

前肢断脚部位の違いによる犬の義足適用に関する研究

酪農学園大学大学院

獣医学研究科

獣医保健看護学専攻修士課程

小倉美咲

動物理学療法学

指導教員 准教授 椿下早絵

2016年度

## 目次

	頁
I . 緒論	1
II . 材料と方法	3
III . 結果	24
IV . 考察	52
V . 総括	56
VI . 謝辞	57
VII . 引用文献	58

## I . 緒論

義肢とは上肢または下肢の全部または一部に欠損のある者に装着して補填し、またはその欠損により失われた機能を代替するための器具器械のことである。人医療では上肢の義肢を「義手」、下肢の義肢を「義足」と称するが、犬や猫では四肢ともに人における下肢の機能と一致しているため前肢の義肢も「義足」と称するのが妥当である。

義肢の歴史は古く、紀元前からの記録があり、義肢の発展に多大な影響を与えたのは、たくさんの切断者を生み出した戦争である [9]。現在、人医療において義肢は広く認知され、またスポーツ用義肢の進化は著しく、パラリンピックなどのスポーツイベントで数多く見ることができる [13]。

一方、獣医療においては日本のみならず世界においても義足の適用を飼い主に提案できる施設および獣医師が少なく、動物の義足に関する報告や情報は非常に少ない。肢遠位の悪性腫瘍や整復不可能な外傷に対し、患肢の近位を温存することは外観上の変化を最小限に止めることができるが、局所再発、摩擦による皮膚の損傷および廃用性筋萎縮などが起こりうるため、前肢では肩甲帯離断、後肢では股関節離断が行われているのが現状である。四肢で歩行する動物において、一肢を失っても歩行は可能であるが、残された三肢への負担の増加やアンバランスな歩行による **Quality of life** (以下、**QOL**) の低下が問題となる。また、三肢による歩行の不安や我が身に置き換えて喪失感に苦しみ、断脚を受け入れられない飼い主も存在する。肢の切断を余儀なくされた動物とその飼い主の **QOL** の向上のために、獣医療における義足の開発を進め、安定した提供を実現させるべきである。

本研究は、片側前肢手根部周辺に発生した悪性腫瘍の治療のために

義足適用を目的として患肢温存術を実施した切断レベルの異なる犬2症例を対象とした。残存した患肢に合わせた義足形状および装着方法を考案し、義足歩行獲得において良好な結果が得られたので報告する。

## Ⅱ．材料と方法

### 1. 症例

#### 【症例 1】

ラブラドール・レトリバー、去勢済雄、初診時の年齢は 10 歳 6 ヶ月齢、体重は 34.4 kg であった (表 1)。2014 年 12 月末、飼い主が右前肢手根部に直径約 2cm の腫瘤を発見した。その後、腫瘤が約 2 倍に大きくなったため、2015 年 1 月 31 日にホームドクターを受診し、針生検を実施した結果、軟部組織肉腫と仮診断された。同年 4 月 23 日に精査・手術希望のため、酪農学園大学附属動物医療センターを受診した。来院時、腫瘤は手根関節から中手部に存在し、掌側面は自壊および壊死していた (図 1a)。触診により疼痛反応は認められなかったが、歩行時は間欠的に患肢を挙上していた。X 線検査において、右前肢第 1 指に腫瘍の骨浸潤を疑う所見が認められたが、明らかな骨吸収像は認められなかった (図 2a,b)。本学においても各種検査および病理検査の結果から、軟部組織肉腫と診断された。また右浅頸リンパ節に対する針生検および胸部 X 線画像により、転移を示唆する所見は認められなかった。腫瘍およびその周囲を切除する腫瘍辺縁切除術が検討されたが、腫瘍辺縁切除は皮膚の欠損が大きく、二期癒合による術創の閉鎖に期待せざるを得ないこと、十分なマージンを確保できないため再発する可能性が高いこと、再発の危険に対しては放射線治療などの追加治療を実施すべきであるが遠方のため定期的に実施することが困難という理由から腫瘍辺縁切除を断念し、肩甲骨離断または患肢温存術後の義足適用を提案した。その結果、飼い主により、義足の適用が選択された。同年 5 月 12 日に入院し、翌日、右前腕中間部切断術を実施した (図 1b)。入院期間は 17 日間であった。

表 1. 症例 1 の概要

犬種	ラブラドル・レトリバー
性別	去勢済雄
初診時年齢	10歳6ヶ月齢
初診時体重	34.4kg
腫瘍発生部位	右前肢手根関節から中手部
組織診断名	軟部組織肉腫



図 1. 術前の患肢 (a) および前腕中間部で切断した術後の患肢 (b)



図 2. 症例 1 右前肢 X 線画像 AP 像 (a) および右ラテラル像 (b)

**【症例 2】**

柴犬、避妊雌、初診時の年齢は 14 歳 11 ヶ月齢、体重は 10.8kg であった（表 2）。2015 年 5 月 12 日、飼い主が左前肢狼爪付近の直径約 10mm の腫瘤に気づきホームドクターを受診し、針生検にて未分化肉腫と仮診断された。その後、同年 6 月 16 日に精査希望のため本学を受診した。視診・触診において腫瘤は左前肢狼爪周囲から前腕遠位約 1/3 に存在していた（図 3a）。また患肢の負重は疼痛のため弱かった。CT 検査により、腫瘤は掌球の内側から狼爪を巻き込み、手根部内側半分ほどの領域に存在し、前腕遠位約 1/3 にまで達することが明らかとなった（図 4a,b）。本学においても各種検査および病理検査の結果から未分化肉腫と診断された。また胸部 X 線画像により、転移を示唆する所見は認められなかった。飼い主に肩甲骨離断または患肢温存術後の義足適用を提案し、その結果、義足の適用が選択された。同年 6 月 24 日に橈骨および尺骨以下を切断し、上腕骨を温存する左肘関節離断術を実施した（図 3b）。切断部位の重さは 200g であった。入院期間は 16 日間であった。

表 2. 症例 2 の概要

犬種	柴犬
性別	避妊済雌
初診時年齢	14 歳 11 ヶ月齢
初診時体重	10.8kg
腫瘍発生部位	左前肢狼爪周囲から前腕遠位約 1/3
組織診断名	未分化肉腫

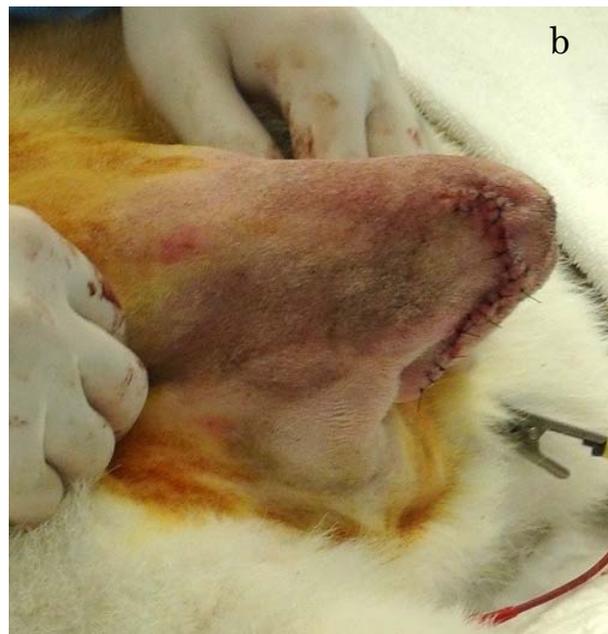


図 3. 術前の患肢 (a) および左肘関節で離断した術後の患肢 (b)

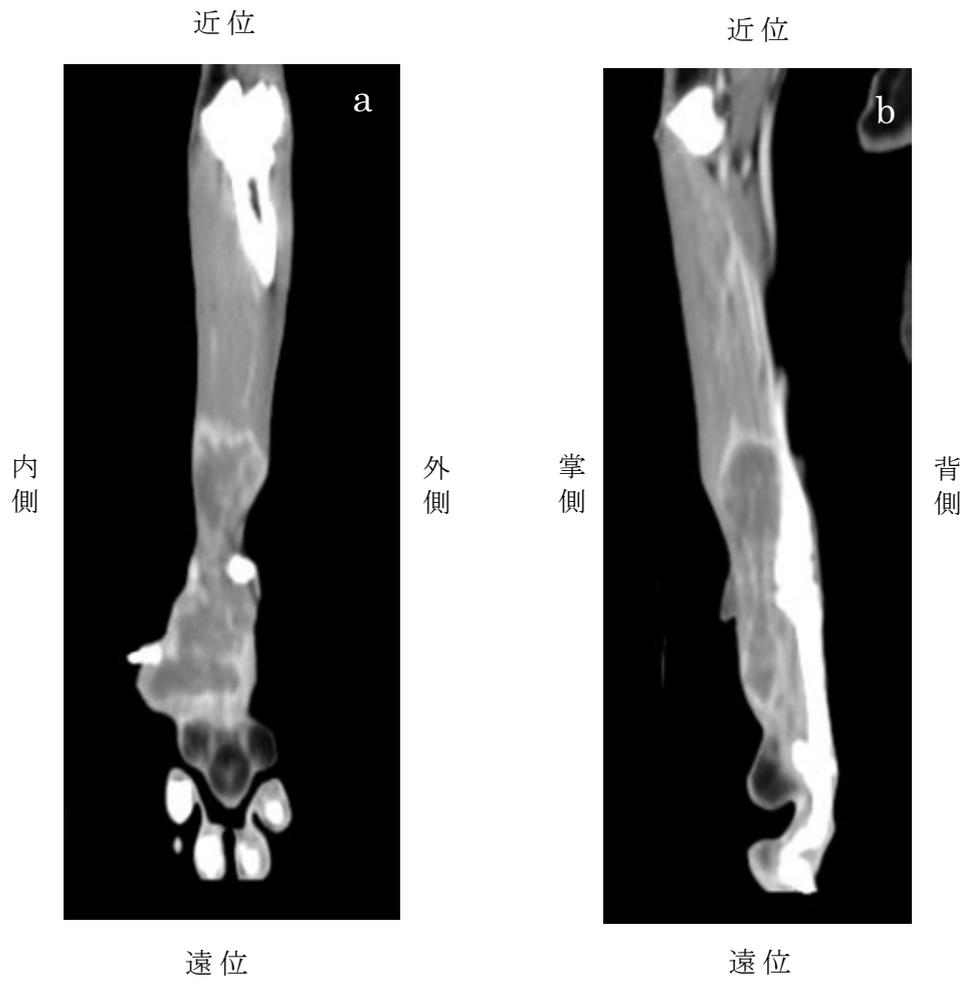


図 4. 症例 2 左前肢 CT 画像 MPR 法による水平断像 (a) および 縦断像 (b)

## 2. 義足作成および適用における基本的用語

### 1) 断端

切断肢の付け根から切断部までの呼称 [12]。

### 2) 仮義足

義足が完成するまでの間、手術直後から装着する仮の義足のこと。仮義足の適用により歩行感覚の維持、早期歩行、関節の拘縮や筋力低下の予防が可能となる [10]。

### 3) 採型

石膏包帯を用いて断端の型を取り、モデルの作成・修正を行うこと。石膏包帯は、包帯の網目に焼き石膏の粉が塗布されており、水に浸すと5分前後で硬化するため、動物でも通常は無麻酔で行うことができる。石膏包帯を用いて作成した断端の型を「陰性モデル」と呼び、陰性モデルの内部に液状の石膏を流して硬化したモデルを「陽性モデル」と呼ぶ [9]。

### 4) ライナー（断端袋）

断端に装着し、ソケットとの擦れによる皮膚の損傷を軽減する [12]。症例 1 では人用の靴下、症例 2 では伸縮性のあるクロロプレンゴム（ウェットスーツ等で使用される気泡の密度が高い発泡ゴム）に起毛布を貼った生地（ネオプレン 2mm, 株式会社啓愛義肢材料販売所, 東京）を使用した。

#### 5) ソケット

断端をその内部に納め、かつ義肢の遠位部に力を効果的に伝える機能を果たす [12]。素材はプラスチック、カーボン、シリコンなどがある。本研究で使用したソケットはいずれも熱可塑性プラスチックであった。

#### 6) 足部

踵接地時の衝撃吸収や滑らかな体重心の移動、そして踏み切り時の蹴り出しなどを行う義足の最も遠位に位置する部分 [12]。

#### 7) 義足長

ソケットおよび足部で構成される義足の長さのこと [12]。

#### 8) アライメント

義肢が所定の機能を十分に発揮できるように、ソケットに対する足部などの部品の角度も含めた相対的位置関係、またそのような位置関係の調整を意味する [10]。

#### 9) 荷重と懸垂

義足による歩行は、地面に肢を接地する立脚相で義足に荷重をかけ、地面から離れて肢を振り出す遊脚相で義足を懸垂することを繰り返すことで可能となる [10]。

### 3. 仮義足装着、採型、義足作成

#### 1) 仮義足の装着

##### 【症例 1】

手術直後からトーマススプリント [8] の装着 (図 5a) およびロバートジョーンズ包帯 [3] と組み合わせた成人用仮義足の装着を試みた (図 5b,c)。これらの装着により、肘関節を伸展位に保ち、その遠位端で着地が可能な状態を維持した。



図 5. 症例 1 トーマススプリント装着 (a)、成人用仮義足装着 (b) および成人用仮義足 (c)

**【症例 2】**

手術直後から幼児用の仮義足をロバートジョーンズ包帯 [3] と組み合わせて装着し、さらに体幹に包帯を巻いて固定した (図 6a,b)。



図 6. 症例 2 幼児用仮義足装着 (a) および幼児用仮義足 (b)

## 2) 採型

北海道科学大学人医療分野の義肢装具士の協力を得て採型および義足作成を実施した。本学にて断端の陰性モデルを作成し、北海道科学大学にて陽性モデルを作成した。

### 【症例 1】

手術翌日に横臥位で 1 回目の患肢の採型を実施し、後日に行なった 2 回目以降の採型は起立位で実施した。採型は、皮膚に石膏が付かないようにラップフィルム（ストレッチフィルム，ジョイフル AK 社，北海道）で保護し（図 7a）、石膏包帯（プラスランギプス，アルケア株式会社，東京）を 45℃ 程度の温湯に浸漬して断端に合わせて成型した（図 7b）。石膏包帯が固まった後、断端から外して陰性モデルを作成した（図 7c）。



図 7. 症例 1 採型過程：断端をラップフィルムで保護 (a)、成型 (b) および陰性モデル (c)

**【症例 2】**

横臥位での採型を術直後、起立位での採型を術後 4 日目に実施した (図 8a,b)。症例 1 と異なり、断端から肩にかけて石膏包帯を巻き、広い範囲を採型した。症例 2 は犬種の特徴や性格から、リハビリテーション実施メンバーに対して威嚇することがあったが、おやつ等を用いることで徐々に慣れ、採型も容易となった。



図 8. 症例 2 採型過程：広範囲の採型 (a) および硬化 (b)

### 3) 義足作成

義足作成は、陰性モデルの中に液状の石膏（義肢用石膏，吉野石膏，東京）を流し込み（図 9a）、石膏の硬化後、陰性モデルを外し、陽性モデルを取り出した。陽性モデルの表面はヤスリで研磨した（図 9b）。熱したプラスチック板（テルモリンリジット，オットーボック・ジャパン株式会社，東京）を被せ、ソケットを成型した（図 9c）。ソケットの遠位部に発泡樹脂（ペディレン硬質フォーム，オットーボック・ジャパン株式会社，東京）を接着し、足部との接続部を作成した（図 10a,b）。そして、ソケットと発泡樹脂を削り、中の石膏を取り除いた（図 10c）。足部は、面ファスナー（クイックロン，YKK，東京）を貼り付けた厚さの異なるコルク板（マイクロコルク，NORA 社，ドイツ）や楔形のコルク板を組み合わせ、義足長やアライメントを調整できるようにした（図 11a）。また、歩行が容易になるよう足部の底面をカーブ形状にし、底面に滑り止めのゴム（スーパーシート，株式会社啓愛義肢材料販売所，東京）を貼った（図 11b）。ソケットと足部を接続し、完成した（図 12a,b）。症例 1 および症例 2 とともに同様の方法で作成した。

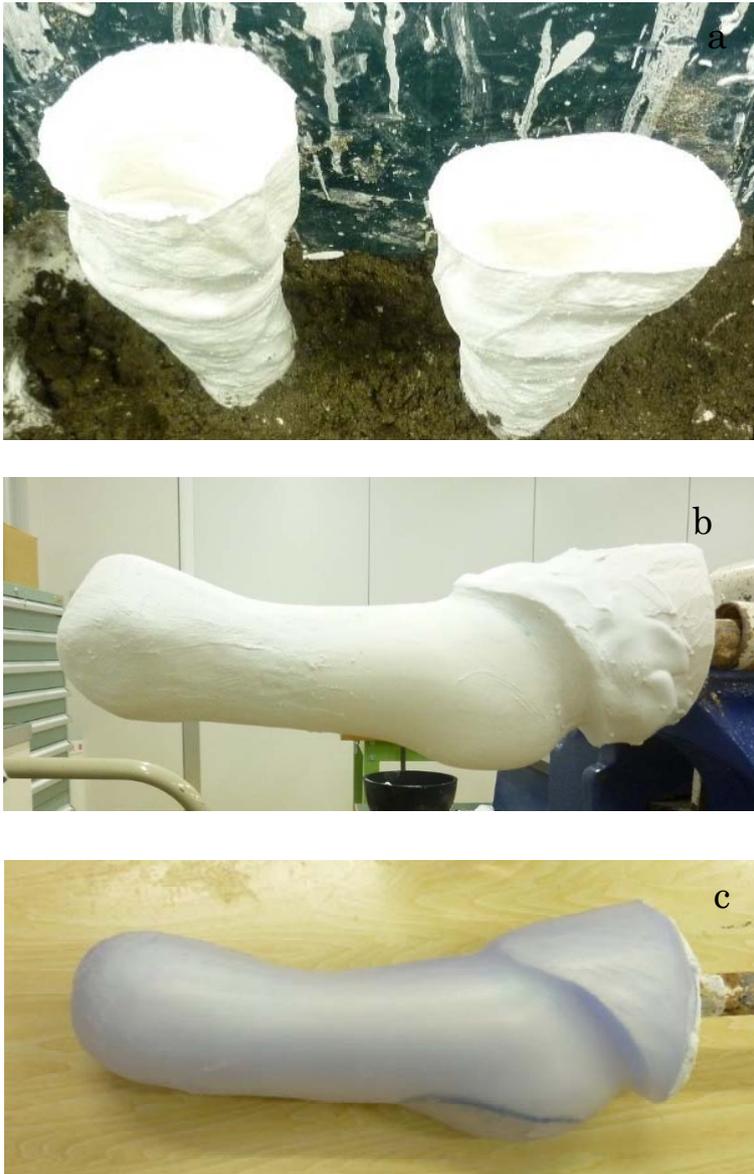


図 9. 石膏を流し込んだ陰性モデル (a)、陽性モデル (b) およびソケットの成型 (c)



図 10. 発泡樹脂の接着 (a)、硬化後 (b) および石膏の除去 (c)

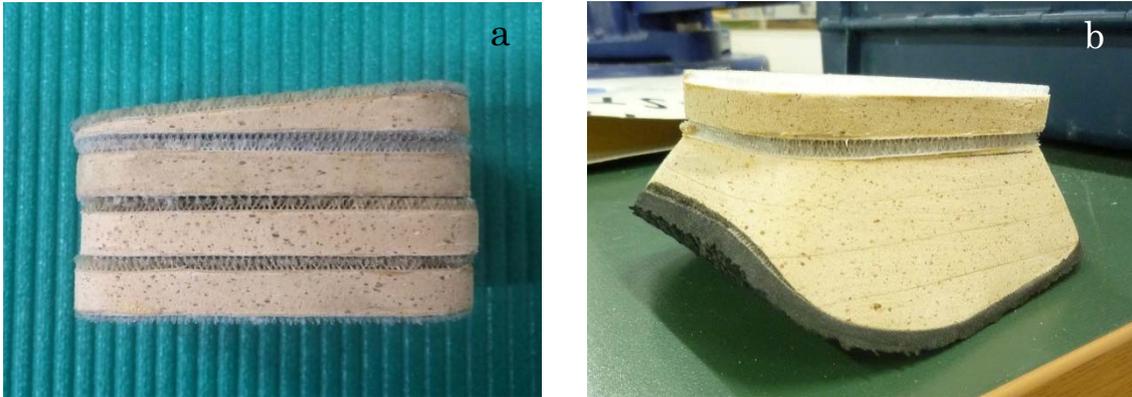


図 11. アライメントおよび義足長調整のパーツ (a) およびゴムを貼った足部 (b)



図 12. 足部と接続したソケット (a) および断端挿入口 (b)

#### 4. リハビリテーション

いずれの症例においても手術直後から仮義足を用いて装着訓練および歩行訓練を実施し、症例 1 では術後 3 日目以降、症例 2 では術後 4 日目以降に完成した義足（本義足）を用いて訓練を実施した。退院後も訓練を継続し、義足の懸垂および義足への荷重を達成するために設計の変更および複数のコルク板により義足長とアライメントの調整を繰り返し実施した。症例 2 は義足への負重をあまりかけず歩行が駈歩になったため、常歩パターンでの義足歩行の獲得を目的に、術後 43 日目から陸上トレッドミル（電動ウォーカー AF1900, ALINCO, 大阪）（図 13a）を使用した歩行訓練を実施した。

また、入院中にはいずれの症例に対しても血行促進およびリラククス効果を得ることを目的としてマッサージ、関節拘縮を予防する目的として患肢の他動運動、治癒促進を目的として縫合部に高出力半導体レーザー（CTS-S, 飛鳥メディカル株式会社, 京都）（図 13b）を用いたレーザー治療を実施した。さらに、症例 2 に対して仮義足および本義足を用いて荷重訓練を実施した。訓練は、腹部下側にピーナッツボール（フィジオロール 30, DANNO, 大阪）（図 13c）を置き、対側肢を持ち上げて患肢のみでの荷重を数十秒×数回実施した。



図 13. リハビリテーションに使用した陸上トレッドミル (a)、高出力半導体レーザー (b) およびピーナツボール (c)

## 5. 患肢の評価

断端の状態と患肢の荷重を評価するため、入院中および定期的な検診の際、以下の3つの測定を実施した。

### 1) 前肢周囲長測定

術後経過に伴う浮腫および筋萎縮による断端形状の変化を評価するため、定期的に周囲長を測定した。メジャー（丸型メジャー1.5m，株式会社アーテック，大阪）を用いて、症例1では右前肢付け根、肘関節上、肘関節下、前腕上、前腕下の計5か所（図14a）、症例2では左前肢付け根、上腕上、上腕下の計3か所（図14b）で測定した。

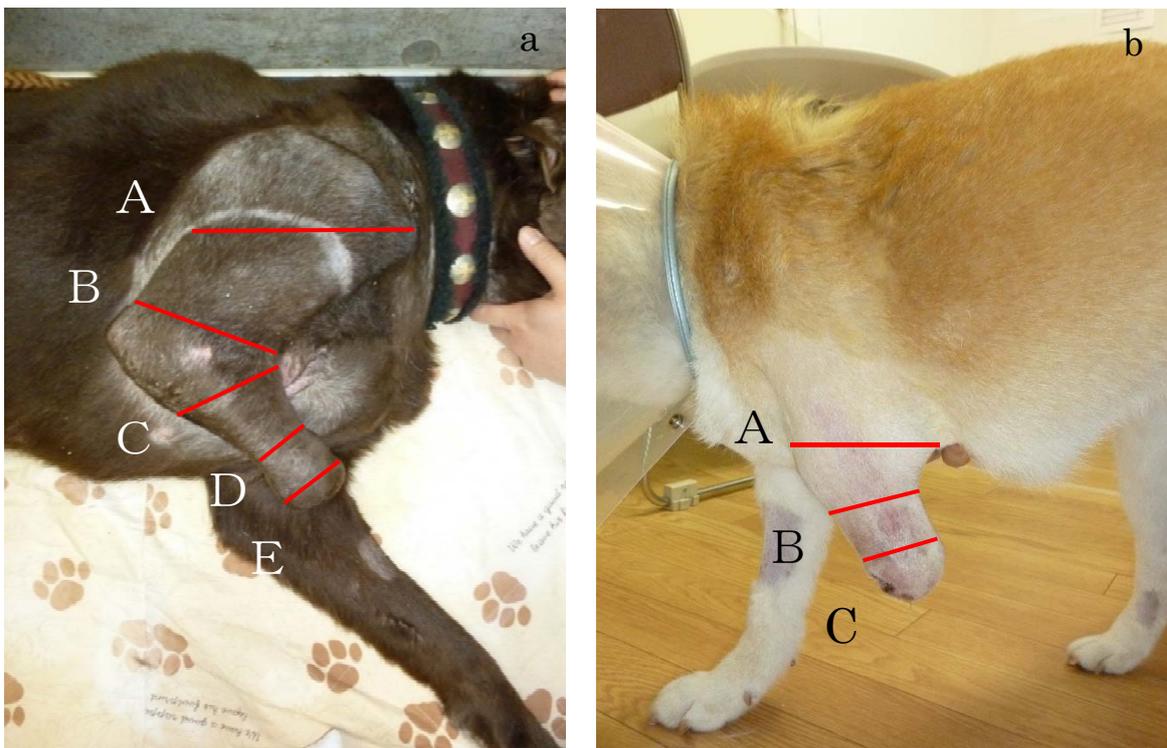


図 14. 周囲長測定部位

#### 症例 1 (a)

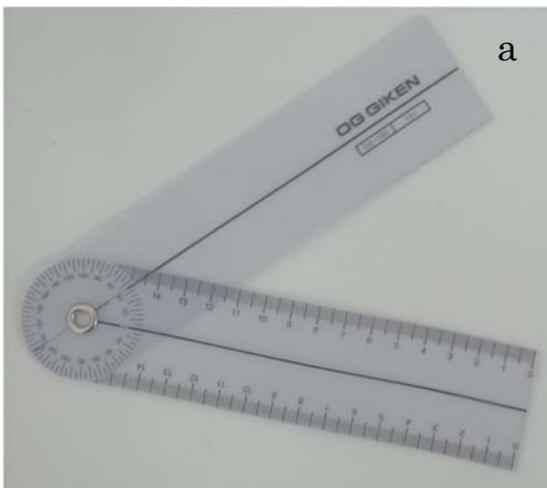
- A：前肢付け根
- B：肘関節上
- C：肘関節下
- D：前腕上
- E：前腕下

#### 症例 2 (b)

- A：前肢付け根
- B：上腕上
- C：上腕下

## 2) 関節可動域測定

関節拘縮の有無を確認するため、角度計（プラスチックゴニオメータ一，OG技研，岡山）（図 15a）を用いて、症例 1 では右前肢の肩関節と肘関節（図 15b）、症例 2 では左前肢の肩関節（図 15c）で可動域測定を実施した。



ランドマーク

A～B：肩甲棘  
 B：上腕骨大結節  
 C：上腕骨外側上顆  
 D：橈骨遠位端

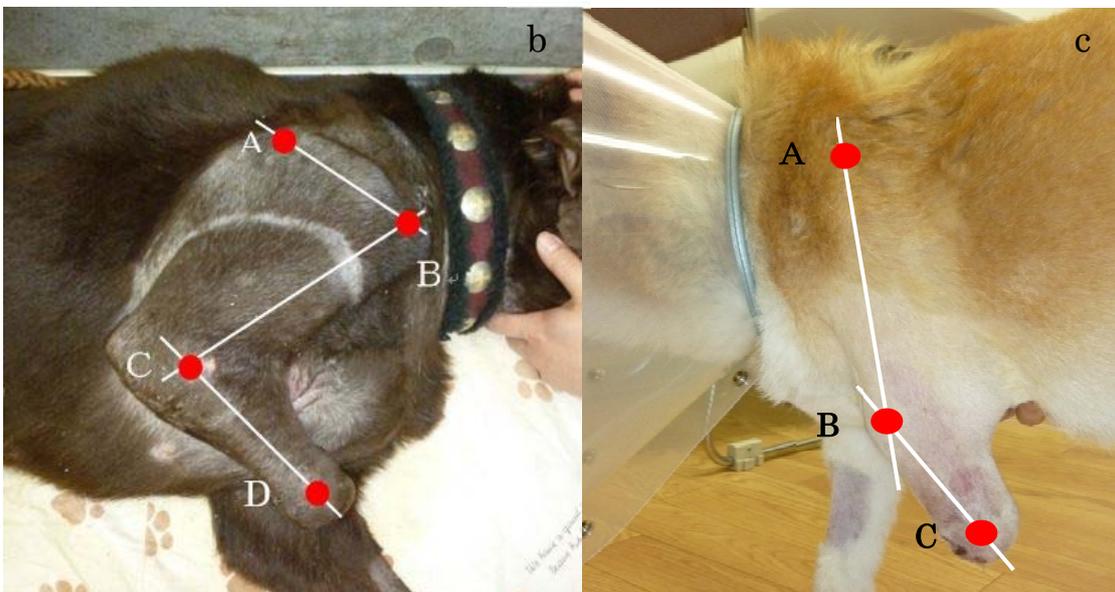


図 15. 関節可動域測定 角度計 (a)、症例 1 のランドマーク (b) および症例 2 のランドマーク (c)

### 3) 四肢荷重測定

分散型荷重計（バランスウエイト，株式会社クリックス，福岡）（図 16a）を用いて義足装着時の四肢への荷重を計測した。パソコン画面に各肢への荷重がリアルタイムで表示される（図 16b）。正常な犬では、左右前肢にそれぞれ体重の 30% ずつ、左右後肢に 20% ずつの荷重が掛かる。

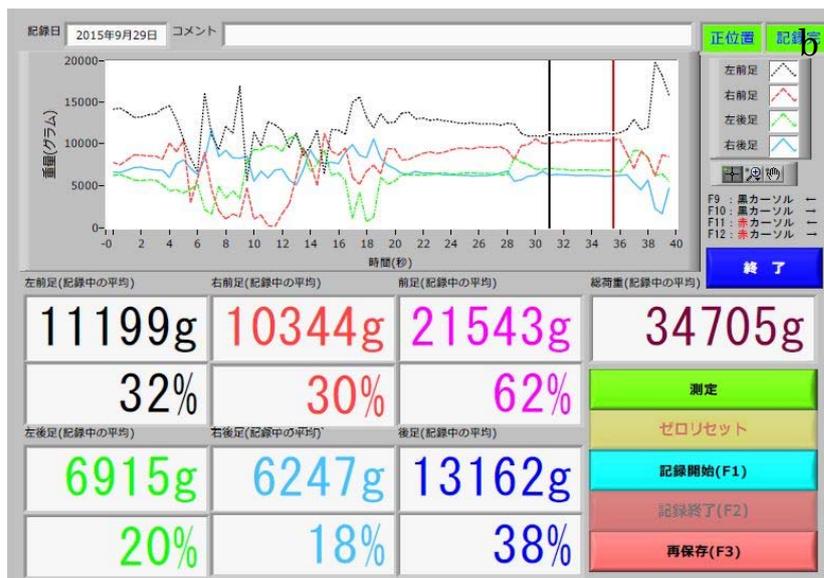
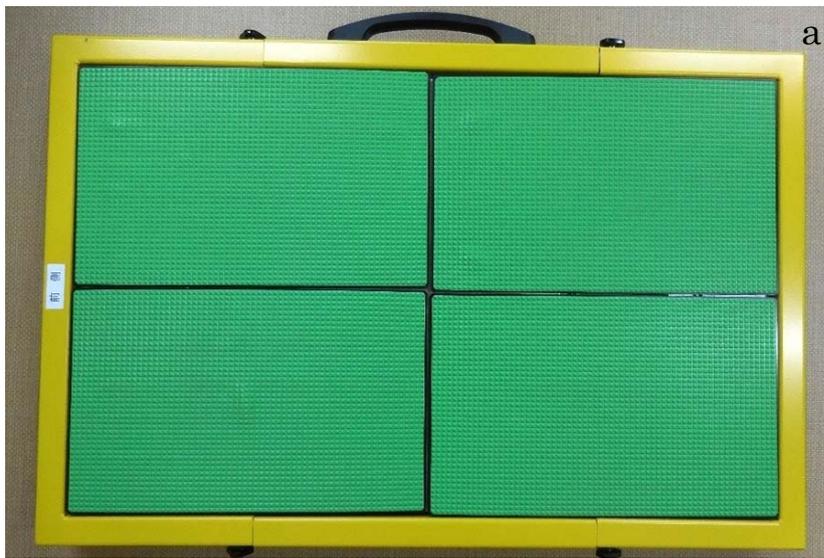


図 16. 四肢荷重測定 分散型荷重計 (a) およびモニター表示 (b)

### Ⅲ. 結果

#### 1. 義足デザインの改良

##### 【症例 1】

・ 1号機：5月16日（術後3日目）～5月27日（術後14日目）

人用の前腕義手に用いられるノースウエスタン型ソケット [10]（図 17）を基にし、ソケットの尾側上縁を肘頭まで被せることにより自己懸垂性を持つ形状を採用した（図 18a,b）。ソケットに作成した窓は義足装着時に使用する布を引き出すためのものであり、摩擦の少ない布を断端に巻いてソケットに挿入し、窓から布を引き出すと同時にソケットを近位に押し込んで装着した（図 19）。装着後、窓に蓋を被せて2本のベルトで固定した。症例は早期から義足に負重を掛け、歩行も可能であったが、患肢が内転して足部が逆肢に当たり、歩行の上達を妨げていたため、足部の外側が高くなるようなアライメントの調整と足部の縮小によりこの問題を解決した。ソケットの圧迫や摩擦により断端末および前腕内側の筋肉の少ない部分に皮膚の発赤が認められたため（図 20）、クッション（黄色スポンジ，株式会社啓愛義肢材料販売所，東京）を内貼りして解決した。肘関節の屈曲面にも発赤が認められたため、2号機ではソケット頭側の切れ込みを広げる必要性があった。1号機の歩行訓練時には、點頭運動（跛行時に見られる頭部の上下運動）が見られた。

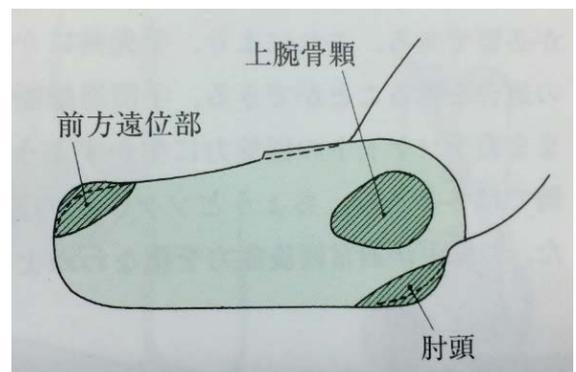


図 17. ノースウエスタン型ソケット



図 18. 1号機の義足（a、左から正面、背面、外側面、内側面）および装着時（b）



図 19. 布を用いた義足の装着



図 20. 1号機装着時に認められた皮膚の発赤

・ 夜間用義足：5月24日（術後11日目）以降

日常的に使用する義足は安定性を得るために締め付けが強いため、夜間用に締め付けの少ない、断端を保護するための義足を作成した（図21a,b）。肘関節の上にベルトを掛ける懸垂方法を試したところ、安定した装着と歩行が得られた。ハーネスに繋げて装着する形状も考案したが、不安定ですぐに脱げてしまうため採用には至らなかった（図21c）。術後41日目の再診において、肘関節内側部の皮膚に炎症が見られたため24時間の義足装着は中止し、夜間は義足を装着せず靴下のみで断端を保護することにした。しかし、肘関節や肩関節の拘縮が認められた場合、24時間の装着を再開することにした。



図 21. 夜間用義足 (a、左から正面、外側面)、装着時 (b) およびハーネスタイプ (c)

・ 2号機：5月27日（術後14日目）～6月23日（術後41日目）

2号機は関節の屈曲面の皮膚の擦れを解決するためにソケット頭側の切れ込みを拡大した。さらに皮膚への負担が多い部分にはクッションを使用し、負担軽減を図った。装着方法は1号機と同様であったが、布を引き出すソケットの窓を小さくしたため、ベルトを2本から1本へ変更した（図 22a,b）。1号機の歩行時よりも點頭運動が減り、デザインの改良や経過とともに義足での歩行に慣れてきたと考えられた。2号機装着当初は足部の外側に荷重し、外旋しながら歩行していたため、足部のアライメント調整を行い、修正を重ねた。修正によって着地時に無理な力がかかるため、ソケットと足部を接着する面ファスナーがはがれやすくなったが、足部の頭側を高くなるように調整すると改善した。義足の使用状況や術部の治癒が良好であったため、術後16日目に退院し、自宅で装着・歩行訓練を継続した。術後41日目の再診時に飼い主から、断端の状態は朝に浮腫が強く、浮腫が改善する昼頃まで義足が装着できないことがある、義足を装着しても時間が経つと浮腫がさらに軽減し義足が脱げることがある、断端が細くなり骨が当たるのか断端に触れた際に敏感になった、と報告があった。この日に3号機のフィッティングを行なった。

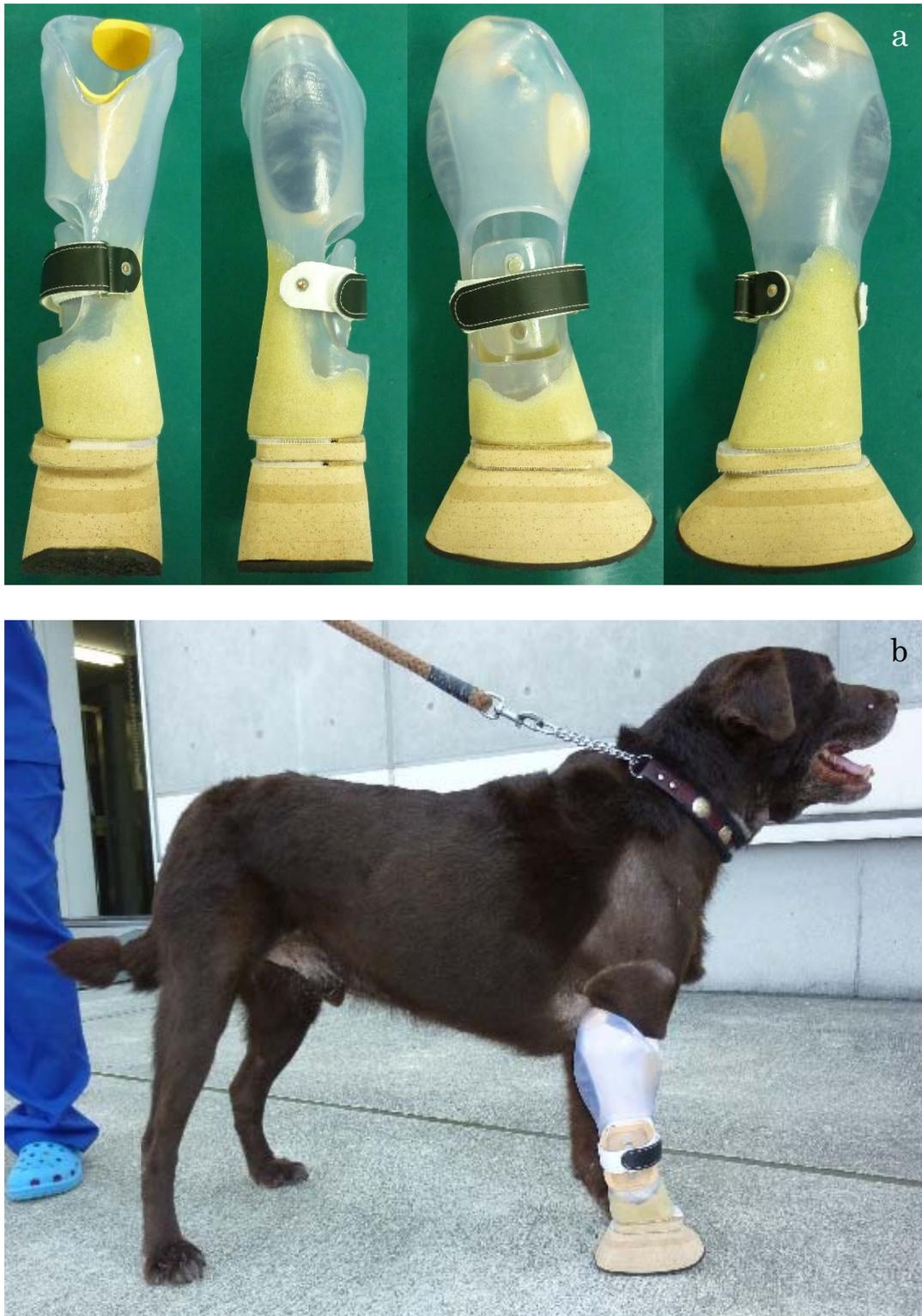


図 22. 2号機の義足（a、左から正面、背面、外側面、内側面）および装着時（b）

・ 3号機：6月23日（術後41日目）以降

夜間用義足の形状は装着が容易であり、歩行が安定していることから飼い主がこの形状を希望し、3号機は夜間用義足と同様に肘関節に掛けたベルトで義足を懸垂する形状に変更した（図 23a,b）。この変更により、布を使用せずに装着できるようになった。さらに固定力を高めるために肘関節の上で頭側に回すベルトを追加した。3号機においても断末端、肘頭部、肘関節の屈曲面に発赤が見られたため、ソケットおよびベルトにクッションを内貼りして解決を図った。歩行においては、時間の経過に伴って義足への荷重が増加し、點頭運動は認められなくなった。変動する断端形状に合わせてソケットの周径を調整し、術後約2ヶ月目に義足を毛の色に合わせてプラスチックをコーティングし、仕上げた（図 24a,b）。



図 23. 3号機の義足 (a、左から正面、側面) および装着時 (b)



図 24. プラスチックをコーティングした 3号機の義足 (a、左から正面、側面) および装着時 (b)

**【症例 2】**

・ 1号機：6月28日（術後4日目）～6月29日（術後5日目）

術後4日目に完成した1号機は、ソケットに接続した塩化ビニールパイプ（エスロンパイプVP，積水化学工業株式会社，大阪）の先に、コルク製の足部が付いた形状であった（図25）。しかし、ソケットが浅く、すぐに断端が抜けてしまった。この原因として、術直後に横臥位で採型を実施し、その際に断端が体幹に引き込まれて短くなっていたことが考えられた。そのため、同日に起立位で再び採型を実施した。1号機での歩行は、ゆっくり歩行する際はわずかに肩を前に出し義足を踏み出していたが、速い歩行の際は引きずる様子が見られた。



図 25. 1号機の義足 装着時

・ 2号機：6月29日（術後5日目）～8月3日（術後40日目）

2号機からは KISS システム [16] と呼ばれる懸垂システムを採用した。具体的には、断端に装着するライナー（図 26a）の頭側および尾側に面ファスナーを付け（図 26b）、ソケット遠位に作成した穴から頭側および尾側方向へ 2 本の面ファスナーを引き出し、赤矢印のように反転してソケットに接着し、義足を懸垂した（図 26c）。さらに懸垂の効果を追加するためにライナーと同じ生地を用いてソケットの上から体幹に巻くバンドを作成した（図 27a,b）。足部は、塩化ビニールパイプの先にゴム製のキャップ（パイプ用黒ゴム，ベスト工業株式会社，大阪）を付けたステッキ状であった（図 28a）。すべてのパーツを装着すると図 28b のようになった。義足長およびアライメントの調整は、塩化ビニールパイプの取り付け位置の変更や熱して柔らかくしてから曲げて実施した。義足を使用し歩行できていたが、前進する際は駈歩になることが多くみられた。2号機装着後より、断端の縫合部から滲出液が認められたため、クロルヘキシジン 5%溶液（5%ヒビテン®液，大日本住友製薬株式会社，大阪）を 100 倍希釈したもので洗浄後、縫合部を創傷用吸収パッド（デルマエイド，アルケア株式会社，東京）で保護し、弾性包帯で圧迫した。滲出液が多い時は親水性ポリウレタンフォームドレッシング材（ハイドロサイト，スミス・アンド・ネフュー株式会社，東京）を使用した。断端の先は荷重や摩擦に耐えられるようにクッションで保護した（図 29a,b）。2号機の重量は 240g であった。



図 26. 断端に装着するライナー (a)、ライナー装着時 (b) および KISS システム (c)

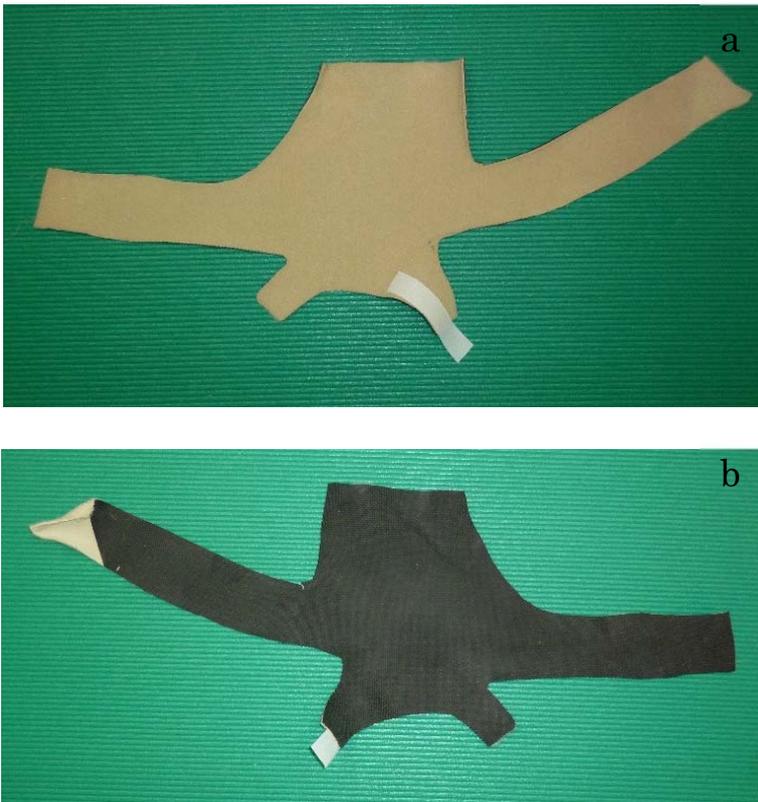


図 27. 体幹に巻くバンド 表 (a) および裏 (b)



図 28. 2号機の義足 (a) および装着時 (b)

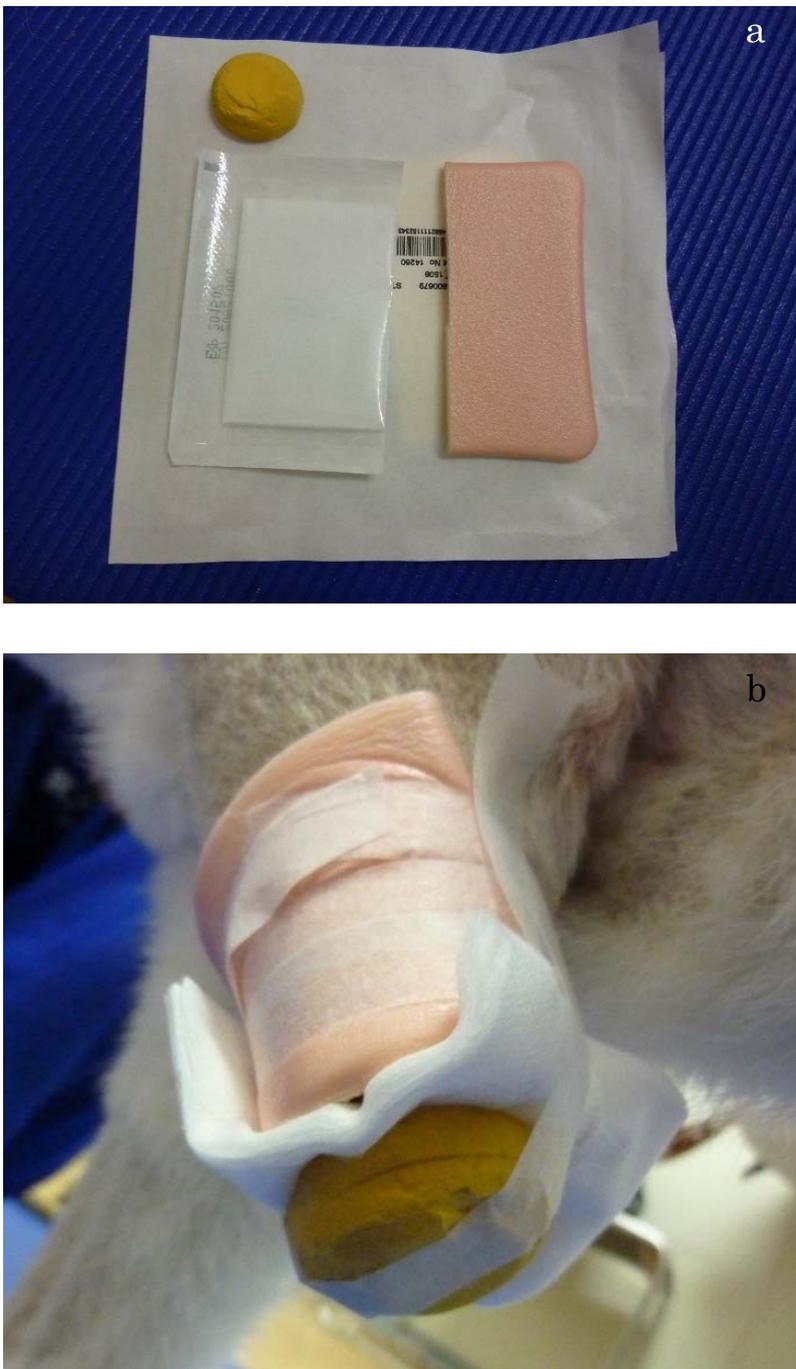


図 29. 断端に使用した保護材（a、左上：スポンジ、左：デルマエイド、  
右：ハイドロサイト）および保護材の適用（b）

- ・ 3号機：8月3日（術後40日目）～8月17日（術後54日目）

3号機は足部をステッキ状から板バネ状に変更した。2号機の歩様と変わらず駈歩になることが多かったが、静止時の着地頻度が増加した（図30a,b）。3号機の重量は220gであった。



図 30. 3号機の義足 (a) および装着時 (b)

・3号機改良型：8月17日（術後54日目）～11月3日（術後132日目）

改良型は、ソケットや装着システムの変更はせず、歩行時の安定性の獲得を目的として、板バネを義足の尾側にも取り付けて足部と地面の接地面を大きくした（図31a,b）。この改良により、足部の底面を転がすように歩行し、常歩での歩行頻度が増えた。また、なるべく歩行運動を妨げないように外側のバンドの面積を小さくし、さらに煩雑な装着手順を単純にするためにソケットの内側のライナーと外側のバンドを一体化して改良した（図32a,b）。



図 31. 3号機改良型の義足（a）および装着時（b）

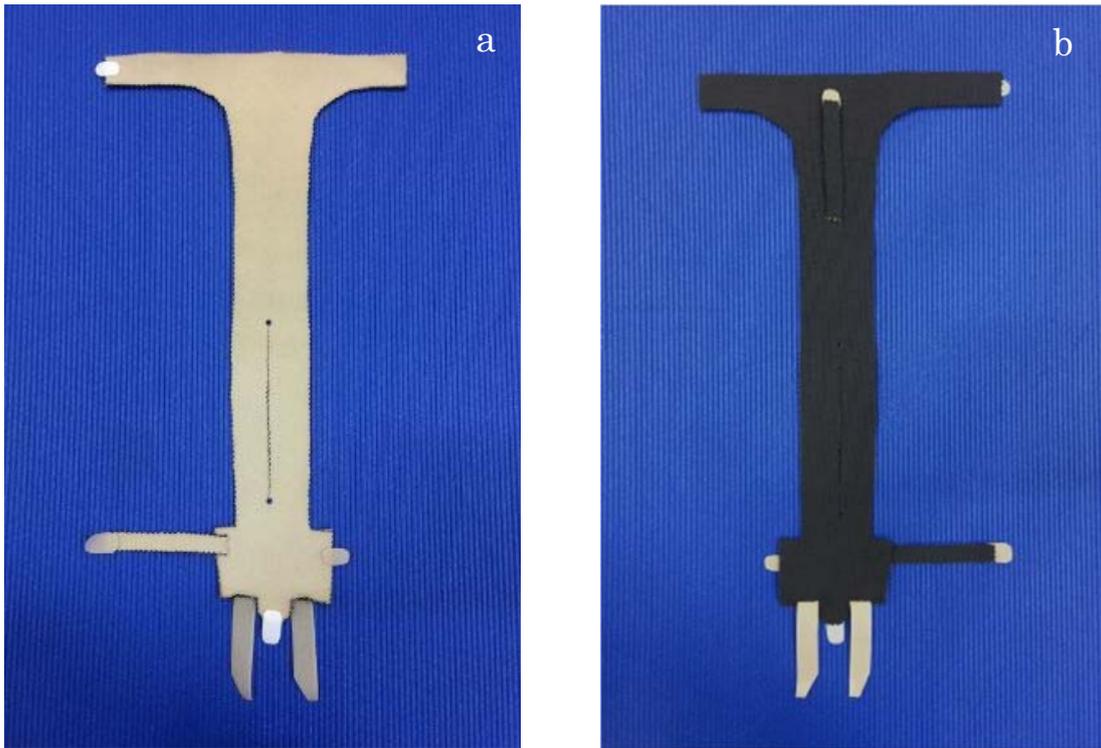


図 32. 改良したバンド 表 (a) および裏 (b)

・ 4号機：11月3日（術後132日目）以降

4号機では、3号機と同様に KISS システムを採用し、足部を症例 1 と同様の形状に変更した（図 33a,b）。厚さの異なるコルク板を組み合わせて足部においてアライメントや義足長を調整できるようにし、底面にカーブを付け、滑り止めのゴムを貼った。症例 1 と同様に足部の微調整が可能になり、急速に歩行が上達した。歩行および断端形状の安定を確認し、術後約 6 ヶ月目に義足を毛の色に合わせてプラスチックをコーティングし、仕上げた（図 34a-c）。4号機の最終的な重量は 213g であった。



図 33. 4号機の義足（a）および装着時（b）



図 34. プラスチックをコーティングした 4 号機の義足 (a、左から正面、側面)、装着時正面 (b) および装着時側面 (c)

## 2. リハビリテーション

### 【症例 1】

入院中のリハビリテーションは 1 日 2 回実施した（図 35）。手術翌日からマッサージを毎日 5 分間実施した。マッサージは、身体の軟部組織に対して用手で圧迫、牽引、滑走（スライド）などの負荷を与え、これによってリラックス効果や血流・リンパ流の促進、筋緊張の緩和などの効果を得ることを目的に実施した [5]。術後 4 日目から徒手による他動運動として、関節可動域運動およびストレッチを右肘関節にそれぞれ 17 回および 3 回、右肩関節にそれぞれ 12 回および 3 回実施した。関節可動域運動およびストレッチ運動は、関節の屈曲域と伸展域の維持または改善、筋肉・腱・靭帯の柔軟性の改善の一助として行った [4,5]。術後 9 日目から治癒促進を目的として縫合部にレーザー治療を 100J・2.0W・1 分 15 秒の条件で縫合部に実施した。レーザー光は、ほとんどが表在組織に吸収されるが、深部に到達したものが細胞の代謝を促進すると考えられており、炎症抑制、疼痛緩和にも効果があるとされている [6]。

装着および歩行訓練は、手術直後からは仮義足を使用し、術後 3 日目以降は本義足を使用した。義足を装着し、お座りと伏せを混ぜながら歩く訓練を実施した。訓練時間は 10 分間から始めて、症例の歩行および患肢の状態を見ながら時間を延長した。装着時間も経過に合わせて延長し、退院後も装着および歩行訓練を継続した。

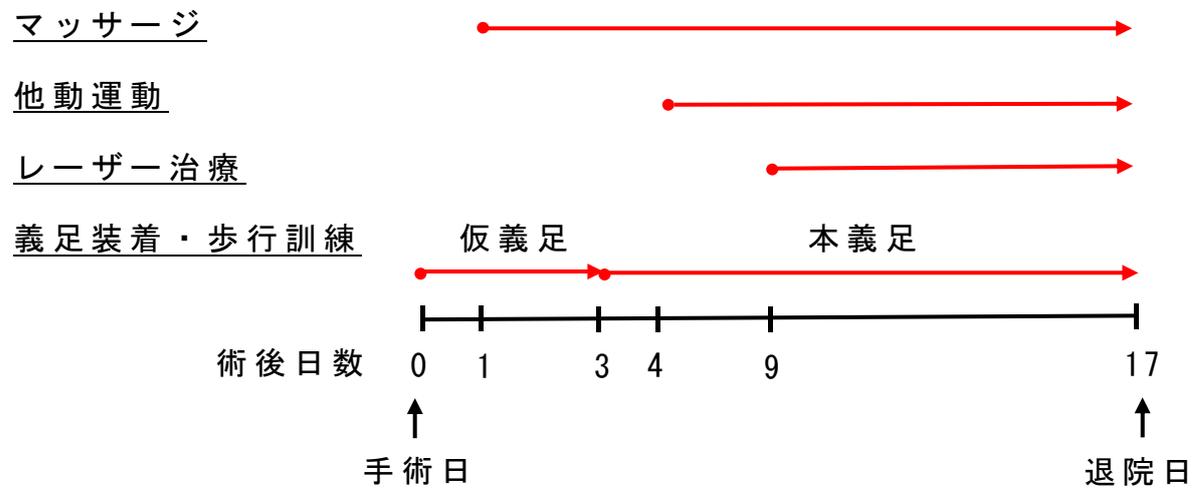


図 35. 症例 1 入院中のリハビリスケジュール

**【症例 2】**

入院中のリハビリテーションは 1 日 2 回実施した（図 36）。手術翌日からマッサージを毎日 5 分間実施した。術後 2 日目からピーナッツボールを用いた荷重訓練を追加した。術後 3 日目から徒手による他動運動として関節可動域運動を追加し、左肩関節に対して痛みの無い範囲で 30 回実施した。また、治癒促進を目的として縫合部にレーザー治療を 100J・2.0W・1 分 15 秒の条件で実施した。断端末の炎症が継続して認められたため、通院時にもレーザー治療を実施した。

装着および歩行訓練は手術直後からは仮義足を使用し、術後 4 日目に降は本義足を使用した。症例の歩行および患肢の状態を見ながら訓練の時間を延長し、退院後も訓練を継続した。しかし、症例 2 は義足への負重をあまりかけず、前進の際は駈歩になることが多く、歩行の上達が遅れたため、常歩パターンでの義足歩行の獲得を目的に、術後 43 日目から陸上トレッドミルを使用した歩行訓練を週 1～2 回、計 26 回実施した（図 37）。トレッドミルでの歩行の馴致から始めて、馴致後は歩行距離を徐々に延長し、最終的には 1 回の訓練で合計 600m 歩行した。歩行の際は複数名が症例をサポートし、歩行リズムに合わせて義足が前に出るように手で踏み出しを促した。飼い主はトレッドミルでの訓練時に症例の前方に位置し、好きなおやつを用いて歩行を誘導した。また自宅での散歩時には、義足の頭側に輪ゴムをつけ、義足を前に出すタイミングで輪ゴムを頭側に引き、より義足を前に出して歩行出来るように誘導した。継続的な歩行訓練および積極的な飼い主の協力の結果、18 回目（術後 100 日目）の訓練頃から常歩でのゆっくりとした歩行が可能となった。常歩パターンでの義足歩行獲得後、トレッドミルの傾斜を 1 度に設定して下り坂を作成し、訓練を強化した。

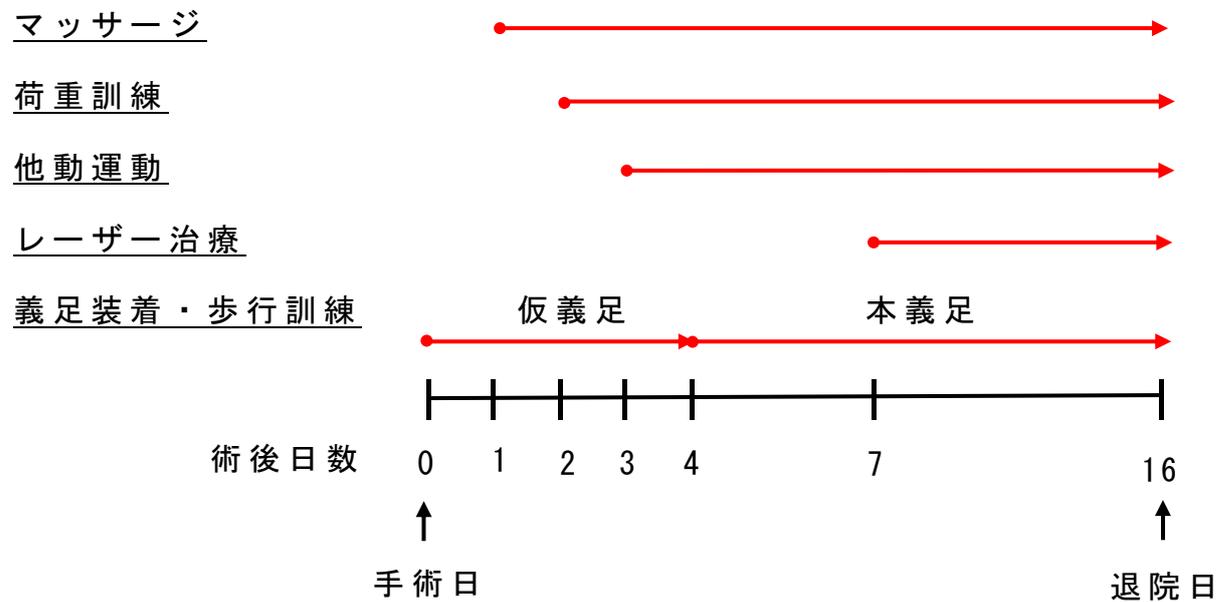


図 36. 症例 2 入院中のリハビリスケジュール



図 37. トレッドミルを使用した歩行訓練（20回目、術後110日目）

### 3. 患肢の評価

#### 1) 周囲長の変化

症例 1 では、術後の循環障害による浮腫や筋萎縮により周囲長が変動した。術後 2 ヶ月以降に安定傾向が認められた (図 38a)。

症例 2 では、術後の循環障害による浮腫や炎症による腫脹により周囲長が変動した。術後 3 ヶ月以降に安定傾向が認められた (図 38b)。

いずれの症例においても手術の際に剃毛した被毛が生え揃うことも周囲長に影響を与えていた。

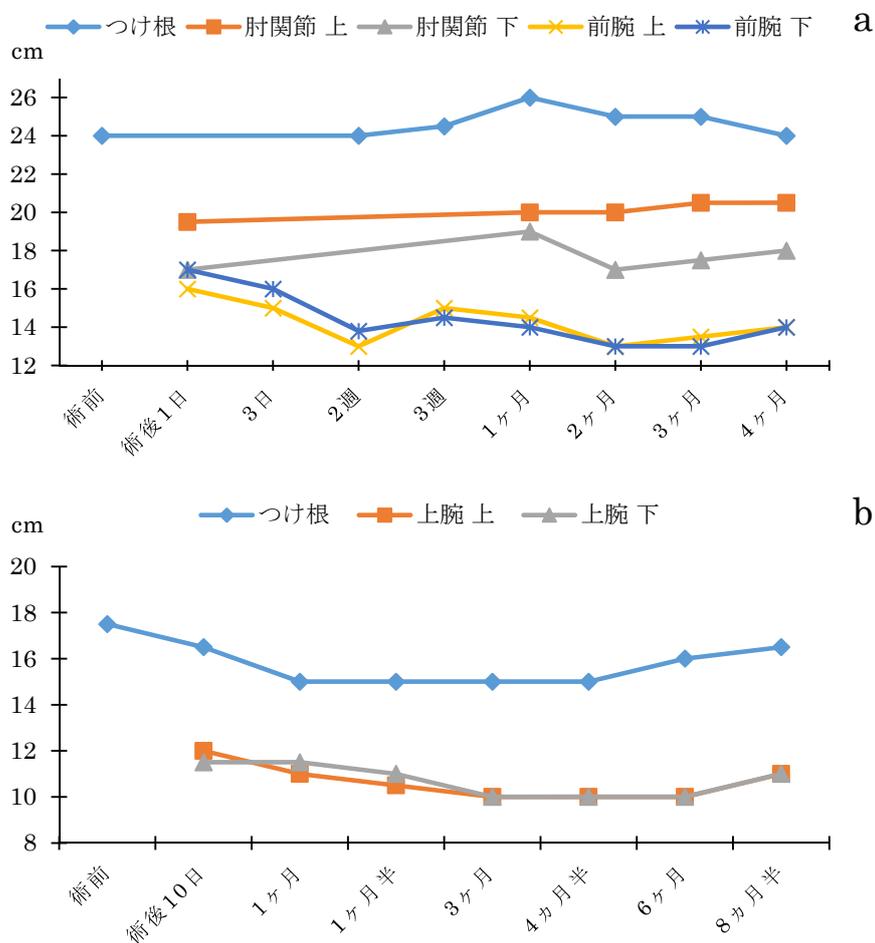


図 38. 患肢の周囲長 症例 1 (a) および症例 2 (b)

## 2) 関節可動域の変化

症例 1 では、患肢の肘関節の最大伸展時において、わずかに可動域制限が認められた。肩関節の最大屈曲時・伸展時、肘関節の最大屈曲時の関節角度に異常は認められなかった（図 39a-d）。

症例 2 では、患肢の肩関節の最大屈曲時・伸展時の関節角度に大きな異常は認められなかった（図 39e,f）。

図における「屈曲角」は最大屈曲時の関節角度、「伸展角」は最大伸展時の関節角度を意味する。ラブラドール・レトリバーの正常値[4]を図中の赤色のラインで示した（肩関節：屈曲角 57 度、伸展角 165 度、肘関節：屈曲角 36 度、伸展角 166 度）。

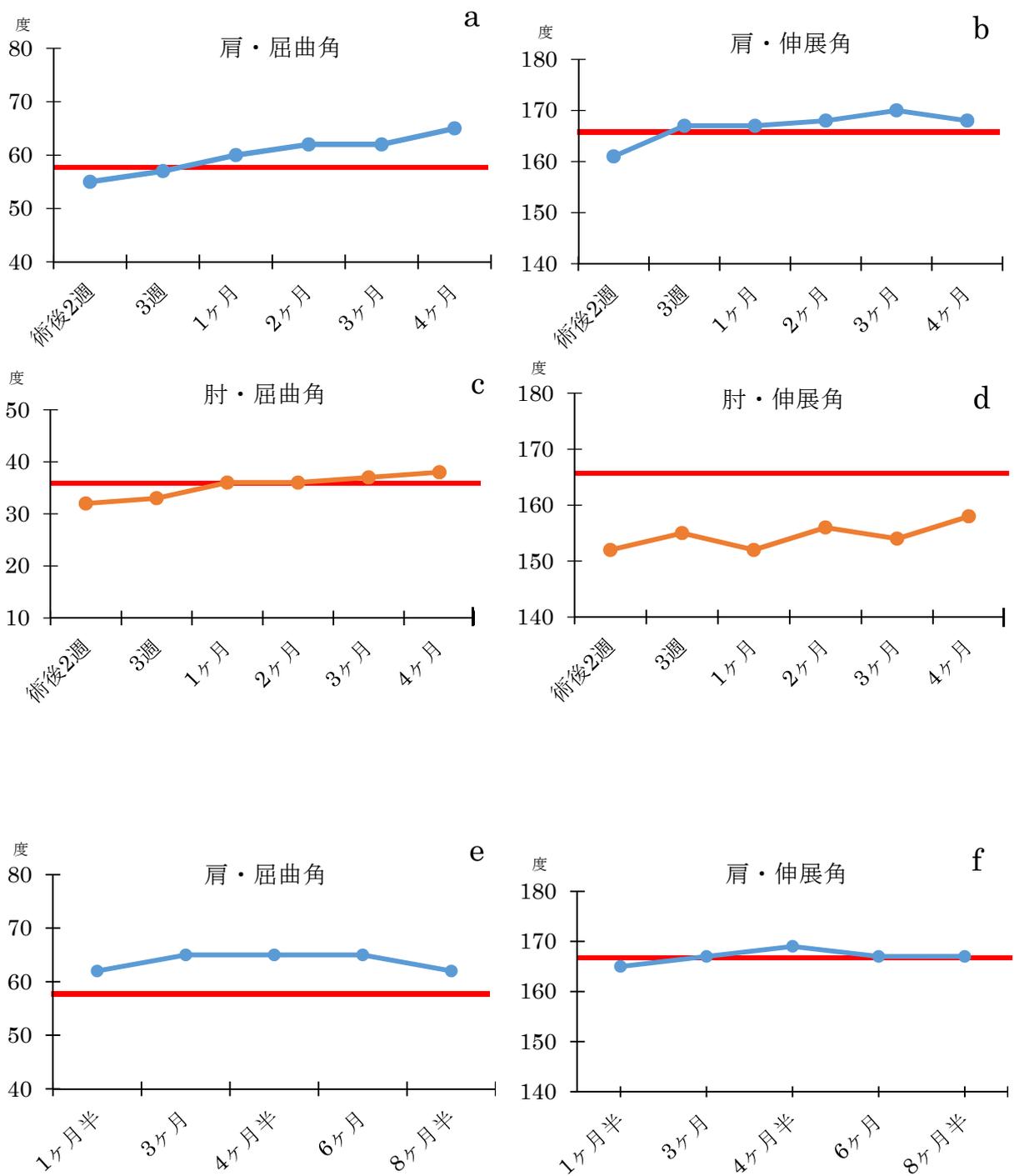


図 39. 関節可動域 症例 1 (a-d) および症例 2 (e,f)

### 3) 四肢荷重の変化

症例 1 では、荷重および歩行訓練により術後から徐々に患肢への荷重が増加し、他の肢への負担が軽減した。術後約 4 ヶ月で患肢、非患肢の荷重に大きな差は見られなくなり、正常値を示した（図 40a）。

症例 2 では、術後の疼痛や義足への不慣れにより患肢への荷重が減少したが、3号機改良型に変更後、大きく増加した。術後約 6 ヶ月で患肢および非患肢の荷重に大きな差は見られなくなり、ほぼ正常値を示した（図 40b）。

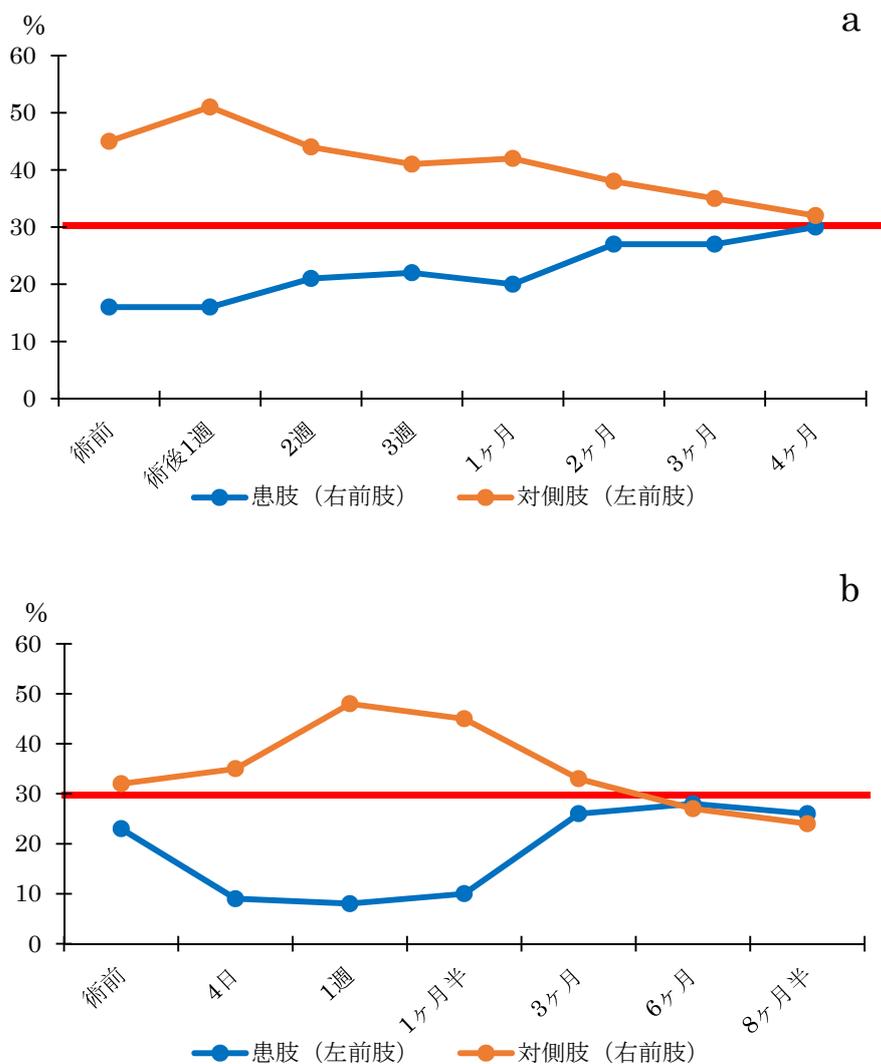


図 40. 前肢の荷重 症例 1 (a) および症例 2 (b)

#### IV. 考察

獣医療において犬の義足に関する情報はほとんどなく、本研究では義足の作成を依頼した義肢装具士からの人医療の情報を参考にして犬に義足を適用した。人における義足適用の過程を本症例へ直接導入できた部分もあったが、大部分は犬での適応のために変更・修正が必要であった。解剖学的構造および歩行様式の違いや言葉でコミュニケーションがとれないことなど人と異なる要素が多く、本研究によって動物における義足適用の成功のために必要な事項が明らかとなった。本研究では、症例 1 と 2 のいずれにおいても人医療で用いられている術直後義肢装着法を取り入れ、手術直後から人用の仮義足を装着し、早期から歩行訓練を実施した。このことは、犬においても患肢の負重促進・歩行感覚の維持および早期義足歩行獲得のために非常に有用であったと考えられた。義足の構成パーツは人用を真似て作成したが、患肢の解剖学的な出っ張りや窪みが人と異なるため、ソケットを拡張する部位やクッションを内貼りする部位を検討する必要があった。また、言葉でのコミュニケーションが不可能であるため症例を注意深く観察し、義足歩行において体重を掛けやすい位置および角度に複数のパーツで足部を調整し、義足歩行の上達を促す必要があった。

さらに、今回測定した評価項目は、犬の義足適用において非常に重要であった。人と同様に断端の周囲長が術後の循環障害による浮腫や筋萎縮により変動するため、随時、断端の形状に合わせたソケットの再成型を行う必要があったが、定期的に周囲長を測定して断端形状が安定する時期を確認することにより、義足を仕上げることができた。関節可動域測定によって、義足の適用が関節に及ぼす影響を評価することが可能であった。2 症例とも明らかな関節拘縮は認められなかったが、症

例 1 では肘関節の伸展において可動域制限が認められた。これは、切断後に患肢は屈曲位を維持する傾向があり、特に肘関節の伸展時間が短くなったためであると考えられる。これに対しては義足歩行のさらなる上達により肘の伸展が促されるため、改善することが期待された。四肢の荷重測定により、義足への荷重および義足適用による他肢の負担軽減を評価することが可能であった。症例の義足に対する順応を数値で評価することができ、飼い主の意欲を上げることにもつながった。

人医療において、義足には確立した様々な体重支持方法と懸垂方法があり、切断部位に応じてそれぞれ適用する。しかし獣医療においては切断部位に応じた義足の適用に関する情報はほとんどない。本研究では、症例 1 は右前腕中間部での切断、症例 2 は左肘関節での離断を実施し、切断レベルの違いによりそれぞれ異なるタイプの義足を適用した。症例 1 のように肘頭が温存され比較的断端が長い症例では、義足歩行獲得は困難ではなく、義足の形状は単純であった。今後、前腕中間部切断症例に対しては肘頭に掛けたベルトで懸垂する形状の義足の適用を推奨する。一方、症例 2 のように肘頭が存在せず断端が短い場合、義足歩行の獲得は困難であり、義足の形状および装着方法は複雑であった。我々は今後、肘関節離断症例に対して本研究と同様の方法を採用する予定だが、今回と同様に目的が達成できる可能性は決して高くないと思われる。しかし、対象とする動物および飼い主の協力により義足歩行獲得の可能性は飛躍的に上がるであろう。

動物の義足に関する情報は少ないが、動物の義肢装具を手掛ける東洋装具医療器具製作所の代表者の著書によると、本研究の症例 1 と同様に肘関節を温存した場合、肘関節、肩関節および肩甲骨の動きにより、歩行時の遊脚期において地面と義足の先との距離を確保しやすく、

どの症例も積極的に患肢を使って義足歩行ができていたとしている [11]。しかし、彼らが前肢に対して義足を作成した症例は全て肘関節の機能が十分に温存されており、肘関節の機能を失った症例の経験はなかった。我々が知る限り、世界的にも肘関節離断の症例に対する義足適用の報告はない。このような現状において、本研究では肘関節離断の症例 2 に対して、完成までに長い期間を要したが義足歩行獲得の目的を達成し、術後早期からの継続的な歩行訓練により実現可能であることが明らかとなった。

今後は、後肢における切断レベルの違いによる義足設計についても検討が必要である。前肢と後肢では解剖学的形状が大きく異なり、また前肢は後肢と比較して掛かる荷重が多く、後肢は前肢と比較して筋肉量が豊富で駆動における寄与が大きいことから前肢と後肢の役割はわずかに異なる。これらを考慮し、適切な義足適用が必要である。

断端末の皮膚の処理において縫合部を症例 1 では内側、症例 2 では頭側に作成し、症例 2 で縫合部の治癒および歩行上達が遅れた。これらの原因の一つとして、縫合部を頭側に作成した場合、義足を振り出す際にソケットが縫合部に当たることによって持続的に刺激し、治癒の遅延と疼痛を誘発した可能性が考えられた。したがって、術直後義肢装着法を適用する場合、断端末の縫合部を尾側に作成することによって歩行時の患部への負担が軽減され、早期の治癒および歩行の上達が促されることが示唆された。

本研究の 2 症例に発生した軟部組織肉腫および軟部組織肉腫の一種である未分化肉腫は間葉起源の組織に由来し、ほぼすべての解剖学的部位から生じ得る悪性腫瘍である [1,2]。犬と猫の軟部組織肉腫の年間発生率はヒトに比べるとはるかに多く、犬の発生率は猫の 2 倍であり、

特に大型犬で多く、さらに老齢犬で多く発症する [14,15] これらが肢に発生した場合の治療法として、断脚術（前肢では肩甲帯離断、後肢では股関節離断）または患肢温存術が選択される。患肢を温存した場合、局所再発や転移の確率の増加が危惧されるが、Morello ら [7] の報告によると断脚した症例と比較して、自家骨移植によって患肢を温存した症例はその後の生存期間に差がなかった。ただし、彼らの研究では抗がん剤を併用していた。義足適用を目的として患肢を温存した場合においても局所再発や転移が懸念されるが、この問題に関しては、今後、症例を重ねることによって明らかにしていかなければならないと考えている。

本研究の 2 症例は義足歩行の獲得により発症前とほぼ同様に散歩や運動が可能であり、QOL の低下を防止できたと考えられ、飼い主の満足度も非常に高いものであった。今回の義足適用の成功は、獣医師、動物理学療法士、義肢装具士の連携、さらに飼い主の理解と積極的な協力が不可欠であったと考えられた。

## V. 総括

獣医療においては義足の適用を飼い主に提案できる施設および獣医師が少なく、動物の義足に関する報告や情報は非常に少ない。本研究は、片側前肢手根部周辺に発生した軟部組織肉腫治療のため、従来は肩甲骨からの断脚を選択した症例に対して患肢温存術を実施し、切断レベルの異なる2症例の義足適用について検討した。

義足の適用は人医療の情報をもとに実施したが、人と異なる要素が多く、犬の解剖学的構造および歩行様式に合わせて変更・修正が必要であった。2症例ともに人医療で用いられている術直後義肢装着法を取り入れ、早期から歩行訓練を開始したことが、その後の義足歩行獲得に有効であったと考えられた。また、歩行をよく観察し、症例が荷重を掛けたい位置に足部を移動することや歩行が容易になるように角度を調整して上達を促すことが重要であった。さらに、客観的指標を用いることは、義足に対する順応の評価や仕上げのタイミングの判断など義足適用において重要であった。

前腕中間部での切断と異なり、肘関節離断では肘頭が存在せず断端が短いため、義足の形状および装着方法は複雑であり、義足歩行獲得までに時間を要した。しかし適切な歩行訓練、義足デザインの改良および飼い主の協力により実現可能であることが明らかとなった。

動物への義足適用に関する情報は少ないが、本研究では切断レベルの異なる2症例に対して義足を適用し、いずれの症例においてもQOLの維持・改善を達成し、飼い主の満足度も非常に高いものであった。したがって、今後も症例を重ねることにより、動物用義足の普及および訓練方法を確立していく必要があると考えられた。

## VI. 謝辞

本研究において、ご協力を賜りました酪農学園大学附属動物医療センター腫瘍科の廉澤剛教授、遠藤能史講師をはじめとする腫瘍科の皆様、北海道科学大学義肢装具学科の松原裕幸先生に心からお礼申し上げます。

本論文の作成にあたり、主査としてご指導ご鞭撻を頂きました本学附属動物医療センター麻酔科の山下和人教授に心より感謝致します。また、副査として本論文をご精読頂き、ご助言を賜りました本学獣医学群獣医保健看護学類比較動物薬理研究室の北澤多喜雄教授、本学附属動物医療センター画像診断科の中出哲也教授、本学獣医学群獣医保健看護学類動物集中管理研究室・本学附属動物医療センター集中治療科の佐野忠士准教授に深謝致します。本研究にあたり直接の御指導を頂いた椿下早絵准教授に感謝致します。

そして、歩行訓練を頑張って義足歩行を獲得した 2 頭の犬たち、多大なご協力を頂いた飼い主様に深く感謝いたします。

## VII. 引用文献

1. Bray, J. P. 2016. Soft tissue sarcoma in the dog - part 1: a current review. *J. Small Anim. Pract.* **57**:510-519.
2. Choi, H., Kwon, Y., Chang, J., Jeong, S., Lee, H., Kim, J., Jung, J. and Lee, Y. 2011. Undifferentiated pleomorphic sarcoma (malignant fibrous histiocytoma) of the head in a dog. *J. Vet. Med. Sci.* **73**:235-239.
3. Fossum, T. W. 若尾義人. 田中茂男. 多川政弘 翻訳. 2008. 第31章 整形外科手術と骨折治療の基本. *SMALL ANIMAL SURGERY*. 第3版下巻. インターズー. 東京
4. 藤永徹. 2015. 小動物のリハビリテーション入門. 第1版. インターズー. 東京
5. Hesbach, A. L. 2014. Manual therapy in veterinary rehabilitation. *Top. Companion Anim. Med.* **29**:20-23.
6. Lindley, S., Watson, P. 長谷川篤彦 監修. 2012. 第9章 理学療法と身体のリハビリテーション. 犬と猫におけるリハビリテーション, 支持療法および緩和療法—疾病管理に関する症例検討—. 第1版. 学窓社. 東京
7. Morello, E., Buracco, P., Martano, M., Peirone, B., Capurro, C., Valazza, A., Cotto, D., Ferracini, R. and Sora, M. 2001. Bone allografts and adjuvant cisplatin for the treatment of canine appendicular osteosarcoma in 18 dogs. *J. Small Anim. Pract.* **42**:61-66.
8. Piermattei, D. L., Flo, G. L. and DeCamp, C. E. 原康. 林慶 監訳. 2010. 第2章 骨折の分類, 診断, ならびに治療. 小動

- 物の整形外科・骨折治療ハンドブック．第4版．インターズー．東京
9. 澤村誠志．2007．切断と義肢．第1版．医歯薬出版株式会社．東京
  10. 澤村誠志．田澤英二．2015．義肢学．第3版．医歯薬出版株式会社．東京
  11. 島田旭緒．2015．動物の義肢装具療法．*ARCH*．4:68-81.
  12. 正門由久．赤居正美．2014．義肢装具のチェックポイント．第8版．医学書院．東京
  13. 田澤英二．滝吏司．2001．義肢装具のデザイン．日本義肢装具学会誌．17:181-187.
  14. Withrow, S. J., Vail, D. 加藤元 監訳．2010．小動物臨床腫瘍学の実際．第1版．文永堂出版株式会社．東京
  15. Withrow, S. J., MacEwen, E. G. 加藤元．大島慧 監訳．1995．小動物の臨床腫瘍学．初版．文永堂出版株式会社．東京
  16. 八幡済彦．君崎重宗．2008．KISSシステムを使用した大腿義足の製作経験．日本義肢装具学会誌．24:170-171.