

子牛肢端の先天性屈曲変形
に関する画像解析に基づく臨床的研究

酪農学園大学
獣医学群獣医学類
生産動物医療学分野

佐藤綾乃

生産動物医療学分野
生産動物内科学
指導教員 教授 田島誉士

2018 年度

目次

緒言	1
第 I 章 肉用子牛における体格、蹄壁形成角度、肢周囲長 および超音波画像からの屈筋腱計測による前肢支持均衡性の解析	
1. 序文	8
2. 材料と方法	9
1) 供試牛	9
2) 身体測定と蹄壁角および肢周囲長計測方法	9
3) 超音波画像撮影方法	11
4) 超音波画像計測方法	11
5) 統計	11
3. 結果	13
1) 体格と蹄壁角および肢周囲長の計測結果	13
(1) 体重と体高の計測結果	13
(2) 蹄壁角の計測結果	13
(3) 肢周囲長の計測結果	16
2) 繋部位における超音波画像からの SDFT および DDFT の計測結果	21
3) 肢周囲長と繋部位における SDFT および DDFT 腱縦幅の相関	22
4) 体重、体高および蹄壁角と各種計測結果との相関	25
4. 考察	30
5. 小括	34
第 II 章 子牛の先天性中手指節関節屈曲変形肢における中手指節関節および 遠位指節間関節の外内側方向関節形成角度計測による X 線画像解析	

1. 序文	35
2. 材料と方法	36
1) 供試牛	36
2) X 線撮影方法	38
3) X 線画像評価方法	38
4) 統計	42
3. 結果	44
1) パーセント偏差	44
2) MPFD 肢および正常肢における左右側の比較	44
3) 各 MPFD 肢の屈曲角度	47
4. 考察	51
5. 小括	54

第Ⅲ章 子牛の先天性中手指節関節屈曲変形の重症度と屈筋腱病変との 関連性に関する屈筋腱の構造異常解析

1. 序文	55
2. 材料と方法	56
1) 供試牛	56
2) 屈筋腱短縮モデル肢作製方法	56
3) X 線撮影方法および X 線評価方法	60
4) 統計	60
3. 結果	64
1) 各屈筋腱短縮モデル肢の特徴	64
2) 屈筋腱短縮モデル肢としての病態評価；球節	69
3) 屈筋腱短縮モデル肢としての病態評価；DIPJ	69

4. 考察	73
5. 小括	76

第IV章 子牛の先天性重度中手指節関節屈曲変形を呈する罹患肢への 浅指屈筋腱および深指屈筋腱切除術の治療効果

1. 序文	77
2. 材料と方法	78
1) 供試牛	78
2) 手術手順	78
3) 術後の歩行評価方法と外固定処置	81
4) 統計	82
3. 結果	83
4. 考察	88
5. 小括	91
総括	92
謝辞	95
引用文献	96
英文要旨	102

緒言

牛や馬などの大型動物で発生する四肢の屈曲変形とは、関節周囲の筋組織、腱組織、靭帯および関節包を含む軟部組織に何らかの異変が起こり関節屈曲可動域の制限が発生することによって運動障害を引き起こされる疾病の総称である [2, 24]。牛における四肢の屈曲変形は、先天性および後天性ともに発生するが、前肢手根関節（前膝）、前肢中手指節関節（球節）、後肢中足趾節関節（球節）において特に発生が多い [2, 12, 24, 40, 49]。その中でも先天性屈曲変形として前肢球節での発生が最も多く、片側性および両側性のどちらでも認められる（写真 1）。子牛における先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）は以下のように分類される（図 1） [2]。軽度症例では子牛は歩行可能だが蹄踵が地面に接触せず、中等度症例では背側の蹄壁面と地面が織り成す角度がほぼ垂直であり、重度症例では、蹄による歩行は困難であり繫、球節もしくは前膝背側面で歩行する子牛と分類される。また重度症例において、前膝における屈曲変形を併発する症例も一部で発生する。

MPFD の畜産経営上の問題点として、重症度に関わらず MPFD を呈した子牛は出生直後に起立および歩行困難であるため、初乳摂取不足に陥りやすく発育不良や虚弱傾向を示すことである [2, 12, 40, 49]。また、軽症から中等度症例ではマッサージ、副木固定、下駄処置などの非外科的治療に反応するが、一部の重度症例では非外科的治療だけでなく腱切断術などの外科治療が行われる。このような重度症例では治療期間の延長や治療費が高くなる傾向にあり、飼養農家にかかる負担も大きくなる。さらに、手術を行っても屈曲の改善が認められず最終的に予後不良と判断され安楽殺処置となる症例も少なくない [12, 32, 40]。一般的な治療手順として、非外科処置での改善が認められなければ最終的に外科処置が選択される。牛における屈曲変形は、大半の症例が軽症で治癒率も高いことから重度症例に遭遇した際の診断法なら

びに治療法について明確な治療指針もなく、軽度症例に対する非外科的治療を漫然と処置し続けることも問題である。

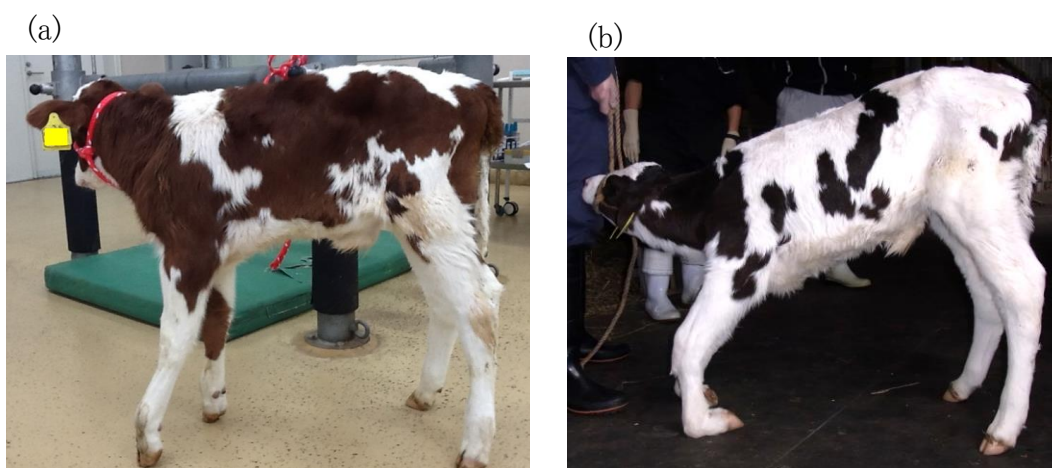


写真 1 前肢中手指節関節(球節)における屈曲変形を呈した症例

(a)軽症例:左前肢は中等度、右前肢は軽度を呈する。両側性での発生が多く認められるが、左右肢間で重症度分類が異なることも多い。

(b)両前肢球節が重度に屈曲し、手根関節も屈曲変形している重度症例。

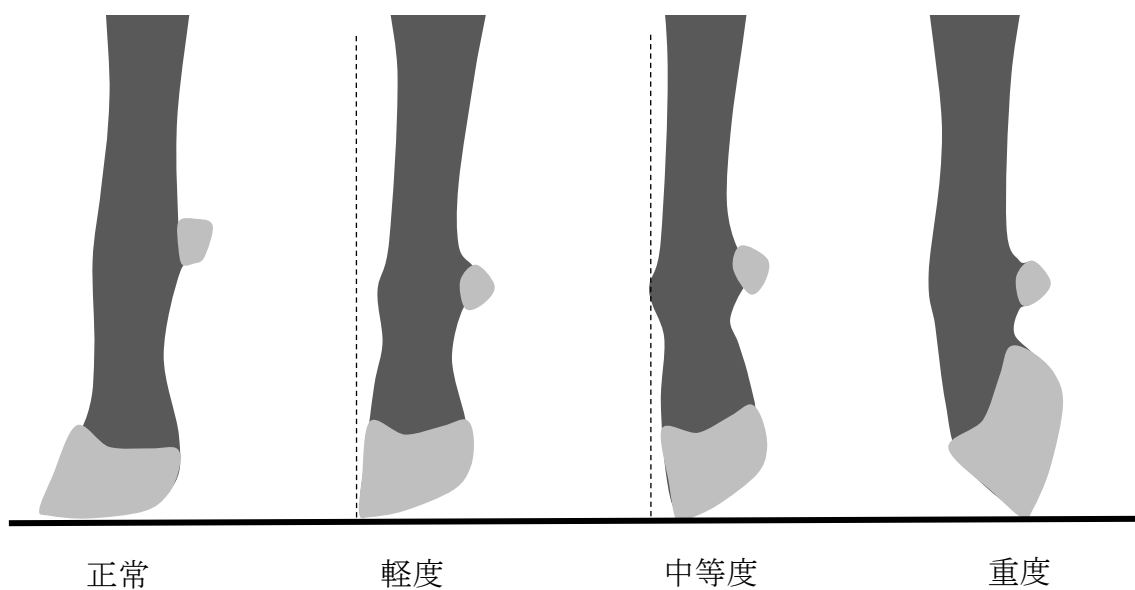


図 1 子牛での中手指節関節(球節)における屈曲変形の分類模式図

軽度症例では子牛は歩行可能だが蹄踵が地面に接触せず背側の蹄壁と地面との角度が 90 度未満である。

中等度症例では背側の蹄壁と地面との角度が、ほぼ 90 度である。

重度症例では、背側の蹄壁と地面との角度が 90 度を超え、蹄による歩行は困難であり繋、球節もしくは手根関節背側面で歩行する。

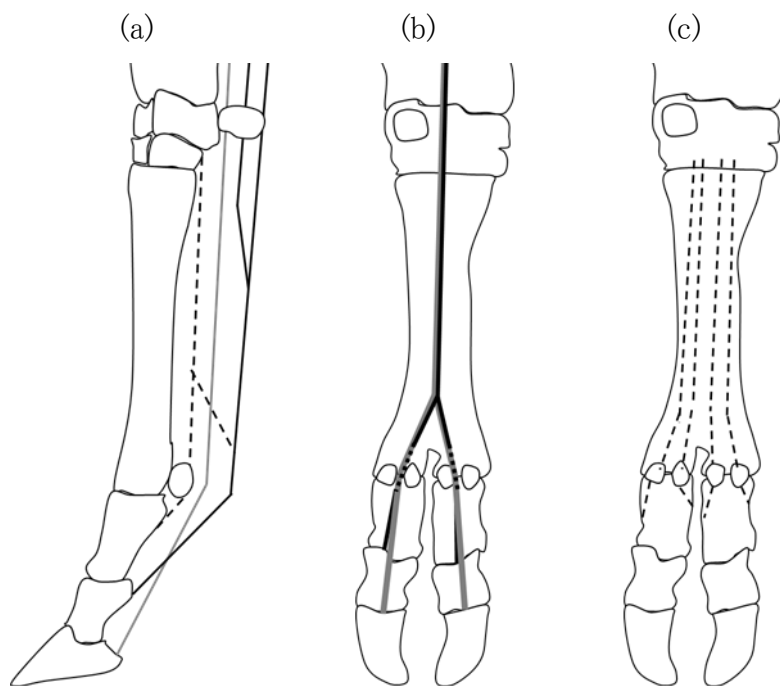


図 2 前肢末端の屈曲運動に影響を与える腱と靭帯の解剖図

(a) 外内側面図における繋靭帯(黒点線)、浅指屈腱(黒実線)、深指屈腱(灰実線)の走行。(b) 掌側面における深指屈腱と浅指屈腱の走行。(c) 掌側面における繋靭帯の走行。

牛の前肢屈曲運動に影響を与える主要な軟部組織は浅指屈筋腱（SDFT）および深指屈筋腱（DDFT）であり、第三指と第四指の骨間筋（繫靭帯）は、主に球節の支持を担う（図2）[13, 39]。SDFTは浅指屈筋、DDFTは深指屈筋として両者とも上腕骨内側上顆を起始とし、SDFTは浅部にDDFTは深部に上腕骨～手根関節～中手骨部位を掌側に並走する。球節部位で内蹄と外蹄に二股に分岐し、SDFTはDDFTを終止付近では筒状に巻くように走行しSDFTはDDFTより深部を走行し中節骨近位掌側面に終止、DDFTもSDFTより浅部を走行し末節骨遠位掌側面に終止する。繫靭帯は中手骨近位端と深掌側手根靭帯から生じ、四岐に分かれ、中央二岐が中手指節関節部でSDFTの分枝と合流する。四岐それぞれの繫靭帯は近位種子骨に終止し、それからそれぞれの分枝がそれぞれの指伸筋腱に連結する。繫靭帯に関連する一連の支持組織は球節を支持するために、指屈筋腱を補強する役割をもつ懸垂装置を形成する。その他、蹄骨周囲の靭帯として、指間靭帯や種子骨と蹄骨を補強する指間指節種子骨靭帯などの短絡経路をたどる靭帯や、蹄骨周囲軟部組織全体を補強する指輪状靭帯、各関節を取り巻く関節包により支持されている[13, 39]。上記の通り、MPFD発症には複雑な解剖学的構造が関与していると考えられる。適切な診断および治療法を選択するための検査方法は临床上、高い有用性が望める。

牛において日本国内、特に本州で発生が認められるアカバネ病は関節形成異常により関節が屈曲する関節拘縮症であり、四肢における屈曲変形とは原因が異なるため両者は区別される[40]。牛や馬における屈曲変形はかつて屈腱短縮症と呼称されていた。しかし近年、四肢の屈曲変形を引き起こす原因として腱だけでなくその他軟部組織の関与も指摘されるため、現在では屈曲変形との呼称が一般的である[1, 40]。球節屈曲に大きく影響を及ぼす軟部組織はSDFTおよびDDFTであり、馬においては球節の屈曲変形（ナックリング）の発症には、SDFTとDDFTの関与が指摘されている[1, 16, 47]。馬のナックリングにおける外科処置の際に、屈曲変形の重症度に応じて切断すべき腱および靭帯の治療指針も定められている[1, 6]。しかし、牛

の MPFD において屈筋腱および靭帯の関与については不明である。MPFD の外科処置を行う場合には、術中に屈曲度を確認しながら SDFT、DDFT、繫靭帯と順に切断する方法が一般的であり [12, 48]、術前の診断法および治療指針は存在しない。また、この手術方法により繫靭帯の切断を行うと、術後に手根関節の過伸長などの合併症が起こることもある [12, 46]。そこで、重度 MPFD 症例における外科処置の治療指針を定めることを本論文の主目的として、特に球節屈曲運動への影響が大きい SDFT および DDFT が MPFD に及ぼす影響について画像解析により評価し、実際の症例に腱切除術を行うことにより手術評価を行った。

MPFD の重症度分類法は、球節の屈曲度に応じた分類法であり症状を反映している。重度症例において臨床症状の程度は多岐にわたり、非外科処置により速やかに良好な治療反応を示す症例もいる一方で、屈筋腱および靭帯切断術を行っても屈曲改善が不十分で跛行が改善しない症例もいる。これらの処置に画像診断法を応用することは以下の有用性が高いと考えられた。画像解析を用いる利点として、軟部組織の構造状態を可視化出来ること、関節形成角度について球節だけでなく外貌からの評価が難しい蹄関節の評価も可能となることなどが挙げられる。現在、獣医療領域で様々な画像解析法が利用可能であり、コンピュータ断層撮影 (CT) および核磁気共鳴画像法 (MRI) を用いれば、軟部組織の可視化だけでなく関節の屈曲度を評価するのも容易である。しかし、これらの解析方法は現在の生産動物獣医療では非現実的な手法である。超音波画像診断は、腱実質の評価に非常に優れており、特に馬の屈腱炎における評価方法として一般的に用いられる [15, 35]。単純 X 線撮影は伴侶動物分野でも犬の脛骨内反症、ヒトの先天性内反足、馬におけるナックリングやクラブフットなど、動物種に関わらず足の屈曲変形ならびに肢軸異常を伴う整形外科疾患の評価方法として用いられている [10, 11, 14, 18, 33, 34, 37, 45]。

以上から、子牛の屈曲変形について客観的診断法を確立し治療指針を明確にすることは、生産獣医療における有用性が高いと考えられた。そこで本研究において

は、第 I 章で生後 1 日齢および生後 28 日齢の健康子牛における前肢を中心とした身体測定および超音波画像診断を用いて屈筋腱の評価を行い、正常子牛前肢における肢と屈筋腱のバランスについて調査し評価した。次に MPFD の臨床評価において X 線撮影の有用性を検討するため、第 II 章では MPFD 肢と正常肢を外内側方向から X 線撮影を行い、球節および中手指節間関節 (DIPJ) の関節形成角度を比較し、一連の撮影手順および評価方法の整合性を明らかにした。さらに第 III 章では、重度 MPFD 症例における SDFT および DDFT の病態への関与を明らかにするため、子牛の屠体前肢を用いて SDFT および DDFT 短縮モデルを作製し、第 II 章同様に X 線撮影により撮像し病変と症状との関係を検討した。最後に第 IV 章で、重度 MPFD 症例に対し SDFT および DDFT の腱切除術を施し治癒率を調査することにより、SDFT、DDFT ならびにその他軟部組織における MPFD 肢への影響について明らかにした。

第 I 章 肉用子牛における体格、蹄壁形成角度、肢周囲長 および超音波画像からの屈筋腱計測による前肢支持 均衡性の解析

1. 序文

近年、牛の疾病において超音波画像診断の有用性は一般的に認知され、運動器疾患においても関節疾患である脱臼や関節炎などの診断、炎症性疾患や外傷などによる軟部組織の評価方法としても有用性が明らかである[22, 23]。産業動物での腱の画像診断として、最も診断方法が整備されている疾病は馬の屈腱炎である。超音波を用いることにより確定診断だけでなく、病変部の評価においても重要な情報が得られている[15, 35]。また屈腱炎における評価方法を応用して、成牛で散発する感染性腱鞘炎における腱組織の超音波画像診断方法が報告されている[7, 20, 40, 43]。

牛における機能的削蹄方法であるダッチメソッドでは品種を問わず蹄尖角度を 45 から 50° で削出する方法が広く汎用されている[42]。蹄尖角度は個体や品種による差はあるものの、通常は背側蹄壁形成角度（蹄壁角）と蹄尖角度は等しい。先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）を呈する子牛においては、蹄尖角度よりも蹄壁角の方が大きくなるため、MPFD の重症度分類法でも蹄壁角が利用されている[2]。しかし、子牛において屈曲変形だけでなく過伸展変形も報告されており[40]、そもそも子牛における生理的な蹄壁角も明らかにされていない。

第 I 章では、一農場で出生した肉用子牛での前肢の支持における蹄壁角と屈筋腱の影響を調べることを目的とし、子牛における体格、蹄壁角、肢周囲長および超音波画像により深指屈筋腱（DDFT）と浅指屈筋腱（SDFT）を計測することにより解析した。

2. 材料と方法

1) 供試牛

酪農学園大学附属フィールド教育研究センター肉畜ステーションで出生した黒毛和種子牛 17 頭（雄：4 頭、雌：13 頭）、日本短角種子牛 5 頭（雌：5 頭）を含む子牛 22 頭を供試した（表 1）。1 日齢として生後 24 時間から 48 時間以内に 1 回目の計測を行い、28 日齢に 2 回目の計測を行った。供試牛 No. 5 において、出生直後から両前肢の軽度屈曲変形が認められたものの生後 1 日齢の検査において、正常歩様を呈したため、本章に供試した。黒毛和種子牛、日本短角種子牛とも出生から生後 1 週齢までは母牛による自然哺乳で飼養し、黒毛和種子牛は生後 1 週齢以降から人工哺乳飼養とし、日本短角種子牛はそのまま自然哺乳を継続した。黒毛和種子牛における人工哺乳は、生後 28 日齢までに 1 回 400-700g（粗蛋白質：28%、粗脂肪：18%）と段階的に増量し朝夕 2 回哺乳とした。供試牛 No. 14 において、母牛が育児放棄したために初乳給与後、生後 0 日齢から人工哺乳飼養とした。母牛の平均妊娠期間は 286 ± 8 日間であり、黒毛和種 3 頭、日本短角種 2 頭を含む 5 頭は未経産牛であり、黒毛和種 4 頭は受精卵移植により妊娠した。

2) 身体測定と蹄壁角および肢周囲長計測方法

身体測定として、体重は体重計により体高は尺杖により計測した。蹄壁角の計測は、子牛をコンクリート地面上で体幹に対し前肢を真下に垂直に下ろした起立位で、デジタル角度計（シンワ、新潟、日本）を内蹄の蹄壁背側面に載せ、計測した。肢周囲長として、中手部（管）中央部、副蹄上部の中手指節部（球節）、繫部の 3 か所を両前肢計 6 か所において巻尺を使用し計測した。

表1 第 I 章で供試した肉用子牛一覧

供試牛 No.	品種	性別	母牛 妊娠期日	備考
1	日本短角種	雌	282	未経産母牛
2	黒毛和種	雄	297	
3	黒毛和種	雌	286	受精卵移植
4	黒毛和種	雌	284	受精卵移植
5	黒毛和種	雄	290	両前肢 軽度屈曲変形
6	日本短角種	雌	287	
7	黒毛和種	雌	287	未経産母牛
8	黒毛和種	雌	291	
9	日本短角種	雌	279	
10	黒毛和種	雌	274	受精卵移植
11	黒毛和種	雌	287	
12	黒毛和種	雌	289	
13	黒毛和種	雄	278	
14	黒毛和種	雌	290	母牛育児放棄
15	日本短角種	雌	274	未経産母牛
16	黒毛和種	雌	298	
17	黒毛和種	雌	301	
18	黒毛和種	雌	291	
19	日本短角種	雌	278	
20	黒毛和種	雌	285	未経産母牛
21	黒毛和種	雄	295	未経産母牛
22	黒毛和種	雌	275	受精卵移植

3) 超音波画像撮影方法

超音波画像検査には、リニアプローブ（6.0-11.0MHz、HLS-884M、本多電子、愛知）を接続した携帯型超音波診断装置（HS-1600V、本多電子）を用いて、周波数 8.5MHz に設定し検査を行った。子牛は、鎮静剤（2%セラクタール；バイエル、大阪、日本）0.1mg/kg を静脈内投与し鎮静下により右側横臥位とした。

既報の手順に準じ剃毛後、掌側繫部による撮影を行った（図 3）[20]。副蹄直下の掌側繫部で、プローブ上側を副蹄に沿わせ肢に対し横方向で撮影した画像で評価した。繫部位での画像は、DDFT と SDFT が遠位指輪状靭帯により結束されている画像であることを必ず確認して撮影した。肢を伸長させ、プローブの向きは術者側を画面左側（左前肢では外蹄、右前肢では内蹄）となるようにした。

4) 超音波画像計測方法

超音波検査により得られた画像はフリーソフトウェア（ImageJ、v1.48、NIH、USA）を用いて分析した。繫部から得られた画像は内外蹄ともに SDFT 最大縦幅と DDFT 最大縦幅を計測した（図 3）。幅計測結果は、ピクセル表記から超音波画面上のスケールを利用し mm 表記に換算した。

5) 統計

すべての統計分析は、ソフトウェアプログラム（SPSS 統計 v24、IBM、USA）を用いて行った。各群の計測結果は平均±標準偏差で表記した。1日齢と28日齢における各種計測結果の比較と、1日齢と28日齢でのそれぞれの左右肢間および内蹄外蹄間との計測結果の比較も行うため、二元配置分散分析後、対応のある t 検定もしくは Willcoxon の符号順位検定を用いた。さらに、各種計測結果の相関を調べるため、Pearson の積率相関検定もしくは Spearman の順位相関検定を用いて、相関係数 (r) を表記した。全ての検定において、検定差は $P < 0.05$ と設定した。

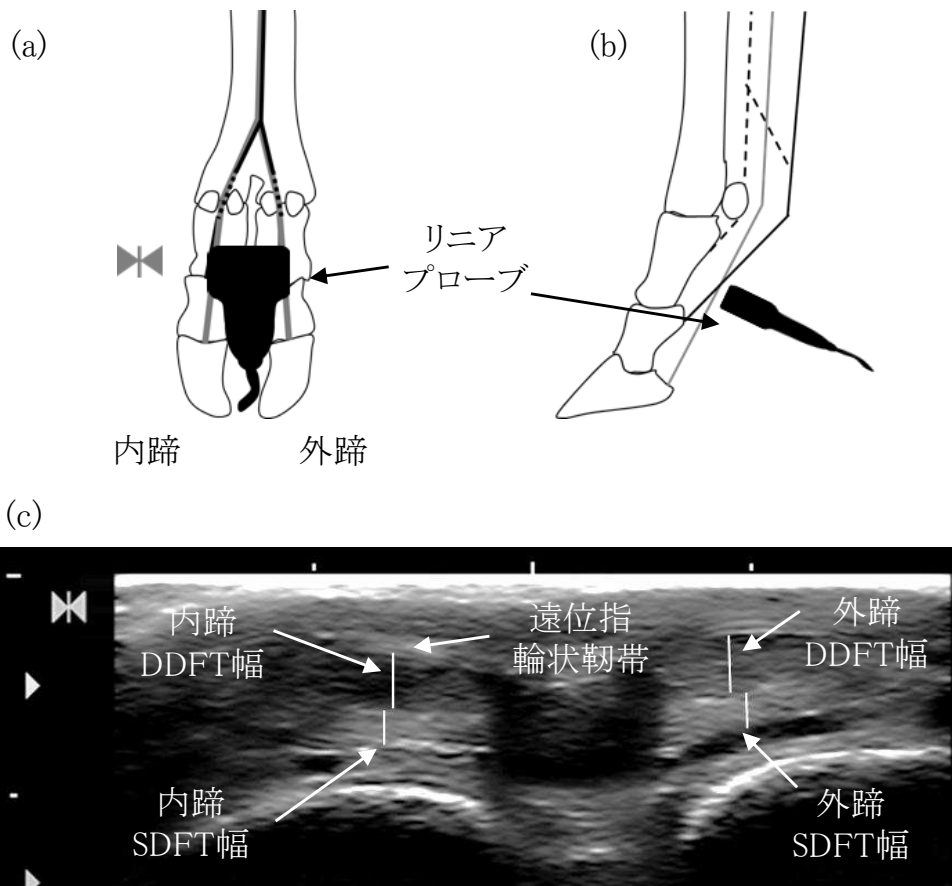


図3 繋部における超音波画像と計測方法

(a) 掌側からの模式図。(b) 外内側からの模式図。(c) 繋部における右前肢超音波画像。遠位指輪状靭帯に結束されている深指屈筋腱 (DDFT) および浅指屈筋腱 (SDFT) の最大縦幅を内蹄、外蹄それぞれ計測した。

3. 結果

1) 体格と蹄壁角および肢周囲長の計測結果

生後1日齢および28日齢における体格と蹄壁角および肢周囲長の計測結果を表2に示した。

(1) 体重と体高の計測結果

1日齢での体重は 33.9 ± 5.4 kg、28日齢では 56.7 ± 9.6 kgと有意に増体し ($P < 0.001$)、直線的な体重増加が認められた ($r = 0.881$; $P < 0.001$ 、図4)。また、1日齢の体高は 71.5 ± 4.3 cm、28日齢では 75.7 ± 3.3 cmと有意に増高し ($P < 0.001$)、体重同様に直線的な成長が認められた ($r = 0.573$; $P = 0.005$)。

(2) 蹄壁角の計測結果

1日齢での左前肢蹄壁角は $44.3 \pm 10.4^\circ$ 、右前肢蹄壁角は $45.4 \pm 10.7^\circ$ と蹄が寝気味でばらつきが大きかったのに対し、28日齢での左前肢蹄壁角は $50.5 \pm 5.8^\circ$ 、右前肢蹄壁角は $50.9 \pm 5.6^\circ$ と 50° 前後に蹄が立ち収束する結果が得られた(左前肢: $P = 0.001$ 、右前肢: $P = 0.008$)。また1日齢と28日齢との間に相関関係が認められた(左前肢: $r = 0.712$; $P < 0.001$ 、右前肢: $r = 0.637$; $P = 0.001$ 、図5)。このことから出生直後に蹄が寝気味であっても、徐々に前肢支持組織が成長してくることが確認された。

表2 1日齢および28日齢の体格と蹄壁角および肢各部位周囲長の計測結果

		体重 (kg)	体高 (cm)	左前肢				右前肢			
				蹄壁角 (°)	管 (mm)	球節 (mm)	繋 (mm)	蹄壁角 (°)	管 (mm)	球節 (mm)	繋 (mm)
1日齢	平均値±	33.9±	71.5±	44.3±	100.5±	166.4±	151.2±	45.4±	106.7±	168.6±	152.0±
	標準偏差	5.4	4.3	10.4	21.0	11.2	8.8	10.7	7.6	11.8	7.7
	中央値	33.4	70	45	100	164.5	150	46	105	169	150
28日齢	平均値±	56.7±	75.7±	50.5±	114.7±	181.5±	162.6±	50.9±	114.3±	180.7±	160.1±
	標準偏差	9.6	3.3	5.8	7.5	13.3	12.5	5.6	8.3	12.1	11.0
	中央値	56	75	50	112	180	160	53	113	180	160
<i>P</i> 値※		<0.001**	<0.001**	0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.008**	<0.001**	<0.001**	<0.001**
相関係数		0.881**	0.573**	0.712**	0.356	0.449*	0.650**	0.637**	0.601**	0.628**	0.601**
<i>P</i> 値***		<0.001	0.005	<0.001	0.104	0.036	0.001	0.001	0.003	0.002	0.003

※1日齢と28日齢を比較した、対応のある*t*検定もしくはWillcoxonの符号順位検定における*P*値(**:*P*<0.01)

***1日齢と28日齢のPearsonの積率相関検定もしくはSpearmanの順位相関検定における*P*値(*:*P*<0.05、**:*P*<0.01)
中手部(管)、中手指節部(球節)

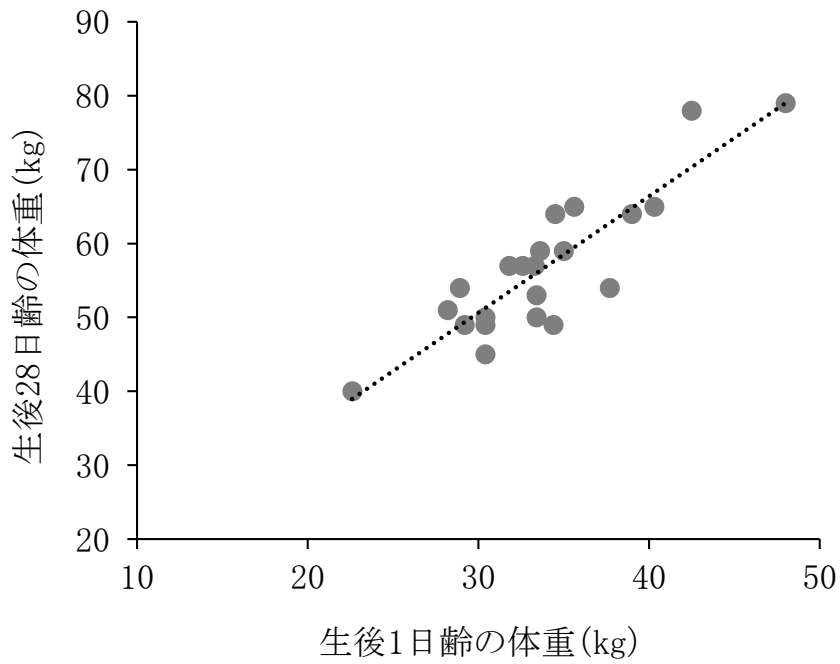


図4 生後1日齢と生後28日齢の体重相関図

Pearsonの積率相関検定により、相関係数=0.881 ($P < 0.001$)

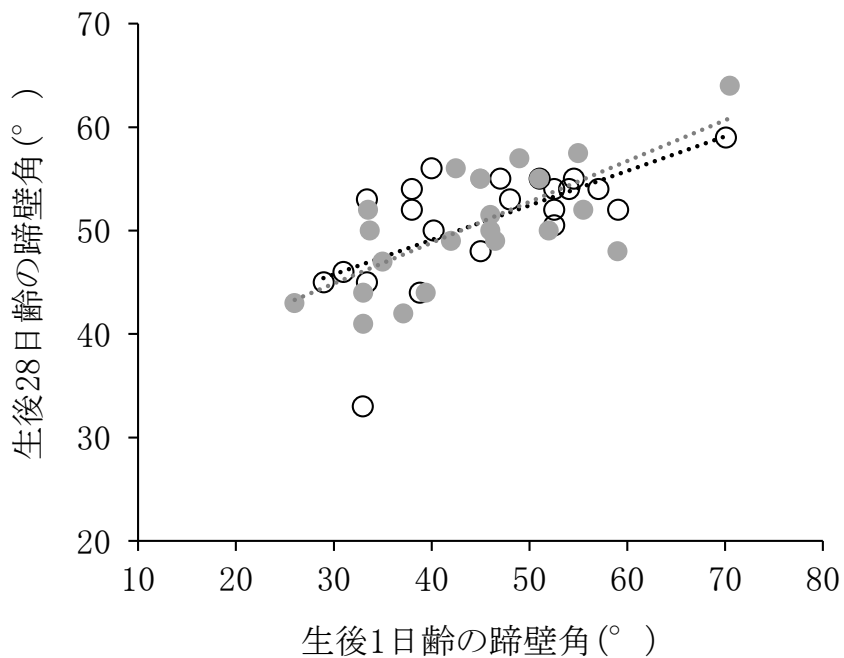


図5 生後1日齢と生後28日齢の蹄壁角相関図

Pearsonの積率相関検定により、左前肢(灰):相関係数=0.712 ($P < 0.001$)、
右前肢(白):相関係数=0.637 ($P = 0.001$)。

(3) 肢周囲長の計測結果

左右前肢における管、球節、繋部での全6項目において、肢周囲長では1日齢に比べ28日齢では有意に太くなった(全6項目： $P < 0.001$)。1日齢と28日齢の相関を調べた結果、左前肢管以外で、体重ほどではないものの直線的な成長を示す傾向が得られた(左管： $r = 0.356$ ； $P = 0.104$ 、左球節： $r = 0.449$ ； $P = 0.036$ 、左繋： $r = 0.650$ ； $P = 0.001$ 、右管： $r = 0.601$ ； $P = 0.003$ 、右球節： $r = 0.628$ ； $P = 0.002$ 、右繋： $r = 0.601$ ； $P = 0.003$)。

次に、1日齢および28日齢における、全6項目それぞれ2項目間との相関関係(15相関)を調べた。1日齢において、10相関に有意性が認められた(表3)。28日齢では全相関において有意性が認められ(全15相関： $P < 0.01$)、管、球節、繋部において左右前肢ともに肢の太さがほぼ同じになる所見が得られた(表4)。

以上の結果より、1日齢では肢の太さはまだそれほど揃っていないが、28日齢では成長に伴い一律に肢の太さの均衡が取れることが確認された。

表3 1日齢の肢各部位周囲長計測結果の相関一覧

			左前肢			右前肢		
			管	球節	繫	管	球節	繫
左前肢	管	相関係数	1.000	0.147	0.143	0.530 [*]	0.240	0.109
		P値		0.515	0.526	0.011	0.281	0.630
	球節	相関係数		1.000	0.497 [*]	0.590 ^{**}	0.731 ^{**}	0.391
		P値			0.019	0.004	<0.000	0.072
	繫	相関係数			1.000	0.495 [*]	0.501 [*]	0.724 ^{**}
		P値				0.019	0.018	<0.000
右前肢	管	相関係数				1.000	0.621 ^{**}	0.445 [*]
		P値					0.002	0.038
	球節	相関係数					1.000	0.556 ^{**}
		P値						0.007
	繫	相関係数						1.000
		P値						

Spearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

中手部(管)、中手指節部(球節)

表4 28日齢の肢各部位周囲長計測結果の相関一覧

			左前肢			右前肢		
			管	球節	繫	管	球節	繫
左前肢	管	相関係数	1.000	0.687 ^{**}	0.811 ^{**}	0.841 ^{**}	0.768 ^{**}	0.819 ^{**}
		P値		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	球節	相関係数		1.000	0.750 ^{**}	0.630 ^{**}	0.820 ^{**}	0.686 ^{**}
		P値			<0.001	0.002	<0.001	<0.001
	繫	相関係数			1.000	0.757 ^{**}	0.754 ^{**}	0.872 ^{**}
		P値				<0.001	<0.001	<0.001
右前肢	管	相関係数				1.000	0.795 ^{**}	0.817 ^{**}
		P値					<0.001	<0.001
	球節	相関係数					1.000	0.812 ^{**}
		P値						<0.001
	繫	相関係数						1.000
		P値						

Spearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

中手部(管)、中手指節部(球節)

表5 1日齢および28日齢の繋部位における超音波画像からの浅指屈筋腱(SDFT)および深指屈筋腱(DDFT)の縦幅計測結果

		左前肢				右前肢			
		外蹄		内蹄		外蹄		内蹄	
		DDFT (mm)	SDFT (mm)	DDFT (mm)	SDFT (mm)	DDFT (mm)	SDFT (mm)	DDFT (mm)	SDFT (mm)
1日齢	平均値±	2.44±	1.44±	2.45±	1.53±	2.44±	1.57±	2.48±	1.51±
	標準偏差	0.31	0.25	0.32	0.25	0.27	0.21	0.30	0.21
	中央値	2.35	1.45	2.42	1.55	2.45	1.58	2.42	1.50
28日齢	平均値±	2.85±	1.59±	3.04±	1.50±	2.97±	1.60±	3.01±	1.67±
	標準偏差	0.38	0.27	0.57	0.24	0.59	0.24	0.68	0.32
	中央値	2.79	1.49	2.99	1.52	2.83	1.55	2.91	1.61
	<i>P</i> 値※	<0.001**	0.063	<0.001**	0.662	<0.001**	0.578	0.001**	0.054
	相関係数	0.458*	0.041	0.282	0.120	0.559**	0.303	0.311	0.156
	<i>P</i> 値**	0.032	0.855	0.204	0.595	0.007	0.171	0.159	0.487

※1日齢と28日齢を比較した、対応のある*t*検定における*P*値(**:*P*<0.01)

※※1日齢と28日齢のPearsonの積率相関検定における*P*値(*:*P*<0.05、**:*P*<0.01)

表6 1日齢の繋部位における超音波画像からの浅指屈筋腱(SDFT)および深指屈筋腱(DDFT)の縦幅計測結果の相関一覧

			左前肢				左前肢				
			外蹄		内蹄		外蹄		内蹄		
			DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	
左前肢	外蹄	DDFT	相関係数	1	0.273	0.697**	0.201	0.445*	0.246	0.649**	0.216
			P値		0.219	<0.001	0.370	0.038	0.269	0.001	0.335
	SDFT	相関係数		1	0.067	0.702**	0.291	0.607**	0.288	0.505*	
		P値			0.766	<0.001	0.189	0.003	0.194	0.017	
	内蹄	DDFT	相関係数			1	-0.108	0.480*	0.128	0.585**	0.342
			P値				0.633	0.024	0.569	0.004	0.119
SDFT	相関係数					1	0.151	0.649**	0.237	0.385	
	P値						0.501	0.001	0.288	0.077	
右前肢	外蹄	DDFT	相関係数				1	0.144	0.633**	-0.016	
			P値					0.522	0.002	0.943	
	SDFT	相関係数						1	0.145	0.626**	
		P値							0.520	0.002	
	内蹄	DDFT	相関係数						1	-0.053	
			P値							0.816	
SDFT	相関係数								1		
		P値									

Pearsonの積率相関検定

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

表7 28日齢の繋部位における超音波画像からの浅指屈筋腱(SDFT)および深指屈筋腱(DDFT)の縦幅計測結果の相関一覧

			左前肢				左前肢				
			外蹄		内蹄		外蹄		内蹄		
			DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	DDFT	SDFT	
左前肢	外蹄	DDFT	相関係数	1	0.067	0.676**	-0.077	0.712**	-0.001	0.779**	0.233
			P値		0.766	0.001	0.733	<0.001	0.995	0.001	0.296
	SDFT	相関係数		1	0.133	0.765**	0.055	0.419	0.306	0.598**	
		P値			0.555	<0.001	0.809	0.052	0.166	0.003	
	内蹄	DDFT	相関係数			1	-0.049	0.606**	0.304	0.803**	0.333
			P値				0.829	0.003	0.168	<0.001	0.130
SDFT	相関係数				1	-0.019	0.430*	0.009	0.535*		
	P値					0.933	0.046	0.968	0.010		
右前肢	外蹄	DDFT	相関係数				1.000	0.237	0.868**	0.435*	
			P値					0.287	<0.001	0.043	
	SDFT	相関係数					1	0.283	0.725**		
		P値						0.202	<0.001		
	内蹄	DDFT	相関係数					1	0.538**		
			P値						0.010		
SDFT	相関係数						1				
	P値							1			

Pearsonの積率相関検定

*: $P < 0.05$ 、**: $P < 0.01$

2) 繫部位における超音波画像からの SDFT および DDFT の計測結果

生後 1 日齢および 28 日齢の繫部位における超音波画像からの SDFT 縦幅および DDFT 縦幅の計測結果を表 5 に示した。

DDFT は左右内外蹄全てにおいて、1 日齢に比べ 28 日齢では有意に厚くなった（左外蹄： $P < 0.001$ 、左内蹄： $P < 0.001$ 、右外蹄： $P < 0.001$ 、右内蹄： $P = 0.001$ ）。また 1 日齢と 28 日齢の相関から、左右とも外蹄において有意な相関が認められたが（左外： $r = 0.458$ ； $P = 0.032$ 、右外： $r = 0.559$ ； $P = 0.007$ ）、内蹄では相関関係は認められなかった（左内： $r = 0.282$ ； $P = 0.204$ 、右内： $r = 0.311$ ； $P = 0.159$ ）。

一方、SDFT 縦幅は左右内外蹄とも、1 日齢と 28 日齢を比較しても有意な差は認められなかった（左外蹄： $P = 0.063$ 、左内蹄： $P = 0.662$ 、右外蹄： $P = 0.578$ 、右内蹄： $P = 0.054$ ）。また、1 日齢と 28 日齢の相関から、左右内外蹄ともそれぞれの SDFT 縦幅の間に有意な相関は認められなかった（左外： $r = 0.041$ ； $P = 0.855$ 、左内： $r = 0.120$ ； $P = 0.595$ 、右外： $r = 0.303$ ； $P = 0.171$ 、右内： $r = 0.156$ ； $P = 0.487$ ）。

1 日齢における左右内外蹄の SDFT および DDFT の縦幅全 8 項目それぞれ 2 項目間の相関関係（28 相関）を調べた結果を表 6 に示した。1 日齢において、DDFT 間の全 6 相関において有意な相関関係が認められ（2 相関： $P < 0.05$ 、4 相関： $P < 0.01$ ）、SDFT 間の全 6 相関中 5 相関においても有意な相関関係が認められた（1 相関： $P < 0.05$ 、4 相関： $P < 0.01$ ）。しかし、SDFT と DDFT との全 16 相関において、有意な相関関係は認められなかった。次に、28 日齢における左右内外蹄の SDFT および DDFT の縦幅全 8 項目それぞれ 2 項目間の相関関係（28 相関）を調べた結果を表 7 に示した。1 日齢同様に 28 日齢においても、DDFT 間の全 6 相関において有意な相関関係が認められ（ $P < 0.01$ ）、SDFT 間の全 6 相関中 5 相関において有意な相関関係が認められた（2 相関： $P < 0.05$ 、3 相関： $P < 0.01$ ）。SDFT と DDFT との全 16 相関においては、2 相関（1 相関： $P < 0.05$ 、1 相関： $P < 0.01$ ）のみ有意な相関が認められた。

以上の結果より、DDFT は出生直後から両前肢において内蹄および外蹄全てにおいて均衡がとれており、成長に伴い一律に腱幅が厚くなることが確認された。一方、SDFT は出生直後から均衡はとれているものの、成長に伴い厚くなることはなかった。また、DDFT と SDFT の腱幅に関して、両者は1日齢でも28日齢でも相関する成長は認められなかった。

3) 肢周囲長と繋部位における SDFT および DDFT 腱縦幅の相関

肢周囲長と超音波画像からの SDFT および DDFT の腱縦幅との関係を、1日齢（表8）および28日齢（表9）についてそれぞれ解析した。1日齢において、左右3カ所ずつの肢周囲長6項目と左右内外蹄の DDFT 縦幅4項目とのそれぞれ2項目ずつの相関全24相関において、7相関（5相関： $P < 0.05$ 、2相関： $P < 0.01$ ）で有意な相関関係が認められ、SDFT では3相関（ $P < 0.05$ ）で有意な相関関係が認められた。28日齢においては、DDFT では全24相関中23相関（9相関： $P < 0.05$ 、14相関： $P < 0.01$ ）において有意な相関関係が認められ、SDFT においても10相関（7相関： $P < 0.05$ 、3相関： $P < 0.01$ ）と1日齢に比べて有意な相関関係が増加した。

以上の結果より、出生直後でも肢の太さと屈筋腱の厚さとの相関関係は認められたが、28日齢での相関関係はより多く認められたことにより、成長に伴い肢の太さと屈筋腱の厚さは均衡を取るよう成長することが確認された。特に、SDFT よりも DDFT の方が肢の太さに比例して厚くなることが明らかとなった。

表8 1日齢の肢周囲長と繋部位における超音波画像からの浅指屈筋腱 (SDFT)および深指屈筋腱(DDFT)の縦幅計測の相関一覧

			左前肢			右前肢			
			管	球節	繋	管	球節	繋	
			周囲長	周囲長	周囲長	周囲長	周囲長	周囲長	
左前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.474*	0.034	0.344	0.298	0.314	0.235
			P値	0.026	0.880	0.117	0.178	0.155	0.292
		SDFT	相関係数	-0.134	0.037	0.441*	0.076	0.110	0.251
			P値	0.553	0.869	0.040	0.738	0.627	0.260
	内蹄	DDFT	相関係数	0.418	-0.013	0.243	0.356	0.240	0.204
			P値	0.053	0.954	0.275	0.104	0.283	0.363
	SDFT	相関係数	-0.091	0.073	0.506*	0.002	0.053	0.105	
		P値	0.688	0.748	0.016	0.993	0.815	0.641	
右前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.477*	0.345	0.412	0.362	0.403	0.268
			P値	0.025	0.116	0.057	0.098	0.063	0.228
		SDFT	相関係数	0.069	0.408	0.253	0.491*	0.367	0.054
			P値	0.760	0.059	0.256	0.020	0.093	0.812
	内蹄	DDFT	相関係数	0.387	0.447*	0.687**	0.448*	0.590**	0.471*
			P値	0.076	0.037	<0.001	0.036	0.004	0.027
	SDFT	相関係数	0.168	0.031	0.054	0.140	0.092	0.010	
		P値	0.454	0.890	0.812	0.535	0.684	0.965	

Spearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$ 、**: $P < 0.01$

中手部(管)、中手指節部(球節)

表9 28日齡の肢周囲長と繋部位における超音波画像からの浅指屈筋腱 (SDFT)および深指屈筋腱(DDFT)の縦幅計測の相関一覧

			左前肢			右前肢			
			管	球節	繋	管	球節	繋	
左前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.650**	0.598**	0.674**	0.801**	0.741**	0.620**
			P値	0.001	0.003	0.001	<0.001	<0.001	0.002
		SDFT	相関係数	0.542**	0.548**	0.418	0.517*	0.525*	0.445*
			P値	0.009	0.008	0.053	0.014	0.012	0.038
	内蹄	DDFT	相関係数	0.497*	0.464*	0.437*	0.497*	0.473*	0.425*
			P値	0.019	0.030	0.042	0.019	0.026	0.049
	SDFT	相関係数	0.240	0.267	0.260	0.220	0.241	0.191	
		P値	0.281	0.229	0.242	0.325	0.280	0.396	
右前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.532*	0.418	0.543**	0.472*	0.557**	0.427*
			P値	0.011	0.053	0.009	0.027	0.007	0.047
		SDFT	相関係数	0.499*	0.280	0.415	0.284	0.211	0.351
			P値	0.018	0.208	0.055	0.200	0.346	0.109
	内蹄	DDFT	相関係数	0.740**	0.623**	0.677**	0.690**	0.686**	0.612**
			P値	<0.001	0.002	0.001	<0.001	<0.001	0.002
	SDFT	相関係数	0.605**	0.209	0.440*	0.483*	0.346	0.433*	
		P値	0.003	0.351	0.041	0.023	0.115	0.044	

Spearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

中手部(管)、中手指節部(球節)

4) 体重、体高および蹄壁角と各種計測結果との相関

体重、体高および蹄壁角について、それぞれの相関関係、肢周囲長および繋部における SDFT および DDFT の腱縦幅との相関関係を解析した結果を、1 日齢は表 10 に、28 日齢は表 11 に示した。

1 日齢において、体重と体高は高い相関係数を示し ($r = 0.726$; $P < 0.001$)、体重と蹄壁角は左右前肢ともに有意な相関関係が認められた (左前肢 : $r = 0.672$; $P = 0.001$ 、右前肢 : $r = 0.621$; $P = 0.002$ 、図 6)。体重と肢周囲長 6 項目との間には、3 相関において有意な相関が認められ (2 項目間 : $P < 0.05$ 、1 項目間 : $P < 0.01$)、体重と SDFT および DDFT の腱縦幅 8 項目との間には、SDFT との 2 相関において有意な相関が認められた ($P < 0.05$)。また体高については、体重との相関係数が高いことから、ほぼ体重に準じた相関関係が得られた。蹄壁角は左右前肢において非常に高い相関係数を示したが ($r = 0.931$; $P < 0.001$)、体重以外では左前肢球節と有意だが低い相関係数を示す程度であった (左 : $r = 0.458$; $P = 0.032$ 、右 : $r = 0.528$; $P = 0.012$)。

28 日齢においても、体重と体高とは高い相関関係が認められたが ($r = 0.746$; $P < 0.001$)、体重と蹄壁角における相関関係は認められなかった。また、体重と肢周囲長 6 項目間全てとの相関において有意な相関関係が認められた ($P < 0.01$)。さらに、体重と DDFT の縦幅全 4 項目との間において有意な相関関係が認められたが (2 相関 : $P < 0.05$ 、2 相関 : $P < 0.01$)、SDFT の縦幅 4 項目との間に相関関係は認められなかった。体高は 1 日齢同様にほぼ体重に準じた相関関係が得られた。蹄壁角も同様に左右前肢において高い相関係数が認められ ($r = 0.865$; $P < 0.001$)、肢周囲長とは右前肢において 1 項目、右前肢において 2 項目、DDFT 腱幅とは左前肢において 1 項目、SDFT 腱幅と右前肢においては 1 項目でいずれも有意ながら低い相関係数 ($P < 0.05$) が認められたのみであった。

以上の結果より、1日齢から28日齢の間に体重と体高は比例して成長し、1日齢では肢の太さと体重は相関を示したが屈筋腱との関連性は見いだせなかった。28日齢では体重に比例して肢は太くなり、屈筋腱は特にDDFTにおいて厚くなる傾向が認められた。また、出生直後の蹄壁角は体重と正の相関を示し、その後は体重に関係なく50°前後で収束し（表2参照）、蹄壁角の形成には1日齢、28日齢ともに肢の太さや屈筋腱の厚さとの間に関連性は見いだせなかった。

表10 1日齢の体重、体高および蹄壁角における各種計測結果との相関一覧

			体重	体高	蹄壁角	
					左前肢	右前肢
体重	相関係数	1	0.726**	0.672**	0.621**	
	P値		<0.001	0.001	0.002	
体高	相関係数	0.726**	1	0.357	0.294	
	P値	<0.001		0.103	0.184	
左前肢 蹄壁角	相関係数	0.672**	0.357	1	0.931**	
	P値	0.001	0.103		<0.001	
右前肢 蹄壁角	相関係数	0.621**	0.294	0.931**	1	
	P値	0.002	0.184	<0.001		
左前肢 管	相関係数	0.152	0.225	0.088	0.087	
	P値	0.499	0.314	0.697	0.700	
球節	相関係数	0.433*	0.431*	0.458*	0.528*	
	P値	0.044	0.045	0.032	0.012	
繋	相関係数	0.526*	0.504*	0.308	0.388	
	P値	0.012	0.017	0.163	0.074	
右前肢 管	相関係数	0.411	0.260	0.295	0.318	
	P値	0.058	0.243	0.183	0.150	
球節	相関係数	0.652**	0.539**	0.410	0.402	
	P値	0.001	0.010	0.058	0.064	
繋	相関係数	0.372	0.206	0.283	0.395	
	P値	0.089	0.358	0.202	0.069	
左前肢 外蹄 DDFT	相関係数	0.327	0.392	0.080	-0.032	
	P値	0.137	0.071	0.724	0.888	
SDFT	相関係数	0.084	0.220	-0.214	-0.174	
	P値	0.712	0.325	0.339	0.438	
内蹄 DDFT	相関係数	0.113	0.178	0.168	0.073	
	P値	0.616	0.429	0.454	0.745	
SDFT	相関係数	0.525*	0.588**	0.258	0.245	
	P値	0.012	0.004	0.247	0.272	
右前肢 外蹄 DDFT	相関係数	0.316	0.334	0.052	0.119	
	P値	0.152	0.129	0.818	0.599	
SDFT	相関係数	0.510*	0.448*	0.341	0.285	
	P値	0.015	0.037	0.120	0.199	
内蹄 DDFT	相関係数	0.384	0.470*	0.106	0.099	
	P値	0.078	0.027	0.638	0.660	
SDFT	相関係数	0.089	0.328	0.086	0.081	
	P値	0.693	0.136	0.703	0.720	

Pearsonの積率相関検定もしくはSpearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$ 、**: $P < 0.01$

浅指屈筋腱(SDFT)、深指屈筋腱(DDFT)、中手部(管)、中手指節部(球節)

表11 28日齢の体重、体高および蹄壁角における各種計測結果との相関一覧

				蹄壁角			
		体重	体高	左前肢	右前肢		
体重	相関係数	1	0.746**	0.300	0.270		
	P値		<0.001	0.175	0.224		
体高	相関係数	0.746**	1	-0.108	-0.122		
	P値	<0.001		0.633	0.590		
左前肢	蹄壁角	相関係数	0.300	-0.108	1	0.865**	
	P値	0.175	0.633		<0.001		
右前肢	蹄壁角	相関係数	0.320	0.015	0.865**	1.000	
	P値	0.146	0.948	<0.001			
左前肢	管	相関係数	0.702**	0.288	0.471*	0.452*	
	P値	<0.001	0.194	0.027	0.035		
	球節	相関係数	0.833**	0.585**	0.347	0.270	
	P値	<0.001	0.004	0.113	0.224		
	繫	相関係数	0.827**	0.489*	0.323	0.084	
	P値	<0.001	0.021	0.143	0.710		
右前肢	管	相関係数	0.737**	0.321	0.380	0.446*	
	P値	<0.001	0.145	0.081	0.038		
	球節	相関係数	0.863**	0.657**	0.398	0.395	
	P値	<0.001	<0.001	0.067	0.069		
	繫	相関係数	0.749**	0.484*	0.378	0.269	
	P値	<0.001	0.022	0.083	0.225		
左前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.701**	0.370	0.366	0.333
		P値	<0.001	0.090	0.094	0.130	
	SDFT	相関係数	0.390	0.132	0.273	0.475*	
		P値	0.073	0.558	0.219	0.026	
	内蹄	DDFT	相関係数	0.428*	0.085	0.323	0.308
		P値	0.047	0.706	0.142	0.163	
	SDFT	相関係数	0.254	0.252	-0.068	0.043	
		P値	0.253	0.258	0.763	0.851	
右前肢	外蹄	DDFT	相関係数	0.432*	0.104	0.315	0.194
		P値	0.045	0.645	0.153	0.386	
	SDFT	相関係数	0.171	0.086	-0.136	-0.023	
		P値	0.447	0.703	0.547	0.920	
	内蹄	DDFT	相関係数	0.608**	0.209	0.494*	0.408
		P値	0.003	0.351	0.019	0.059	
	SDFT	相関係数	0.247	0.068	0.119	0.214	
		P値	0.268	0.764	0.597	0.339	

Pearsonの積率相関検定もしくはSpearmanの順位相関検定

*: $P < 0.05$ 、**: $P < 0.01$

浅指屈筋腱 (SDFT)、深指屈筋腱 (DDFT)、中手部 (管)、中手指節部 (球節)

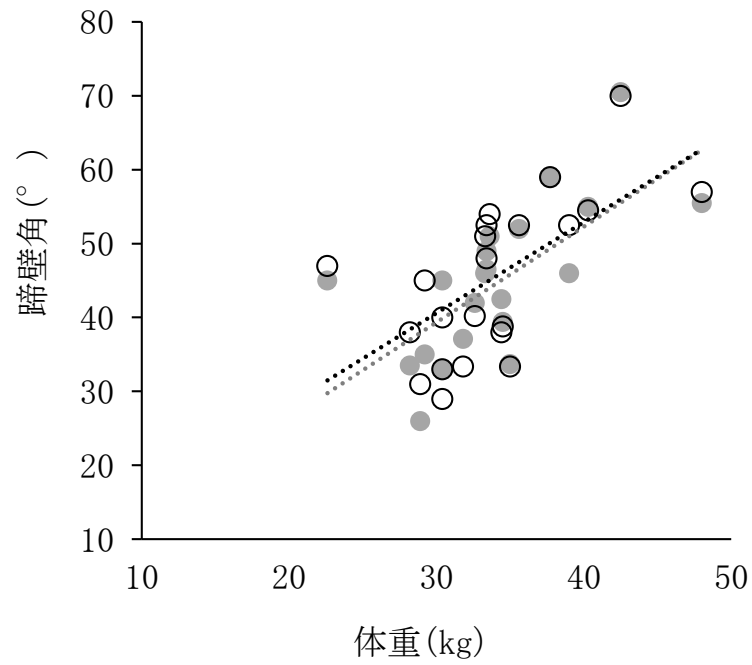


図6 1日齢における体重と蹄壁角の相関図

Pearsonの積率相関検定により、左前肢(灰):相関係数=0.672($P=0.001$)、
右前肢(白):相関係数=0.621($P=0.002$)。

4. 考察

本章において、蹄壁角は生後 1 日齢では平均約 45° と、蹄は寝気味で全体的にばらつきが大きく、体重との間で正の相関を示す一方で、屈筋腱や肢の太さとの間で関連性は認められなかった。生後 28 日齢では、蹄壁角は体重、肢の太さ、屈筋腱の厚さとは相関せず、平均約 50° に収束する傾向を示した。DDFT および SDFT は生後 1 日齢では、それぞれが両前肢外内蹄において均衡がとれているものの DDFT と SDFT 間では相関せず、蹄壁角、体重、肢の太さとの関連性は認められなかった。生後 28 日齢では、DDFT は両前肢内外蹄の均衡を保ちつつ厚くなり、体重、肢の太さと相関が認められたが、SDFT との間には相関は認められなかった。SDFT は生後 28 日齢でも前肢内外蹄の均衡は保たれているが、生後 1 日齢と比較しても有意に厚さは増さず、肢の太さとも相関を示すが DDFT より低く、体重との相関はほぼ認められなかった。これらのことから、前肢肢端における屈筋腱は生後 1 日齢では支持組織として未発達であると考えられた。また生後 28 日齢では、成長により身体のバランスが整うことに伴い、屈筋腱も厚くなる傾向が認められた。特に繋部における屈筋腱は SDFT よりも DDFT の発達が明瞭であった。

本章における蹄壁角の計測は、既報の MPFD の重症度分類法による地面と背側蹄壁から形成される角度を計測しており [2]、背側蹄壁と蹄底から形成される蹄尖角度ではない。生後 1 日齢において、蹄壁角は個体による差が認められた。特に蹄壁角が浅い個体において、硬いコンクリート上で起立させると蹄尖側はコンクリートには着床せず浮いた状態で、蹄踵側のみで負重していた。このように過伸展を呈する個体は、子牛よりも新生子馬での発生が多く報告されている [6, 4, 19, 40]。病態が軽度であれば、通常は無処置で回復することが知られており、本章で供試した蹄壁角が浅い個体も成長に伴い自然に回復が認められた。また、供試牛 No. 5 では出生時から軽度の屈曲変形が認められ、生後 1 日齢での蹄壁角は左前肢 70.5° 、右前肢

70.0° と蹄踵を浮かせた状態での起立および歩行であったが、生後 28 日齢での蹄壁角は左前肢 64.0°、右前肢 59.0° と成長に伴い徐々に屈曲変形も改善していた。現在、牛の削蹄方法で広く普及している機能的削蹄方法であるダッチメソッドでは、蹄尖角は 45° から 50° で削出するよう提唱されている[42]。しかし近年、ダッチメソッドによる不備点も指摘されており[30, 44]、黒毛和種を主とした肉用種の削蹄方法についても治療指針はほぼ無く不明な点が多い[27, 28]。本章において、生後 28 日齢の蹄壁角は平均約 50° に収束したが、肉用子牛の生理的な蹄壁角についてはさらなる検討が必要である。

牛の運動器疾患における超音波画像診断の有用性は、股関節、肩関節、膝関節、手根関節、足根関節、蹄関節において脱臼、関節炎、外傷などの診断が知られている[22, 23]。産業動物における超音波画像診断による腱の評価方法について、最も診断方法が整備されている疾病は馬の屈腱炎である。超音波を用いることにより確定診断が下され、損傷が腱線維実質あるいは腱周囲組織にあるかを判別することも可能となる[15, 35]。損傷の程度は、低エコーの割合、断面積の割合、病変の長さにより判断される。特に、軽度な病態における微妙な損傷において、超音波検査が有用な診断方法であるとされている[5, 29, 35]。また、屈腱炎において滑膜液増量が併発することが知られており、このことを応用して牛においても感染性腱鞘炎における腱の評価方法として利用されている[7, 20, 40, 43]。本章における超音波検査方法は、腱鞘炎を評価するための既報の超音波検査方法に準じて調査した[20, 21, 43]。繋部掌側での超音波画像において、成牛の腱鞘炎および生後 8~12 カ月齢育成牛の正常肢において、遠位指輪状靭帯が描出されることが報告されている[7, 17]。本章で供試した子牛は、既報と比較すると圧倒的に体格が小さかったが、本章で用いた 8.5MHz に設定した超音波診断装置によっても遠位指輪状靭帯は描出可能であった。生後 1 日齢と生後 28 日齢において経時的検査を行うために、遠位指輪状靭帯を目印とし検査を行った。中手骨部位においても遠位中手骨骨端軟骨を目印とし同時に検

査を行ったが、中手骨部位では撮影部位がわずかでもずれると、腱の太さが大きく変化する画像が得られたため、本章の目的に沿わず除外した。繋部位における超音波画像からの SDFT と DDFT の厚さを解析した結果、出生直後では屈筋腱は他の検査項目とほぼ相関せず、屈筋腱による肢の支持の重要性は認められなかった。また生後 28 日齢の解析結果から、DDFT は体重や肢の太さと均衡を取るよう厚さが増したことから、DDFT の前肢肢端における支持組織としての重要性が徐々に増していると考えられた。

馬において、腱の超音波断面積像は正常構造を評価する上で最も有用な指標であり、断面積の計測は一般的に行われている[38]。また核磁気共鳴画像法 (MRI) で得られた画像から、馬の肢端における DDFT 断面積と体重において高い相関関係が認められたことが既に報告されている[29]。本章において、供試牛の体格が小さいために繋部の超音波画像では屈筋腱の断面積を計測することは困難であり、縦幅の計測を行った。縦幅において、DDFT と SDFT はそれぞれで左右外内蹄における相関関係が認められたことにより、屈筋腱の縦幅の計測は有用であると考えられた。また、本章ではホルスタイン種ではなく肉用種として黒毛和種と日本短角種で検査を行った。黒毛和種はホルスタイン種と比較すると、未成熟状態で出生する[36]。本章において、出生直後は肢の支持組織が未発達であることが示唆された。このことから、出生直後において蹄壁角が寝気味でばらつくことは生理的な現象であると考えられたが、今後は MPFD の発生が多く認められるホルスタイン種についても同様の所見が得られるのか調査する必要がある。

本章では、一農場で出生した肉用子牛での前肢の支持における蹄壁角と屈筋腱の影響を調べることを目的とし、体格、蹄壁角、肢周囲長および超音波画像により屈筋腱を計測し解析した。その結果、生後 1 日齢では蹄壁角と屈筋腱との間には関連性が認められず、屈筋腱は前肢肢端において支持組織として未発達であることが認められた。生後 28 日齢では、成長により身体のバランスが取れることに伴い屈筋腱も

厚くなり支持組織として徐々に形態学的対応をしていくことが認められ、特に繋部における屈筋腱は SDFT よりも DDFT の発達が明瞭であった。また蹄壁角は、体格、肢の太さ、屈筋腱に関係なく平均約 50° 前後に収束することが明らかとなった。以上の結果より、MPFD 症例に対する超音波画像での屈筋腱の評価および診断は困難と考えられ、別の画像診断法が必要と考えられた。また屈筋腱以外の軟部組織による肢の支持の重要性が示唆され、このことから生後 28 日齢までの子牛における屈筋腱切除術は肢の過伸展などの合併症発生リスクが低いことが示唆された。

5. 小括

第 I 章では、一農場で出生した肉用子牛での前肢の支持における蹄壁角と屈筋腱の影響を調べることを目的とし、各種計測項目を解析した。肉用子牛 22 頭（黒毛和種：17 頭、日本短角種：5 頭）を供試し、生後 1 日齢と 28 日齢において 2 回の計測を行った。計測項目として、体重、体高、両前肢の背側蹄壁形成角度（蹄壁角）、前肢周囲長として中手部（管）、中手指節部（球節）、繋の左右 3 カ所ずつ計 6 か所、超音波画像による繋部の左右内外蹄における深指屈筋腱（DDFT）と浅指屈筋腱（SDFT）の腱縦幅を計測した。

蹄壁角は生後 1 日齢では平均約 45° と、まだ蹄は寝気味で全体的に個体差が大きく、体重と正の相関を示したが、屈筋腱や肢の太さとの相関関係は認められなかった。生後 28 日齢では、蹄壁角は他計測項目との間でほぼ相関せず、平均約 50° に収束する傾向を示した。DDFT および SDFT は生後 1 日齢において、蹄壁角、体重、肢の太さとの相関関係は認められなかった。DDFT は生後 28 日齢において、生後 1 日齢と比較し有意に厚くなり体重、肢の太さとの強い相関関係が認められた。SDFT は生後 28 日齢において、生後 1 日齢と比較しても有意に厚くならず、肢の太さとは有意な相関関係が認められたが、体重との相関関係は認められなかった。

以上の結果から、前肢肢端における DDFT および SDFT は生後 1 日齢では支持組織として未発達であることが示唆された。また生後 28 日齢では、成長により身体のバランスが整うことに伴い DDFT も厚くなり、前肢支持組織として機能してくることが認められた。本章において、蹄壁角と屈筋腱との関連性は認められず、先天性屈曲変形の診断において超音波画像を利用する利点は少ないと考えられた。また生後 28 日齢までの子牛においては、屈筋腱以外の軟部組織による前肢支持の比重が大きいことが示唆された。

第Ⅱ章 子牛の先天性中手指節関節屈曲変形肢における中手指節関節および遠位指節間関節の外内側方向関節形成角度計測による X 線画像解析

1. 序文

牛の肢端における屈曲変形は、前肢の先天性中手指節関節屈曲変形 (MPFD) が最も多く発生する [12]。診断および病態評価として、起立姿勢における罹患肢の負重状態ならびに触診により腱の張り具合を確認することにより総合的な診断が可能となる [24, 48]。馬の肢端における屈曲変形は、手根関節、中手指節関節 (球節、ナックリング) および遠位指節間関節 (クラブフット) における発生が認められる [4, 6, 8, 16, 19]。馬のナックリングの発生には、球節に屈曲を与える軟部組織として浅指屈筋腱 (SDFT)、深指屈筋腱 (DDFT) および繫靭帯が関与していることが指摘されている [1, 16, 47]。一方で、クラブフットの発生には遠位指節間関節 (DIPJ) の屈曲に影響を与える軟部組織として DDFT の関与が指摘されている [1, 8, 47]。馬の肢端における屈曲変形において、臨床診断のための X 線撮影は重要視されていないが、背掌側方向および外内側方向から X 線撮影を行うことにより関節の変形評価や予後評価を行う上では有用である [3, 4, 6, 16, 25, 31]。外内側方向からの撮影により関節における屈曲の評価や蹄壁に対する骨の変位が明らかとなり、背掌側斜上方 45° から 60° 方向からの撮影により蹄壁内における軟部組織の変形が確認可能となる。

牛の屈曲変形において、X 線撮影による病態評価は重要視されておらず、X 線撮影手順および評価方法については基準が定められていない。本章では、MPFD の X 線画像評価方法を確立することを目的とし、MPFD 肢と正常肢の球節および DIPJ における関

節形成角度を比較することによって、外内側方向からの X 線撮影手順および関節形成角度の計測手順を評価した。

2. 材料と方法

1) 供試牛

酪農学園大学附属動物医療センターに来院した、ホルスタイン種 17 頭、ブラウンスイス種 2 頭、計 19 頭 (14±10 日齢) を MPFD 症例として用いた。両前肢とも屈曲した子牛 16 頭と片側のみ屈曲した子牛 3 頭より計 35 肢 (左= 18 肢、右= 17 肢) を MPFD 肢として調査した。正常な歩様を示すが下痢、肺炎、膈炎等により治療のため入院した 21 頭のホルスタイン種子牛 (10±7 日齢) の正常前肢 42 肢 (左 21 肢、右 21 肢) を対照群とし用いた。

MPFD 肢の重症度分類は、過去の報告[2]に準じ視診および触診により以下に分類した。軽度症例では、子牛は歩行可能だが蹄踵が地面に接触せず、中等度症例では、蹄背側面と地面の角度がほぼ垂直であり、重度症例では、着蹄による歩行は困難であり繋、球節もしくは手根関節の背側面を接地して歩行する子牛と分類された。本研究における MPFD 肢は、軽度 7 肢、中等度 7 肢、重度 21 肢に分類された (表 12)。

表12
第Ⅱ章で供試した中手指節関節屈曲変形肢一覧

肢No.	供試牛 No.	罹患 前肢	重症度	X線撮影 時日齢	種	性別	体重 (kg)
1	1	左	中	12	ホルスタイン種	雄	不明
2	2	左	軽	14	ブラウンスイス種	雄	44
3		右	軽				
4	3	左	中	9	ホルスタイン種	雄	30.5
5		右	重				
6	4	左	軽	33	ホルスタイン種	雄	45
7		右	重				
8	5	左	重	23	ホルスタイン種	雄	47
9		右	重				
10	6	左	重	31	ホルスタイン種	雄	50
11	7	右	中	10	ホルスタイン種	雄	40.5
12	8	左	中	19	ホルスタイン種	雄	不明
13		右	重				
14	9	左	重	12	ホルスタイン種	雄	42.5
15		右	重				
16	10	左	軽	10	ブラウンスイス種	雄	35
17		右	中				
18	11	左	軽	6	ホルスタイン種	雄	28
19		右	重				
20	12	左	重	8	ホルスタイン種	雌	32.5
21		右	中				
22	13	左	軽	3	ホルスタイン種	雄	36
23		右	重				
24	14	左	重	6	ホルスタイン種	雄	49.5
25		右	重				
26	15	左	重	7	ホルスタイン種	雌	33
27		右	重				
28	16	左	重	5	ホルスタイン種	雄	38
29		右	重				
30	17	左	中	19	ホルスタイン種	雄	34
31		右	中				
32	18	左	中	1	ホルスタイン種	雄	34.5
33		右	重				
34	19	左	重	31	ホルスタイン種	雄	50.5
35		右	軽				

2) X線撮影方法

子牛は、マットレス上に患肢が上側となるよう横臥位で保定された。患肢の手根関節を脊柱に対し垂直方向に伸長させ、X線照射外となる肘関節を術者が保持し、外蹄と内蹄が重なるように回転させX線撮影部位を調節した。中手骨（MP）近位部から蹄尖を含む外内側方向の撮影が可能となるようにX線フィルムカセットに対し肢を平行にポジショニングした。X線は70kV、0.4mAsの条件下で、球節に照射中心を置いた。

3) X線画像評価方法

コンピューターX線撮影（CR）により得られた画像はフリーソフトウェア（ImageJ、v1.48、NIH、USA）を用いて以下の分析を行った。外内側方向撮影により得られたX線画像における関節形成角度は、球節はMPおよび基節骨（P1）の骨軸、DIPJは中節骨（P2）および末節骨（P3）の骨軸を設定することにより測定した。MP軸は、骨幹の最小直径の中間点と遠位骨端軟骨の中間点との連結線とした（図7）。P1軸は、P1近位の球節関節面の中間点とP1遠位の近位指節間関節面の中間点との連結線とした（図8）。P2軸は、P2近位の近位指節間関節面の中間点とP2の最小径部分の中間点との連結線とした。P3軸は、遠位指節間関節面の中間点とP3尖端との連結線とした。MP軸とP1軸を平行移動させて互いに交差させ、掌側で形成された角度を球節の外内側方向関節形成角度（LMJA）として測定した（図9）。同様に、P2軸とP3軸を平行移動させて交差させ、掌側で形成された角度をDIPJのLMJAとして測定した。

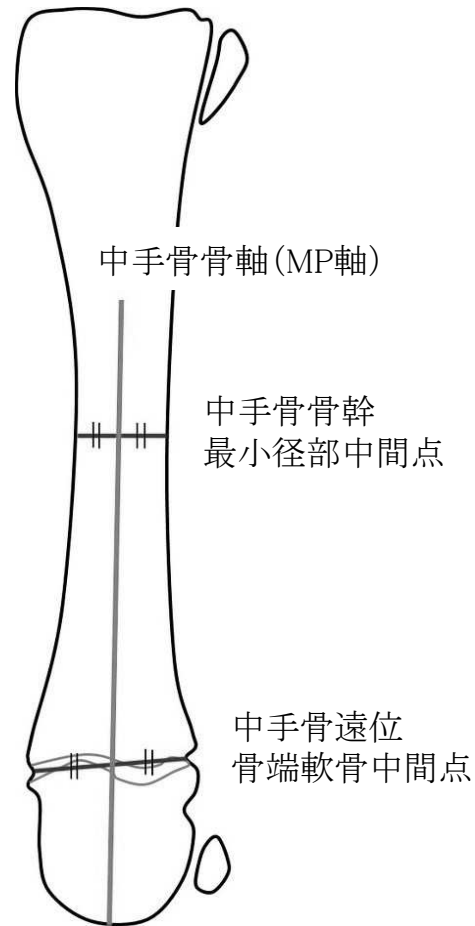


図7 中手骨におけるX線の骨軸の取り方

中手骨骨幹の最小径部の中間点と遠位骨端軟骨の中間点とを結ぶ直線の中手骨骨軸 (MP軸) とした。

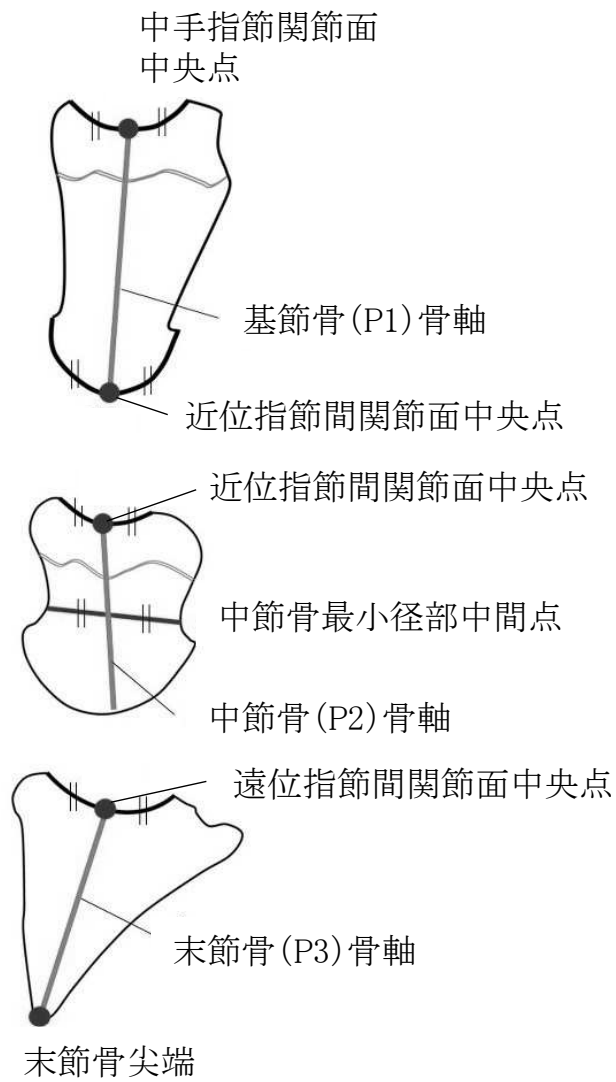


図8 蹄骨におけるX線の骨軸の取り方

図示した中間点を連結した直線を各骨軸とした。

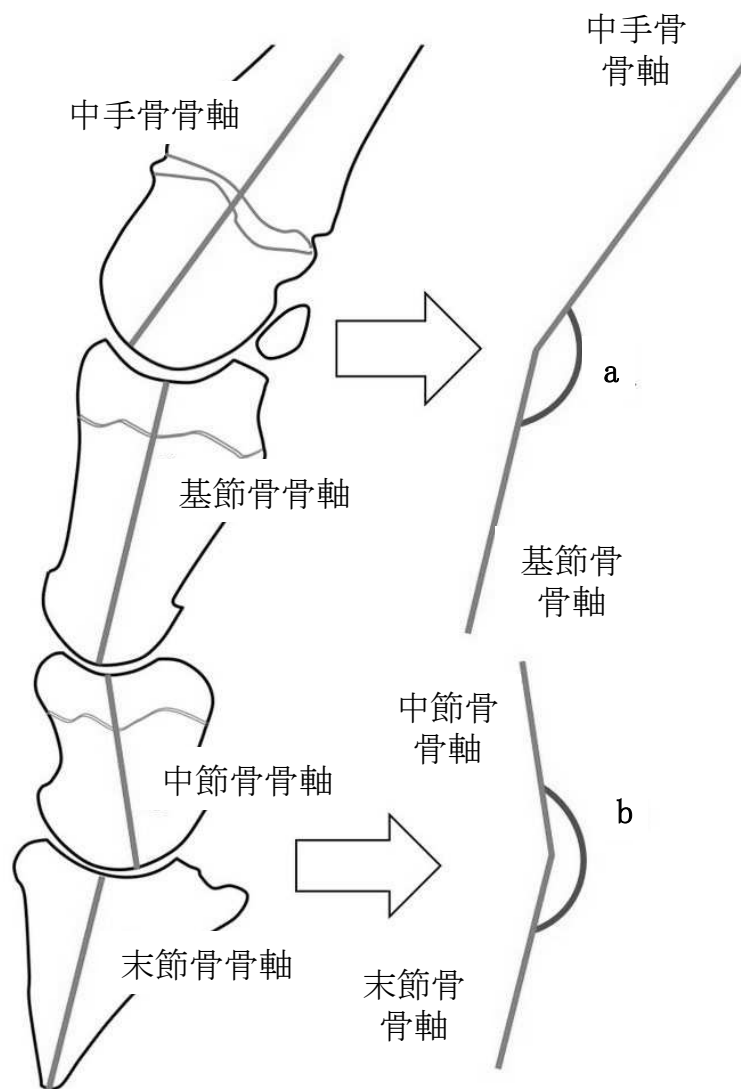


図9 中手指節関節(球節)と遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)の取り方

- a. 球節におけるLMJA
- b. 遠位指節間関節におけるLMJA

球節および DIPJ の LMJA を外蹄と内蹄で各々測定し、外蹄と内蹄の平均値を測定値とした。球節および DIPJ とともに内蹄と外蹄を完全に重複させての X 線撮影が困難な患肢もあった。そこで、X 線撮影における肢の捻じれによる角度の変化、すなわち外因的影響を評価するために、イヌにおける脛骨関節角度の X 線画像測定の既報の文献を参照し[10]、球節および DIPJ の外蹄と内蹄の測定角度のパーセント偏差を利用した。パーセント偏差は、片蹄の測定角度と両蹄の測定角度平均値との差の絶対値を、両蹄の測定角度平均値で割り、100 を掛けて算出した値とした (図 10)。MPFD 肢および正常肢全てにおいて球節および DIPJ のパーセント偏差を算出した。

4) 統計

すべての統計分析は、ソフトウェアプログラム (SPSS 統計 v24、IBM、USA) を用いて行った。各群の測定角度は平均±標準偏差で表記し、95%信頼区間 (95%CI) も同時に示した。MPFD 肢および正常肢について、左前肢と右前肢のばらつきを評価するために対応のある *t* 検定を行った。また一元配置分散分析後、Dunnett 検定により球節および DIPJ の LMJA における正常肢に対する MPFD 各重症度 (軽度、中等度および重度) との検定差を調べた。検定差は $P < 0.05$ と設定した。

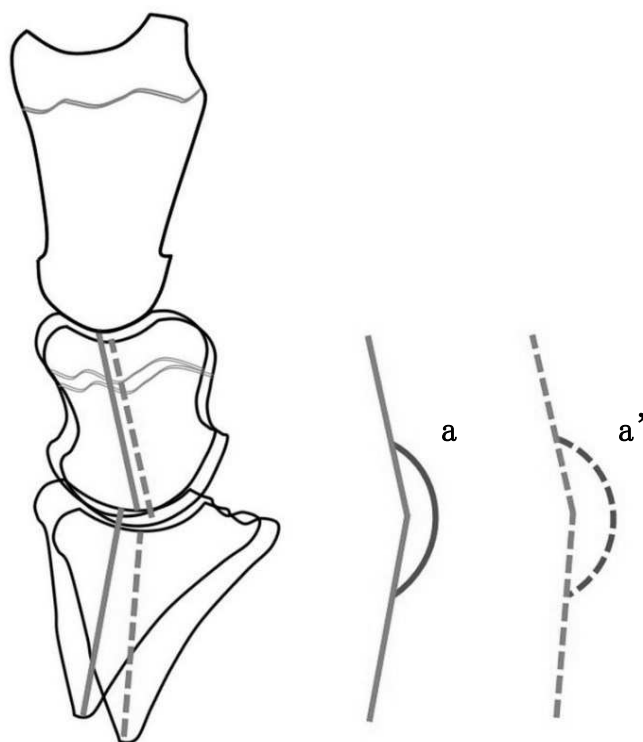


図10 パーセント偏位の算出方法

a:外蹄遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度
 a':内蹄遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度

遠位指節間関節における関節形成角度のパーセント偏位の算出方法を以下に示す(文献10より引用)。

$$\text{パーセント偏位} = | a - (a + a') | / (a + a') \times 100$$

3. 結果

1) パーセント偏差

正常肢および MPFD 肢全 77 肢における球節の外内側方向角度のパーセント偏差は、最小 0%から最大 2.5%の範囲であり、DIPJ の外内側方向角度のパーセント偏差は最小 0%から最大 4.5%の範囲であった。したがって、5%未満であれば撮影時の捻じれによる角度変化は誤差の範囲内であると判断した。5%以上のものは本章から除外しており、MPFD 前肢 35 肢とコントロールとして正常前肢 42 肢を用いた。

2) MPFD 肢および正常肢における左右側の比較

対照群である左側正常 21 肢と右側正常 21 肢における球節および DIPJ の LMJA の測定結果を表 13 に示した。球節および DIPJ のどちらにおいても左右間に有意差は認められなかった（球節： $P = 0.2$ 、DIPJ： $P = 0.5$ 、図 11）。MPFD 左側 18 肢および MPFD 右側 17 肢における球節および DIPJ の LMJA の測定結果を表 14 に示した。MPFD 肢においても、左右の球節および DIPJ に有意差は認められなかった（球節： $P = 0.4$ 、DIPJ： $P = 0.3$ 、図 12）。以上の結果より、MPFD 肢において個体内で左右肢の重症度が異なっても、正常肢および MPFD 肢ともに全体として左右側によるばらつきの影響はないと判断した。

表13
正常左右前肢における中手指節関節(球節)および遠位指節間関節(DIPJ)
の外内側方向関節形成角度(LMJA)

	球節		DIPJ	
	左前肢	右前肢	左前肢	右前肢
	(n=21)	(n=21)	(n=21)	(n=21)
平均値±標準偏差(°)	177.0±4.9	174.9±4.3	211.5±4.5	212.4±4.1
平均値の95%信頼区間	174.7-179.2	173.0-176.9	209.5-213.5	210.5-214.3

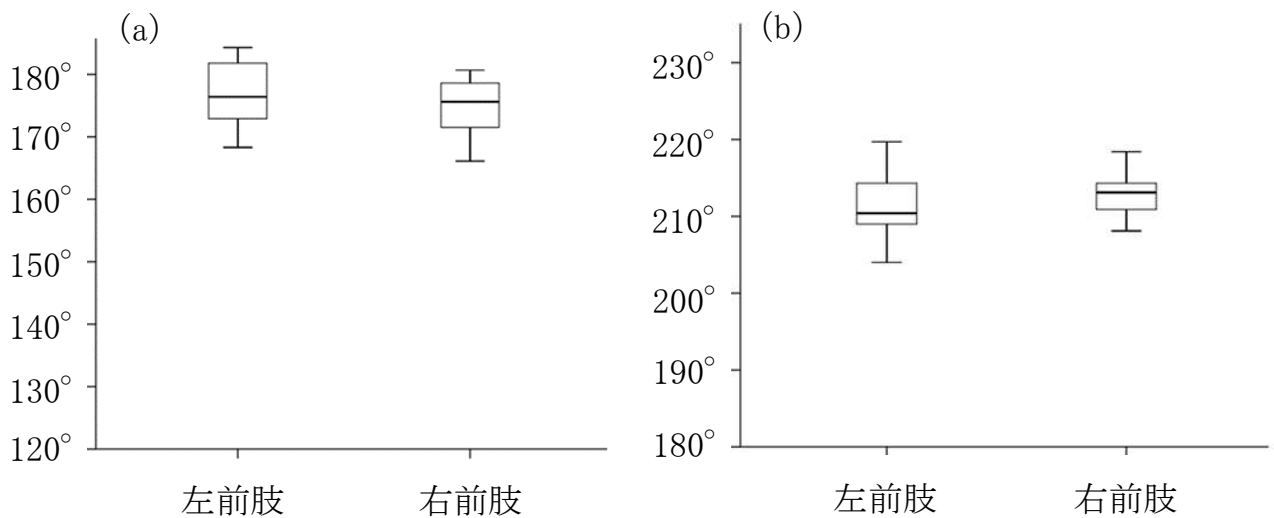


図11 正常肢の(a)中手指節関節および(b)遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)の左右比較

表14

中手指節関節屈曲変形を呈する左右前肢における中手指節関節(球節)および遠位指節間関節(DIPJ)の外内側方向関節形成角度(LMJA)

	球節		DIPJ	
	左前肢 (n=18)	右前肢 (n=17)	左前肢 (n=18)	右前肢 (n=17)
平均値±標準偏差(°)	158.7±11.6	154.7±13.6	204.1±6.3	206.2±4.7
平均値の95%信頼区間	153.0-164.5	147.7-161.7	200.9-207.2	203.8-208.7

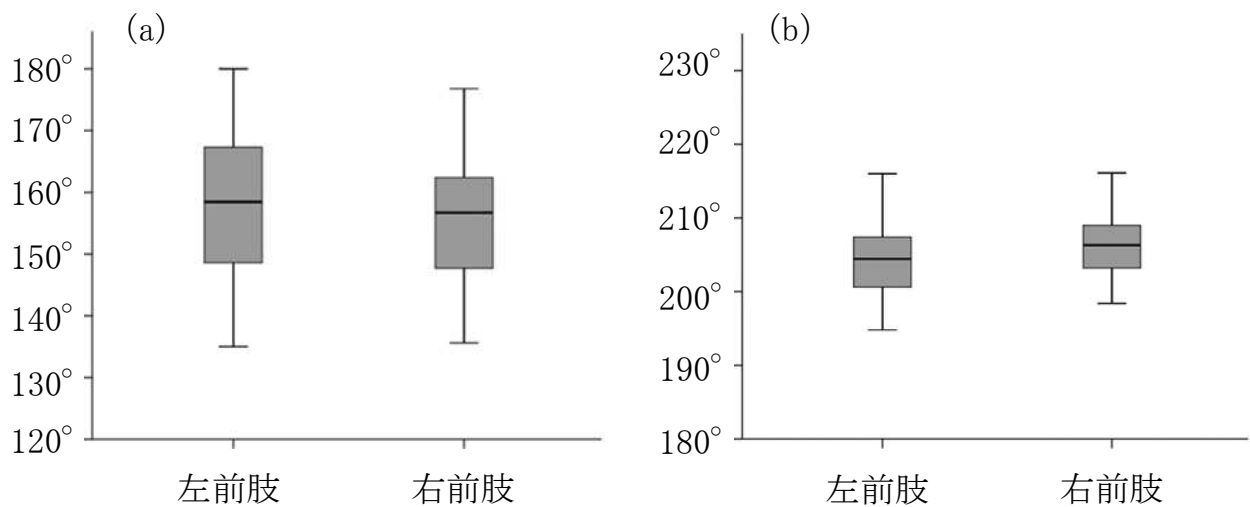


図12 中手指節関節屈曲変形肢の(a)中手指節関節および(b)遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)の左右比較

3) MPFD 肢の屈曲角度

正常肢および重症度別 MPFD 肢の典型的な球節の X 線画像を図 13 に、典型的な DIPJ の X 線画像を図 14 に示した。これらの画像を基にして、球節および DIPJ の角度を測定し比較した。

MPFD 肢の球節における LMJA を、臨床症状分類ごとに表 15 および図 15 に示した。正常肢 $175.9 \pm 4.6^\circ$ (95% CI : 174.5-177.4) と比較して、MPFD における球節の LMJA は軽度 167.1 ± 10.9 (158.9-175.2)、中等度 165.1 ± 8.9 (158.5-171.7)、重度 150.6 ± 10.4 (146.1-155.1) と有意に低くなった (軽度 : $P = 0.017$ 、中等度 : $P = 0.003$ 、重度 : $P < 0.001$)。

同様に DIPJ における測定結果を表 16 および図 16 に示した。正常肢 $211.9 \pm 4.3^\circ$ (95% CI : 210.7-213.2) と比較して、MPFD における DIPJ の LMJA は中等度 200.6 ± 7.4 (195.2-206.1)、重度 204.9 ± 3.8 (203.3-206.5) と有意に低くなった (中等度および重度 : $P < 0.001$)。しかし、正常肢と MPFD 軽症肢 210.3 ± 4.6 (206.9-213.7) との間には有意差は認められなかった ($P = 0.7$)。

全症例において関節を構成する骨折や形態異常は認められなかった。球節および DIPJ とともに LMJA が、正常肢に比べ有意に低くなっていることから、X 線画像は MPFD の重症度を客観的に評価できる判断基準となることが明らかとなった。



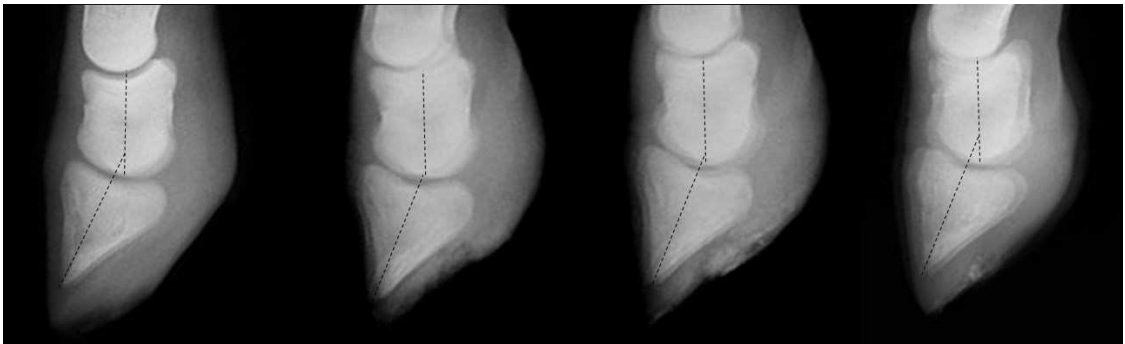
正常肢

軽度

中等度

重度

図13 臨床症状により分類した中手指節関節屈曲変形肢の中手指節関節X線画像例



正常肢

軽度

中等度

重度

図14 臨床症状により分類した中手指節関節屈曲変形肢の遠位指節間関節X線画像例

表15
中手指節関節屈曲変形(MPFD)肢の中手指節関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)

	正常肢	MPFD肢		
		軽症	中等度	重度
	(n=42)	(n=7)	(n=7)	(n=21)
平均値±標準偏差(°)	175.9±4.6	167.1±10.9*	165.1±8.9**	150.6±10.4**
平均値の95%信頼区間	174.5-177.4	158.9-175.2	158.5-171.7	146.1-155.1

*: 正常肢に対し、 $P < 0.05$

** : 正常肢に対し、 $P < 0.01$

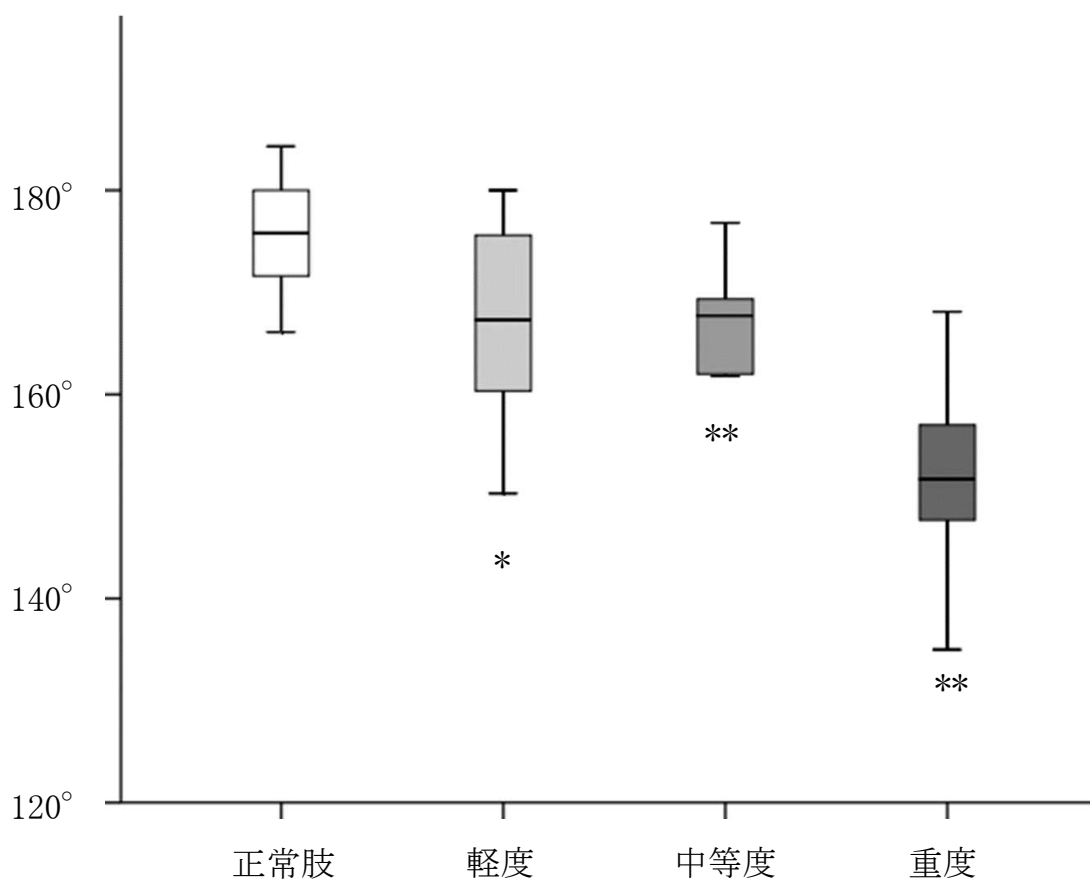


図15 中手指節関節屈曲変形肢の中手指節関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)の比較

*: 正常肢に対し、 $P < 0.05$

** : 正常肢に対し、 $P < 0.01$

表16

中手指節関節屈曲変形(MPFD)肢の遠位指節間関節における外内方向関節形成角度(LMJA)

	正常肢 (n=42)	MPFD肢		
		軽症 (n=7)	中等度 (n=7)	重度 (n=21)
平均値±標準偏差(°)	211.9±4.3	210.3±4.6	200.6±7.4**	204.9±3.8**
平均値の95%信頼区間	210.6-213.3	206.0-214.6	193.8-207.4	203.2-206.6

**：正常肢に対し、 $P < 0.01$

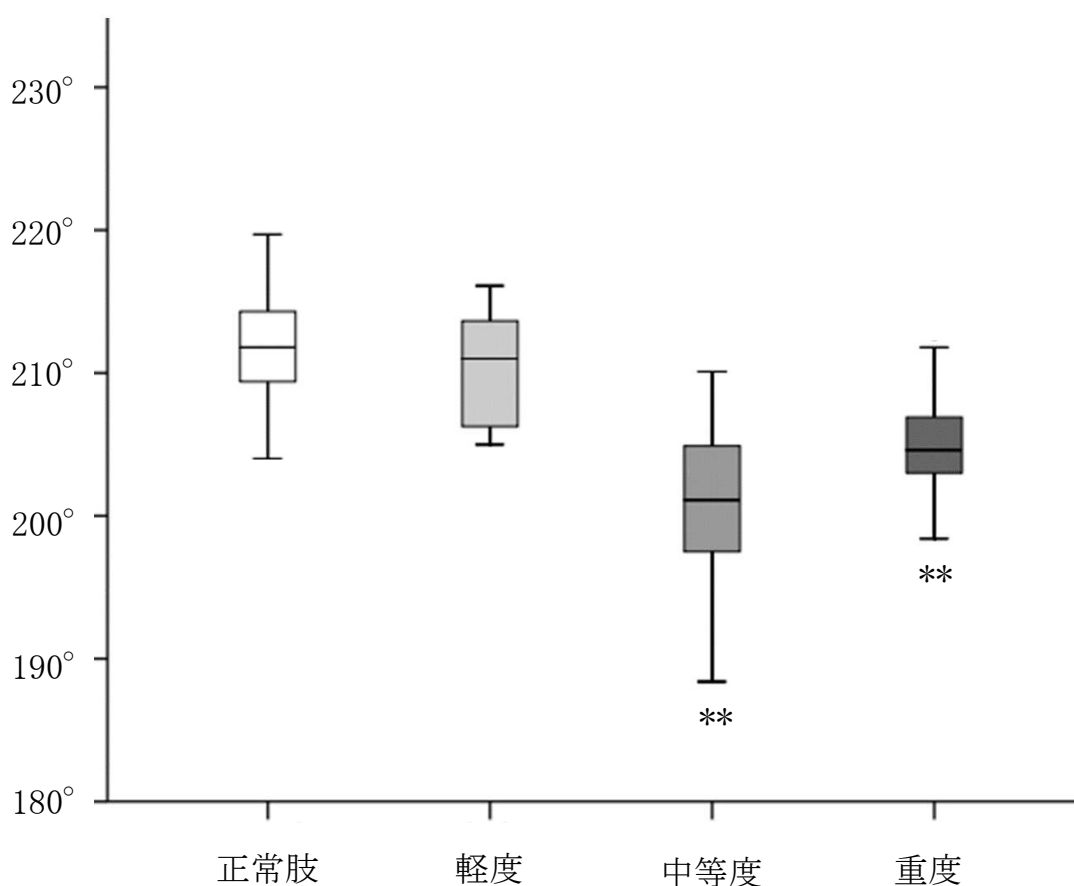


図16 中手指節関節屈曲変形肢の遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度(LMJA)の比較

**：正常肢に対し、 $P < 0.01$

4. 考察

MPFD 肢の X 線画像により測定される球節の LMJA は正常肢に比べ有意に低くなること
が認められた。また、DIPJ の LMJA は中等度および重度 MPFD 肢において有意に低
くなった。

馬のナックリングおよびクラブフットでは、屈曲変形肢における外貌上の屈曲度
に応じた治療指針が利用されている [8, 16, 19]。馬のナックリングにおける治療指針
は起立時の球節の角度を基準に、仔馬におけるクラブフットの治療指針は、起立時
の地面に対する背側蹄壁の角度を基準に選択される。腱切断術あるいは靭帯切断術
などの外科的手技の実施は、角度の変形度合を基準に決定される [1, 6, 8]。クラブフ
ットにおける外内側方向の X 線画像は、DIPJ を形成する蹄骨の配列を確認するた
めに有用であるとされている [3, 8, 19, 31]。子牛における MPFD の X 線画像分析につ
いては不明な点が多く、本章における骨軸の設定は子馬の屈曲変形の X 線画像を参照
した [3, 8, 19, 31]。その結果、単蹄の馬のように複蹄の牛においても外内側方向の X
線画像が診断基準として利用可能であることが明らかとなった。

本研究においては球節および DIPJ の LMJA は、X 線画像から内外両蹄それぞれ測定
し、肢が明らかに回転している画像は除外した。患肢および正常肢を含む全肢にお
ける球節の LMJA に対する両蹄のパーセント偏差は小さかったが (0~2.5%)、DIPJ
の LMJA に対する両蹄のパーセント偏差は大きかった (0~4.5%)。両蹄が揃わない
症例では何度か X 線撮影を行ったが、被曝の影響も考慮し一部の症例では両蹄を揃
えて撮影することは困難であった。両蹄が揃わない第 1 の原因として、DIPJ ではな
く球節を X 線照射中心にしたことが考えられた。第 2 の原因として、肢の解剖学的
構造による影響も考えられた。牛の内蹄は第三指であり外蹄は第四指であることか
ら、骨組織だけでなく筋腱組織も内側外側を比較すると対称的に走行していない
[13]。例えば、総趾伸筋腱の中手骨部から蹄骨部への走行では、外側から斜めに両

蹄それぞれ外内側へ4つに分岐し走行している。第3の原因として、個体における伸筋腱組織および屈筋腱組織のアンバランスの影響も考えられた。中等度 MPFD 肢における DIPJ の LMJA 測定結果は、重度 MPFD 肢における DIPJ の LMJA よりも小さかったが、上述の第1から第3の原因いずれかが影響していると考えられた。しかし中等度および重度 MPFD 肢における DIPJ の LMJA は、正常肢における DIPJ の LMJA に比べ有意に低かった。つまり中等度および重度 MPFD 肢は正常肢に比べ、球節だけでなく DIPJ も掌側方向に屈曲変形している。中等度および重度 MPFD 肢における DIPJ の LMJA は、馬の DDFT 短縮に起因するクラブフットと類似した特徴を持つ。しかし、MPFD における DIPJ の屈曲変形は一次的なものではなく、MPJ の屈曲の影響を受け二次的に屈曲変形している可能性もあるため DDFT の影響については別の調査が必要となる。

馬におけるクラブフットの診断に有用な X 線画像を撮影するには、立位によって肢に体重を負荷し、外内側方向および背掌側方向の二方向からの撮影が理想的であるとされている [3, 6, 8, 19, 31]。馬においてクラブフットの画像評価では、DIPJ における屈曲変形の評価だけでなく、蹄葉炎の評価と同様に背側面蹄壁に対する蹄骨変位による角度の異常や蹄冠および蹄壁内の軟部結合組織の歪みの評価も行う [3, 31]。患肢に負荷をかけることにより、蹄冠内における P3 の位置、蹄冠の深さと長さ、ならびに P3 周囲の軟部結合組織の連続性の評価が行いやすくなる [3, 6, 31]。しかし子牛において肢端の X 線撮影を行う際に、起立姿勢で内蹄および外蹄を完璧に重複させ撮影することは技術的にも困難であり、本章では子牛を横臥位にして X 線撮影を行った。対象肢は脊柱に対し垂直に伸長させ、蹄尖を牽引せず可能な限り自然な状態で伸長させた。一次放射線照射外である肘関節で撮影補助者が肢全体を回転させることにより内外蹄を重複させるように調整した。この方法は体重負荷をかけない X 線撮影であるため、本章における撮影方法により関節の屈曲評価の実施には限界があると考えられた。本来ならば横臥位での X 線画像と比較して、立位

で体重負荷をかけた X 線画像と比較することが望ましいと考えられる。しかし正常肢との比較を行った結果、MPFD 肢における球節の LMJA は、重症度に応じ変形が大きくなっており、得られた X 線画像における形態学的変化は臨床症状に基づく分類とよく対応していた。屈筋腱および靭帯を含む軟部組織の変形による MPFD への影響の評価は、本章における撮影および測定手順による球節の LMJA 解析でも評価可能であると考えられた。

本章では MPFD の X 線評価方法を確立することを目的とし、X 線画像による MPFD 肢と正常肢の LMJA の測定を行い評価した。球節における LMJA の測定では、身体検査により分類した MPFD 重症度と正常肢を比較することで本章における X 線撮影手順および計測評価方法の整合性について評価した。その結果、球節における LMJA の測定結果は身体検査により分類した MPFD 重症度を反映しており、本章の手技による MPFD の X 線撮影手順および計測評価方法は臨床的に有用であり数値化も可能であった。また、DIPJ における LMJA の測定結果より中等度および重度 MPFD 肢では、DDFT 短縮が病態の程度に関与していることが示唆された。

5. 小括

牛の先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）において、単純 X 線撮影による評価方法を確立することを目的として、肢端の外内側方向からの X 線撮影により中手指節関節（球節）と遠位指節間関節（DIPJ）における関節形成角度を測定した。MPFD 症例 19 頭の前肢 35 肢を臨床症状に基づき軽度 7 肢、中等度 7 肢、重度 21 肢に分類し正常歩行を呈する子牛 21 頭の前肢 42 肢を対照群として比較した。中手骨軸と基節骨軸を設定することにより球節の外内側方向関節形成角度（LMJA）を、中節骨軸と末節骨軸を設定することにより DIPJ の LMJA を画像解析ソフトにより測定した。球節および DIPJ の LMJA を外蹄と内蹄で各々測定し、外蹄と内蹄の平均値を測定値とした。

球節における LMJA の測定結果は正常肢と比較し臨床症状に基づき分類した軽度、中等度、重度 MPFD 肢全てに対し有意に狭小しており、平均測定値から軽度、中等度、重度と順に屈曲角度は狭くなっていることが確認された。本章における X 線撮影手技および画像解析方法は客観的な病態評価法として有用であると判断された。また数値化により、特に重度症例において重症度分類以上の情報が得られることで詳細な病態評価が可能となることが示唆された。さらに DIPJ における LMJA の測定結果から、球節同様に中等度および重度 MPFD 肢で屈曲変形していることが判明した。

第Ⅲ章 子牛の先天性中手指節関節屈曲変形の重症度と屈筋腱 病変との関連性に関する屈筋腱の構造異常解析

1. 序文

牛および馬の四肢における屈曲変形において、診断および治療方法に関する報告は様々あり、特に馬の屈曲変形における診断および治療指針は整備されている[8, 16, 19]。馬の屈曲変形における診断について、X線撮影は重要視されていない[3, 4, 6, 19, 25, 31]。その理由として外貌における形態的特徴によりおおよその診断が可能であり、更に詳細に触診することにより緊張した筋腱や軟部組織の特定が、ある程度可能だからである[1, 3, 6, 8, 16, 19, 31]。子牛の先天性中手指節関節屈曲変形(MPFD)においても、筋腱や靭帯の緊張状態を触診可能である[24, 48]。しかし牛の肢端は馬と異なり屈筋腱の走行上に副蹄が存在し、更に馬の繋と比較すると牛では繋が短いことから、触診による浅指屈筋腱(SDFT)と深指屈筋腱(DDFT)の識別は困難であると考えられる。

MPFDに対しX線画像評価を行うために、第Ⅱ章では子牛の肢端における外内側方向のX線撮影手順および評価方法について調べた結果、MPFDの重症度を反映する診断法として有用であることが明らかとなった。また、中等度および重度MPFD肢において遠位指節間関節(DIPJ)における屈曲変形が認められた。DIPJの屈曲変形は馬のDIPJにおける屈曲変形(クラブフット)において認められる病態所見であり、DDFTの関与が指摘されている。

本章では、重度MPFD症例における中手指節関節(球節)とDIPJの屈曲についてSDFTとDDFTの関与を調査することを目的とした。そのために屈筋腱短縮モデル肢を

作製し、第Ⅱ章の方法に準じた X 線撮影および評価方法により球節および DIPJ における内外側方向関節形成角度 (LMJA) を重度 MPFD 肢と比較した。

2. 材料と方法

1) 供試牛

屈筋腱短縮モデル肢には、酪農学園大学附属動物医療センターに下痢、肺炎、膈炎等の運動器疾患以外の原因で入院したものの予後不良と判断され安楽殺に供された、あるいは死亡転帰となった生後 1 カ月以内のホルスタイン種子牛 30 頭の前肢 60 肢 (左 30 肢、右 30 肢) を用いた。MPFD 罹患肢は酪農学園大学附属動物医療センターに来院した第Ⅱ章と同じホルスタイン種 14 頭の子牛から、重症度病態分類において重度と判定された 21 肢の画像解析結果を MPFD 前肢として用いた (表 17)。正常肢として、第Ⅱ章と同じ 42 肢の画像解析結果を用いた。

2) 屈筋腱短縮モデル肢作製方法

屈筋腱短縮モデル肢として、安楽殺処理あるいは死亡した子牛の両前肢を、肩部で胴体から剥離・切除して用いた。屈筋腱短縮モデル肢は SDFT 短縮モデル (SD-cm) 12 肢、DDFT 短縮モデル (DD-cm) 12 肢、更に SDFT および DDFT を短縮させたモデルとして、DDFT よりも SDFT の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル (SD>DD-cm) 12 肢、DDFT と SDFT の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル (SDDD-cm) 12 肢、SDFT よりも DDFT の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル (SD<DD-cm) 12 肢、全 5 種類 60 肢によりモデルを作製した (図 17)。

表17
第Ⅲ章で供試した中手指節関節屈曲変形肢一覧

肢No.	供試牛 No.	罹患 前肢	X線撮影 日齡	性別	体重 (kg)
1	1	右	9	雄	30.5
2	2	右	33	雄	45
3	3	左	23	雄	47
4		右			
5	4	左	31	雄	50
6	5	左	19	雄	不明
7		右			
8	6	左	12	雄	42.5
9		右			
10	7	右	6	雄	28
11	8	左	8	雌	32.5
12	9	右	3	雄	36
13	10	左	6	雄	49.5
14		右			
15	11	左	7	雌	33
16		右			
17	12	左	5	雄	38
18		右			
19	13	左	1	雄	34.5
20		右			
21	14	左	31	雄	50.5

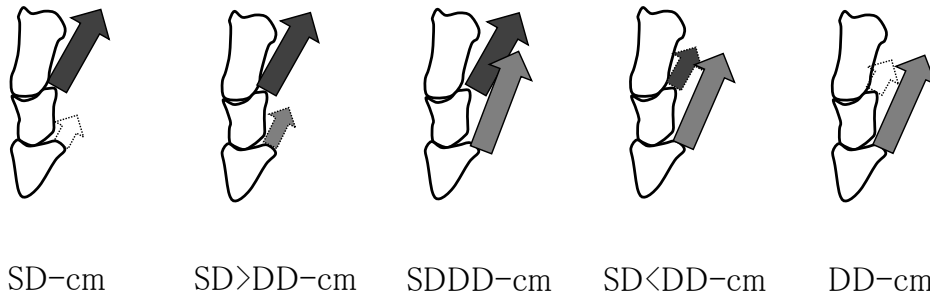


図17 屈筋腱短縮モデル5種類の概要図

屈筋腱短縮モデル肢は浅指屈筋腱短縮モデル(SD-cm)、深指屈筋腱短縮モデル(DD-cm)、更に浅指屈筋腱および深指屈筋腱短縮モデルを短縮させた屈筋腱のバランスにより3種類(SD>DD-cm、SDDD-cm、SD<DD-cm)により全5種類を作製した。

SD-cm:浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm:深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm:深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm:浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm:深指屈筋腱短縮モデル。

**表18
屈筋腱短縮モデル5種類10モデルの概要**

短縮度	SD-cm		SD>DD-cm		SDDD-cm		SD<DD-cm		DD-cm	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	(n=12)		(n=12)		(n=12)		(n=12)		(n=12)	
浅指屈筋腱(cm)	3	6	3	6	3	6	1	3	0	0
深指屈筋腱(cm)	0	0	1	3	3	6	3	6	3	6

SD-cm:浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm:深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm:深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm:浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm:深指屈筋腱短縮モデル。

屈筋腱短縮モデルは、以下の手順により作製した。中手骨部で掌側に走行している SDFT および DDFT を触知により確認し、中手骨骨幹中央部にて屈筋腱直上の皮膚を腱の走行に沿って約 10cm 長切開した。腱周囲の結合組織を鈍性剥離し、SDFT および DDFT を被覆している腱膜を皮膚同様に約 10cm 長切開し、屈腱をそれぞれ視認後、分離剥離した。

各種条件になるよう腱を一定の長さに縫合短縮し、各々の屈筋腱短縮モデルの概要は表 18 のとおり、まず短縮度 1 から作製し、X 線撮影後に短縮度 2 を作製し再度 X 線撮影を行った。

シルク縫合糸 (3-0 SILK, Ethicon, New Jersey, U. S. A) により Locking-Loop 腱縫合術を応用し、腱を縫合して短縮させた。短縮度 1 を作製後、X 線撮影を行い縫合は解かずに短縮度 2 の作製もシルク縫合糸により同様に Locking-Loop 腱縫合術の応用で再現した。モデル作製の際に、縫合糸が腱の張力に耐えられない肢については鉗子による固定も併用した。

第 II 章において、重度 MPFD 肢における球節の外内側方向関節形成角度 (LMJA) の測定結果より、屈曲角度のばらつきが大きかったため (最小-最大 : 125.1-168.1)、各 5 種類の屈筋腱短縮モデルにおいて同じ屠体肢を用いて短縮強度を 2 段階にし、計 10 種類のモデルを作製した (表 18)。すなわち、短縮度 1 では短縮させる腱の長さを 1-3cm の範囲とし、SD-cm では SDFT3cm 短縮、DD-cm では DDFT3cm 短縮、SD>DD-cm では SDFT3cm および DDFT1cm 短縮、SDDD-cm では SDFT および DDFT とともに 3cm 短縮、SD<DD-cm では SDFT1cm および DDFT3cm ずつ短縮させた。短縮度 2 では短縮させる腱の長さを 3-6cm の範囲とし、SD-cm では SDFT6cm 短縮、DD-cm では DDFT6cm 短縮、SD>DD-cm では SDFT6cm および DDFT3cm 短縮、SDDD-cm では SDFT および DDFT とともに 6cm 短縮、SD<DD-cm では SDFT3cm および DDFT6cm ずつ短縮させた。

3) X線撮影方法およびX線評価方法

MPFD 子牛および正常子牛は、第II章と同様のX線撮影方法により横臥位で撮影した。屈筋腱短縮モデル肢もMPFD肢同様に、可能な限り自然状態で伸長させ、X線照射外となる肘関節を術者が保持し、外蹄と内蹄が重なるように回転させ調節した。中手骨 (MP) 近位部から蹄尖を含む外内側方向の撮影が可能となるようにX線フィルムカセットに対し肢を平行にポジショニングした。X線は70kV、0.4mAsの条件下で、球節を照射中心とした。

X線画像はフリーソフトウェア (ImageJ、v1.48、NIH、USA) を用いて分析した。中手骨 (MP) 軸、基節骨 (P1) 軸、中節骨 (P2) 軸、末節骨 (P3) 軸は、第II章の方法に準じて骨軸線を設定した。球節におけるLMJAはMP軸およびP1軸、DIPJにおけるLMJAはP2軸およびP3軸から各々掌側面に形成される角度として測定した。

肢の捻じれの評価として第II章の方法に準じ、球節およびDIPJの外蹄と内蹄の測定角度のパーセント偏差を全てのX線画像において算出し、パーセント偏差が5%以上のものは供試しなかった。

4) 統計

すべての統計分析は、ソフトウェアプログラム (SPSS 統計 v24、IBM、USA) を用いて行った。各群の測定角度は平均±標準偏差で表記し、95%信頼区間 (95%CI) も同時に示した。同モデル間の短縮度1と2の比較については対応のあるt検定を用いた。また一元配置分散分析後、Dunnett検定により球節およびDIPJのLMJAにおける重度MPFD肢に対する各屈筋腱短縮モデル肢との検定差、比較対照として正常肢に対する各屈筋腱短縮モデル肢との検定差を調べた。検定差は $P < 0.05$ と設定した。



写真2 屈筋腱短縮モデル5種類10モデルの外貌写真例

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

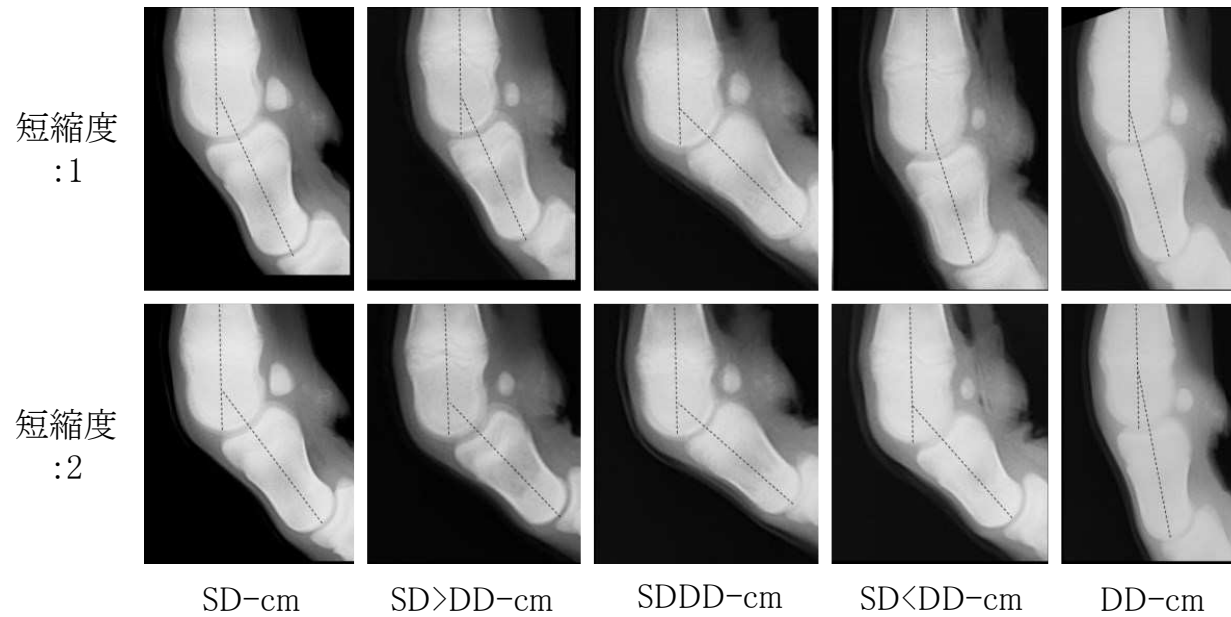


図18 屈筋腱短縮モデル5種類10モデルにおける球節X線画像例

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

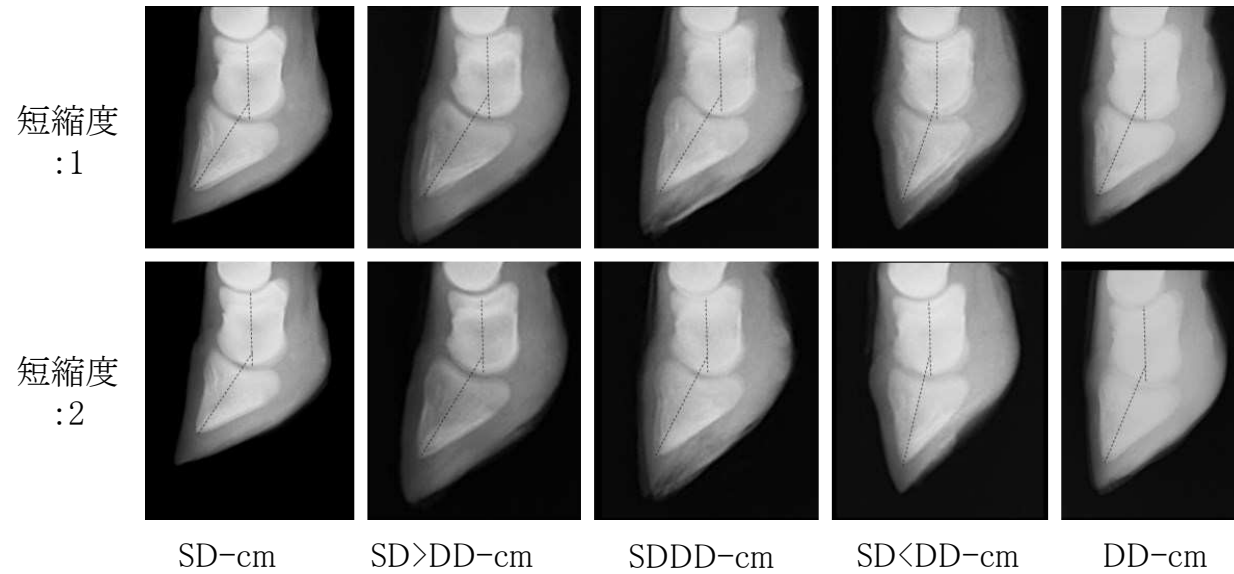


図19 屈筋腱短縮モデル5種類10モデルにおける遠位指節間関節X線画像例

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

3. 結果

1) 各屈筋腱短縮モデル肢の特徴

モデル肢の外貌から、短縮度 1 の範囲において球節の屈曲が明らかであり、短縮度 2 の範囲ならば短縮度 1 よりも球節の屈曲度が大きくなった (写真 2)。しかし短縮度 2 の範囲以上に腱を短縮させると球節の屈曲が直角近くまで屈曲してしまい、第 II 章における球節の LMJA の最小値が 125.1 であったことから屈筋腱短縮モデルの短縮度を表 18 の通りに決定した。

X 線画像から得られた屈筋腱短縮モデル肢の球節および DIPJ の代表例を各々図 18 と図 19 に示した。球節の屈曲度について、全モデルにおいて短縮度 1 に比べ短縮度 2 で大きい傾向にあることが外貌や X 線画像から確認された。球節の LMJA の測定結果を表 19 に示した。各屈筋腱短縮モデル肢における短縮度 1 と短縮度 2 を比較した結果、全モデルにおいて短縮度 1 に比べ短縮度 2 で有意に屈曲していた (SD-cm : $P = 0.04$ 、SD>DD-cm : $P < 0.001$ 、SDDD-cm : $P = 0.005$ 、SD<DD-cm : $P < 0.001$ 、SD-cm : $P = 0.006$ 、図 20)。以上の結果より、SDFT および DDFT はどちらか一方、あるいは両方同時に短縮しても球節の屈曲に影響を与え、短縮度が大きくなるほど屈曲度も大きくなることが明らかとなった。

DIPJ における LMJA について、各屈筋腱短縮モデル肢における短縮度 1 および短縮度 2 の測定結果を表 20 に示した。DIPJ では全モデルにおいて短縮度 1 と短縮度 2 の間には有意差は認められなかった (SD-cm : $P = 0.9$ 、SD>DD-cm : $P = 0.6$ 、SDDD-cm : $P = 0.3$ 、SD<DD-cm : $P = 0.9$ 、SD-cm : $P = 0.3$ 、図 21)。以上の結果より、球節の屈曲とは異なり屈筋腱の短縮度は DIPJ の屈曲へ影響を与えなかったことが全モデルにおいて認められた。

表19
各屈筋腱短縮モデルにおける中手指節関節(球節)の外内側方向関節形成角度

短縮度	SD-cm		SD>DD-cm		SDDD-cm		SD<DD-cm		DD-cm	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
平均値±標準偏差(°)	158.7 ±12.4*	150.5 ±12.9*	160.6 ±8.1**	144.9 ±10.6**	153.2 ±9.2**	140.1 ±14.2**	161.5 ±5.8**	145.0 ±16.5**	156.9 ±10.6**	148.6 ±11.6**
平均値の 95% 信頼区間	150.4 -167.0	141.8 -159.2	155.5 -165.8	138.1 -151.6	147.4 -159.1	131.0 -149.1	157.8 -165.2	134.5 -155.5	150.1 -163.6	141.2 -156.0

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

*: 同一モデルでの短縮度1と短縮度2の間に検定差が認められた ($P < 0.05$)

**: 同一モデルでの短縮度1と短縮度2の間に検定差が認められた ($P < 0.01$)

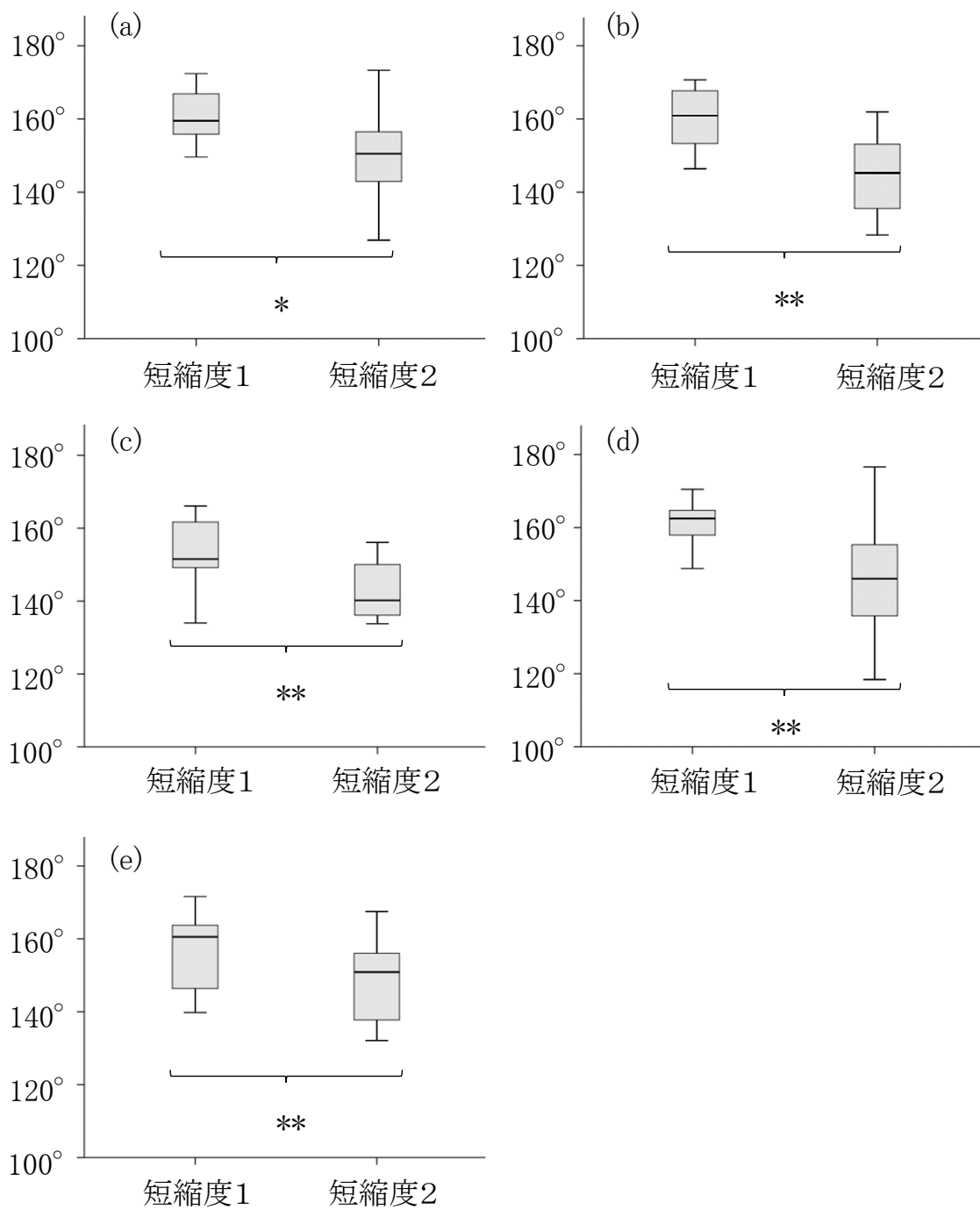


図20 中手指節関節における外内側方向関節形成角度の各屈筋腱短縮モデル間の短縮度1と短縮度2の比較

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

表20
各屈筋腱短縮モデルにおける遠位指節間関節の外内側方向関節形成角度

短縮度	SD-cm		SD>DD-cm		SDDD-cm		SD<DD-cm		DD-cm	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
平均値±標準偏差(°)	211.2 ±3.6	212.6 ±4.5	211.2 ±4.2	211.4 ±3.5	211.0 ±4.5	210.2 ±4.2	207.6 ±4.3	209.3 ±4.5	209.2 ±3.6	208.8 ±3.8
平均値の 95% 信頼区間	208.8 -213.7	209.6 -215.6	208.5 -213.9	209.2 -213.6	208.2 -213.9	207.5 -212.9	204.9 -210.3	206.4 -212.1	206.9 -211.5	206.6 -211.2

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

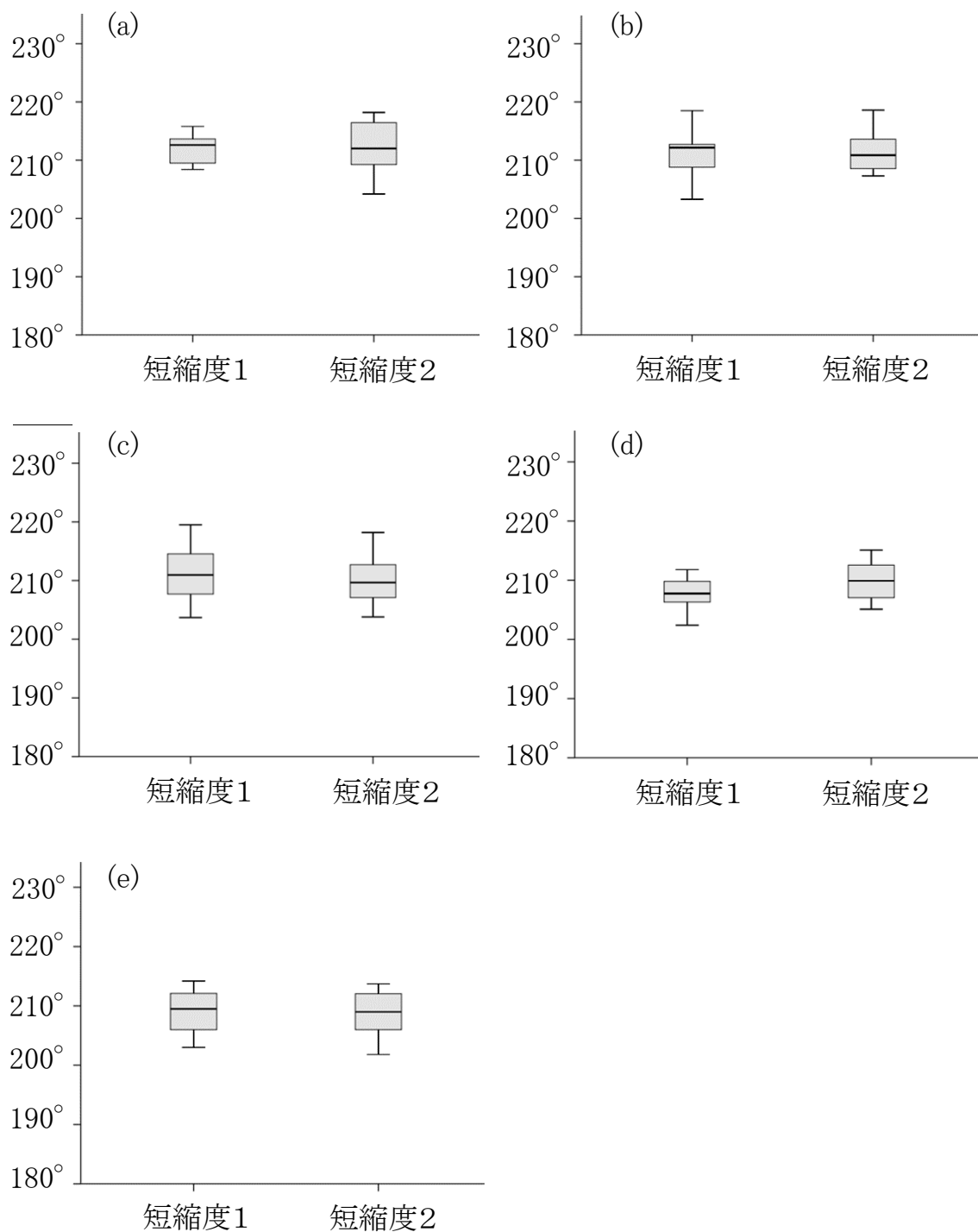


図21 遠位指節間関節の外内側方向関節形成角度における各屈筋腱短縮モデル間の短縮度1と短縮度2の比較

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

2) 屈筋腱短縮モデル肢としての病態評価；球節

各屈筋腱短縮モデル肢と正常肢および重度 MPFD 肢について球節における LMJA の測定結果の比較を図 22 に示した。正常肢における球節の LMJA は 175.9 ± 4.6 (95% CI : 174.5-177.4) であった。各屈筋腱短縮モデル肢の測定結果は表 19 に示した。正常肢と各屈筋腱短縮モデル肢を比較した結果、全モデル肢において球節の屈曲度が正常肢より有意に大きかった (全モデル : $P < 0.001$)。

重度 MPFD 肢における球節の LMJA は 150.6 ± 10.4 (145.8-155.4) であった。重度 MPFD 肢と各屈筋腱短縮モデル肢を比較した結果、全モデルとの間に有意差は認められなかった (短縮度 1 の SD-cm : $P = 0.4$ 、短縮度 2 の SD-cm : $P = 1$ 、短縮度 1 の SD>DD-cm : $P = 0.1$ 、短縮度 2 の SD>DD-cm : $P = 0.8$ 、短縮度 1 の SDDD-cm : $P = 1$ 、短縮度 2 の SDDD-cm : $P = 0.1$ 、短縮度 1 の SD<DD-cm : $P = 0.08$ 、短縮度 2 の SD<DD-cm : $P = 0.8$ 、短縮度 1 の DD-cm : $P = 0.7$ 、短縮度 2 の DD-cm : $P = 1$)。

以上の結果より、各屈筋腱短縮モデルにおいて短縮度 2 だけでなく短縮度 1 も正常肢と比較し屈曲度が有意に大きかった。また、重度 MPFD 肢の球節の屈曲に対し各屈筋腱短縮モデルの球節の屈曲は、短縮度 1 でも短縮度 2 でも検定差が認められず同程度であった。すなわち、全モデルで重度 MPFD 肢の球節の屈曲病態が再現されていた。

3) 屈筋腱短縮モデル肢としての病態評価；DIPJ

各屈筋腱短縮モデル肢と正常肢および重度 MPFD 肢について DIPJ における LMJA の測定結果を図 23 に示した。正常肢における DIPJ の LMJA は 211.9 ± 4.3 (210.7-213.2) であった。各屈筋腱短縮モデル肢の測定結果は表 20 に示した。正常肢と各屈筋腱短縮モデル肢を比較した結果、短縮度 1 の SD<DD-cm ($P = 0.02$) は有意に屈曲度が大きかった一方で、短縮度 1 の SD-cm ($P = 1$)、短縮度 2 の SD-cm ($P = 1$)、短縮度 1 の SD>DD-cm ($P = 1$)、短縮度 2 の SD>DD-cm ($P = 1$)、短縮度 1 の SDDD-cm (P

=1)、短縮度 2 の SDDD-cm ($P < 0.9$)、短縮度 2 の SD<DD-cm ($P = 0.4$)、短縮度 1 の DD-cm ($P = 0.4$) 短縮度 2 の DD-cm ($P = 0.2$) とは有意差は認められなかった。

次に重度 MPFD 肢における DIPJ の LMJA の測定結果は 204.9 ± 3.8 (203.3-206.5) であった。重度 MPFD 肢と比較した結果、各屈筋腱短縮モデル肢では短縮度 1 の SD-cm ($P = 0.001$)、短縮度 2 の SD-cm ($P < 0.001$)、短縮度 1 の SD>DD-cm ($P = 0.001$)、短縮度 2 の SD>DD-cm ($P < 0.001$)、短縮度 1 の SDDD-cm ($P = 0.001$)、短縮度 2 の SDDD-cm ($P = 0.008$) において屈曲は有意に小さかった。しかし、短縮度 1 の SD<DD-cm ($P = 0.5$)、短縮度 2 の SD<DD-cm ($P = 0.05$)、短縮度 1 の DD-cm ($P = 0.06$)、短縮度 2 の DD-cm ($P = 0.1$) と重度 MPFD 肢との間に有意差は認められなかった。

以上の結果より、屈筋腱短縮モデルにおいて DIPJ の屈曲の再現は球節よりも難しい傾向にあった。しかし重度 MPFD 肢との比較から、DD-cm、SD<DD-cm における DIPJ の屈曲は重度 MPFD 肢と同等であった。すなわち、重度 MPFD 肢における DIPJ の屈曲病態には、DDFT が SDFT より深く関与していることが明らかとなった。

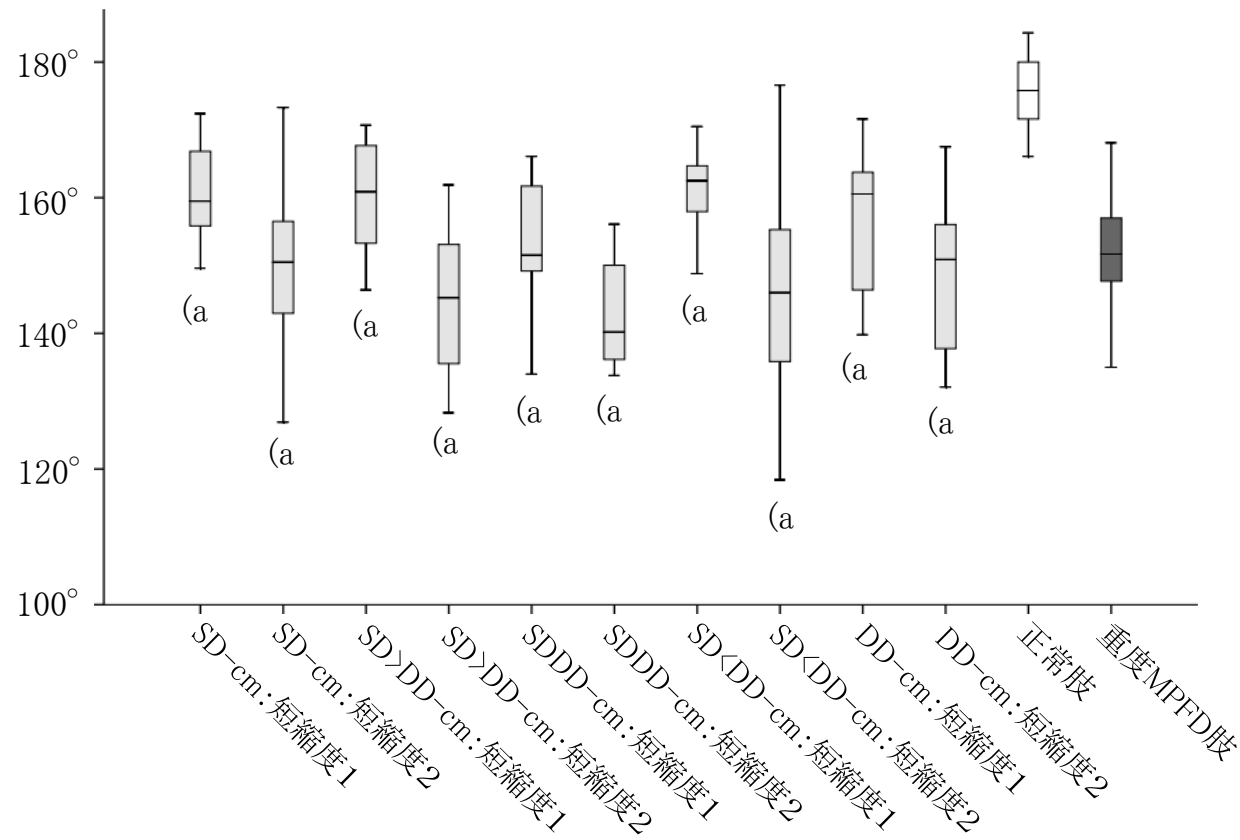


図22 各屈筋腱短縮モデルの中手指節関節(球節)における外内側方向関節形成角度

SD-cm:浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm:深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm:深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm:浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm:深指屈筋腱短縮モデル。

MPFD:先天性中手指節関節屈曲変形

(a:正常肢に対し、 $P < 0.05$)

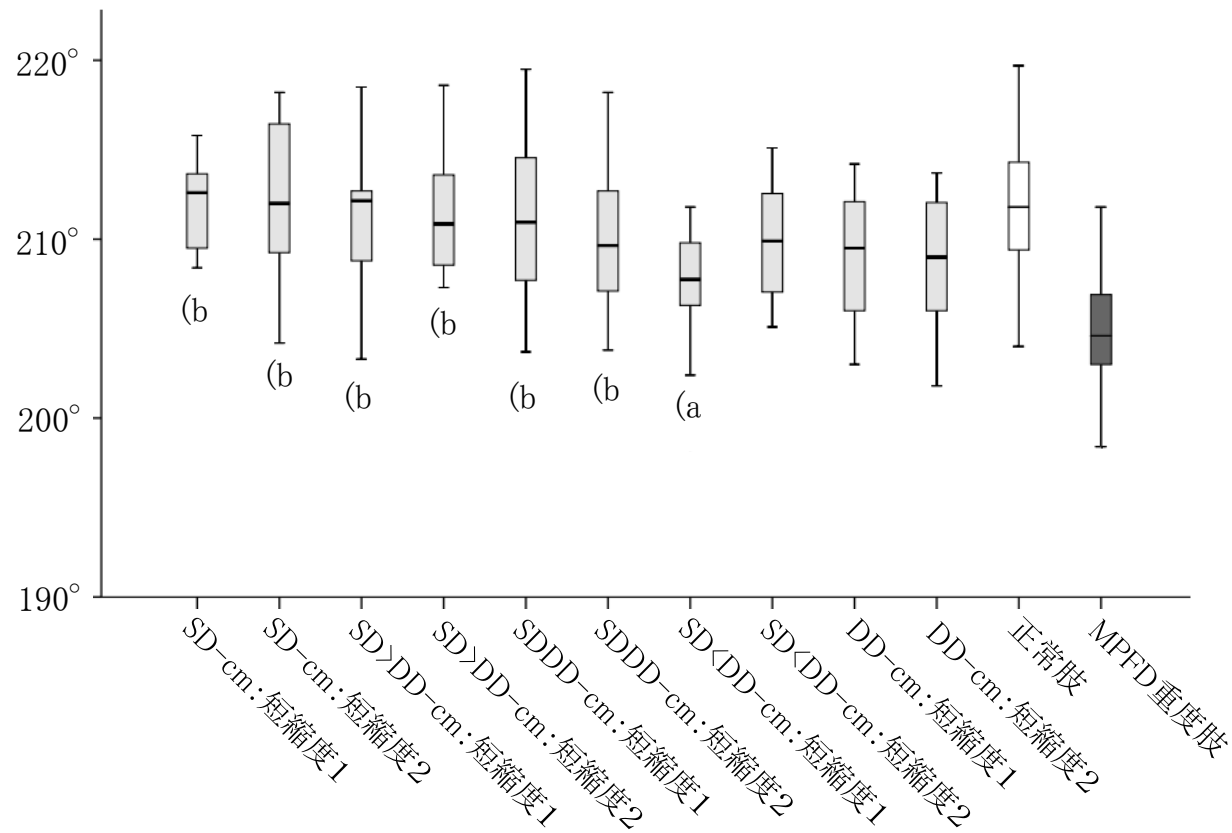


図23 各屈筋腱短縮モデルの遠位指節間関節における外内側方向関節形成角度

SD-cm: 浅指屈筋腱短縮モデル。

SD>DD-cm: 深指屈筋腱よりも浅指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

SDDD-cm: 深指屈筋腱と浅指屈筋腱の短縮割合が同等の両屈筋腱短縮モデル。

SD<DD-cm: 浅指屈筋腱よりも深指屈筋腱の短縮割合が高い両屈筋腱短縮モデル。

DD-cm: 深指屈筋腱短縮モデル。

MPFD: 先天性中手指節関節屈曲変形

(a: 正常肢に対し、 $P < 0.05$ 、(b: MPFD重度肢に対し、 $P < 0.05$)

4. 考察

球節の屈曲に関し、全屈筋腱短縮モデル肢で重度 MPFD 肢の球節の屈曲病態が再現されており、SDFT および DDFT はどちらか一方、あるいは両方同時に短縮しても球節は屈曲し、短縮度が大きくなるほど屈曲度も大きくなることが明らかとなった。一方、DIPJ の屈曲に関し、DDFT 短縮モデル肢 (DD-cm) と SDFT よりも DDFT の短縮割合を高くした両屈筋腱短縮モデル肢 (SD<DD-cm) において、重度 MPFD 肢における DIPJ の屈曲病態が短縮度に関係なく再現されていた。以上より本章において、重度 MPFD 肢における DIPJ の屈曲病態には、DDFT が SDFT より深く関与していることが明らかとなった。

屈筋腱短縮モデルには、生後 30 日以内の屠体前肢 30 頭 60 肢を用いた。本研究で供試した重度 MPFD 肢は、生後 1 日齢から 33 日齢の子牛からであったことからモデル肢の生後日齢も対応させた。第 I 章において、出生直後の子牛前肢における背側蹄壁形成角度 (蹄壁角) は平均約 45° でばらつきが大きく、28 日齢では平均約 50° で収束される結果が得られた。このことより本章の屈筋腱短縮モデルで用いた屠体肢においても、生前は正常歩様を示していたが肢端の軟部支持組織は未発達で柔軟性が高く蹄壁角のばらつきが大きかったと考えられた。屈筋腱短縮モデル肢として用いた子牛において、生前での起立位における蹄壁角の測定を行うことは適わず、実際の蹄壁角は不明であった。

球節における LMJA の標準偏差は、正常肢において 4.6 と小さく重度 MPFD 肢において 10.4 と大きかった。本章における X 線撮影手技では蹄に負荷をかけず、横臥位で肢を自然状態で伸長させ牽引は行っていないことから、特に正常肢における球節運動に関わる軟部組織の柔軟性は無視されやすいと考えられ、球節における正常肢の LMJA の標準偏差は小さかった。一方、重度 MPFD 肢では病態が個体により異なることから球節における LMJA のばらつきが大きかったと考えられた。屈筋腱短縮モデ

ル肢における LMJA の標準偏差は、全モデル間において短縮度 1 と比較すると短縮度 2 において標準偏差が大きかった。短縮度 1 においては、短縮させた腱にかかる張力は軽度であり、縫合糸もほとんどが張力に耐えられた。しかし短縮度 2 では、腱にかかる張力が大きくなることから、縫合糸が耐えられず鉗子を併用した固定が必要なモデル肢もあった。本章における屈筋腱短縮モデル肢は、体重、体高、肢の長さなどに応じた短縮率によるものではなく、どのような肢に対しても定量を一律に短縮させた。このことから、体格、腱実質の伸長性や厚さなど個体による要因が影響し、全体にかかる張力が大きくなる短縮度 2 において LMJA のばらつきが大きかったと考えられた。

DIPJ は指間靭帯や側副靭帯、指輪状靭帯など多くの靭帯で支持されているだけでなく、P3 は蹄壁に囲まれていることから球節に比べると明らかに関節運動可動域は狭い[13, 40]。DIPJ における LMJA の標準偏差は、正常肢で 4.3、重度 MPFD 肢で 3.8 であり、屈筋腱短縮モデル肢においても球節における LMJA の標準偏差に比べると、数値として全体的に小さい理由として解剖学的影響であると考えられた。しかし、第 II 章において DIPJ における LMJA は、正常肢と比較し重度 MPFD 肢で明らかな屈曲が示された。DIPJ の関節運動可動域が狭くても、屈筋腱短縮モデルで重度 MPFD 肢の屈曲が再現可能かと思われたが、全体として DIPJ の屈曲再現は困難である傾向が示された。第 I 章より、蹄壁角と屈筋腱の縦幅との関連性は見いだせず出生直後の子牛においては屈筋腱以外の軟部組織による前肢支持の重要性が示唆された。このことから、DIPJ の LMJA は DIPJ を支持する周囲の靭帯を含む軟部組織の影響力が大きいと考えられ、人為的に腱を短縮させることにより再現した屈筋腱短縮モデルでは、DIPJ よりも関節可動域が大きい球節に屈曲変形が集中したと考えられた。また、前肢における屈筋腱は上腕骨から P2 および P3 に終止し、前肢におけるほぼ全域の屈曲運動に関与する[13]。そのため、屈筋腱全域の屈曲運動を阻害するような筋膜や

腱膜の組織損傷を引き起こす疾病、例えば外傷や関節炎などの運動器疾患が認められる肢では屈筋腱短縮の再現に影響すると考えられ、本研究には供試しなかった。

第Ⅱ章において、中等度および重度 MPFD 肢において DIPJ の屈曲が認められたことから DDFT の短縮が示唆された。本論文の目的は、MPFD 肢に対する外科処置のための診断法を検討することであり、手術対象は重度症例であることから本章では中等度症例は除外した。DIPJ の LMJA において、重度 MPFD 肢における DIPJ の屈曲病態には、DDFT が SDFT より深く関与していることが明らかとなった。牛の球節の屈曲運動に影響を与える主要な軟部組織は、SDFT と DDFT、繫靭帯である[12, 13, 40]。馬のナックリングとクラブフットは明らかに外貌が異なる。牛の MPFD は、球節における屈曲変形と定義されているものの重症度分類法もクラブフットの分類法を応用しており、ナックリングとクラブフットが混合したような外貌を呈する症例が多い[2, 12, 26]。本章において、重度 MPFD 肢の病態において DDFT の関与が大きいことが認められたが、球節の屈曲再現から SDFT も関与していると考えられた。しかし、SDFT および DDFT それぞれの MPFD における屈曲病態への具体的な影響割合について言及することは困難であった。

本章では、重度 MPFD 症例における球節と DIPJ の屈曲について SDFT と DDFT の関与を調査することを目的とし、X 線画像により球節と DIPJ における LMJA を重度 MPFD 肢と屈筋腱短縮モデル肢で比較した。その結果、球節の屈曲に関して SDFT および DDFT はどちらか一方、あるいは両方同時に短縮しても球節は屈曲し、DIPJ の屈曲に関して DDFT の短縮割合が高い屈筋腱短縮モデル肢において、DIPJ の屈曲は再現された。以上より重度 MPFD 肢における屈曲病態には、SDFT だけでなく DDFT も関与していることが明らかとなった。

5. 小括

本章では、先天性重度中手指節関節屈曲変形（MPFD）症例における中手指節関節（球節）と遠位指節間関節（DIPJ）の屈曲について浅指屈筋腱（SDFT）と深指屈筋腱（DDFT）の関与を調査することを目的とした。屈筋腱短縮モデル肢として生後1カ月以内のホルスタイン種子牛30頭60肢を用いてSDFT短縮、DDFT短縮、SDFTとDDFTの短縮割合が異なる両屈筋腱短縮3種類による計5種類、またそれぞれ短縮強度を2段階で作製し計10モデルの屈筋腱短縮モデル肢を作製した。さらに、重度MPFD肢としてホルスタイン種14頭21肢、正常肢として21頭42肢を用いた。第II章におけるX線撮影および評価方法に準じ、球節とDIPJにおける外内側方向関節形成角度（LMJA）を計測した。

球節の屈曲に関し、全10モデルにおける屈筋腱短縮モデル肢で重度MPFD肢の球節の屈曲病態が再現された。一方、DIPJの屈曲に関し、DDFT短縮モデル肢とSDFTよりもDDFTの短縮割合を高くした両屈筋腱短縮モデル肢において、どちらの短縮強度においても重度MPFD肢のDIPJの屈曲病態が再現されていた。以上の結果から、SDFTおよびDDFTはどちらか一方、あるいは両方同時に短縮しても球節は屈曲し、DIPJの屈曲病態にはDDFTがSDFTより深く関与していることが明らかとなった。以上より、重度MPFD肢における屈曲病態には、SDFTだけでなくDDFTも関与していることが明らかとなった。これらのことより、重度MPFD症例に対する外科処置においてSDFTだけでなく、DDFTも切除することが望ましいと考えられた。

第Ⅳ章 子牛の先天性重度中手指節関節屈曲変形を呈する罹患 肢への浅指屈筋腱および深指屈筋腱切除術の治療効果

1. 序文

牛の先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）の治療において、歩行が可能で軽微な跛行を呈する軽度から中等度症例であれば、マッサージや非ステロイド性抗炎症薬の投与などの内科療法で治癒が見込める[12, 40]。また中等度から重度症例に対し、蹄尖側を長くした下駄装着による免重処置や屈曲肢を支持するような副子固定やリムキャスト固定などの外固定により歩行が可能となり跛行が軽減されるのであれば、治療日数が長期化しても治癒は見込める。しかし、用手中において屈曲変形が伸長できないような一部の重度症例では、下駄処置は不可能であり、また外固定を施しても球節が屈曲した状態で固定される。このような症例に外固定処置すると、屈曲した関節部に過剰な負荷が掛かることにより、関節拘縮や関節炎を継発させる可能性があり慢性経過をたどった結果、予後不良となることも少なくない[2, 12, 40]。牛のMPFDにおいては、症例の重症度に関わらず非外科処置から治療を始め、治療に対し反応しない症例において外科処置を行う手順が一般的である[2, 12, 24, 40]。

第Ⅲ章において、重度MPFD肢で浅指屈筋腱（SDFT）と深指屈筋腱（DDFT）の短縮が病態発現に関与する結果が得られた。第Ⅲ章における結果を踏まえ、本章では重度MPFD肢に対しSDFTおよびDDFTの腱切除術を実施し積極的外科処置の治療効果を評価した。更に、腱切除術による術後経過を観察することにより、実際の重度MPFD肢における屈筋腱と繋靭帯を主とした軟部組織の屈曲変形への影響を考察した。

2. 材料と方法

1) 供試牛

酪農学園大学附属動物医療センターに来院したホルスタイン種の重度 MPFD 子牛 9 頭 (11±11 日齢、39±8 kg) を用いた (表 21)。6 頭は両前肢、3 頭は片側のみ、計 15 肢の MPFD 前肢を供試した。供試牛は第 II 章および第 III 章で用いた牛と同じであるが、重度 MPFD 子牛 14 頭 21 肢のうち全身状態が悪く手術対象から除外した 2 頭 3 肢、患肢の手根関節および中手指節関節 (球節) 周囲に褥創や関節炎を継発していた 2 頭 2 肢、別処置を施した 1 頭 1 肢を含む計 5 頭 6 肢は除外した。供試牛 No. 9 は入院時、ガラス線維キャスト素材によるリムキャスト固定が両前肢に処置されていたが、キャストを除去したところ手術痕も褥創や感染所見も認められなかったために本章に供試した (写真 3)。他 8 頭の子牛では、来院時に処置された痕跡は認められなかった。術前において、撮影手順および計測方法は第 II 章の方法に準じて全頭で患肢の単純 X 線撮影を行った。

2) 手術手順

手術処置方法は以下の通りである。感染予防として 5,000IU/kg のプロカインペニシリン (ペニシリン G; 明治、東京、日本) を術前に筋肉内投与し、鎮静剤としてキシラジン (2%セラクター; バイエル、大阪、日本) 0.1mg/kg を静脈内投与し、2.5mL のリドカイン溶液 (2%キシロカイン; アストラゼネカ、大阪、日本) を切開線に皮下投与し局所麻酔を行った。対象牛はマットレス上に罹患肢を上側にした横臥位で保定した。既報の牛における腱切除術に従い [12, 48]、中手骨骨幹中央部掌側の皮膚を 5cm 長で切開し腱にアプローチした (写真 4)。皮膚切開後、SDFT と DDFT を視認し分離剥離した。各屈筋腱は、正中神経および血管に注意を払いながらそれぞれ 1.5cm ずつ SDFT、DDFT の順に切除した。皮下組織は縫合せず、3-0 ポリアミド (サプライロン; Vome1、ベルリン、ドイツ) を用いて皮膚を縫合した。

表21
第IV章で供試した中手指節関節屈曲変形肢一覽

肢No.	供試牛 No.	罹患 前肢	手術日齡	性別	体重 (kg)
1	1	右	7	雄	28
2	2	左	9	雌	32.5
3	3	左	6	雄	49.5
4		右			
5	4	左	20	雄	不明
6		右			
7	5	右	8	雌	33
8		左			
9	6	右	6	雄	38
10		左			
11	7	左	40	雄	50.5
12	8	左	2	雄	34.5
13		右			
14	9	左	14	雄	42.5
15		右			

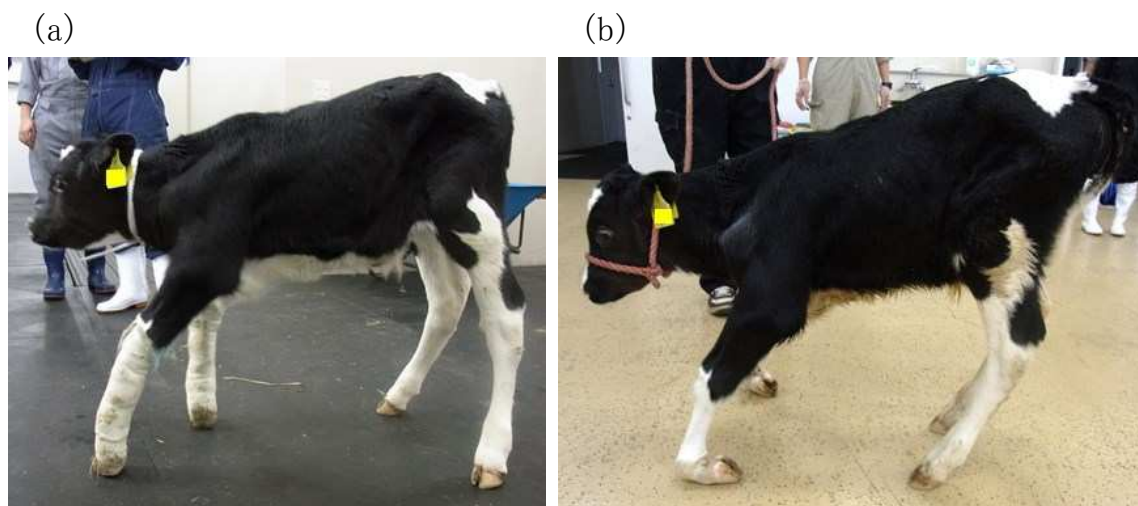


写真3 供試牛No.9

(a)入院時にリムキャスト固定が処置されていた。(b)固定除去後、両前肢とも重度の屈曲状態を示し、褥創等認められなかったためこの後、腱切除術を行った。

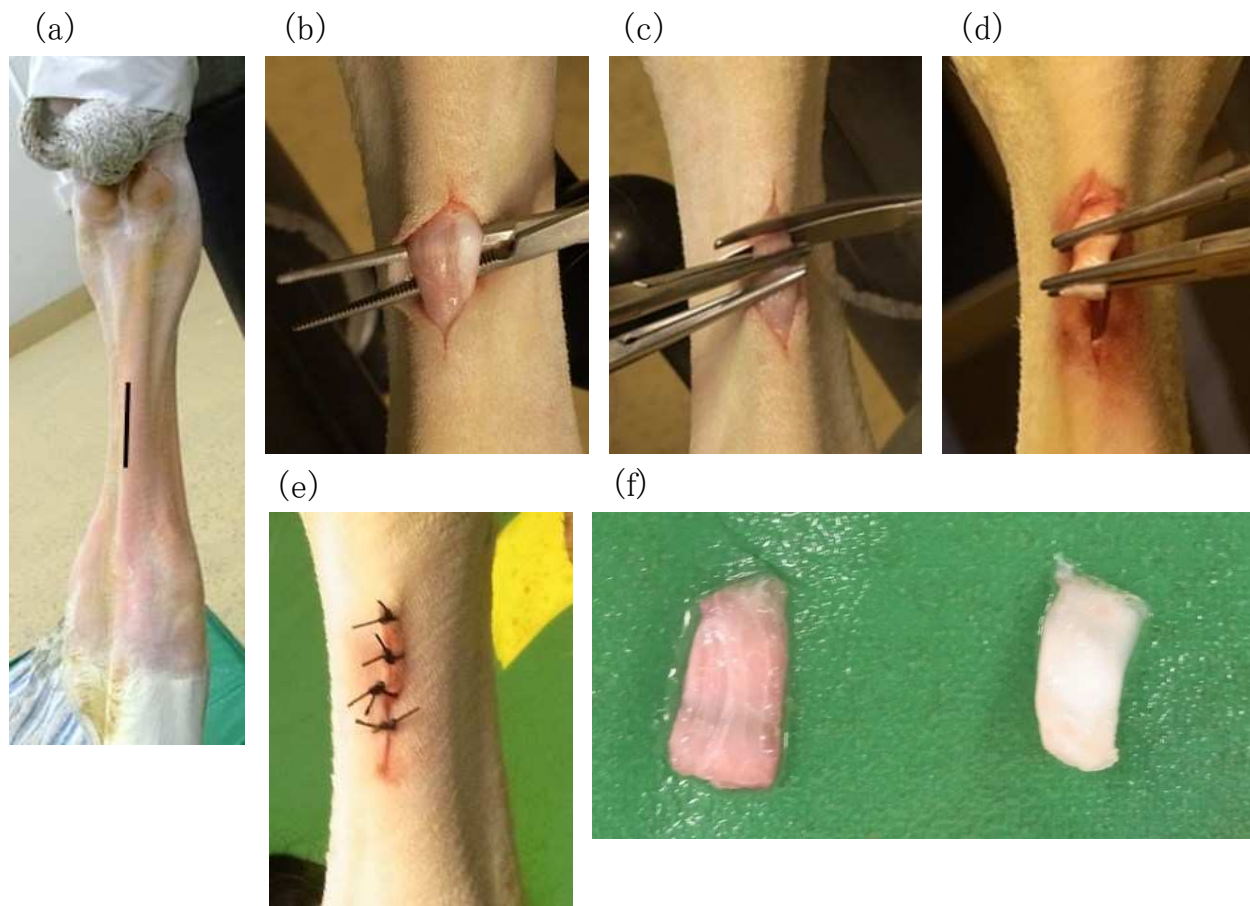


写真4 腱切除術式

(a) 中手骨骨幹中央部掌側の皮膚を5cm長(黒線)切開し腱にアプローチした。(b) 皮膚切開後、浅指屈筋腱と深指屈筋腱を視認しそれぞれ分離剥離した。(c) 並走する正中神経と血管に注意を払いながら、まず浅指屈筋腱を1.5cm長切除した。(d) 同様の手順で、深指屈筋腱を1.5cm長切除した。(e) 皮下組織は縫合せず、非吸収糸を用いて皮膚を閉鎖した。(f) 切除した浅指屈筋腱(左)と深指屈筋腱(右)。

皮膚切開部周囲を滅菌ガーゼおよび伸縮性自着包帯により軽度圧迫し、術後 1～3 日間、感染予防のため抗生物質としてプロカインペニシリンを投与した。症例が疼痛を示した場合にはフルニキシンメグルミン（フルニキシン注、明治、東京、日本）1mg/kg を静脈内投与した。術後のドレーン管の設置は行わなかった。術後 14 日で皮膚の抜糸を行った。

3) 術後の歩行評価方法と外固定処置

来院から術後における歩行評価手順と外固定処置方法についての流れを図 24 にまとめた。術後評価として子牛の歩様検査を、術後 2 日目、7 日目および 14 日目に行った。術後 2 日目において、多少の屈曲が残るものの跛行を呈さずスムーズな歩行が認められた子牛は経過観察とした。屈曲が残り跛行を呈すまたは歩行困難な症例にはポリ塩化ビニル（PVC）パイプを用いた副子固定を行った。副子固定症例を対象に、手術後 7 日目に再度歩様検査を行った。跛行を呈さずスムーズな歩行が可能となった子牛は経過観察とし、屈曲が残り跛行を呈し歩行困難な症例に対しガラス線維キャスト素材によるリムキャスト固定を行った。副子またはキャストを処置した子牛は、術後 7 日から 14 日の間に副子固定具を除去し、術後 14 日目に再度歩様検査を行った。屈曲状態および機能的転帰に応じ、術後 14 日目の最終評価として、屈曲変形なしまたは軽度の屈曲変形が残るが跛行は呈さない子牛を予後良好、屈曲変形による軽～中等度の跛行が依然として認められる子牛を予後不良と分類した。また全症例において、安楽死、死亡または屠殺場への出荷までの転帰期間においても経過観察を行った。

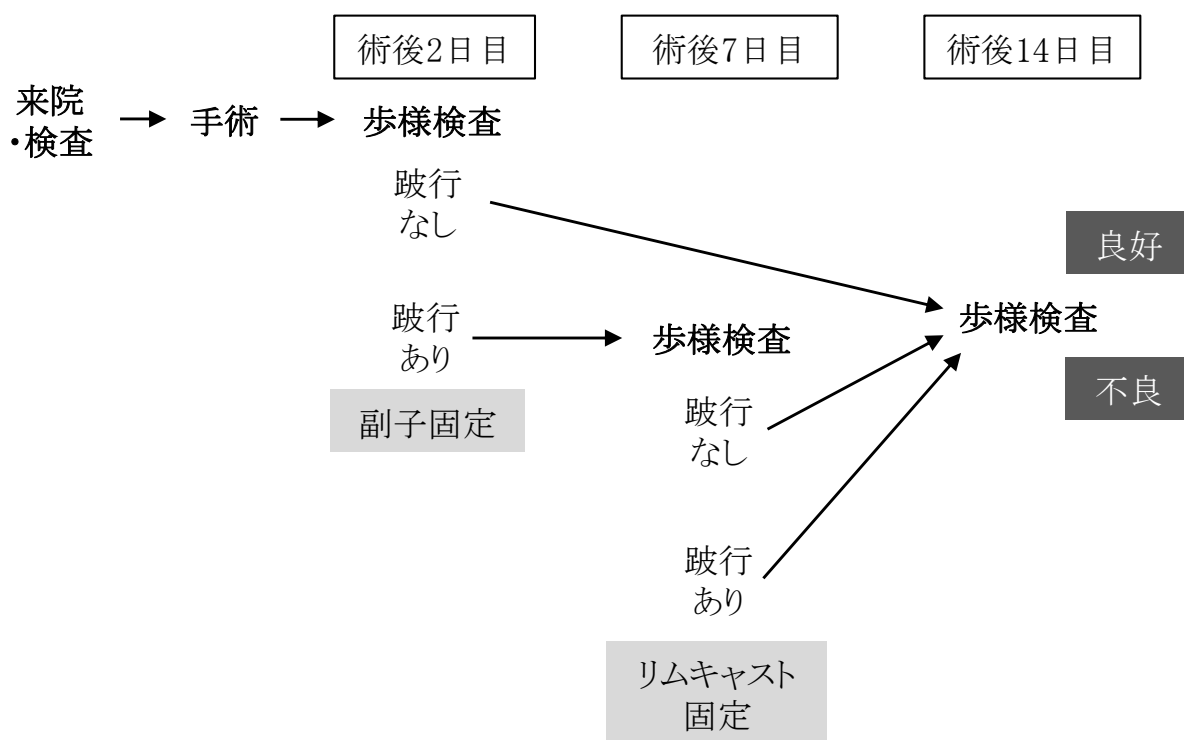


図24 来院から術後14日目までの歩様検査手順

4) 統計

すべての統計分析は、ソフトウェアプログラム（SPSS統計v24、IBM、USA）を用いて行った。各群の測定角度は平均±標準偏差で表記し、中央値も同時に示した。群間の差にはWilcoxonの順位和検定を用いた。検定差は $P<0.05$ と設定した。

3. 結果

手術処置時間は、1 肢 15～30 分以内であり、両側罹患牛も 60 分以内に終了した。全症例において、術後の切開創の局所熱感、腫脹、排液などの感染所見は認められなかった。

術後の歩様検査結果に基づく予後分類および X 線画像解析結果を表 22 にまとめた。9 頭 15 肢の X 線画像における各関節角度の計測結果は、球節が $150.9 \pm 9.4^\circ$ (中央値 : 151.7)、DIPJ が $204.7 \pm 3.5^\circ$ (中央値 : 204.6) であった。術後 2 日目の歩様検査において、3 頭 4 肢の MPFD の改善が認められ経過観察としたが、6 頭 11 肢においては屈曲変形が残り跛行および歩行困難を呈したため副子固定を施した (写真 5)。経過観察となった 4 肢における球節は 156.4 ± 9.9 (中央値 : 154.8)、DIPJ は 205.7 ± 4.1 (中央値 : 204.0) であったのに対し、副子固定を施した 11 肢における球節は 148.9 ± 8.8 (中央値 : 151.7)、DIPJ は 204.3 ± 3.3 (中央値 : 204.6) と屈曲変形が大きくなる傾向を示したが、球節と DIPJ とともに経過観察 4 肢と副子固定 11 肢との間に有意差は認められなかった (球節 : $P = 0.3$ 、DIPJ : $P = 0.9$)。術後 7 日目において、副子固定を施した 6 頭 11 肢に対し副子をつけたままの状態再度歩様検査を行った。4 頭 7 肢は歩様の改善が認められたため術後 7～10 日で副子固定具を除去した。2 頭 4 肢 (供試牛 No. 8 と 9) を対象に、ガラス線維素材によるリムキャスト固定を行った。供試牛 No. 8 の球節は左 : 135.0、右 : 137.6、DIPJ は左 : 200.2、右 : 204.6 で、ともに全体の平均測定値と比較して低値であり屈曲変形は大きかったが、供試牛 No. 9 の球節は左 : 156.8、右 : 151.7、DIPJ は左 : 207.5、右前肢 : 209.0 で、ともに全体の平均測定値と比較して高値となり屈曲変形は小さかった。術後 14 日目に、全 9 頭を対象として、最終的な歩様検査を行った。リムキャスト固定を行った 2 頭はキャスト除去後に歩様検査を行った。正常な歩様を呈し跛行が認められず予後良好と判断された症例は 8 頭 13 肢であったが、1 頭 2 肢 (供試牛

No. 9) においては屈曲変形の改善が不十分であり跛行を呈するため予後不良と判断された。また全症例において、安楽死、死亡または屠殺場への出荷までの転帰期間においても経過観察を行った結果、罹患肢の過伸展およびその他四肢への過重負荷による四肢の軸変形などの外科的合併症は観察されなかった（写真 5）。

以上より、重度 MPFD 子牛 9 頭 15 肢を対象として SDFT および DDFT 腱切除術を行った結果、3 頭 4 肢（MPFD 子牛：33%、MPFD 肢：27%）は外科処置のみで MPFD の改善が認められた。残りの 6 頭 11 肢（MPFD 子牛：69%、MPFD 肢：73%）は、術後に副子固定が必要であった。そのうち 2 頭 4 肢において、より強固なリムキャスト固定が必要であった。9 頭中 8 頭（89%）の重度 MPFD 子牛が予後良好とされ、それらのうち 15 肢中 13 肢（87%）の重度 MPFD 肢において屈曲症状の改善が認められた。以上より、重度 MPFD 子牛に対し積極的な SDFT および DDFT の腱切除術は有用な治療法であることが示された。

表22 中手指節関節屈曲変形肢症例における外内側方向関節形成角度と術後処置結果一覧

肢No.	供試牛 No.	罹患 前肢	手術 日齡	性別	体重 (kg)	MPJ (°)	DIPJ (°)	副子固定	リムキャスト 固定	予後
1	1	右	7	雄	28	147.7	211.8			良好
2	2	左	9	雌	32.5	161.0	204.9			良好
3	3	左	6	雄	49.5	148.6	203.0			良好
4		右				168.1	203.2			良好
5	4	左	20	雄	不明	158.6	203.4	要		良好
6		右				156.7	198.4	要		良好
7	5	左	8	雌	33	153.9	200.6	要		良好
8		右				135.6	206.9	要		良好
9	6	左	6	雄	38	151.7	204.1	要		良好
10		右				152.2	206.3	要		良好
11	7	左	40	雄	50.5	147.7	206.2	要		良好
12	8	左	2	雄	34.5	135.0	200.2	要	要	良好
13		右				137.6	204.6	要	要	良好
14	9	左	14	雄	42.5	156.8	207.5	要	要	不良
15		右				151.7	209.0	要	要	不良
平均值±標準偏差(°)						150.9	204.7			
						±9.4	±3.5			

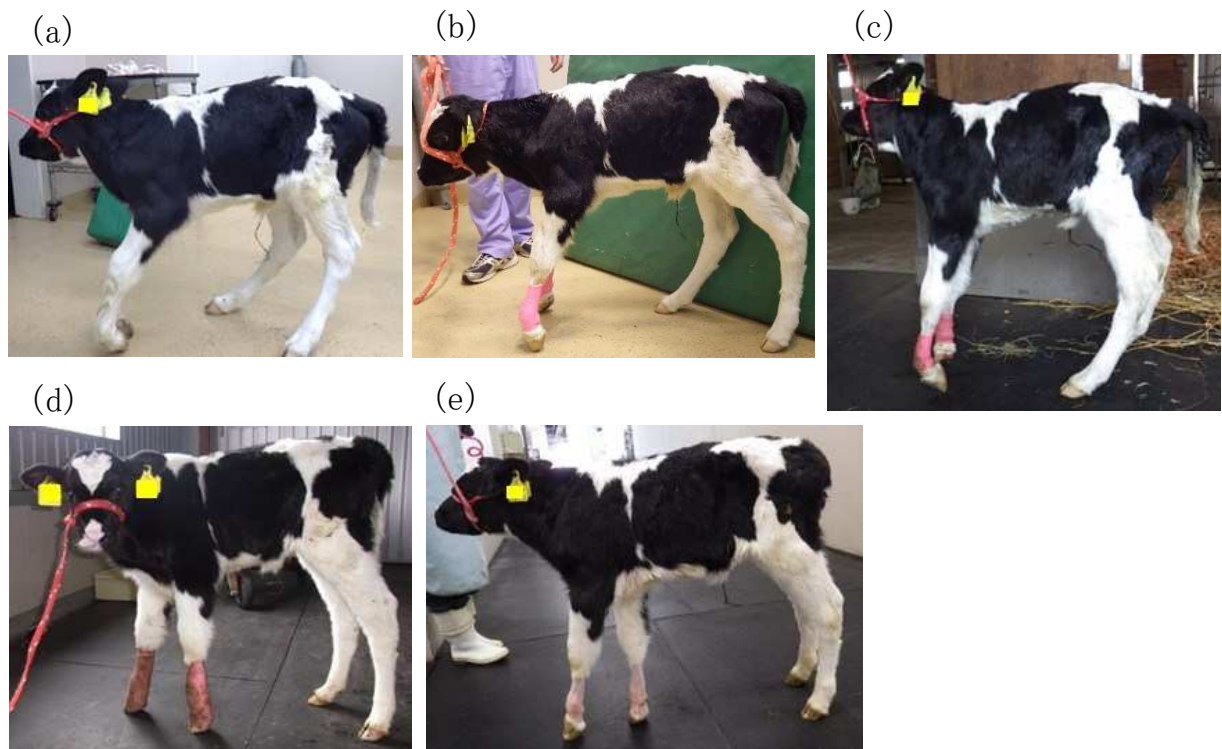


写真5 臙切除術後に副子固定により予後良好となった症例の外観の経時変化

(a)術前では両前肢ともに重度屈曲変形により、正常起立不可能、歩行困難を呈した。(b)手術直後では術前に比べ屈曲改善を認めたものの歩行困難は変わらず。(c)術後2日目、両前肢ともに屈曲変形により歩行困難を呈し、この後副子固定を実施。(d)術後7日目、副子固定により正常歩行が可能となり経過観察。(e)術後14日目、副子固定をはずしても跛行は認められず、予後良好となった。写真はNo.5の供試牛。

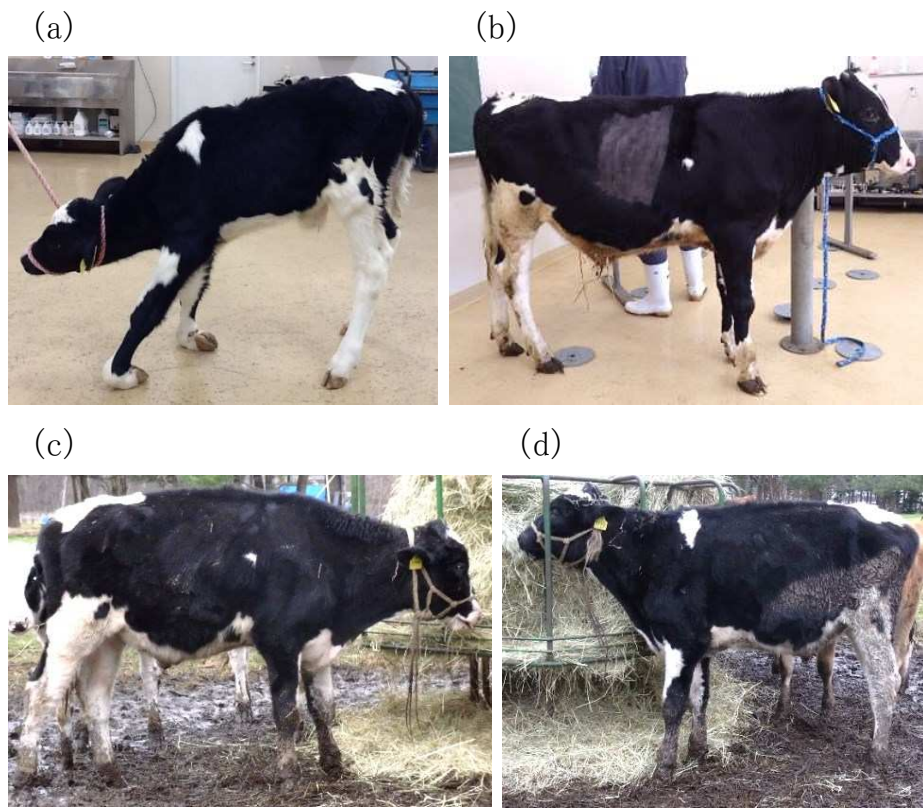


写真6 予後良好転帰後に長期観察を行った一症例

(a)術前の状態。(b)術後201日目。(c)、(d)術後375日目、放牧中。写真はNo.6の供試牛。

4. 考察

本章において、重度 MPFD 15 肢中 11 肢（73%）に対し SDFT および DDFT の腱切除術後に副子固定が必要であったことから、屈筋腱以外の繋靭帯を主とした軟部組織による屈曲変形への関与が示唆された。しかし、術後に外固定を併用することにより屈曲および跛行は速やかに改善し、SDFT および DDFT の腱切除術は 15 肢中 13 肢（87%）と良好な治癒成績が得られた。このことから、重度 MPFD 症例に対する積極的な SDFT および DDFT の腱切除術は術後に外固定を併用することにより有用な治療法となると考えられた。

第Ⅲ章から、重度 MPFD 肢において SDFT および DDFT の短縮が関与していることが示された。この結果に基づき SDFT および DDFT の腱切除術を実施した結果、27%の重度 MPFD 肢で跛行が消失したが、73%の重度 MPFD 肢で屈曲変形の改善が不十分であり跛行を呈したために外固定が必要であった。一般的に、SDFT と DDFT の腱切除術だけでは重度 MPFD 子牛において球節の屈曲変形を改善するには不十分とされている [32, 40]。本章においても、術後管理は球節の過伸展ではなく屈曲の改善に焦点を当てる必要があったことから、主に繋靭帯も屈曲変形に関与している可能性が示唆された。しかし、既に屈筋腱を切除しているため術後の外固定処置による屈曲矯正は容易であり、子牛が罹患肢へ負荷をかけることが可能になれば跛行も消失し、屈曲変形が多少残っても健康上の問題は無く時間の経過とともに徐々に改善が認められた（写真 6）。

馬における肢端の屈曲変形は先天性および後天性に発生するが、後天性における球節での屈曲変形（ナックリング）や DIPJ での屈曲変形（クラブフット）の発生が多く認められる [8, 16]。馬においても牛と同様に外科処置は積極的に行われませんが、外科処置を行う際には SDFT や DDFT よりも DDFT に分枝する深屈筋腱支持靭帯を切断する術式が行われ、重症度が高い症例にはこの術式と屈筋腱切断術が併用され

る[1, 6, 8, 16]。クラブフットに対する外科処置は良好な治療成績を示す一方で、ナックリングに対する外科処置の治療成績は乏しい。一方、牛のMPFDに対する既報の手術方法は、術中に屈曲状態を確認しながら必要に応じてSDFT、DDFT、繫靭帯を順に切断するという方法であり[12, 48]、馬の屈曲変形とは切断する筋腱および靭帯の順番が逆である。本章で用いた重度MPFD肢においては、第III章でSDFTだけでなくDDFTの関与も指摘されたことから、繫靭帯の切断だけでは跛行が消失するとは考えにくく腱切除術が適切だと考えられた。本章では、屈曲状態に関わらず繫靭帯は処置せずに屈筋腱における切除術を施した。屈筋腱は切断術ではなく1.5cm長の切除術とした。この理由として、若齢子牛における組織修復速度は骨折治療などにおいても成牛に比べ早く[41]、球節屈曲の改善が不十分な状態での早期の癒合が回避できると期待されたためである。一般的な術後処置として、SDFTとDDFTを切断した場合にはスプリントによる固定を30日間行い、SDFT、DDFT、繫靭帯全てを切断したならば手根関節の不安定化が発生するために、手根関節まで及ぶフルリムキャスト固定が必要である[12, 32, 40]。本章における術後処置は、既報の処置に比べると処置期間が短く繫靭帯に手を加えないことで安全であると考えられた。これらが実現可能であった理由として、若齢牛に対する外科処置であったため腱を切除しても腱周囲の組織修復が早かったこと、若齢牛における繫靭帯は成牛と異なり筋質に富み柔軟であるため外固定に対し伸張性が保たれること、軽体重の子牛に対する処置であるために患肢にかかる体重負荷が軽量であること、第I章より正常子牛において屈筋腱以外の軟部組織による前肢支持の重要性が示唆されたことなどが考えられる。これらの理由により、SDFTおよびDDFTを切除しても患肢の過伸長が起こりにくいと考えられた。

X線画像上での関節角度計測結果より、副子固定を要しなかった4肢と比べ副子固定を要した11肢において、屈曲が大きくなる傾向が認められた。本章においては、副子固定が必要となる球節におけるX線画像による関節角度測定値の判断基準値を

明確に示すことは困難であった。しかし、球節の屈曲の大きさに比例して屈筋腱だけでなく繋靭帯の影響も大きくなることが考えられた。このことから、重度 MPFD 肢の中でも特に球節の屈曲変形が大きい肢において、腱切除術後に外固定が必要となることが示唆された。また、リムキャスト固定が必要であった子牛 2 頭（供試牛 No. 8 と 9）のうち、予後良好となった供試牛 No. 8 では、球節の屈曲角度が低く（変形が大きく）重症度が高い症例であった。一方、予後不良となった供試牛 No. 9 は、球節の屈曲角度が高く変形は小さかった。供試牛 No. 9 は他の供試牛と異なり、来院時にリムキャスト固定を処置されていた（写真 3）。リムキャスト固定期間は不明であるが、手術日齢から考慮すると最長で 2 週間弱の期間固定されていたと考えられた。供試牛 No. 9 では、両前肢ともに球節部位で屈曲状態のまま固定されていたために、術前から関節拘縮が継発していたかもしれない。なお、X 線撮影により骨の形成異常や骨折などの所見は認められなかった。このことから、用事にて屈曲変形が伸長できない症例に対するリムキャスト固定は、関節拘縮を継発させ予後を悪化させる可能性が示唆された。

本章では、重度 MPFD 肢に対し SDFT および DDFT の腱切除術を実施し積極的外科処置を評価した結果、高い治癒率を示し有用な治療法であることが示された。また、特に球節における屈曲変形が大きい MPFD 肢では繋靭帯を含む軟部組織の屈曲変形への影響が術後においても認められる傾向を示した。さらに、屈曲症状が残り跛行を呈した MPFD 肢でも、屈筋腱を切除しているために外固定による矯正は容易であり跛行は速やかに改善した。今後は、X 線画像による関節角度測定値による腱切除後の処置における明確な治療指針を示すことが必要となる。

5. 小括

子牛における先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）の病態分類において、重度と診断された子牛に対し浅指屈筋腱（SDFT）および深指屈筋腱（DDFT）の腱切除術による治療評価を行い、術後経過を観察することにより実際の重度 MPFD 肢における繫靭帯を主とした軟部組織の屈曲変形への影響を考察した。重度 MPFD と診断された 9 頭 15 肢の子牛を用いて、第 II 章の方法に準じて X 線撮影し鎮静後、子牛を横臥位で患肢を上側に保定し、中手骨骨幹中央部掌側で皮膚切開し SDFT および DDFT にアプローチした。SDFT および DDFT を視認後、分離剥離しそれぞれを 1.5cm 長で切除し皮膚縫合した。術後 2 日目および術後 7 日目に歩様検査を行い、跛行が改善すれば経過観察とし、術後 2 日目で跛行を呈すれば副子固定を、術後 7 日目で跛行を呈すればリムキャスト固定を行った。全ての固定具を除去後、術後 14 日目に予後判断を行い予後良好と予後不良に分類した。

術後 2 日目に、重度 MPFD 15 肢中 11 肢（73%）において副子固定が必要であった。このことから屈腱以外の繫靭帯を含む軟部組織による屈曲変形への関与が指摘された。しかし、術後に外固定を併用することにより屈曲および跛行は速やかに改善した。術後 14 日目において、9 頭中 8 頭（89%）の重度 MPFD 子牛が予後良好とされ、それらのうち 15 肢中 13 肢（87%）の重度 MPFD 肢において屈曲症状の改善が認められた。以上より、重度 MPFD 子牛に対し積極的な SDFT および DDFT 腱切除術は有用な治療法であることが示された。

総括

先天性屈曲変形は、四肢軟部組織の構造異常により関節可動域が制限され跛行を呈する疾病であり、牛では先天性中手指節関節屈曲変形（MPFD）として前肢での発生が最も多く認められる。大半の症例が軽症で治癒率も高いことから重度症例における診断法ならびに治療法について明確な治療指針もなく、軽度症例に対する非外科的治療を漫然と処置し続けた結果、予後不良となる症例も少なくなく飼養農家における経済的不利益が問題となる。牛のMPFDにおいて屈筋腱および繋靭帯の関与については不明であり、MPFDの外科処置を行う際にも術前の診断法および治療指針は存在しない。そこで、重度MPFD症例における客観的診断法を確立し治療指針を明確にすることは、生産獣医療における有用性が高いと考えられ、外科処置の治療指針を定めることを本論文の主目的として、特に中手指節関節（球節）屈曲運動への影響が大きい浅指屈筋腱（SDFT）および深指屈筋腱（DDFT）がMPFDに及ぼす影響について画像解析により評価し、実際の症例に腱切除術を行うことにより手術評価を行った。

第I章では、肉用子牛での前肢の支持における背側蹄壁形成角度（蹄壁角）と屈筋腱の影響を調べることを目的とし、体重、体高、両前肢の蹄壁角、前肢周囲長として中手部（管）中央部、球節、繋の左右3カ所ずつ計6カ所、超音波画像による繋部の左右内外蹄におけるDDFTとSDFTの腱縦幅を計測し解析した。その結果、蹄壁角は生後1日齢では平均約45°と、まだ蹄は寝気味で全体的にばらつきが大きく、屈筋腱や肢の太さとの相関関係は認められなかった。生後28日齢では、蹄壁角は他計測項目とほぼ相関せず、平均約50°に収束する傾向を示した。DDFTおよびSDFTは生後1日齢において、蹄壁角、体重、肢の太さとの相関関係は認められず、DDFTは生後28日齢において、生後1日齢と比較し有意に厚くなり体重、肢の太さとの高い相関関係が認められた。SDFTは生後28日齢において、生後1日齢と比較して

有意に厚くならなかったが、肢の太さとは有意な相関関係が認められた。以上の結果から、前肢肢端における屈筋腱は生後 1 日齢では支持組織として未発達であることが示唆された。また生後 28 日齢では、成長により身体のバランスが整うことに伴い DDFT も厚くなり、前肢支持組織として機能してくることが認められた。第 I 章において、蹄壁角と屈筋腱との関連性は認められず、MPFD の診断において超音波画像を利用する利点は少ないと考えられた。また生後 28 日齢までの子牛においては、屈筋腱以外の軟部組織による前肢支持の比重が大きいことが示唆された。

第 II 章では MPFD において、単純 X 線撮影による評価方法を確立することを目的として、肢端の外内側方向からの X 線撮影により球節と遠位指節間関節 (DIPJ) における関節形成角度を乳用種子牛で測定した。中手骨軸と各蹄骨軸を設定することにより球節および DIPJ の外内側方向関節形成角度 (LMJA) を測定した。その結果、球節の LMJA は正常肢と比較し臨床症状に基づき分類した軽度、中等度、重度 MPFD 肢全てに対し有意に狭小しており、第 II 章における X 線撮影手技および画像解析方法は客観的な病態評価法として有用であると判断された。さらに DIPJ においても、中等度および重度 MPFD 肢で屈曲変形していることが判明した。

第 III 章では、重度 MPFD 症例における球節と DIPJ の屈曲について SDFT と DDFT の関与を調査することを目的とし、SDFT と DDFT の短縮割合を 5 種類、短縮強度を 2 段階、計 10 モデルの屈筋腱短縮モデル肢を作製し、ホルスタイン種子牛における重度 MPFD 肢と比較した。第 II 章の X 線撮影および評価方法に準じ、球節と DIPJ の LMJA を計測した結果、球節の屈曲は全屈筋腱短縮モデル肢で重度 MPFD 肢の球節の屈曲病態が再現された。一方、DIPJ の屈曲は DDFT の短縮割合が高い屈筋腱短縮モデル肢で、重度 MPFD 肢の DIPJ の屈曲病態が再現された。以上の結果から、球節は SDFT および DDFT はどちらか一方あるいは両方同時に短縮しても屈曲し、DIPJ の屈曲病態には DDFT が SDFT より深く関与していることが明らかとなった。重度 MPFD 肢における屈曲病態には、SDFT だけでなく DDFT も関与していることが明らかとなった。

第IV章では、重度 MPFD 肢を呈するホルスタイン種子牛に対し SDFT および DDFT の腱切除術を行い、術後経過を観察することで屈筋腱と繋靭帯を主とした軟部組織の屈曲変形への影響を考察した。第II章に準じた X 線撮影後、SDFT と DDFT の腱切除術を施した。術後 2 日目と術後 7 日目に歩様検査を行い、跛行が改善すれば経過観察とし、跛行が改善していなければ外固定を処置した。全ての固定具を除去後、術後 14 日目に予後判断を行い予後良好と予後不良に分類した。術後 2 日目に、重度 MPFD15 肢中 11 肢 (73%) において副子固定が必要であり、これらの肢は X 線画像より屈曲病態の重症度が高く、屈筋腱以外の軟部組織による屈曲変形への関与が指摘された。術後に外固定を要した子牛においても屈曲および跛行は速やかに改善し、術後 14 日目において 9 頭中 8 頭 (89%) の重度 MPFD 子牛が予後良好とされ、それらのうち 15 肢中 13 肢 (87%) の重度 MPFD 肢において屈曲症状の改善が認められた。以上より、重度 MPFD 子牛に対し積極的な SDFT および DDFT 腱切除術は有用な治療であることが示された。

本研究により、子牛の重度 MPFD 肢の屈曲病態には SDFT、DDFT だけでなく繋靭帯を含むその他軟部組織が関与していることが明らかとなった。外科処置として、SDFT と DDFT の腱切除術は有用な治療法であり、繋靭帯を切除しなくても術後に外固定を併用することにより合併症を併発することなく高い治癒率が示された。病態を評価するに当たり、X 線画像を用いることにより重症度分類以上の情報が得られ、X 線画像診断を併用することは重度 MPFD 肢の病態評価に有用であることが明らかとなった。今後は、手術判断および術後処置に関する判断基準を明らかとする必要がある。

謝辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました酪農学園大学大学院獣医学研究科の生産動物内科学Ⅰ・田島誉士教授に深甚なる謝意を表します。細部に至るまでご指導賜り、ご校閲をいただいた酪農学園大学大学院獣医学研究科の画像診断学・中出哲也教授、獣医衛生学・樋口豪紀教授に謝意を表します。本研究にあたり、多大なるご支援ならびにご指導を賜りました酪農学園大学大学院獣医学研究科の生産動物外科学・鈴木一由教授に感謝いたします。また、論文をまとめるにあたり、ご指導賜りました酪農学園大学竹花一成学長に感謝いたします。

本研究にあたり、研究遂行を支えて頂いた酪農学園大学獣医生産動物医療学分野の生産動物外科学ユニット・加藤敏英教授、動物生殖学ユニット・中田健教授、生産動物内科学Ⅰユニット・大塚浩通准教授、生産動物内科学Ⅱユニット・川本哲准教授、生産動物内科学Ⅱユニット・安藤達哉准教授、動物生殖学ユニット・杉浦智親助教、生産動物内科学Ⅱユニット・小岩政照元教授、動物生殖学ユニット・森好政晴元准教授ならびに酪農学園大学附属動物医療センター生産動物医療部門全スタッフに感謝いたします。

本研究の実施にあたり、研究遂行の場とご支援ご助言を賜りました酪農学園大学循環農学類の家畜繁殖学・堂地修教授、動物生殖工学・今井敬教授、家畜生産改良学・西寒水将講師に深謝いたします。また、学位取得の契機を与えて頂いた北海道大学獣医学部の繁殖学教室・片桐成二教授に感謝いたします。

本研究の採材採取に協力して頂いたみなみ北海道 NOSAI・石井理獣医師、同石村真獣医師、ならびに宮城県職・佐々木春香獣医師に感謝申し上げます。最後に、採材採取に多大なるご協力を頂きました酪農学園大学生産動物医療学分野の卒業生ならびに学生の方々に深く感謝いたします。

引用文献

1. Adams, S. B. and Santschi, E. M. 2000. Management of congenital and acquired flexural limb deformities. *Proceedings Am. Assoc. Equine Pract.* **46**: 117-125.
2. Anderson, D. E., Desrochers, A. and St. Jean, G. 2008. Management of tendon disorders in cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **24**: 551-566.
3. Arnbjerg, J. 1988. Changes in the distal phalanx in foals with deep digital flexor tendon contraction. *Vet. Radiol. Ultrasound* **29**: 65-69.
4. Auer, J. A. 2006. Diagnosis and treatment of flexural deformities in foals. *Clin. Tech. Equine Pract.* **5**: 282-295.
5. Avella, C. S., Ely, E. R., Verheyen, K. L., Price, J. S., Wood, J. L. and Smith, R. K. 2009. Ultrasonographic assessment of the superficial digital flexor tendons of National Hunt racehorses in training over two racing seasons. *Equine Vet. J.* **41**: 449-454.
6. Baxter, G. M. 2011. Flexural deformity. pp. 1145-1154 *In*: Adams and Stashak's lameness in horses. 6th ed. Wiley-Blackwell, Chichester.
7. Bertagnoli, A., Räber, M., Morandi, N., Mortellaro, C. M. and Steiner, A. 2012. Tenovaginoscopic approach to the common digital flexor tendon sheath of adult cattle: technique, normal findings and preliminary results in four clinical cases. *Vet. J.* **191**: 121-127.
8. Caldwell, F. J. 2017. Flexural deformity of the distal interphalangeal joint. *Vet. Clin. Equine* **33**: 315-330.

9. Charman, R. E. and Vasey, J. R. 2008. Surgical treatment of carpal flexural deformity in 72 horses. *Australian Vet. J.* **86**: 195–199.
10. Dismukes, D. I., Tomlinson, J. L., Fox, D. B., Cook, J. L. and Song, K. J. 2007. Radiographic measurement of the proximal and distal mechanical joint angles in the canine tibia. *Vet. Surg.* **36**: 699–704.
11. Dismukes, D. I., Tomlinson, J. L., Fox, D. B., Cook, J. L. and Witsberger, T. H. 2008. Radiographic measurement of canine tibial angles in the sagittal plane. *Vet. Surg.* **37**: 300–305.
12. Ducharme, N. G. 2017. Surgery of flexural and hyperextension deformities. pp. 519–523. *In*: Farm animal surgery, 2nd ed. (Ducharme, N. G., Desrochers, A. and Freeman, D. eds.) Elsevier, St. Louis.
13. Dyce, K., Sack, W. and Wensing, C. J. G. 2009. The forelimb of the ruminant. pp. 728–741. *In*: Textbook of veterinary anatomy, 4th ed. Elsevier, St. Louis.
14. Fujita, Y., Sawa, S. and Muto, M. 2017. Radiographic measurement of the angle of the tibial translation in the beagle dog. *Vet. Rec.* **180**: 252.
15. Gaschen, L. and Burba, D. J. 2012. Musculoskeletal injury in thoroughbred racehorses: correlation of findings using multiple imaging modalities. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* **28**: 539–651.
16. Gaughan, E. M. 2017. Flexural limb deformities of the carpus and fetlock in foals. *Vet. Clin. Equine* **33**: 331–342.
17. Gonçalves, P. V., Silva, L. A., Silva, L. H., Costa, A. P., Bragato, N., Cardoso, J. R., Kofler, J. and Borges, N.C. 2014. Ultrasonography of the distal limbs in Nellore and Girolando calves 8 to 12 months of age. *BMC Vet. Res.* **10**: 102.

18. Ippolito, E., Fraracci, L., Caterini, R., Di Mario, M. and Farsetti, P. 2003. A radiographic comparative study of two series of skeletally mature clubfeet treated by two different protocols. *Skeletal Radiol.* **32**: 446-453.
19. Kidd, J. A. and Barr, A. R. S. 2002. Flexural deformities in foals, *Equine Vet. Educ.* **14**: 311-321.
20. Kofler, J. and Edinger, H. K. 1995. Diagnostic ultrasound imaging of soft tissues in the bovine distal limb. *Vet. Radiol. Ultrasound.* **36**: 246-252.
21. Kofler, J. 2000. Ultrasonographic examination of the carpal region in cattle-normal appearance. *Vet. J.* **159**: 85-96.
22. Kofler, J. 2009. Ultrasonography as a diagnostic aid in bovine musculoskeletal disorders. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **25**: 687-731.
23. Kofler, J., Geissbühler, U. and Steiner, A. 2014. Diagnostic imaging in bovine orthopedics. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **30**: 11-53.
24. Leipold, H. W., Hirarga, T. and Dennis, S. M. 1993. Congenital defects of the bovine musculoskeletal system and joints. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **9**: 93-104.
25. Lloyd-Bauer, P. M. and Fretz, P. B. 1989. Correction of acquired flexural deformity by deep digital flexor tenotomy in a miniature horse. *Can. Vet. J.* **30**: 585-589.
26. Metzner, M., Baumgart, I. and Klee, W. 2007. Effect of infusion of 60 mg/kg oxytetracycline on forelimb flexor tendon contracture in calves. *Vet. Rec.* **160**: 166-167.

27. 三角一浩, 鳥居哲太郎, 青木修, 藤木誠, 三浦直樹, 柳田宏一と坂本紘. 2001. 削蹄による肥育用黒毛和種牛の蹄形, 蹄病発生および生産性の変化. *日獣会誌*. **54**: 829-836.
28. 三角一浩, 新里健, 青木修, 瀬戸山健太郎, 三浦直樹, 柳田宏一と坂本紘. 2001. 肉用牛の輸送ストレスに対する削蹄の効果. *日獣会誌*. **54**: 837-840.
29. Murray, R. C., Roberts, B. L., Schramme, M. C., Dyson, S. J. and Branch, M. 2004. Quantitative evaluation of equine deep digital flexor tendon morphology using magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultrasound* **45**: 103-111.
30. Nuss, K. and Paulus, N. 2006. Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: a post-mortem study. *Vet. J.* **172**: 284-292.
31. O' Grady, S.E. 2012. Flexural deformities of the distal interphalangeal joint (clubfeet). *Equine Vet. Educ.* **24**: 260-268.
32. Pentecost, R., Niehaus, A. J. and Anderson, D. E. 2016. Surgical management of fractures and tendons. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **32**: 797-811.
33. Ponseti, I. V., El-Khoury, G. Y., Ippolito, E. and Weinstein, S. L. 1981. A radiographic study of skeletal deformities in treated clubfeet. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **160**: 30-42.
34. Radler, C., Manner, H. M., Suda, R., Burghardt, R., Herzenberg, J. E., Ganger, R. and Grill, F. 2007. Radiographic Evaluation of Idiopathic Clubfeet Undergoing Ponseti Treatment. *J. Bone Joint Surg. Am.* **89**: 1177-1183.

35. Reef, V. B. 2001. Superficial digital flexor tendon healing: ultrasonographic evaluation of therapies. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* **17**:159-178.
36. 佐野公洋. 2009. 黒毛和種とホルスタイン種新生子の生理的特徴. pp. 85-91. *In*: 子牛の科学. チクサン出版社, 東京.
37. Simons, G. W. 1977. Analytical radiography of club feet. *J. Bone Joint Surg, Br.* **59**: 485-489.
38. Smith, R., Jones, R. and Webbon, P. 1994. The cross-sectional areas of normal equine digital flexor tendons determined ultrasonographically. *Equine Vet. J.* **26**: 460-465.
39. Stanek, C. 2013. 臨床解剖学と機能解剖学;前肢. pp. 126-129. *In*: 牛の解剖アトラス, 増補改訂第2版. 緑書房, 東京.
40. Steiner, A., Anderson, D. E. and Desrochers, A. 2014. Diseases of the tendons and tendon sheaths. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **30**: 157-175.
41. St Jean, G. and Anderson, D. E. 2014. Decision analysis for fracture management in cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **30**: 1-10.
42. Taussaint, R. E. 1985. Trimming. pp. 83. *In*: Cattle footcare and claw trimming. Farming press, Sheffield.
43. Tryon, K. A. and Clark, C. R. 1999. Ultrasonographic examination of the distal limb of cattle. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **15**: 275-300.
44. Van der Tol, P. P., van der Beek, S. S., Metz, J. H., Noordhuizen-Stassen, E. N., Back, W., Braam, C. R. and Weijs, W. A. 2004. The effect

- of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **87**: 1732-1738.
45. Vanderwilde, R., Staheli, L. T., Chew, D. E. and Malagon, V. 1988. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *J. Bone Joint Surg. Am.* **70**: 407-415.
46. Verschooten, F., De Moor, A., Desmet, P., Watte, R. and Gunst, O. 1969. Surgical treatment of congenital arthrogyrosis of the carpal joint, associated with contraction of the flexor tendons in calves. *Vet. Rec.* **85**: 140-142.
47. Wagner, P. C., Reed, S. M. and Hergeberg, G. A. 1982. Contracted tendons (flexural deformities) in the young horse. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.* **4**: S101-108.
48. Weaver, A. 2005. Contracted flexor tendons. pp. 240-242. In: Bovine surgery and lameness, 2nd ed. (Weaver, A. D., St. Jean, G. and Steiner, A. eds.), Blackwell, Oxford.
49. Yardimci, C., Ozak, A. and Nisbet, O. 2012. Correction of severe congenital flexural carpal deformities with semicircular external skeletal fixation system in calves. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* **25**: 518-523.

Abstract of doctoral dissertation

Clinical studies of flexural limb deformities in calves based on image analysis

Department of Large Animal Clinical Sciences

School of Veterinary Medicine

Rakuno Gakuen University

Ayano Sato

Congenital flexural limb deformities restrict the range of motion because of structural abnormality of the affected limbs, leading to lameness. In cattle, metacarpophalangeal flexural deformities (MPFD) in the forelimbs as congenital limb deformities are the most common disorder. The relationship between MPFD and flexural muscles and tendons and/or suspensory ligament has not been clarified. There are no pre-surgical diagnosis methods or medical care guidelines for MPFD calves. The purpose of this study was to establish an objective diagnosis and surgical guidelines. The influences of the superficial digital flexor tendons (SDFT) and deep digital flexor tendons (DDFT) on the moment of the metacarpophalangeal joint (MPJ) in MPFD were evaluated using imaging analysis, and the relationships were confirmed by the transection of flexor tendons in MPFD calves. The purpose of chapter I was to estimate the influences of the flexor tendons on the angle formed by the dorsal aspect of the claw and ground (toe angle) of the forelimbs of beef calves. In chapter I, the calves underwent measurement of the body weight, body height, and toe angle in both forelimbs and the forelimb circumference in the metacarpal region, metacarpophalangeal region, and pastern. In addition, sonograms of the pastern on palmar surfaces of the inner and outer claws of both forelimbs were analyzed for the thickness of the DDFT and SDFT. As the results, the toe angle at one day old was $44.3 \pm 10.4^\circ$ for left forelimbs and $45.4 \pm 10.7^\circ$ for right forelimbs. The toe angles at one day old had no correlation with the flexor tendons. The toe angle at 28 days old was $50.5 \pm 5.8^\circ$ for left forelimbs and $50.9 \pm 5.6^\circ$ for right forelimbs. The toe angles at 28 days old showed no correlation with the

flexor tendons. The DDFT and SDFT at one day old showed no scarcely correlation with other measurement values. The DDFT at 28 days old was thicker than at one days old and was correlated with the body weight and forelimb circumference. The thickness of the SDFT at 28 days old was almost the same as at one day old and was correlated with the forelimb circumference. As the result, although acral flexor tendons of the forelimbs at one day old showed immature supporting tissues, the thickness of the DDFT was increased to balance with body growth. The toe angle showed no correlation with flexor tendons in calves. The purpose of chapter II was to establish an evaluation method using radiography in MPFD calves, and radiographs of the lateral angle of the MPJ and distal interphalangeal joint (DIPJ) were measured in dairy breed calves. As the results, the lateral angle of the MPJ in all MPFD forelimbs classified by the inspection as mild, moderate, and severe were significantly narrower than normal forelimbs. The lateromedial projection radiographs of MPFD calves were useful for morphological evaluation. The purpose of chapter III was to study the involvement of the SDFT and DDFT in the MPJ and DIPJ in severe MPFD calves. Ten model forelimbs with different contraction ratios of the SDFT and DDFT were created and compared with severe MPFD forelimbs by radiography in chapter II. As the results, the morphological pathology of the MPJ in severe MPFD forelimbs was reproducible with all types of model forelimbs. The morphological pathology of the DIPJ in severe MPFD forelimbs was reproducible with the model forelimbs with high contraction ratios of the DDFT. It was considered that the morphological pathology in severe MPFD forelimbs involved not only the SDFT but also the DDFT. In chapter IV, the calves with severe MPFD forelimbs were treated surgically by transection of the SDFT and DDFT, with observation of the post-surgical process. After radiography, MPFD calves were treated with transection of the SDFT and DDFT, and calves underwent a gait test at 2 and 7 days post-surgery. In the gait test, when MPFD calves exhibited lameness, the calves were treated with external fixation. At 14 days post-surgery, the prognosis was evaluated. At 2 days post-surgery, 11 of 15 severe MPFD forelimbs (73%) were treated by external fixation and these forelimbs were considered to show marked abnormality of flexural morphology on radiographs. It was suggested that MPFD forelimbs were

involved with the flexor tendons and other soft tissues including the suspensory ligament. However, almost all MPFD calves showed improved flexural limbs and lameness by attachment of the external fixation post-surgery. At 14 days post-surgery, 8 of 9 severe MPFD calves (89%) including 13 of 15 severe MPFD forelimbs (87%) showed a good prognosis. It was suggested that proactive surgical treatment involving transection of the SDFT and DDFT was useful for the treatment of severe MPFD calves. In this study, it was considered that the flexural morphology of severe MPFD forelimbs involved the SDFT, DDFT, and other soft tissues including the suspensory ligament. Surgical treatment of transection of the SDFT and DDFT with external fixation post-surgery promoted a high cure rate among severe MPFD calves. Radiographs of severe MPFD calves were useful for evaluation of the flexural morphology and provided more detailed information compared with severity classification.