべての群において対側肢と比較して患肢の最大垂直力時間は有意に延長し、推進力移行時間は有意に短縮していた。以上より靭帯の断裂程度は垂直力と推進力に影響を与え、半月板損傷の有無は垂直力のみに影響を与えることが示された。また、CCLR における患肢の代償反応が明らかとなった。

(別紙様式第 3 号)

第 3 章では体重 15 kg 以下の小型犬における TPLO の術後客観的な機能回復について調査した。術前における後肢の PVF と VI の対称性指数はそれぞれ、 $0.50 \pm 0.20$  と  $0.44 \pm 0.19$  であった。術後 2 ヶ月では  $0.92 \pm 0.16$  と  $0.90 \pm 0.18$  と顕著な患肢の運動機能の改善が認められた。術後 6 ヶ月には  $1.04 \pm 0.14$  と  $1.04 \pm 0.20$  と正常化し、後肢の客観的な機能回復が示された。本研究では小型犬の TPLO の客観的な機能回復が示され、大型犬と比較して早期に機能回復が期待でき小型犬においても非常に有効な手術方法であることが示唆された。

第 4 章では CCLR 罹患犬における TPLO 後の詳細な回復過程について調査した。術前は患肢の GRFs は対側後肢と比較して有意に低値であったが、術後継続的に回復し術後約 7 ヶ月時点で PPF 以外の GRFs は正常化した。また、ベクトルの大きさは PVF と類似した回復過程を示した。術前の歩行周期解析では第 2 章と同様の結果となり時間と共に改善傾向を示したが、最大推進力時間のみ術後 7 ヶ月で正常化しなかった。本研究ではこれまでの報告と比較してより詳細な運動機能の回復が明らかになった。術後 7 ヶ月時点で PPF や最大推進力時間が正常化していないためより長期的な調査が必要であると考えられる。

第 5 章では片側性後肢跛行患者における頭部強制運動時の重心動揺の変化について調査した。重心動揺検査は徒手で頭部を 45 度および 90 度患肢方向と健常肢方向へ  $45 \text{ rad/s}$  で強制運動を行い、45 度群と 90 度群における対称性指数 (SI) で比較した。総軌跡長と単位軌跡長の SI は群間で統計学的な有意差は認められなかったが、45 度群の単位面積軌跡長の SI は 90 度群と比較して有意に増加していた。また、45 度群における矩形面積、外周面積、実効値面積および左右方向最大振幅の SI は有意に低下していた。以上のことから 90 度群と比較して 45 度群では、頭部強制運動時に小刻みに重心が動揺するが、左右最大振幅が有意に小さいことが明らかになり新たな犬の重心動揺検査に利用できることが示唆された。

本研究ではフォースプレートを用いて四肢の運動機能を詳細に評価するための新たな検査項目の有効性が示された。また、CCLR 罹患犬や TPLO 後の運動機能評価をすることで患肢の代償反応や客観的な機能回復が明らかとなった。今後データの蓄積により疾患特異的な歩行パターンや回復過程の解明が期待される。

## 学位論文審査の結果の要旨

氏 名	網本 宏和
審 査 委 員	主 査：和田 直己
	副 査：山野 好章
	副 査：中市 統三
	副 査：藤木 誠
	副 査：板本 和仁
題 目	フォースプレートを用いた四肢の力学的機能評価方法に関する研究 (Evaluation of Kinematic Analysis for Forelimbs and Hind Limbs using Force Plate Gait Analysis)
<p>審査結果の要旨：</p> <p>網本氏はフォースプレート（床反力計）を用いて、犬（イエイヌ）の四肢の運動疾患の評価、治療後の治癒の経過の評価法の確立を目指して研究を行った。フォースプレートを用いた姿勢、歩行運動の検査は医学領域では、特に整形外科領域の一般的検査法、治療後の患者の機能的評価法として確立されているが獣医領域ではまだ普及に至らず評価法も確立していない。フォースプレートは物体の接触によって生ずる力の経時的変化を計測する機器で足に作用する力を 3 軸に分解して記録、解析する機器である。網本氏は獣医臨床領域における主な対象動物種である犬に特化した研究を行った。その結果、獣医臨床上有用なフォースプレート（AccuGait; size 500 × 500 × 44 mm, AMTI, Advanced Mechanical Technology Inc, MA, USA）を用いた検査方法を確立するための重要な研究結果を得た。網本氏の研究結果の一部は 2 つの論文として科学雑誌に受理された（1: Evaluation of recovery of limb function by use of force plate gait analysis after tibial plateau leveling osteotomy for management of dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture Am J Vet Re.80;; 2: Force Plate Gait Analysis and Clinical Results after Tibial Plateau Levelling Osteotomy for Cranial Cruciate Ligament Rupture in Small Breed Dogs, Vet Comp Orthop Traumatol, 33）。</p> <p>学位論文は 2 つの論文と、さらに発展させた研究内容を含めて書かれている。</p> <p>学位論文に書かれた研究内容をまとめると</p> <p>1, 健康犬におけるフォースプレートを用いた四肢の客観的機能評価法の確立  運動観察、触診、レントゲン検査において異常の見られない犬（8 犬種 12 頭）を対象に研究を行った。歩行中（歩行、走行）床反力計の特に垂直方向と進行方向（制動、推力）の分力に注目して解析を行った。垂直分力の最大値 PVF<sup>2</sup>、または力積 VI は 前肢&gt;後肢、進行方向の制動力 前肢&gt;後肢、推力 後肢&gt;前肢であった。この事実は、犬は歩</p>	

行運動において後肢は推力生成、前肢はバランス制御を行っていること、機能が異なることを示している。

1、前十字靭帯の断裂程度および半月板損傷が肢機能へ与える影響の検討

CCLR(前十字靭帯断裂)は小動物整形外科領域において最も一般的な疾患である。CCLRは続発性の半月板損傷や二次性の骨関節炎(Osteoarthritis:AO)を引き起こし、様々な程度の跛行を引き起こす。部分断裂群(PR)と完全断裂群(CR)にはフォースプレートによって計測値、特に垂直分力に有意な差が確認された。研究結果はフォースプレートによる検査はCCLRの程度、その二次的疾患を評価する方法となりうることを示している。

3、犬の前十字靭帯断裂に対するTPLOの術後のフォースプレート解析とその臨床成績

TPLOは特に大型犬のCCLRの治療法である。網本氏は小型犬のTPLOによる治療経過をPVF、VIおよび二軸のベクトルの大きさによる評価法の有用性を検討した。その結果、小型犬に対するTPLOは術後早期に機能回復を示された。その結果、TPLOは、CCLR有効な手術方法の一つであることが示された。

4、前十字靭帯断裂に対するTPLO後の術後回復過程に関する報告

片側性CCLRに対してTPLOを実施し、術前と術後の前肢及び後肢の機能の評価(PVFおよびVI)、前後方向の特徴とその変化の解析を行った。術前、術側のPVFとVIは対側と比較し有意に低値であり、調査終了時には正常値となった。

5、後肢跛行を呈する犬の立位頭部強制運動時の重心の移動に関する研究

人は二脚歩行でバランス制御のハード面、ソフト面の異常が顕著である。医学領域では姿勢制御の客観的な評価としてフォースプレートを用いた重心動揺検査が実施されている。犬は四足歩行動物であるため重心は安定している。網本氏は犬にフォースプレート上で駐立姿勢を維持させその時の重心の軌跡の解析を行った。この研究課題に対する結論を出すにはさらなる研究が必要である。

以上、網本氏の博士論文は獣医臨床領域においてフォースプレートを用いた検査が大変有用であることを示している。審査員一同は網本氏に獣医学博士号与えるにふさわしいと論文内容であると判断した。