

博士論文

末梢動脈疾患患者に対する血行再建術(血管内治療)前後の歩行解析

～三次元動作解析を用いた検討～

東北大学大学院医学系研究科医科学専攻

外科病態学講座 消化器外科学分野

小笠原 紀信

目次(1)

I.要約	8
II.研究背景	11
1 末梢動脈疾患の概論	
2 歩行解析の概論	
3 PAD 患者に対する三次元動作解析を用いた歩行観察研究について	
4 PAD 治療の現状	
III.研究目的	19
IV.研究方法	20
1 研究対象者	
2 Endovascular therapy	
3 フォローアップ	
4 計測方法	
(1)三次元動作解析	
(2)時間距離因子、運動力学的因子、Trailing Limb Angle のデータ解析	
(3)トレッドミル歩行試験	
(4)ABI	
(5)WIQ	
5 統計解析	

目次(2)

V.研究結果	27
--------	----

1 大動脈腸骨動脈領域病変患者における検討

1-1 参加者

1-2 対象者の背景（脱落者、健常者との比較）

1-3 患肢の症状、病変の特徴

1-4 Endovascular therapy

1-5 経過中の有害事象

1-6 測定結果

(a) ABI

(b) 歩行距離と RT

(c) WIQ

(d) 時間距離因子

(e) 運動力学的因子 関節モーメント

(f) 運動力学的因子 関節パワー

(g) Trailing Limb Angle

(h) 健常者との歩行パラメータの比較

2 大腿膝窩動脈領域病変患者における検討

2-1 参加者

目次(3)

2-(2) 対象者の背景

2-(3) 患肢の症状、病変の特徴

2-(4) Endovascular therapy

2-(5) 経過中の有害事象

2-(6) 測定結果

(a) ABI

(b) 歩行距離と RT

(c) WIQ

(d) 時間距離因子

(e) 運動力学的因子 関節モーメント

(f) 運動力学的因子 関節パワー

3 大動脈腸骨動脈領域病変と大腿膝窩動脈領域病変における術前パラメータ比較

3-(1) 参加者

3-(2) 対象者の背景

3-(3) 患肢の症状、病変の特徴

3-(4) 測定結果

(a) 歩行距離と RT

(b) WIQ

目次(4)

(c) 時間距離因子

(d) 運動力学的因子 関節モーメント

(e) 運動力学的因子 関節パワー

VI. 考察	42
1 大動脈腸骨動脈領域病変患者での検討	
2 大腿膝窩動脈領域病変患者における検討	
3 大動脈腸骨動脈領域病変と大腿膝窩動脈領域病変における術前パラメータ比較	
4 本研究の知見から得られた将来の展望	
5 本研究の限界	
VII. 結論	62
VIII. 謝辞	63
IX. 文献	64
X. 図の説明	77
XI. 図	85
XII. 表	116

略語一覧(1)

ABI: ankle-brachial index, 足関節上腕血圧比

AD: ankle dorsiflexor moment, 足関節背屈モーメント

AI: aortoiliac, 大動脈腸骨動脈領域

AP: ankle plantar flexor moment, 足関節底屈モーメント

CLTI: chronic limb-threatening ischemia, 包括的高度慢性下肢虚血

CTA: computed tomography angiography, CT アンギオグラフィー

DIFF: data interface file format

EVT: endovascular therapy, 血管内治療

FP: femoropopliteal, 大腿膝窩動脈領域

HE: hip extensor moment, 股関節伸展モーメント

HF: hip flexor moment, 股関節屈曲モーメント

IQR: inter quartile range, 四分位範囲

IVUS: intravascular ultrasonography, 血管内超音波

KE: knee extensor moment, 膝関節伸展モーメント

KF: knee flexor moment, 股関節屈曲モーメント

MWD: maximum walking distance, 最大歩行距離

PAD: peripheral arterial disease, 末梢動脈疾患

PSVR: peak systolic velocity ratio, 収縮期最高血流速度比

略語一覧(2)

PWD: pain free walking distance, 無痛歩行距離

QOL: quality of daily life, 日常生活の質

ROM: range of motion, 関節可動域

RT: recovery time, 回復時間

TLA: trailing limb angle

WIQ: Walking impairment Questionnaire

I. 要約

【背景】

末梢動脈疾患 (peripheral arterial disease: PAD) において、間歇性跛行は患者の歩行を障害し、その生命予後不良に関与する。三次元動作解析による歩行観察研究は、PAD 患者における時間距離因子 (ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度) や運動力学的因子 (関節モーメント、パワー) の低下を明らかにした。更に、近年は運動療法等の治療効果の評価に対しても用いられている。

間歇性跛行を有する PAD 患者に対し血管内治療 (Endovascular therapy: EVT) が一般的に行われ、歩行距離を延長する効果が知られる。しかし、EVT が患者の歩容へ与える影響については未だに明らかでない。間歇性跛行を有する PAD 患者に対する EVT が歩容へ与える影響を明らかにするため、三次元動作解析を用いた前向き観察研究を行った。

【目的】

大動脈腸骨動脈領域および大腿膝窩動脈領域に病変が限局した、間歇性跛行を有する PAD 患者の歩容に対する EVT の影響を三次元動作解析を用いて明らかにする事を目的として本研究を行った。

【方法】

間歇性跛行を有する PAD 患者のうち、大動脈腸骨動脈領域に病変が限局した 10 人 14

肢、大腿膝窩動脈領域に病変が限局した 3 人 4 肢、健常者 10 人 10 肢を対象とし、三次元動作解析装置による 7m 快適歩行時の歩行パラメータの計測を行った。歩行パラメータは、時間距離因子としてストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度を算出し、運動力学的因子として立脚期、矢状面における股関節、膝関節、足関節の関節モーメントと関節パワーを算出した。

術前、EVT 後 1 週間、1 か月、6 か月の 4 時点で計測を行い、歩行パラメータの時系列変化を統計学的検定を用いて検討した。また、同患者の術前、術後の歩行パラメータと健常者の歩行パラメータを比較検討した。

【結果】

大動脈腸骨動脈領域に病変が限局した PAD 患者 10 人 14 肢において、術前と比較して、EVT 後 1 か月で全ての時間距離因子（ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度）、股関節屈曲モーメント（HF）、股関節屈曲筋による大腿振り上げのパワー（H3）が有意に改善した。その改善は 6 か月まで維持された。

健常者との比較では、PAD 患者の術前に有意に低下していた関節モーメント（HE、KE）、関節パワー（H2、H3、K2、K3、A2）において術後 6 か月時点で有意差がなくなった。しかし、時間距離因子（ストライド長、ステップ長、歩行速度）は術後 6 か月でも有意な低下が残存していた。

大腿膝窩動脈領域に病変が限局した 3 人 4 肢でも、同様に全ての時間距離因子、一部

の関節モーメント（HE、HF、KE、AP）、一部の関節パワー（H1、H2、H3、K1、K2、K3、A2）において、1か月で改善が見られた。

【結論】

大動脈腸骨動脈領域に病変が限局した PAD 患者では、EVT 後 6 か月で患者の運動力学的因子が健常者に近付いたと言えるが、時間距離因子の低下が残存していた。患者歩行の更なる改善のためには EVT と運動療法の併用等の治療戦略が必要と考えられ、今後の研究が望まれる。

大腿膝窩動脈領域に病変が限局した PAD 患者においても EVT 後に時間距離因子、運動力学的因子の改善が見られた。病変部位ごとの特徴等を明らかにするべく、症例数の蓄積と更なる解析が必要と考えられた。

II. 研究背景

1 末梢動脈疾患の概論

末梢動脈疾患（peripheral arterial disease: PAD）は2007年1月に発表された Trans-Atlantic Inter-Society Consensus for the Management of peripheral Arterial Disease (TASC-II) 以降に普及した疾患概念である¹⁾。本論文では、PAD を狭義の PAD（いわゆる 下肢閉塞性動脈硬化症）として使用する。

PAD は臨床的には安静時足関節上腕血圧比（Ankle-Brachial index: ABI）0.9 未満と定義され、全世界で増加傾向にあり、少なくとも 2 億人以上²⁾の患者がいると言われる。特に 発展途上国での患者増加が目立ち、先進国のみならず全世界的な健康問題、経済的負担 となっている。

欧米の報告では、PAD は高齢者ほど有病率が高く、50 歳未満での罹患は 1%前後と稀であるが、70 歳以上では 15~20%に達する³⁾。本邦では一般成人で有病率が 1~3%、65 歳以上の高齢で 3~6%とされ欧米より低いが、糖尿病患者では 5~10%、心血管疾患、脳血管疾患患者では 10~20%と推定され、頻度の高い疾患である⁴⁾。また、心血管疾患や脳血管疾患のどちらかあるいは両方を合併する PAD 患者は 61.5%と報告され、全身の動脈硬化性疾患として捉える必要がある⁵⁾。後述する間歇性跛行を有する PAD 患者において、病変が進行し大切断に至るものが 1~2%とその肢予後は必ずしも悪くないとされる一方、5 年生存率は 70~80%と報告され、その生命予後は不良である。死因の多くは心血管疾患や脳血管疾患である^{1), 6)}。そのため、喫煙、高血圧症、脂質異常症、糖尿病、慢性腎臓病等の動脈

硬化リスク因子は全 PAD 患者において是正が推奨されている^{7), 8)}。

PAD 患者の約 80%は無症候性 PAD と言われる⁹⁾。症候性 PAD の中で約 8 割と最も頻度が高い症状が間歇性跛行である。間歇性跛行は運動により生じ、安静により軽減する再現性のある不快感や疼痛と定義される。動脈病変により末梢側の血流が運動時の酸素需要に対して不十分となり、骨格筋の虚血を来し症状を呈する。疼痛部位は下腿後面が多いが、動脈病変部位により大腿部や臀部にも生じる¹⁰⁾。虚血による嫌気性代謝産物は数分間の歩行停止で解消されるため、再度同等の距離が歩行可能となる。間歇性跛行は患者の連続歩行距離^{11), 12)}、歩行速度¹²⁾、下肢筋量¹³⁾、筋力¹⁴⁾、運動耐用能¹⁵⁾と日常生活での活動性¹⁶⁾を低下させると報告されている。

PAD 患者の約 5%では、動脈病変がより進行し、高度虚血のため安静時痛から難治性潰瘍、組織壊死を来す。重度の下肢虚血に加え、神経障害や感染症など肢切断リスクをもつ状態を包括的高度慢性下肢虚血 (Chronic limb-threatening ischemia: CLTI) と呼び¹⁷⁾、早急な治療介入を必要とする。

これら PAD 患者の一連の症候の重症度分類には Fontaine 分類や Rutherford 分類が用いられる。(図 1)

2 歩行解析の概論

間歇性跛行はその特徴から患者の歩行を障害する症候として捉えられ、歩行観察研究がこれまで数多く行われてきた^{18), 19)}。

歩行は周期的な一連の運動であり、その運動単位を歩行周期と呼ぶ。一歩行周期は足が床につく瞬間に始まり、同じ足が次に接地したときが終了点となる。歩行周期は一側下肢が地面についている立脚期と、地面から離れ前方へ振り出される遊脚期に分けられ、それぞれ歩行周期の 60%、40%を占めている。立脚期は初期接地、荷重応答期、立脚中期、立脚終期、前遊脚期に、遊脚期は遊脚初期、遊脚中期、遊脚終期に区分される。(図 2)

歩行観察を行う際に最も基本的なパラメータとして、ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度といった時間距離因子がある。ストライド長は一側の踵が接地して、次に同側の踵が再び接地するまでの距離を指し、ステップ長は一側の踵が接地して、次に反対側の踵が接地するまでの距離をいう。(図 3) ケイデンスは歩行率とも呼ばれ、1 分間の歩数を指す。歩行速度は年齢や体格(身長、体重)による個人差が大きいが、個人の歩行能力の最も優れた、最も機能的な指標と考えられている²⁰⁾。一般的に、歩行速度を上昇させる場合、ストライド長、ステップ長、ケイデンスが増加することが知られる。

また、歩行速度には関節モーメントや関節パワーといった運動力学的因子が関与することが知られている²¹⁾。関節モーメントは、身体に加わる外力が関節を回転させようとする外部モーメントに抗して発生する身体内部のモーメントである。これは床反力計によって計測される床反力から求める。矢状面を例とすると、床反力が各関節の軸の前方もしくは後方を通ることで、関節周りに回転力(外部モーメント)が生じる。(図 4) この外部モーメントに拮抗する力が関節モーメントである。関節モーメントは関節周囲の筋活動に関係しており、筋が発揮している力として捉えられることが多い。関節モーメントを算出することで、動作中

の筋力を定量的に推定できる。関節パワーは関節モーメントと角速度の積で算出される。関節パワーは筋の単位時間当たりの仕事（仕事率）であり、観察する筋の活動時間に渡りパワーを積分することで仕事量が計算される。関節パワーを算出することで筋の収縮形態と、エネルギーの流れや関節運動への寄与の程度を知ることができる。関節パワーが正の場合、関節モーメントと同じ方向に関節運動が行われ、筋は短縮し求心性収縮している。この時エネルギーが産生され、筋から体肢へエネルギーが移動している。関節パワーが負の場合、関節モーメントと逆方向に関節が回転し、筋は伸長し遠心性収縮を行っている。この時エネルギーは体肢から筋へ移動し、筋によるエネルギー吸収が行われる。これらの運動学的因子は、三次元動作解析から得られた関節角度、角速度等の運動学的因子と床反力計のデータから逆動力学的アプローチで算出することができる²²⁾。

運動学的因子の他に、歩行速度には立脚終期の前方への推進力が関与することが指摘されている²³⁾。立脚終期の前方への推進力は同時期の足関節底屈モーメントと下肢の位置（Trailing Limb Angle: TLA）が強く関連することが指摘され、研究が進んでいる²⁴⁾。TLAは立脚終期の下肢の位置を定量化したパラメータであり、大転子と第5中足骨頭を結ぶ線と垂直軸（Z軸）のなす角度と定義されている²⁵⁾（図5）。TLAが増大すると前方への推進力、歩行速度が増大する関係が明らかになっており、TLAは脳卒中リハビリテーション等の分野において重要なパラメータと認識されている²⁶⁾。

3 PAD患者に対する三次元動作解析を用いた歩行観察研究について

これまでの PAD 患者に対する歩行観察研究により、PAD 患者では健常者と比較し、ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度といった時間距離因子が低下していることが明らかになった^{18), 19)}。近年は三次元動作解析によって PAD 患者の関節角度^{27), 28), 29)}、関節モーメント^{29), 30), 31)}、関節パワー^{30), 31), 32)}、仕事量の低下³²⁾といった運動学的因子、運動力学的因子の異常が明らかになった。また、これまでは跛行症状が下腿後面に出現しやすいことを理由に、足関節底屈筋に注目した研究が多く、足関節底屈モーメント (AP) や立脚終期の足関節パワー産生 (A2) の低下が多く報告され、同時に股関節や膝関節の異常も示唆されてきた^{30), 31), 32)}。

しかし、これまでの PAD 患者の運動力学的因子に関する研究では、動脈病変部位について報告されない、もしくは動脈病変部位が混在しているという問題があった。PAD 患者における動脈病変部位は、大動脈腸骨動脈領域、大腿膝窩動脈領域、膝下領域に分類¹⁾され、様々な評価や検討を行う際に使用されてきた。(図 6) これらのどの部位に動脈病変が存在するかによって、虚血の影響を受ける部位が異なり、運動力学的因子に影響する可能性がある。

動脈病変部位の統一が PAD 患者の歩行を比較する際に重要であるという考えから、我々は大動脈腸骨動脈領域にのみ病変を持つ PAD 患者に限定した三次元動作解析を用いた歩行観察研究を行った³³⁾。この研究では、大動脈腸骨動脈領域に病変が限局する PAD 患者では健常高齢者と比較して、ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度などの時間距離因子が低下し、股関節屈曲筋の機能障害に関連した関節モーメント (HF) や

パワー（H3）が特に低下していた。これは足関節底屈筋に注目されていた従来の研究報告とは異なる結果であり、大動脈腸骨動脈領域という病変部位の特徴を捉えたものと考えられた。

4 PAD 治療の現状

間歇性跛行を有する PAD 患者への治療には、薬物療法、運動療法、血行再建術がある。各学会のガイドラインでは、適切な生活指導・リスク因子管理を行った後、治療の第一選択として監視下運動療法が強く推奨されている^{4), 7), 8), 10)}。

監視下運動療法とは、理学療法士の付き添いのもとで、週に少なくとも 3 回、3 カ月以上運動療法を行う治療である。運動の内容は様々なものが検討・研究されてきたが、現時点ではトレッドミル歩行運動が効果的とされている。一般的には、患者が歩行開始後 3-5 分程度で跛行症状が出現する程度の歩行速度・傾斜に設定し、中等度の跛行症状になるまで歩行させる。痛みが治まるまで休憩した後、同様に中等度の跛行が出現するまで歩行する。この繰り返しを初回は少なくとも 30 分継続し、徐々に 60 分程度まで延長する³⁴⁾。監視下運動療法は血行再建術と同等の最大歩行距離延長効果が期待される³⁵⁾が、実臨床ではあまり利用されていない。その理由として、頻回の通院が困難、アドヒアランスが低い、内包する脳心血管イベント発症リスク等の患者側の問題と、理学療法士のマンパワーの問題、保険で認可された監視下運動療法施設が非常に少ない等の治療者側の問題が挙げられる⁴⁾。

監視下運動療法が困難な症例には、その効果は劣るが非監視下運動療法（在宅運動療法）が推奨される。ただしその運動内容、正しい運動の習得のための患者教育方法など明確な指針が未だなく、課題も多い状況である^{36), 37)}。

各学会のガイドラインでは、これら運動療法を行った後、効果が不十分な患者に対し血行再建術を考慮するよう推奨している^{4), 7), 8), 10)}が、上記の理由から血行再建術が第一選択として実施されることが多いのが現状である。血行再建術には血管内治療（Endovascular therapy: EVT）と外科的手術（バイパス術等）がある。

従来は単純・短区間病変の治療は EVT、複雑・長区間病変は外科的手術が推奨されてきた¹⁾が、近年は技術・デバイスの進化により、低侵襲に行える EVT の割合が増大している。

特に大動脈腸骨動脈領域においては、EVT の短期、長期成績が良好（特に5cm以下の短区間病変では5年間の二次開存率80%以上³⁸⁾）かつ合併症が少ないと報告され、EVT が治療の中心となっている。一方、大腿膝窩動脈領域では、大動脈腸骨動脈領域よりも血管径が細く、股関節や膝関節運動の影響を受けやすい解剖学的特徴から、EVT の成績は劣る傾向がある。近年の薬剤溶出性ステント使用例の報告では5年間の一次開存率が66%である³⁹⁾。一方で、自家静脈を使用したバイパス術の5年開存率は80%以上⁴⁰⁾と報告されている。しかし、その低侵襲性から総大腿動脈病変を除き、大腿膝窩動脈領域でも25cm以下の病変にはEVTを考慮して良いとガイドラインに記載されている⁸⁾。膝下領域では、更に血管径が細くデバイスの留置に適さないため、EVTの成績は更に悪い。末梢血流

をより悪化させるリスクもあり、通常膝下領域への血行再建術は跛行患者に行われない。

実臨床での跛行患者への治療は、前述のように監視下運動療法は十分に活用されず、大動脈腸骨動脈領域、大腿膝窩動脈領域いずれにおいても EVT が一般的に行われている。

EVT には ABI の上昇、跛行症状の改善、歩行距離の延長、日常生活の質 (Quality of daily life: QOL) の改善効果があること³⁵⁾は良く知られているが、歩容に与える影響については未だ明らかになっていない。特に、EVT 後の運動力学的因子等を報告した症例は知限りでは無い。そこで、我々は先行研究の結果³³⁾をもとに、大動脈腸骨動脈領域への EVT は、股関節屈曲筋の機能障害に由来する関節モーメント (HF)、関節パワー (H3) を改善させる。という仮説を立て、この前向き観察研究を行った。

また、大腿膝窩動脈領域に病変が限局した患者における時間距離因子、運動力学的因子の変化は未だに明らかではない。そこで、大腿膝窩動脈領域に病変が限定される患者でも同様の計測・解析を行い、大動脈腸骨動脈領域患者の結果と比較を試みた。

Ⅲ.研究目的

間歇性跛行を有する PAD 患者の歩容に対する EVT の影響を明らかにすること。

- 1) 大動脈腸骨動脈領域に病変が限局した患者に対する EVT の前後で三次元動作解析を用いた歩行観察を行い、EVT が歩行パラメータに与える影響を前向きに検討する。治療前後の歩行パラメータと健常者の歩行パラメータを比較し、歩行障害の残存について検討する。
- 2) 大腿膝窩動脈領域に病変が限局した患者に対して同様の計測・解析を行い、大腿膝窩動脈領域病変における歩行パラメータの特徴を検討する。
- 3) 大動脈腸骨動脈領域、大腿膝窩動脈領域に病変が存在する患者間で術前の歩行パラメータを比較し、動脈病変部位による歩行パラメータへの影響の違いを検討する。

IV.研究方法

1 研究対象者

対象は、2015年2月から2020年12月までの期間、東北大学病院に通院している間歇性跛行を有するPAD患者とした。PAD患者の取込基準は①ABI < 0.9、②大動脈腸骨動脈領域もしくは大腿膝窩動脈領域に局限した有意狭窄病変もしくは閉塞病変があるもの、③EVTが可能な症例とした。有意狭窄病変とは、下肢動脈エコーのパルスドップラー法において収縮期最高血流速度比 (peak systolic velocity ratio: PSVR) > 2⁴¹⁾ もしくは CT アンギオグラフィー (computed tomography angiography: CTA) における狭窄率 > 50%⁸⁾ と定義した。CLTI患者や、呼吸器疾患、心血管疾患、脳神経疾患、筋骨格系疾患等、間歇性跛行以外の歩行障害を持つ患者は除外した。

動脈病変は CT 所見から大動脈腸骨動脈領域病変群 (Aortoiliac: AI 群)、大腿膝窩動脈領域病変群 (Femoropopliteal: FP 群) に分類を行い、さらに TASC 分類¹⁾ (図 7、8) に基づいて分類・評価を行った。

また、PAD患者の歩行パラメータと比較するため、健常者のデータを併せて測定した。健常者は60歳以上の男女を対象とし、ABI > 1.0 かつ跛行症状、歩行障害がないものと定義し、東北大学病院内でポスター掲示を行い募集した。年齢、性別、身長、体重を PAD 患者と同等に調整した健常者の歩行パラメータをコントロールとして登録した。患者抽出は統計ソフトを使用せずに行った。

被験者には研究実施前に本研究の趣旨、方法などを書面と口頭で十分に説明し、内容

をよく理解したことを確認して自由意思による本研究への同意を書面で得た。

本研究計画は東北大学医学部医学系研究科倫理委員会で承認を得て実施された。

(承認番号:2014-1-718)

2 Endovascular therapy

EVT は、局所麻酔下に総大腿動脈を一側もしくは両側穿刺してアクセスとした。狭窄度、病変長、血管径、血管性状などは血管造影と血管内超音波 (intravascular ultrasonography: IVUS) で評価を行った。必要に応じてバルーンによる前拡張を行い、大動脈腸骨動脈領域病変に対しては原則全例にベアメタルステントもしくはステントグラフトを留置した。大腿膝窩動脈領域で膝窩動脈に及ぶ病変にはバルーン拡張のみとする場合もあった。ベアメタルステント / ステントグラフトの選択は術者が判断し、病変長を十分にカバーする範囲で留置し、バルーンによる後拡張は十分に行った。ベアメタルステント / ステントグラフトのフィッティング、残存狭窄、動脈解離など副損傷の有無を血管造影と IVUS で評価を行い、残存狭窄 < 30%を手技成功と定義した。術中合併症は重大な出血、末梢血流制限を伴う動脈解離、血栓塞栓症、術後合併症は重大な出血、仮性動脈瘤、創部感染症と定義した。

3 フォローアップ

本研究では、術前、術後 1 週間、1 か月、6 か月の 4 時点で後述する計測を行った。

EVT 1～3 日前に患者が当院に入院した際、本研究について説明を行い、参加に同意を得た。同意を得た後、術前の計測を行った。

EVT 施行後、1 週間以内に術直後の計測を行った。この際、患者の穿刺創に痛みがなく、歩行に影響がないことを確認した。

退院後、当科外来を通院する際に、術後 1 か月、術後 6 か月の計測を行った。

本研究のフォローアップ期間中、患者に運動（歩行）奨励を口頭で行ったが、体系的な運動療法の指導は行わなかった。リハビリテーションの介入もなかった。また、期間中患者に運動制限は特に設けず、患者の日常生活活動性のモニタリングは行わなかった。

4 計測方法

(1) 三次元動作解析

時間距離因子、運動力学的因子は東北大学病院リハビリテーション部にある固定赤外線カメラ 8 台から構成される三次元動作解析装置（MAC 3D: Motion Analysis 社製）と 90 cm x 60 cm の床反力計（アニマ社製）4 枚を用いて計測した。動作解析装置のサンプリング周波数は 120Hz、床反力計のサンプリング周波数は 1200Hz とし、Analog / Digital 変換を行い、パーソナルコンピュータに取り込んだ。被験者は体にフィットしたノースリーブシャツとハーフスパッツを着用し、裸足で計測を行った。

反射マーカは臨床歩行研究会で推奨されている Data Interface File Format: DIFF に従い⁴²⁾、対象者の解剖学的指標に両面テープと医療用テープで固定した。マーカ位置は、両側

肩峰、右肩甲骨下角、両側上前腸骨棘、両側上後腸骨棘、両側大転子、両側大腿骨外側顆、両側第 5 中足骨頭、両側腓骨外果、両側踵骨の合計 17 点とした。(図 9)

計測条件は快適歩行とし、「普段歩いている速さで普段通りに歩いてください」と指示し、7m の歩行路を杖などの補助具を使用せず歩行させた。計測中に間歇性跛行が出現した場合、座位で症状が消失するまで十分に休息し、その施行データは解析から除外した。データ解析には矢状面・立脚期におけるデータの 5 施行の平均値を使用した。

(2) 時間距離因子、運動力学的因子、Trailing Limb Angle のデータ解析

三次元動作解析装置で得られたデータを、動作解析用ソフト (KineAnalyzer: キッセイコムテック社製) を使用して解析した。運動力学的因子は 20Hz のローパスフィルターでフィルター処理し、その後時間距離因子であるストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度を算出した。運動力学的因子である関節モーメントは矢状面・立脚期における股関節伸展 (HE)・屈曲 (HF)、膝関節伸展 (KE)・屈曲 (KF)、足関節背屈 (AD)・底屈 (AP) の最大値を算出した。(図 10) 関節パワーは各関節における関節モーメントと角速度の積として計算し、以下に示す Eng と Winter が提唱した基準⁴³⁾ に則って算出した。(図 11)

股関節は H1; 荷重応答期における股関節の進展方向へのパワー産生、H2; 立脚中期から終期における股関節屈曲パワー吸収、H3; 前遊脚期における股関節屈曲方向へのパワー産生、膝関節は K1; 荷重応答期における膝関節伸展パワー吸収、K2; 立脚中期における膝関節伸展パワー産生、K3; 前遊脚期における膝関節伸展パワー吸収、足関節は

A1; 立脚中期から終期における足関節底屈パワー吸収、A2; 立脚終期から前遊脚期における足関節底屈パワー産生のそれぞれ最大値を算出した。全データは歩行立脚期を 100% として正規化し、関節モーメントと関節パワーは体重で正規化した。

また、図 5 に示すように、大転子と第 5 中足骨頭を結ぶ線と垂直軸 (Z 軸) のなす角度を計算し、立脚終期における最大股関節伸展角度を TLA として算出した²⁵⁾。

(3)トレッドミル歩行試験

三次元動作解析の後、被験者を十分に休息させ、トレッドミル歩行試験を行った。まず被験者を座位安静とし、両側腓腹筋内側頭に近赤外線分光法用のプローブ (NIRO-200NX; 浜松ホトニクス株式会社製) を両面テープと医療用テープを用いて装着し、安静時の組織ヘモグロビン濃度を基準値として記録した⁴⁴⁾。(図 12) 記録開始後 5 秒程度で測定グラフの揺らぎが消失し平坦な状態を安静時組織ヘモグロビン濃度と定義した。歩行条件は傾斜 12%、速度は 1.8 km/h もしくは 2.4 km/h と設定した。歩行速度は患者の歩行能力を参考に安全性に配慮して決定し、以降の計測時も条件を統一して行った。トレッドミル歩行試験は最大 10 分間行い、下肢のいずれかの部位に跛行症状が出現するまでの無痛歩行距離 (Pain free walking distance: PWD) と最大歩行距離 (maximum walking distance: MWD) を記録した。トレッドミル歩行試験を終えた後、被験者を再び座位安静とし、近赤外線分光法による回復時間 (Recovery time: RT) を記録した。RT は組織ヘモグロビン濃度変化が安静時の基準値に復するまで要した時間と定義し、最大 5 分間測定した⁴⁵⁾。(図 13)

(4)ABI

ABIは東北大学病院生理検査センターで Vasera VS1500、VS3000（フクダ電子株式会社製）を用いて測定された。両側上腕、足首で安静時血圧を測定し、左右上腕血圧の高い方の値を各足首血圧で除してABIを算出した。

(5)WIQ

間歇性跛行に関連した QOL を患者主観的に評価するために、Walking impairment Questionnaire: WIQ⁴⁶⁾を用いた。（図 14）WIQは痛み、歩行距離、歩行速度、階段昇降に関連した4項からなり、それぞれ0から100点までの点数で計算される。点数が小さいほど、間歇性跛行によって患者の歩行制限が大きいことを意味する。WIQは直近1週間の歩行について評価するものであり、EVT後数日は通常の歩行を行っていない可能性があるため、術後1週間時点の計測ではWIQを評価しなかった。

5 統計解析

全てのカテゴリー変数は総数とパーセンテージ（%）で記した。連続変数は Shapiro-Wilk 検定で正規性の検定を行った。正規分布に従わない変数が多く認められたため、全ての連続変数を中央値と四分位範囲（Inter Quartile Range: IQR）で記した。検定はノンパラメトリックな手法で行い、対応のないカテゴリー変数は Fisher の正確確率検定、連続変数は

Mann-Whitney U 検定を用いた。

PAD 患者（大動脈腸骨動脈領域）において、歩行パラメータを術前、1 週間、1 か月、6 か月と時系列で解析するため、対応のある 4 群比較として Friedman 検定を行った。Friedman 検定で有意差を認められた変数に限り、Wilcoxon の符号順位検定を用いて対応のある 2 群比較（多重比較）を行った。本研究では術前-1 週間、術前-1 か月、術前-6 か月、1 週間-1 か月、1 週間-6 か月、1 か月-6 か月の合計 6 回の検定を行うため、実際に算出される P 値を 6 倍する Bonferroni 法による P 値調整を行った。（多重比較の P 値は全て 6 倍された値で記載した）

また、EVT 前後の PAD 患者（大動脈腸骨動脈領域）の歩行能力を評価するため、術前-健常者データ、6 か月-健常者データの比較を Mann-Whitney U 検定で行った。

統計解析は EZR ver.1.54⁴⁷⁾（自治医大さいたま医療センター）を使用した。統計学的有意水準は $P < .05$ とした。

V. 研究結果

1 大動脈腸骨動脈領域病変患者における検討

1-1(1) 参加者

期間中、間歇性跛行を有する PAD 患者に対し EVT を行った症例のうち、除外基準がなく術前の歩行計測を行ったものが 38 人であった。病変を分析し、大動脈腸骨動脈領域に病変が局限していた症例 (aortoiliac: AI 群) は 20 人 24 肢であった。

1-1(2) 対象者の背景 (脱落者、健常者との比較)

AI 群 20 人 24 肢のうち、2 人 3 肢は手術 1 か月前の外来通院時に術前の計測を施行していたが、跛行症状、歩行距離、ABI、画像所見に変化がなかったため、入院後に術前の再計測は行わなかった。全例が EVT を受け、術直後の計測を行った。1 か月、6 か月の測定時点で症例の脱落があり、最終的には 10 人 14 肢で全ての計測を終了した。脱落患者のうち 8 人は遠方のためもしくは本人の事情で来院出来ず、1 人は他疾患治療が開始されたため、1 人は急性腰痛症を発症したため除外された。脱落 10 人と計測完遂 10 人の背景を比較したが、主な身体情報、併存疾患、症状の重症度、TASC 分類に有意な差は認めなかった。(表 1)

計測を完遂した 10 人 14 肢の患者と健常者の背景を比較した調整した性別、年齢、身長、体重をはじめ、その他基礎疾患、喫煙習慣においても有意な差はなかった。(表 2)

1-(3) 患肢の症状、病変の特徴

計測を完遂した AI 群 10 人 14 肢における臨床的特徴を表 3 にまとめた。間歇性跛行の重症度は、Fontaine 分類 II a (Rutherford 分類 2) 11 肢 (79 %)、Fontaine II b (Rutherford 3) 3 肢 (21 %) であった。跛行出現部位は、下腿が 11 肢 (79 %)、大腿が 8 肢 (57 %)、臀部が 6 肢 (43 %) であった。病変の 7 肢 (50 %) が有意狭窄、7 肢 (50 %) が完全閉塞であった。TASC 分類 (図 6) は、A 2 肢 (14 %)、B 6 肢 (43 %)、C 2 肢 (14 %)、D 2 肢 (14 %) であった。内腸骨動脈の有意狭窄 / 閉塞は 5 肢 (36%) で見られたが、こちらには治療介入は行っていない。

1-(4) Endovascular therapy

ベアメタルステントが 12 肢 (86 %)、ステントグラフトが 2 肢 (14 %) に留置された。全ての症例で手技成功を収め、残存狭窄はなかった。術中合併症も認められなかった。

(表 4)

1-(5) 経過中の有害事象

フォローアップ期間中、術後合併症は認めなかった。肢切断や死亡など、重大な有害事象も見られなかった。治療肢の間歇性跛行の再燃・増悪はなく、病変の再狭窄も指摘されず、標的病変への再介入もなかった。(表 4)

1-(6) 測定結果

AI 群 10 人 14 肢の術前、1 週間、1 か月、6 か月の測定結果と Friedman 検定の結果、多重比較の結果を表 5 (ABI、PDW、MWD、RT、WIQ)、表 6 (時間距離因子)、表 7 (関節モーメント)、表 8 (関節パワー)、表 9 (TLA) に示した。多重比較はグラフを作成し、図 15 (ABI、PDW、MWD、RT)、図 16 (WIQ)、図 17 (時間距離因子)、図 18 (関節モーメント)、図 19 (関節パワー)、図 20 (TLA) に記した。

また、健常者の時間距離因子、運動力学的因子、TLA の計測データと PAD 患者との比較結果を表 10 に記載し、作成したグラフを図 21 (時間距離因子)、図 22 (関節モーメント)、図 23 (関節パワー)、図 24 (TLA) として記した。

(a) ABI (表 5、図 15)

Friedman 検定において ABI ($P < .01$) は、術前から 6 か月にかけて有意な変化を認められた。多重比較では、術前 (中央値 0.59 [IQR 0.56, 0.8]) と比較し、1 週間 (0.97 [0.91, 1.06], $P < .01$)、1 か月 (0.99 [0.9, 1.07], $P = .02$)、6 か月 (0.97 [0.87, 1.01], $P < .01$) のいずれの時点でも ABI は有意に上昇していた。1 週間-1 か月、1 週間-6 か月、1 か月-6 か月の測定では有意な変化は見られなかった。(全て $P = 1$)

(b) 歩行距離と RT (表 5、図 15)

Friedman 検定において、PWD ($P < .01$)、MWD ($P < .01$)、RT ($P < .01$) のいずれも術前から 6 か月の間に有意な変化を認めた。

多重比較では、PWD において、術前 (32 [27, 49] m) と比較して 1 週間 (84 [57, 141] m, P

= .01) 、1 か月 (111 [61, 345] m, $P < .01$) 、6 か月 (100 [57, 359] m, $P < .01$) で有意に延長した。1 週間、1 か月、6 か月の間の比較ではいずれも有意差は認めなかった。(全て $P = 1$)

MWD において、術前 (92 [65, 116] m)と比較して1 週間 (141 [112, 397] m, $P < .01$)、1 か月 (231 [100, 399]m, $P < .01$) 、6 か月 (160 [108, 397] m, $P = .03$) で有意な延長を認めた。1 週間、1 か月、6 か月の間の比較ではいずれも有意差は認めなかった。(全て $P = 1$)

RT では、術前 (155 [90, 300] 秒) と比較し、術直後 (39 [15, 61] 秒, $P = .02$)、1 か月 (25 [4, 113] 秒, $P = .03$) 、6 か月 (35 [15, 90] 秒, $P = .04$) で有意に短縮していた。1 週間、1 か月、6 か月の測定間には有意な変化は見られなかった。(全て $P = 1$)

(c) WIQ (表 5、図 16)

Friedman 検定において、WIQ 4 項目全て (痛み $P < .01$ 、歩行距離 $P < .01$ 、歩行速度 $P < .01$ 、階段昇降 $P = .03$) で術前から6 か月にかけて有意な変化が示唆された。

多重比較では、WIQ は痛み・歩行距離・歩行速度の3 項目において、術前と比較し1 か月で有意に上昇した。(痛み 術前 50 [25, 50] to 1 か月 100 [100, 100], $P = .02$ 、歩行距離 27 [15, 38] to 100 [100, 100], $P = .01$ 、歩行速度 27 [15, 38] to 57 [51, 65], $P = .01$) 6 か月では1 か月と比較していずれのパラメータでも有意な差は認めなかった。(痛み 6 か月 100 [75, 100], $P = 1$ 、歩行距離 100 [100, 100], $P = 1$ 、歩行速度 53 [50, 57], $P = .43$)

階段昇降は多重比較では統計学的な有意差を認めなかった。(術前 31 [29, 45]、1 か月

77 [57, 97]、6 か月 77 [47, 100]、術前-1 か月, $P = .09$ 、術前-6 か月, $P = .06$ 、1 か月-6 か月, $P = 1$)

(d) 時間距離因子 (表 6、図 17)

Friedman 検定において、ストライド長 ($P < .01$)、ステップ長 ($P < .01$)、ケイデンス ($P < .01$)、歩行速度 ($P < .01$) の全ての時間距離因子で術前から 6 か月の間に有意な変化を認めた。

多重比較では、ストライド長において、術前 (106.5 [96.2, 119.7] cm) と比較し、1 週間 (111.8 [104, 122.4] cm, $P = .15$) では有意差がなく、1 か月 (117.1 [108, 127.6] cm, $P < .01$) と 6 か月 (115.8 [108.3, 126.2] cm, $P < .01$) で有意な上昇を認めた。1 週間との比較においても、1 か月 ($P < .01$)、6 か月 ($P < .01$) で有意な上昇を認めた。1 か月、6 か月の間に有意な変化はなかった。 ($P = 1$)

ステップ長において、術前 (52.4 [47.1, 60.3] cm) と比較し、1 週間 (56.8 [53.3, 60.6] cm, $P = .1$) では有意差がなく、1 か月 (58.5 [54.6, 64.5] cm, $P < .01$)、6 か月 (59.4 [54.9, 64.4] cm, $P < .01$) で有意な上昇を認めた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P = .01$)、6 か月 ($P = .01$) で有意な上昇が見られた。1 か月、6 か月の間に有意な差はなかった。 ($P = 1$)

ケイデンスにおいて、術前 (101 [97, 106] 歩/分) と比較し、1 週間 (109 [94, 114] 歩/分, $P = 1$) では有意差がなく、1 か月 (110 [99, 116] 歩/分, $P = .02$)、6 か月 (106 [103, 117] 歩/分, $P = .01$) で有意な増加を認めた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P = .02$)、6 か月 ($P = .01$) で有意な増加を認めた。1 か月、6 か月の間に有意な変化はなかった。 (P

= .25)

歩行速度において、術前 (90.2 [74, 108.9] cm/s) と比較し、1 週間 (99.4 [87.4, 111.6] cm/s, $P = .62$) では有意差がなく、1 か月 (103.5 [97.7, 117.9] cm/s, $P < .01$)、6 か月 (106.4 [99.9, 122.4] cm/s, $P < .01$) で有意に上昇していた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P < .01$)、6 か月 ($P < .01$) で有意な上昇を認めた。1 か月、6 か月の間に有意な変化は見られなかった。 ($P = .35$)

(e) 運動力学的因子 関節モーメント (表 7、図 18)

Friedman 検定において、HE ($P = .02$)、HF ($P < .01$)、AP ($P = .04$) の 3 項目で術前から 6 か月の間に有意な変化を認めた。

多重比較では、HE において、術前 (0.39 [0.3, 0.43] Nm/kg) と比較し、1 週間 (0.41 [0.34, 0.52] Nm/kg, $P = .41$) では有意差がなく、1 か月 (0.42 [0.38, 0.46] Nm/kg, $P = .02$)、6 か月 (0.44 [0.4, 0.49] Nm/kg, $P = .02$) で有意な上昇を認めた。1 週間と 1 か月 ($P = 1$)、1 週間と 6 か月 ($P = 1$)、1 か月と 6 か月 ($P = 1$) の比較では有意な変化は見られなかった。

HF において、術前 (-0.75 [-1.04, -0.51] Nm/kg) と比較し、1 週間 (-0.84 [-1.0, -0.62] Nm/kg, $P = 1$) では有意差がなく、1 か月 (-0.94 [-1.07, -0.74] Nm/kg, $P = .04$) と 6 か月 (-0.97 [-1.15, -0.83] Nm/kg, $P < .01$) で有意な増加 (屈曲方向を負で表しているため、絶対値の増加) を認めた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P < .01$)、6 か月 ($P = .01$) で有意な増加が見られた。1 か月と 6 か月 ($P = 1$) の比較では有意な変化はなかった。

APにおいて、術前-1週間 ($P = 1$)、術前-1か月 ($P = .54$)、術前-6か月 ($P = 1$)、1週間-1か月 ($P = .35$)、1週間-6か月 ($P = 1$)、1か月-6か月 ($P = 1$)と全ての多重比較で有意差を認めなかった。

(f) 運動力学的因子 関節パワー (表 8、図 19)

Friedman 検定において、H2 ($P < .01$)、H3 ($P < .01$)、K1 ($P = .03$)、K2 ($P = .04$)、K3 ($P < .01$)、A2 ($P < .01$)において、術前から6か月の間に有意な変化を認めた。

多重比較において、H2では術前 ($-0.45 [-0.54, -0.42]$ W/kg)と比較して、1週間 ($-0.63 [-0.77, -0.41]$ W/kg, $P = 1$)では有意差がなく、1か月 ($-0.82 [-0.93, -0.65]$ W/kg, $P = .04$)、6か月 ($-0.81 [-1.14, -0.61]$ W/kg, $P < .01$)で有意な増加(パワー吸収は負で表しているため、絶対値の増加)を認めた。1週間との比較でも、1か月 ($P = .01$)、6か月 ($P = .01$)で有意な増加が見られた。1か月-6か月の比較 ($P = 1$)では有意差はなかった。

H3では、術前 ($0.68 [0.38, 1]$ W/kg)と比較して、1週間 ($0.73 [0.53, 0.96]$ W/kg, $P = 1$)では有意差がなく、1か月 ($0.86 [0.72, 1.1]$ W/kg, $P = .02$)、6か月 ($0.92 [0.67, 1.13]$ W/kg, $P < .01$)で有意な上昇を認めた。1週間との比較でも、1か月 ($P = .04$)、6か月 ($P < .01$)で有意な上昇を認めた。1か月-6か月の比較 ($P = 1$)では有意差はなかった。

K1では、1週間 ($-0.2 [-0.38, -0.08]$ W/kg)と1か月 ($-0.4 [-0.7, -0.14]$ W/kg)の比較のみ、有意差を認めた。 ($P = .04$)

K2では、多重比較においては有意差は認められなかった。

K3では、術前 ($-0.92 [-1.4, -0.46]$ W/kg)と比較して、1週間 ($-0.89 [-1.26, -0.64]$ W/kg,

$P = 1$) では有意差がなく、1 か月 (-1.12 [-1.59, -0.89] W/kg, $P = .02$) で有意な上昇を認められた。しかし、6 か月 (-1.12 [-1.65, -0.88] W/kg, $P = .08$) では統計学的には有意差を認めなかった。1 週間との比較では、1 か月 ($P = .024$)、6 か月 ($P < .01$) で有意な上昇を認められた。1 か月-6 か月の比較 ($P = 1$) では有意差はなかった。

A2 では、術前 (2.04 [1.71, 2.75] W/kg) と比較して、1 週間 (2.4 [1.85, 2.8] W/kg, $P = 1$) では有意差がなく、1 か月 (2.55 [2.39, 3.08] W/kg, $P < .01$)、6 か月 (2.68 [2.3, 3.02] W/kg, $P < .01$) で有意な上昇を認められた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P = .01$)、6 か月 ($P < .01$) で有意な上昇を認められた。1 か月-6 か月の比較 ($P = 1$) では有意差はなかった。

(g) Trailing Limb Angle (表 9、図 20)

Friedman 検定において、TLA ($P < .01$) は術前から 6 か月の間に有意な変化を認められた。

多重比較において、TLA では術前 (22.6 [17.3, 24.5] 度) と比較して、1 週間 (22 [20.1, 23.5] 度, $P = 1$) では有意差がなく、1 か月 (23.3 [20.6, 26.2] 度, $P < .01$)、6 か月 (23.7 [21.4, 25.9] 度, $P = .02$) で有意な増加を認められた。1 週間との比較でも、1 か月 ($P = .01$) で有意な上昇を認められた。1 週間-6 か月 ($P = .12$)、1 か月-6 か月 ($P = 1$) の比較では有意差はなかった。

(h) 健常者との歩行パラメータの比較 (表 10、図 21、22、23、24)

治療前後の患者がどの程度の歩行能力を有しているかを調べるため、AI 群 10 人 14 肢の術前、6 か月における歩行パラメータと健常者 10 人の歩行パラメータを比較した。

時間距離因子において、ストライド長では、健常者 (134.7 [125.7, 140.7] cm) と比較して、

術前 (106.5 [96.2, 119.7] cm, $P < .01$) と 6 か月 (115.8 [108.3, 126.2] cm, $P = .01$) の両時点で有意な低下を認めた。

ステップ長では、健常者 (65.2 [64.4, 71.9] cm) と比較して、術前 (52.4 [47.1, 60.3] cm, $P < .01$)、6 か月 (59.4 [54.9, 64.4] cm, $P < .01$) の両時点で有意な低下を認めた。

ケイデンスでは、健常者 (116 [110, 122] 歩/分) と比較して、術前 (101 [97, 106] 歩/分, $P < .01$) では有意な低下を認めたが、6 か月 (106 [103, 117] 歩/分, $P = .24$) では有意差を認めなかった。

歩行速度では、健常者 (129.4 [126, 132.8] cm/s) と比較して、術前 (90.2 [74, 108.9] cm/s, $P < .01$)、6 か月 (106.4 [99.9, 122.4] cm/s, $P < .01$) の両時点で有意な低下を認めた。

(表 10、図 21)

運動力学的因子において、健常者と比較すると、術前では HE (術前 0.39 [0.30, 0.43] vs. 健常者 0.46 [0.41, 0.64] Nm/kg, $P = .02$)、KE (0.35 [0.25, 0.48] vs. 0.63 [0.48, 0.81] Nm/kg, $P = .03$)、H2 (-0.45 [-0.54, -0.42] vs. -1.13 [-1.26, -0.84] W/kg, $P < .01$)、H3 (0.68 [0.38, 1] vs. 1.01 [0.96, 1.13] W/kg, $P = .02$)、K1 (-0.22 [-0.58, -0.09] vs. -0.85 [-1.49, -0.38] W/kg, $P = .01$)、K2 (0.2 [0.15, 0.4] vs. 0.52 [0.27, 0.99] W/kg, $P = .04$)、K3 (-0.92 [-1.4, -0.46] vs. -1.37 [-1.89, -1.24] W/kg, $P = .03$)、A2 (2.04 [1.71, 2.75] vs. 2.86 [2.49, 3.06] W/kg, $P = .04$) のパラメータで有意な低下を認めた。6 か月では、健常者と比較して、K1 (-0.41 [-0.72, -0.13] W/kg, $P = .02$) のみ有意な低下が見られたが、その他のパラメータでは有意差は認められなかった。(表 10、図 22、23)

TLAにおいて、健常者（25 [23.9, 27.8] 度）と比較すると、術前（22.6 [17.3, 24.5] 度, $P = .02$ ）では有意な低下を認めた。6か月（23.7 [21.4, 25.9] 度, $P = .07$ ）では健常者と比較しても有意差が見られなかった。（表 10、図 24）

2 大腿膝窩動脈領域病変患者における検討

2-（1）参加者

前述のように期間中、間歇性跛行を有する PAD 患者に対し、当院で EVT を行った症例中、除外基準がなく術前の歩行計測を行った 38 人のうち、大腿膝窩動脈領域に病変が限定していた症例（Femoropopliteal: FP 群）は 6 人 8 肢であった。

2-（2）対象者の背景

FP 群 6 人 8 肢の全例が EVT を受け、5 人 6 肢で術直後の計測を行った。1 人は治療の都合上、術直後の計測が出来なかった。1 か月、6 か月の測定の時点で 2 人の脱落があり、最終的には 3 人 4 肢で全ての計測を終了した。1 人は遠方のため来院出来ず、1 人は計測中の計器異常で、除外された。

症例数が少なく統計学的検定が出来ないためそれぞれの症例の背景をまとめた。（表 11）

患者は 84 歳男性（A）、68 歳男性（B）、61 歳女性（C）の 3 人で、B は両側に病変があり、両側に EVT を行った（B、B' と表記）。3 人全員が標準体形で糖尿病と喫煙歴があり、B は冠動脈疾患、脳血管疾患の、C には冠動脈疾患の既往を認めた。

2-(3) 患肢の症状、病変の特徴

計測を完遂した FP 群 3 人 4 肢における臨床的特徴をまとめた。(表 12)

間歇性跛行の重症度は、A のみ Fontaine 分類 II b (Rutherford 分類 3)であり、他 3 肢は Fontaine 分類 II a (Rutherford 分類 2)であった。跛行出現部位は、4 肢全て下腿であった。A のみ大腿にも跛行症状が見られた。臀筋跛行は見られなかった。

病変について、全ての肢で浅大腿動脈に病変が存在していた。A は過去に浅大腿動脈に留置したステントの閉塞で、TASC C であった。B は 75%狭窄病変で TASC B、B' は閉塞病変で TASC D、C も閉塞病変で TASC B であった。(図 8)

2-(4) Endovascular therapy (表 13)

B' にはステントグラフトを、その他 3 肢にはステントを留置した。全ての症例で手技成功を収め、残存狭窄はなかった。術中合併症も認められなかった。

2-(5) 経過中の有害事象 (表 13)

FP 群においても、フォローアップ期間中、術後合併症は認めなかった。肢切断や死亡など、重大な有害事象も見られなかった。治療肢の間歇性跛行の再燃・増悪はなく、病変の再狭窄も指摘されず、標的病変への再介入もなかった。

2-(6) 測定結果

3 人/4 肢と症例数が少なく統計学的検定が出来ないため、全ての計測結果を折れ線グラフで記した。

(a) ABI

4 肢全てにおいて、術前と比較し、1 週間で ABI は改善した。若干の変動はあるものの、6 か月まで臨床的に意義のある低下は見られなかった。(図 25)

(b) 歩行距離と RT

4 肢全てにおいて、術前と比較し、1 週間で PWD は改善を認めた。全ての肢において、6 か月まで PWD は延長した。

4 肢全てにおいて、術前と比較し、1 週間で MWD は改善を認めた。MWD は全ての肢で 1 か月時点が最大値となった。6 か月では、B (B') において MWD が短縮した。

B を除いた 3 肢において、術前と比較し、1 週間で RT は改善を認め、6 か月まで改善が維持された。B は 1 か月で改善が見られたが、6 か月では術前と同程度まで延長を認めた。

(図 25)

(c) WIQ

全例において、術前と比較し 1 か月で WIQ 全項目の改善を認めた。歩行速度のみ、6 か月で A、B の 2 人において低下したが、他項目では全例で改善が維持された。(図 26)

(d) 時間距離因子

全ての肢の全ての時間距離因子において、術前と比較し、1 週間でやや改善し、1 か月

でさらに改善するという変化が見られた。しかし、A のステップ長を除いた全てのパラメータにおいて、1 か月と比較して 6 か月では低下していた。(図 27)

(e) 運動力学的因子 関節モーメント

全ての肢の HE、HF、KE、AP において、術前と比較し、1 か月で改善が見られた。しかし、これらのうち B、B' の HF、A の KE、B の AP を除いたパラメータで 1 か月と比較し、6 か月では低下していた。KF、AD においては一定の傾向は見られなかった。(図 28)

(f) 運動力学的因子 関節パワー

全ての肢の H1、H2、H3、K1、K2、K3、A2 において、術前と比較し、1 か月で改善していた。しかし、A の H2、H3、K3、C の H2 を除いたパラメータで 1 か月と比較し、6 か月で低下していた。中には術前と同程度まで低下している症例も見られた。(図 29、30、31)

3 大動脈腸骨動脈領域病変と大腿膝窩動脈領域病変における術前パラメータ比較

症例数が少なかったため、AI 群と FP 群の術後測定値における統計学的検定は行わなかった。

3 - (1) 参加者

AI 群で術前の計測を行った 20 人 24 肢と FP 群で術前の計測を行った 6 人 8 肢を比較することで病変部位の違いによる歩行パラメータの違いを検討した。

3 - (2) 対象者の背景

両群の患者の背景を表 14 にまとめた。両群間に性別、年齢、身長、体重の有意な差は見られなかった。基礎疾患において、FP 群で有意に糖尿病、慢性腎臓病患者が多かった。

3 - (3) 患肢の症状、病変の特徴

両群の患肢の症状、病変の特徴を表 15 に記した。両群の ABI に有意な差はなかった。跛行出現部位について、AI 群では 15 肢 (62.5%) で臀筋跛行を認めたが、FP 群では臀筋跛行は見られず、統計学的有意な差を認めた。 $(P < .01)$ また、AI 群では 17 肢 (70.8%) に大腿部の跛行を認め、FP 群では 3 肢 (37.5%) と少ない印象であるが、統計学的な有意差は認めなかった。 $(P = .11)$ FP 群では全例で下腿の跛行を認めた。Fontaine 分類、Rutherford 分類において、両者に有意差は見られなかった。 $(P = 1)$ TASC 分類は AI と FP で分類方法が異なるため、比較は行わなかった。

3 - (4) 測定結果

(a) 歩行距離と RT

PWD において、両群間に統計学的な有意差は認めなかった。 $(P = .35)$

MWD において、AI 群 (92 [81, 118] m) と比較して、FP 群 (136 [117, 152] m) では有意に高値であった。 $(P = .04)$

RT において、両群間に有意差は見られなかった。 $(P = .84)$ (表 16)

(b) WIQ

WIQ の痛み ($P = .25$)、歩行距離 ($P = .48$)、歩行速度 ($P = .46$)、階段昇降 ($P = .44$)

の全ての項目において、両群間に有意差は認めなかった。(表 17)

(c) 時間距離因子

ストライド長 ($P = .7$)、ステップ長 ($P = 1$)、ケイデンス ($P = .46$)、歩行速度 ($P = .41$)

の全ての時間距離因子において、両群間に有意差は認めなかった。(表 18)

(d) 運動力学的因子 関節モーメント

KE のみが、AI 群 (0.37 [0.28, 0.5] Nm/kg) と比較して、FP 群 (0.27 [0.24, 0.29] Nm/kg)

で有意に低下していた。 $(P = .03)$

その他の関節モーメントにおいては両群間に有意な差は認められなかった。(表 18)

(e) 運動力学的因子 関節パワー

全ての関節パワーにおいて、両群間に有意な差は認められなかった。

有意差のあった KE と対応する K2 では、AI 群 (0.23 [0.15, 0.37] W/kg) と比較して、FP

(0.14 [0.13, 0.18] W/kg) と低値を認めたが、有意差はなかった。 $(P = .07)$ (表 18)

VI. 考察

1 大動脈腸骨動脈領域病変患者での検討

1-1 本研究の新規性

本研究では、EVT 後に、治療側 ABI、トレッドミル歩行距離 (PWD、MWD)、RT、WIQ が有意に改善した。これらのパラメータの変化は過去の研究で数多く報告されており³⁵⁾、それらと矛盾しない結果であった。

上記に加え、三次元動作解析で算出した時間距離因子、運動力学的因子、TLA においても EVT 後に有意な改善を認めた。Pubmed で検索し得る限り、EVT を行う前後で三次元動作解析を行い比較した研究はなく、新規性のある結果と考えられる。

1-2 仮説の支持、股関節への影響

我々は先行研究³³⁾で、大動脈腸骨動脈領域に病変が限局している患者は、股関節屈曲筋に関連した運動力学的因子 (特に H3) が低下し、歩行速度の低下に影響していることを報告した。その結果を踏まえ、大動脈腸骨動脈領域への EVT が股関節屈曲筋の機能低下による運動力学的因子を改善させるという仮説を立てた。本研究の結果は、この仮説を支持する結果となった。

HF は股関節屈曲筋の収縮で生まれるモーメントである。H3 は「振り上げ」のパワーとも呼ばれ、立脚期終期～前遊脚期に股関節屈曲筋の求心性収縮により産生されるパワーで、大腿を持ち上げ、前方へ下肢を運ぶ重要なパラメータである。これらを生み出す股関節屈

曲筋は主に腸腰筋とされる。腸腰筋は腸腰動脈と内側大腿回旋動脈が主たる栄養動脈である。腸腰動脈は内腸骨動脈、内側大腿回旋動脈は大腿深動脈の分枝であり、大動脈腸骨動脈領域に病変が存在すると、上記栄養動脈の中枢側に病変が存在するため、腸腰筋の虚血を引き起こし、HF、H3 の低下に繋がると考えられる。

本研究では、Friedman 検定の結果、術前から6カ月の間にHF、H3 のいずれも有意差を持って改善した。対応するモーメント、パワーの両者が改善しており、これは股関節屈曲筋の働きの改善を示唆し、前述の仮説を支持する結果である。

総腸骨動脈への介入は腸腰動脈、内側大腿回旋動脈の両者の、外腸骨動脈への介入は内側大腿回旋動脈の血流を改善させ、結果腸腰筋をはじめとした股関節屈曲筋の働きを改善したと考えられる。

また、本研究では股関節に関連したパラメータとして、HE、H2 も術前から6カ月の間に有意に上昇している。H2 は H3 と同様に股関節屈曲筋に由来するパワーであり、立脚中～終期に股関節屈曲筋の遠心性収縮によるパワー吸収が行われ、股関節の伸展を制御する。H2 の改善は、前述のように股関節屈曲筋の働きの改善の一環として、矛盾のない結果であると考えられる。HE は初期接地から発生する外部からの股関節屈曲モーメントに拮抗して生体内で生まれる股関節伸展モーメントである。大臀筋、大内転筋に代表される股関節伸展筋が股関節屈曲方向のモーメントに拮抗して働く。大臀筋の栄養動脈は上臀動脈、下臀動脈とされ、大内転筋の栄養動脈は閉鎖動脈、内側大腿回旋動脈とされる。上下臀動脈、閉鎖動脈は内腸骨動脈の分枝であり、前述のように EVT 後に血流が改善し、HE が有

意に上昇したと考えることができる。しかし、HE に対応するパワーである H1 は有意な変化がなかった。H1 は股関節伸展筋の求心性収縮で産生されるパワーで、体軸のコントロールや下肢スタンスの崩れを防ぐ働きがある。H1 に有意差が出なかった理由として、股関節拘縮など本研究で評価できていない阻害因子の存在、H1 は H3 と比較して小さなパワーであるため歩行へ与える影響が小さい点、症例数が少ないため、統計学的な検出力が十分でなかった点、内腸骨動脈病変が存在する症例が混在している点が考えられた。

股関節屈曲筋、伸展筋の他に、深層外旋六筋と呼ばれる筋肉が存在する。梨状筋、外閉鎖筋、大腿方形筋、内閉鎖筋、上双子筋、下双子筋を指し、これらは股関節の inner muscle と呼ばれ、股関節後方の関節安定性や股関節の動的安定性に関与している。いずれも上臀動脈、下臀動脈、内陰部動脈など、内腸骨動脈の分枝と内側大腿回旋動脈など、大腿深動脈の分枝が主要な栄養血管となっている。そのため、腸腰筋と同様に AI 領域への血行再建術によって深層外旋六筋の血流が改善し、股関節の動的安定性が改善し、下肢制御が向上し歩行改善に繋がった可能性も考えられた。今後、Inner muscle への影響についても検討が必要と考えている。

1-(3) 膝関節、足関節パラメータ変化について

本研究では、股関節パラメータ以外に、膝関節では K1、K2、K3、足関節では AP、A2 において術前から 6 カ月の間に有意な変化が見られた。

膝関節のパワーは、大きな推進力を生むものではなく、下肢運動の制御を担う側面が強い。

本研究では膝関節のパワーが全て有意に改善しているが、対応するモーメントはいずれも有意な変化は見られなかった。パワーはモーメントと角速度の積で算出されるため、本研究におけるパワーの上昇はモーメントではなく角速度の上昇に由来する可能性がある。したがって膝関節パワーの上昇は、膝関節運動を担う筋肉の機能改善ではなく他関節（主に股関節と考える）の機能改善による歩行速度や膝関節運動速度の上昇に伴う角速度の上昇に由来している可能性が示唆される。

足関節において、AP、A2 という対応するモーメントとパワーの上昇が見られた。AP は立脚終期から前遊脚期による足関節底屈方向へのモーメントであり、前方への加速、推進力に大きく関与している。A2 は同時期に足関節底屈筋である下腿三頭筋が求心性収縮することで産生される「蹴り出し」のパワーであり、体を前方へ運ぶ。A2 は歩行時の下肢関節中最も大きなパワー産生とされる。PAD 患者における跛行症状が下腿後面に出現しやすいことから、AP、A2 の低下は過去の研究で特に注目されてきた^{30), 31), 32)}。

本研究での登録患者は大動脈腸骨動脈領域以外に有意な病変が存在しないため、大動脈腸骨動脈領域への EVT は、そのまま足先までの血流を改善させると考えられる。そのため、EVT によって下腿三頭筋の血流も改善し、AP、A2 の改善に繋がった可能性がある。しかし、後述する Bonferroni 法による *P* 値調整を行った多重比較において、AP はどの時点の比較でも有意な改善が見られなかった。足関節においても膝関節と同様に、他関節（主に股関節）の機能改善による足関節における角速度の上昇が影響している可能性がある。

1-(4) Trailing Limb Angle の検討

本研究の AI 群において、EVT 後に歩行速度の有意な改善が見られたが、前方への推進力に大きく関連する AP の改善が乏しかったという点から、TLA に変化があった可能性が考慮され、TLA について検討を行った。Friedman 検定の結果、術前から 6 カ月の間に TLA は有意差に改善した。多重比較においても、時間距離因子、HF、H3 と同様に術後 1 か月で有意に改善し、6 カ月まで維持されていた。この結果から、本研究における歩行速度改善の要因の一つとして TLA の改善が挙げられる。TLA の最大の構成要素は股関節伸展であり、十分な股関節伸展には、立脚終期での十分な下肢制御が重要とされる²⁴⁾。EVT 後の股関節伸展筋の機能改善 (HE)、股関節屈曲筋の機能改善 (HF、H2) による下肢運動制御の向上が TLA 改善に繋がったと考えられる。

1-(5) 時系列での比較について

本研究では Friedman 検定で有意差を認めたパラメータのみ、どの時点で変化が起きたかを明らかにするため 2 群ずつの多重比較を行った。

パラメータの改善様式は大きく分けて 2 パターン見られた。術直後 (1 週間) から有意な改善を認めるパターンと、術直後 (1 週間) はあまり変化せず、1 か月時点で有意な改善を認めるパターンである。前者は ABI、PWD、MWD、RT で見られ、後者は時間距離因子、運動学的因子、TLA で認めた。前者について、ABI、RT⁴⁸⁾ は検査の特性上、血流の変化を直接反映することができる指標である。また、血流が改善すると跛行症状は速やかに軽減

するため、歩行距離（PWD、MWD）延長も血流変化で説明可能と考えられる。しかし、後者の改善パターンは血流の変化、症状の緩和だけでは説明できない。

この点に関して、時間距離因子、運動力学的因子、TLA は筋肉が大きく関与するパラメータであり、筋肉の変化に時間を要したという可能性がある。PAD 患者の筋肉に関する過去の研究では、虚血による筋力低下、筋萎縮、脂肪変性、代謝性ミオパチー、ポリニューロパチーなどの変化、病態が報告されている^{49), 50), 51), 52)}。EVT により筋肉への血流が改善し、1 か月の時間をかけて筋力、筋量、筋内での生理学的、代謝性変化などが起こり、時間距離因子、運動力学的因子、TLA の改善に繋がった可能性がある。しかし、本研究では筋力、筋量、筋内の生理学的、代謝性変化を評価するパラメータを測定していないため、この考察を証明することは出来ない。過去の報告を参考に、今後、下肢筋力測定¹⁴⁾、CT による各筋断面積⁵³⁾、筋体積や筋密度¹³⁾、筋電図⁵⁴⁾、クエン酸代謝や乳頭代謝に関連する酵素の測定⁵⁵⁾、筋より放出されるサイトカイン: ミオカイン^{56), 57)}測定など、筋肉に直接的に関与するパラメータの測定を検討する必要がある。

また、時間距離因子、運動力学的因子、TLA の改善には、患者の歩行に対する意識の変化が関与している可能性がある。PAD 患者は跛行の痛みを回避・緩和するために、跛行出現前から歩行速度が低下していると考えられている。EVT で血流が改善することで痛みが軽減され、1 か月間の日常生活活動で患者の歩行への意識が変化し、パラメータの改善に繋がった可能性がある。

患者日常生活における意識、活動性については、WIQ スコアから類推することが可能で

ある⁴⁶⁾。本研究では WIQ4 項目中、「痛み」、「歩行距離」、「歩行速度」において、術前から 1 か月にかけて有意な上昇を示した。「階段昇降」については、術前から 1 か月にかけて数値上は上昇しているように見えるが、統計学的な有意差は見られなかった。これは症例数の少なさが結果に影響した可能性がある。「歩行距離」、「歩行速度」は、直近 1 週間の平地歩行において、ある歩行距離を歩いた際、もしくは 100m をある歩行速度で歩いた際にどの程度歩行が困難であったかを問う項目である。術前と比較すると、1 か月の時点では「歩けなかった」、「できなかった」が選択された数が減少しており、日常生活における歩行距離、歩行速度が術後上昇したと患者が感じていたことを示唆し、患者の日常生活活動性が向上していた可能性が示唆される。しかし、WIQ は日常生活活動性を直接表すパラメータではない。また、高齢者においては WIQ による歩行能力、QOL 評価の正確性が低下すると報告⁵⁸⁾もある。本研究では患者の日常生活活動性を直接評価できるパラメータは測定しておらず、患者日常生活活動性について正確な評価は出来なかった。

歩行パラメータの改善に、神経筋骨格系全体の運動制御の改善が関与している可能性も考えられる。PAD 患者において、腓骨神経の伝導速度が低下している等、神経系への虚血の悪影響も報告されている⁵⁹⁾。本研究では神経系の評価を行っていないため明らかにすることは出来ないが、EVT による神経系への血流改善に伴い、神経系機能の改善から歩行が改善した可能性がある。また、PAD 患者では四肢間の協調運動の変動性が健常者と比較し大きいと報告されており、運動制御の障害もあると考えられている⁶⁰⁾。EVT が筋神経の機能を改善し、脳への感覚情報や運動情報の改善をもたらす、神経筋骨格系全体の運

動制御が改善した可能性がある。運動制御の改善は筋や神経の関与だけではなく、運動学習⁶¹といった視点で考察することも出来る。運動学習には時間を要すると考えられ、本研究で改善に時間を要した点とも矛盾しない。

これら Friedman 検定で有意な改善を認めたパラメータの全てで 1 か月-6 カ月の比較において有意差は見られなかった。これは、「1 か月時点での改善が、6 カ月時点まで維持された」と考えられる一方で、「1 か月以降は改善が見られなかった」と捉えることもできる結果であった。

1-(6) 健常者との比較について

本研究では、患者の時間距離因子、運動力学的因子を健常者と比較することで治療前後の歩行の変化について考察した。

術前と健常者との比較においては、患者の時間距離因子は 4 項目全て（ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度）のパラメータで有意に低下していた。運動力学的因子は関節モーメントの一部（HE、KE）と関節パワーの大部分（H2、H3、K1、K2、K3、A2）で有意な低下を認めた。TLA においても同様に有意な低下が見られた。しかし 6 カ月時点と健常者との比較では、時間距離因子の 3 項目（ストライド長、ステップ長、歩行速度）で有意な低下が残存していたが、関節モーメント、関節パワー、TLA では K1 を除いた全てのパラメータで有意差が見られなくなった。この結果から、関節運動という視点からは EVT 後に患者の歩行パターンが健常者の歩行パターンへ近付いたと考察することができる。そして

歩幅、歩行速度は未だ改善の余地があることが示唆される。

前項で述べたように、患者の時間距離因子、運動力学的因子は 1 か月時点から 6 カ月時点まで変化が見られない。これは、EVT による血流改善のみでの改善の限界を見ている可能性がある。時間距離因子をはじめとした患者の歩行能力を更に改善させるためには、遅くとも治療後 1 か月には何らかの追加治療介入が必要である可能性が示唆された。これまで、薬物療法では歩行パラメータを改善させなかったことが報告されており^{62), 63)}、追加治療を行うとすれば運動療法が有効であると考えられる。

血行再建術で血流を改善させたにも関わらず、健常者の機能に達しない阻害因子について考察した。虚血は前述の通り、筋肉そのものを変化させる^{49), 50), 51), 52)}。中には不可逆と考えられる変化もあり、虚血に晒されていた期間が長いほど、筋肉に血流を再開させたとしても 100%健常な筋肉には戻らない可能性がある。また、患者の Frailty が PAD 患者の歩行能力を増悪と関与している可能性がある⁶⁴⁾。そのため、血流を改善させ症状が軽減したとしても Frailty の存在が改善を阻害している可能性が考えられる。今後、PAD の罹病期間や術前の Frailty と患者歩行パラメータの相関を検討する必要がある。

1-(7) EVT と運動療法、検討される追加治療について

間歇性跛行を伴う PAD 患者への治療の第一選択とされる、監視下運動療法の効果を三次元動作解析で評価した研究がこれまでにいくつか報告されている。

King ら⁶⁵⁾は、ウォーキングベースのサーキットトレーニングを監視下に 3 か月間行う前後

で三次元動作解析を行ったが、時間距離因子、運動力学的因子に有意な変化は見られなかった。Haga ら⁵³⁾は自転車エルゴメーターを用いた監視下運動療法を3カ月行った前後で評価した結果を報告している。ここでは時間距離因子には変化はなく、股関節可動域 (ROM: range of motion)の減少、股関節最大モーメントの低下、股関節仕事量の低下を認めた。著者らはこれを効率的な歩行を獲得したと考察している。Schieber ら⁶⁶⁾は、6カ月間のトレッドミルを用いた監視下運動療法の前後で評価を行った。時間距離因子の変化は見られなかったが、HE、H3、A1、A2 において有意な上昇を認めた。足関節底屈筋の筋力増強も見られ、著者らは患者の歩行が健常者に近付いたと考察している。

本研究での運動力学的因子においては Schieber らのトレッドミル運動療法の結果と改善したパラメータが重複し、また本研究でも健常者の歩行に近付いたと考察しているため、類似する点が見られる。しかし、本研究では足関節底屈筋より股関節屈曲筋の改善が主であると考察しており、Schieber らの研究との相違点と考えられる。また、従来の運動療法の研究と本研究の相違点で更に注目すべきは、時間距離因子が改善している点である。上記3研究以外も含め、監視下運動療法後に時間距離因子が改善したという報告は少ない。

EVT が治療の第一選択でなく、運動療法後のオプションという位置付けにされる理由は、その侵襲性、合併症リスクとコストの問題が主である^{4), 7), 8)}。また、この分野は従来より歩行距離延長効果やその長期間の耐久性が主なアウトカムとして注目されており⁶⁷⁾、監視下運動療法に対する EVT の優越性が示されていなかった点も大きい^{35), 68)}。本研究では、EVT 後に全ての時間距離因子が有意に改善した。時間距離因子は後述する PAD 患者の生命

予後とも関連する重要なパラメータであり、従来の監視下運動療法に対する EVT の優れた点を示した可能性がある。

一方で、健常者との比較から EVT による血流改善のみでは時間距離因子の改善が十分ではない可能性があり、運動療法のような他治療法を組み合わせる必要性が示唆された。

上述したエルゴメーターやトレッドミルを使用するような運動はエアロビクトレーニングに分類され、PAD 患者へ行われる監視下運動療法はエアロビクトレーニングが主に利用されてきた。EVT と監視下運動療法（エアロビクトレーニング）の併用については複数報告がある。エビデンスレベルは高くないが、監視下運動療法単独と比較して歩行距離延長や QOL に対する有用性が示唆されている^{35), 69)}。しかし、知る限りは EVT と運動療法併用の効果を時間距離因子、運動力学的因子で評価した研究はない。これら进行评估することが出来れば、歩行距離延長だけではない歩行への有益性が明らかになる可能性がある。

また、一般的に運動療法には負荷をかけ筋力増強を狙うレジスタンストレーニングという方法があり、しばしばエアロビクトレーニングと共に行われる。一般的な高齢者において、レジスタンストレーニングが歩行速度、歩幅、ケイデンスといった時間距離因子を改善させることが報告されている^{70), 71), 72)}。報告されているレジスタンストレーニングの内容は様々で、下肢を中心としたレジスタンストレーニング（weight lift、leg press、膝屈曲/伸展、股関節内転/外転、股関節伸展/屈曲、足関節底屈/背屈運動等）や、背筋運動、chest press、core muscles training 等を含めた全身レジスタンストレーニングの有効性も述べられている。継

続期間も様々であるが、いずれも週に 2-3 回、6 週間以上のトレーニングが推奨されている。PAD 患者においてもレジスタンストレーニングを監視下、非監視下に行った報告があり、監視下レジスタンストレーニングに対する systematic review & meta-analysis では、歩行距離延長においてはレジスタンストレーニングの有用性は認めるものの、運動方法や評価項目に統一が無く、時間距離因子や下肢筋力に関する影響は未だ明らかではないと結論されている⁷³⁾。また、従来のエアロビクトレーニングに対するレジスタンストレーニングの優越性は明らかではないが、両者の併用療法はエビデンスレベルは低いものの、有効性が示唆されている⁷⁴⁾。現状は PAD 患者へのレジスタンストレーニングの有用性に強いエビデンスはないが、EVT 後に低下が残存している時間距離因子を上昇させる効果が期待される。

EVT と運動療法の併用に期待される効果は上述のような時間距離因子の改善効果だけではない。運動療法中の痛みがアドヒアランスに影響するという報告³⁶⁾から、EVT で血流を改善させ、運動中の痛みを軽減することが運動療法のアドヒアランス向上につながる事が予想される。また、EVT 後に運動療法を行うことにより、軽度の再狭窄を来しても症候性とならず、EVT による再治療を減らしたという報告⁷⁵⁾からは EVT 治療の耐久性の向上、医療コストの削減の効果も期待される。実際には PAD 患者は比較的高齢であり、取り入れ易い下肢中心のレジスタンストレーニングを可能であれば監視下に、困難であれば適切な指導の下に在宅で行うことが現実的だろう。EVT とレジスタンストレーニングの併用が、EVT 後に低下が残存していた時間距離因子へどのような影響があるか、更なる研究が望まれる。

1-(8) EVT と生命予後

PAD 患者の最も大きな生命予後規定因子は心血管疾患、脳血管疾患であるが、これまでの疫学研究から日常生活活動性¹⁶⁾、連続歩行距離^{11), 12)}、歩行速度¹²⁾、下肢筋量¹³⁾、筋力¹⁴⁾、運動耐用能¹⁵⁾といった身体機能が生命予後に関与することが明らかになってきた。特に歩行速度は健常高齢者においても生命予後予測因子の一つ⁷⁶⁾とされ、また健常高齢者において歩行速度向上が生命予後の延長に繋がるとの報告⁷⁷⁾もあり、PAD 患者にも同様の効果が期待される。

運動療法には PAD 患者の心血管リスクを軽減し、心血管死を減らしたという報告⁷⁸⁾があるが、EVT による生命予後延長効果は明らかではない。本研究では、EVT 後に時間距離因子である歩行速度が向上した。直接的な指標はないが、時間距離因子、運動力学的因子の変化からは下肢筋量・筋力の改善が、WIQ の変化から日常生活活動性の向上が推察できる。これら身体機能の改善を長期間維持することができれば、EVT を行った PAD 患者の生命予後を延長させる可能性がある。今後は、更なる長期間の耐久性、直接的な身体機能の変化を研究していく必要がある。

2 大腿膝窩動脈領域病変患者での検討

症例数が少なく、統計学的検定は出来なかったが、結果を考察する。

2-(1) FP 群における EVT 後のパラメータの変化

AI 群の解析時に有意な改善を認めたパラメータについては、FP 群でも類似した変化が見られた。

ABI、PWD、MWD、RT において、AI 群では術前と比較し、1 週間時点で有意に改善し、その後 6 カ月まで維持されていた。FP 群では術前と比較し、1 週間である程度改善し、1 か月時点では横ばいもしくは更に改善している症例が多くあった。その後 MWD が低下した症例が 1 肢あったが、概ね 6 か月時点まで維持されていた。

AI 群では全ての時間距離因子、股関節に関連した関節モーメント (HE、HF)、股関節屈曲筋に関連した関節パワー (H2、H3) と A2 が 1 か月時点で有意に改善し、6 カ月時点まで維持されていた。FP 群では、概ね全ての症例で全ての時間距離因子 (ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度)、一部の関節モーメント (HE、HF、KE、AP)、一部の関節パワー (H1、H2、H3、K1、K2、K3、A2) において、術前と比較して 1 か月時点で改善を認めた。しかし、これらパラメータの大部分が、1 か月時点と比較して 6 カ月時点では低下していた。

2 - (2) 変化が見られたパラメータについて

AI 領域への治療介入で股関節に関連したパラメータが改善した点は、その解剖学的特徴から予想され、受け入れやすい結果である。

FP 領域への治療介入は、その解剖学的特徴から、下腿、大腿の筋へ最も影響を与え、足関節や膝関節のパラメータが変化すると予想される。しかし、今回の FP 群 3 人 4 肢にお

いては、足関節、膝関節のみならず、股関節の関節モーメント、関節パワーにも変化が見られた。FP 領域への治療介入では股関節運動に関連する筋肉への血流増加は少ないと考えられるため、股関節に関連するパラメータの変化は、日常生活活動性の上昇による全身の筋力増強や歩行意識の変化等の影響を推測するが、本研究では明らかにできない。

また、足関節と股関節について、加齢に伴い歩行パターンが末梢から中枢優位へシフトするという関係が報告されている^{79), 80)}。過去の研究では、高齢者は若年者と比し A2 が低値で H3 が高値であった。更に、歩行速度を上昇させる際に、若年者では A2 を使用する一方、高齢者は H3 を使用する⁸¹⁾とも言われ、高齢者では推進力を生み出すのは A2 よりも H3 が重要である可能性がある。本研究の FP 群は 84 歳、68 歳、61 歳であり、歩行パターンの中枢シフトのため、股関節パラメータ変化が目立った可能性がある。

2 - (3) EVT 治療効果の耐久性について

本研究における FP 群 3 人 4 肢は、6 か月間の経過中に間歇性跛行の再燃はなく、ABI の低下や病変の再狭窄も指摘されていない。しかしながら、大部分の時間距離因子、運動力学的因子が 6 カ月時点で低下していた。通常の自覚症状に関する問診、脈拍の触診、ABI、画像検査（ドップラー超音波、CTA）だけでは、これら歩行パラメータの低下を捉えられないため、従来フォローアップ方法では生命予後に影響する身体機能の低下が見逃されている可能性が示唆される。また、この結果からも EVT 単独治療は患者身体機能の改善・維持に対しては不十分である可能性がある。

AI 領域と FP 領域で EVT 治療効果の耐久性に違いがあるかどうか、本研究では比較できない。評価項目を標的血管の開存率とすると、一般的に AI 領域と比べ、FP 領域で劣るとされる^{38), 39)}が、歩行パラメータについては明らかではない。AI 群においても、個々の症例で見ると 1 か月時点が最大で、6 か月時点では低下している症例も見られるため、耐久性に関しては症例数を増やしてより長期間での評価が必要である。

3 大動脈腸骨動脈領域病変と大腿膝窩動脈領域病変における術前パラメータ比較

AI 群、FP 群の術前データを比較した結果、一部の基礎疾患（糖尿病、慢性腎臓病）に有意な差を認めたものの、主要な患者背景、ABI、跛行症状の重症度には差がなかった。MWD には有意差があり、FP 群の方が長距離歩行が可能な集団であった。

両群の時間距離因子、運動力学的因子を単純比較したところ、KE のみで有意差が見られ、FP 群が有意に低下していた。KE は立脚中期に生じる膝関節伸展方向のモーメントで、同側肢の大腿四頭筋の働きと、遊脚期にある対側肢による前方への勢いにより生じる。大腿四頭筋は外側大腿回旋動脈をはじめとした大腿深動脈の分枝を主要な栄養動脈としている。本研究の FP 群では全例大腿深動脈分岐部より末梢（浅大腿動脈）に病変が存在しており、大腿深動脈分岐部より中枢に病変が存在する AI 群より大腿四頭筋の虚血が強いとは言い難い。また、KE は同時期の股関節、足関節モーメントの作用も受けていることから、KE 単独の低下を FP 群の特徴と考えることは出来ない。

動脈病変部位による解剖学的特徴からは、AI 群では股関節に関連したパラメータの低

下、FP 群では足関節に関連したパラメータの低下が予想されたが、本研究ではいずれも明らかではなかった。動脈病変部位による歩行パラメータの詳細を検討するには、更なる症例数の蓄積が必要と考えられた。また、動脈病変部位の違いによって EVT による各パラメータの変化が異なる可能性もあり、術後パラメータの比較も今後必要である。

4 本研究の知見から得られた将来の展望

AI 群に対する EVT 後の時間距離因子や運動力学的因子の改善は、患者身体機能の改善、日常生活活動性の向上、歩行意識の変化を示唆している。これらを維持・向上することが出来れば、PAD 患者の生命予後を改善する可能性がある。

EVT 単独治療では改善の程度と治療効果の耐久性に懸念があるが、遅くとも EVT 後 1 か月時点からレジスタンストレーニングのような運動療法を併用することによって、更なるパラメータの改善のみならず、運動療法のアドヒアランス向上、EVT 再治療の減少、医療コスト削減といった併用による相補効果も期待される。

研究を進め、動脈病変部位毎の特徴が明らかになれば、EVT や運動療法の標的をより明確に設定し、効率的な治療が行えるかもしれない。

PAD 患者の帰結は血行再建の程度で記述されることが一般的であるが、患者の症状は跛行症状と歩行障害であり、歩行の帰結に着目することが重要である。三次元動作解析のような高度な歩行分析は限られた施設でしか施行できないが、歩行能力は身体機能や日常生活活動性等の様々なパラメータ、モダリティで推定が可能である。筋力、歩数、歩幅、

歩行速度等の測定に特別な機器は不要である。体組成計を用いれば筋肉量を測定することが可能であり、CT を撮影すれば個別の筋 volume を測定することが出来る。また近年は身体機能や日常生活活動性を記録することが出来るスマートフォンやウェアラブルデバイスの開発が進み、一般社会に普及しつつある⁸²⁾。これら新規デバイスの患者健康管理への利用も研究されており、PAD 患者に対しても有用性が期待される。従来の外来診察項目(問診、ABI、エコー)に上記のような項目を追加することで、どの施設においても身体機能や日常生活活動性を含めた PAD 患者のフォローアップを行うことが出来る。前述したように、EVT 後の身体機能や日常生活活動性を適切にフォローアップし、維持向上させることで、PAD 患者の生命予後を改善させることが出来るかもしれない。

5 本研究の限界

本研究にはいくつか限界がある。

第一に、症例数が少ない点である。AI群で検査を完遂できた症例は10人14肢しかなく、10人の脱落があった。そのため、統計解析結果に影響があった可能性がある。尚、EVT後に時間距離因子、運動力学的因子を計測した報告がこれまで無いため、本研究においては先行研究³³⁾の結果を基に検定力の分析を行った。PAD患者において、歩行障害に最も関連していたH3のパラメータ(平均値 0.5 W/kg ± 標準偏差 0.18)が、健常者(1.0 ± 0.22)の約8割のレベルまでEVTによって回復すると仮定する(治療後の平均値 0.、平均値の差 0.3)と、検出力 0.8 を得るために必要なサンプルサイズは 10 と計算された。その

ため、10人14肢と少ない症例数であったが、解析を行った。本研究では、1か月時点において、遠方により来院出来ず、脱落した症例が多数であった。今後追跡可能人数を増やすためには、計測タイミングの検討や、遠方でも測定可能なパラメータ、モダリティの使用を検討する必要があると考えた。

第二に、両側病変症例、片側病変症例を合わせて解析している点である。片側病変患者には健側肢が存在する。片側病変症例の健側肢も時間距離因子、運動力学的因子は低下しているという報告はある³¹⁾が、実際の歩行においては健側肢が患側肢を補う働きをしている可能性がある。症例数が少ないため本研究では困難だが、今後片側、両側での検討が必要である。

第三に、患者に選択させた快適歩行での計測に限定している点である。これまでのPAD患者を対象とした歩行観察研究では、速歩での検討^{33), 83), 84)}や跛行症状出現後での検討^{30), 31), 66)}を行っているものもあり、それぞれ潜在的に低下したパラメータの検出に有用とされている。本研究でも速歩や跛行症状出現後の計測を行うことで、新たな知見を得られる可能性がある。

第四に、前述のように、筋力や筋量、筋代謝等、筋肉に関する直接的なパラメータや、患者の日常生活活動性を直接評価するパラメータが無い点である。患者の歩行の変化をより正確に理解するために必要な項目と考えられ、今後の研究の課題と考えている。

第五に、大動脈腸骨動脈領域以外の病変に関するデータが限定的という点である。大腿膝窩動脈領域患者の数はさらに少なく、また両病変や下腿病変の混在症例を検討して

いない。PAD 患者には病変が混在しているケースが多く、実臨床に当てはめて行くには他領域の研究を進める必要がある。

VII. 結論

本研究の結果、間歇性跛行を伴う PAD 患者への EVT で、時間距離因子（ストライド長、ステップ長、ケイデンス、歩行速度）、運動力学的因子（関節モーメント、パワー）が術後 1 か月時点で改善した。

大動脈腸骨動脈領域に限定した解析では、特に股関節屈曲筋に関連する HF、H3 が改善した。治療後に PAD 患者の歩行パラメータが健常高齢者の歩行パラメータに近付いたと考えられるが、歩行速度、ストライド長、ステップ長などの時間距離因子は依然として低下していた。EVT と運動療法の併用など、更なる改善を目指した治療方法について研究を今後進める必要がある。

また症例数の少ない解析ではあるが、大腿膝窩動脈領域への EVT も同様に時間距離因子、運動力学的因子の改善が見られた。病変部位毎の特徴、治療反応の違いを明らかにするべく、症例数の蓄積と更なる解析が必要と考えられた。

VIII.謝辞

本研究の機会を与えて頂き、御指導賜った本学医学系研究科内部障害学分野教授上月正博先生、消化器外科学分野教授亀井尚先生、海野倫明先生、乳腺内分泌外科学分野教授石田孝宜先生に感謝申し上げます。

共同研究者として研究活動、論文執筆について多大なる御協力を頂きました柿花隆昭先生に心より感謝申し上げます。

消化器外科学分野の赤松大二郎先生、後藤均先生、芹澤玄先生、田島悠太先生、梅津道久先生、堀井晋一良先生、高橋宏和先生、長岡洋平先生には研究の施行及び本論文執筆にあたり多大なる御助言を頂きました。感謝申し上げます。

また、臨床業務の中で研究活動を行うことをご理解頂いた東北大学病院リハビリテーション部前技師長佐藤房郎先生と現技師長村木孝行先生、大変お忙しい中、動作解析装置の機器設定から計測に至るまで丁寧な御指導を頂いた関口雄介先生、本田啓太先生、リハビリテーション部スタッフの皆様には感謝申し上げます。研究に協力頂いた患者様、被検者様に感謝いたします。最後に、研究活動を支えてくれた家族に感謝の意を伝えます。

Ⅷ.文献

- 1).Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, et al. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). J Vasc Surg. 2007;45 Suppl S:S5-67.
- 2).Fowkes FG, Rudan D, Rudan I, et al. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. Lancet. 2013;382(9901):1329-40.
- 3).Selvin E, Erlinger TP. Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2000. Circulation. 2004;110(6):738-43.
- 4).宮田 哲郎. 末梢閉塞性動脈疾患の治療ガイドライン (2015年改訂版).
- 5).Bhatt DL, Steg PG, Ohman EM, et al. International prevalence, recognition, and treatment of cardiovascular risk factors in outpatients with atherothrombosis. Jama. 2006;295(2):180-9.
- 6).Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, et al. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Association for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to

Develop Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease): endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation; National Heart, Lung, and Blood Institute; Society for Vascular Nursing; TransAtlantic Inter-Society Consensus; and Vascular Disease Foundation. *Circulation*. 2006;113(11):e463–654.

7). Gerhard-Herman MD, Gornik HL, Barrett C, et al. 2016 AHA/ACC Guideline on the Management of Patients With Lower Extremity Peripheral Artery Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2017;69(11):e71–e126.

8). Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J*. 2018;39(9):763–816.

9). Alahdab F, Wang AT, Elraiyah TA, et al. A systematic review for the screening for peripheral arterial disease in asymptomatic patients. *J Vasc Surg*. 2015;61(3 Suppl):42s–53s.

10). Conte MS, Pomposelli FB, Clair DG, et al. Society for Vascular Surgery practice guidelines for atherosclerotic occlusive disease of the lower extremities: management of

asymptomatic disease and claudication. *J Vasc Surg.* 2015;61(3 Suppl):2s–41s.

11).de L, II, Hoeks SE, van Gestel YR, et al. The prognostic value of impaired walking distance on long-term outcome in patients with known or suspected peripheral arterial disease. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2009;38(4):482–7.

12).McDermott MM, Liu K, Ferrucci L, et al. Decline in functional performance predicts later increased mobility loss and mortality in peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57(8):962–70.

13).McDermott MM, Liu K, Tian L, et al. Calf muscle characteristics, strength measures, and mortality in peripheral arterial disease: a longitudinal study. *J Am Coll Cardiol.* 2012;59(13):1159–67.

14).Singh N, Liu K, Tian L, et al. Leg strength predicts mortality in men but not in women with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2010;52(3):624–31.

15).Leeper NJ, Myers J, Zhou M, et al. Exercise capacity is the strongest predictor of mortality in patients with peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2013;57(3):728–33.

16).Garg PK, Tian L, Criqui MH, et al. Physical activity during daily life and mortality in patients with peripheral arterial disease. *Circulation.* 2006;114(3):242–8.

17).Conte MS, Bradbury AW, Kolh P, et al. Global vascular guidelines on the management of chronic limb-threatening ischemia. *J Vasc Surg.* 2019;69(6s):3S–125S.e40.

18).Scherer SA, Bainbridge JS, Hiatt WR, et al. Gait characteristics of patients with

claudication. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(5):529–31.

19).Gardner AW, Forrester L, Smith GV. Altered gait profile in subjects with peripheral arterial disease. *Vasc Med.* 2001;6(1):31–4.

20).Salbach NM, O'Brien KK, Brooks D, et al. Reference values for standardized tests of walking speed and distance: a systematic review. *Gait Posture.* 2015;41(2):341–60.

21).Lelas JL, Merriman GJ, Riley PO, et al. Predicting peak kinematic and kinetic parameters from gait speed. *Gait Posture.* 2003;17(2):106–12.

22).A.Winter D. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* 4th edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2009.

23).Bowden MG, Balasubramanian CK, Neptune RR, et al. Anterior–posterior ground reaction forces as a measure of paretic leg contribution in hemiparetic walking. *Stroke.* 2006;37(3):872–6.

24).Hsiao H, Knarr BA, Higginson JS, et al. The relative contribution of ankle moment and trailing limb angle to propulsive force during gait. *Hum Mov Sci.* 2015;39:212–21.

25).Tyrell CM, Roos MA, Rudolph KS, et al. Influence of systematic increases in treadmill walking speed on gait kinematics after stroke. *Phys Ther.* 2011;91(3):392–403.

26).Lewek MD, Sawicki GS. Trailing limb angle is a surrogate for propulsive limb forces during walking post–stroke. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2019;67:115–8.

27).Crowther RG, Spinks WL, Leicht AS, et al. Relationship between temporal–spatial gait

parameters, gait kinematics, walking performance, exercise capacity, and physical activity level in peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2007;45(6):1172–8.

28).Chen SJ, Pipinos I, Johanning J, et al. Bilateral claudication results in alterations in the gait biomechanics at the hip and ankle joints. *J Biomech.* 2008;41(11):2506–14.

29).Celis R, Pipinos, II, Scott–Pandorf MM, et al. Peripheral arterial disease affects kinematics during walking. *J Vasc Surg.* 2009;49(1):127–32.

30).Koutakis P, Johanning JM, Haynatzki GR, et al. Abnormal joint powers before and after the onset of claudication symptoms. *J Vasc Surg.* 2010;52(2):340–7.

31).Koutakis P, Pipinos, II, Myers SA, et al. Joint torques and powers are reduced during ambulation for both limbs in patients with unilateral claudication. *J Vasc Surg.* 2010;51(1):80–8.

32).Wurdeman SR, Koutakis P, Myers SA, et al. Patients with peripheral arterial disease exhibit reduced joint powers compared to velocity–matched controls. *Gait Posture.* 2012;36(3):506–9.

33).Kakahana T, Ito O, Sekiguchi Y, et al. Hip flexor muscle dysfunction during walking at self–selected and fast speed in patients with aortoiliac peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2017;66(2):523–32.

34).牧田 茂, 安 隆則. 心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン (2021年改訂版)

- 35).Fakhry F, Fokkenrood HJ, Spronk S, et al. Endovascular revascularisation versus conservative management for intermittent claudication. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;3(3):Cd010512.
- 36).Al-Jundi W, Madbak K, Beard JD, et al. Systematic review of home-based exercise programmes for individuals with intermittent claudication. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2013;46(6):690–706.
- 37).Vemulapalli S, Dolor RJ, Hasselblad V, et al. Supervised vs unsupervised exercise for intermittent claudication: A systematic review and meta-analysis. *Am Heart J.* 2015;169(6):924–37.e3.
- 38).Indes JE, Pfaff MJ, Farrokhyar F, et al. Clinical outcomes of 5358 patients undergoing direct open bypass or endovascular treatment for aortoiliac occlusive disease: a systematic review and meta-analysis. *J Endovasc Ther.* 2013;20(4):443–55.
- 39).Dake MD, Ansel GM, Jaff MR, et al. Durable Clinical Effectiveness With Paclitaxel-Eluting Stents in the Femoropopliteal Artery: 5-Year Results of the Zilver PTX Randomized Trial. *Circulation.* 2016;133(15):1472–83; discussion 83.
- 40).Klinkert P, Post PN, Breslau PJ, et al. Saphenous vein versus PTFE for above-knee femoropopliteal bypass. A review of the literature. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2004;27(4):357–62.
- 41).Gerhard-Herman M, Gardin JM, Jaff M, et al. Guidelines for noninvasive vascular

laboratory testing: a report from the American Society of Echocardiography and the Society for Vascular Medicine and Biology. *Vasc Med*. 2006;11(3):183–200.

42).Sekiguchi Y, Muraki T, Izumi S, et al. The contribution of quasi-joint stiffness of the ankle joint to gait in patients with hemiparesis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012;27(5):495–9.

43).Eng JJ, Winter DA. Kinetic analysis of the lower limbs during walking: what information can be gained from a three-dimensional model? *J Biomech*. 1995;28(6):753–8.

44).Gardner AW, Montgomery PS, Wang M, et al. Association between calf muscle oxygen saturation with ambulatory function and quality of life in symptomatic patients with peripheral artery disease. *J Vasc Surg*. 2020;72(2):632–42.

45).Figoni SF, Kunkel CF, Scremin AM, et al. Effects of exercise training on calf tissue oxygenation in men with intermittent claudication. *Pm r*. 2009;1(10):932–40.

46).Nicolai SP, Kruidenier LM, Rouwet EV, et al. The walking impairment questionnaire: an effective tool to assess the effect of treatment in patients with intermittent claudication. *J Vasc Surg*. 2009;50(1):89–94.

47).Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZ R' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant*. 2013;48(3):452–8.

48).Beckitt TA, Day J, Morgan M, et al. Calf muscle oxygen saturation and the effects of supervised exercise training for intermittent claudication. *J Vasc Surg*. 2012;56(2):470–5.

- 49).Regensteiner JG, Wolfel EE, Brass EP, et al. Chronic changes in skeletal muscle histology and function in peripheral arterial disease. *Circulation*. 1993;87(2):413–21.
- 50).Pipinos, II, Judge AR, Selsby JT, et al. The myopathy of peripheral arterial occlusive disease: part 1. Functional and histomorphological changes and evidence for mitochondrial dysfunction. *Vasc Endovascular Surg*. 2007;41(6):481–9.
- 51).Pipinos, II, Judge AR, Selsby JT, et al. The myopathy of peripheral arterial occlusive disease: Part 2. Oxidative stress, neuropathy, and shift in muscle fiber type. *Vasc Endovascular Surg*. 2008;42(2):101–12.
- 52).McDermott MM, Ferrucci L, Guralnik J, et al. Pathophysiological changes in calf muscle predict mobility loss at 2-year follow-up in men and women with peripheral arterial disease. *Circulation*. 2009;120(12):1048–55.
- 53).Haga M, Hoshina K, Koyama H, et al. Bicycle exercise training improves ambulation in patients with peripheral artery disease. *J Vasc Surg*. 2020;71(3):979–87.
- 54).Guilleron C, Abraham P, Beaune B, et al. Location of ischemia and ischemic pain intensity affect spatiotemporal parameters and leg muscles activity during walking in patients with intermittent claudication. *Sci Rep*. 2021;11(1):6809.
- 55).Rexroth W, Hageloch W, Isgro F, et al. Influence of peripheral arterial occlusive disease on muscular metabolism. Part 1: Changes in lactate, ammonia, and hypoxanthine concentration in femoral blood. *Klin Wochenschr*. 1989;67(11):576–82.

- 56).Girn HR, Orsi NM, Homer-Vanniasinkam S. An overview of cytokine interactions in atherosclerosis and implications for peripheral arterial disease. *Vasc Med.* 2007;12(4):299–309.
- 57).Leardini-Tristao M, Charles AL, Lejay A, et al. Beneficial Effect of Exercise on Cognitive Function during Peripheral Arterial Disease: Potential Involvement of Myokines and Microglial Anti-Inflammatory Phenotype Enhancement. *J Clin Med.* 2019;8(5).
- 58).Abraham P, Ouedraogo N, Tew GA, et al. Aging reduces the accuracy of self-reported walking limitation in patients with vascular-type claudication. *J Vasc Surg.* 2012;56(4):1025–31.
- 59).McDermott MM. Lower extremity manifestations of peripheral artery disease: the pathophysiologic and functional implications of leg ischemia. *Circ Res.* 2015;116(9):1540–50.
- 60).Crowther RG, Spinks WL, Leicht AS, et al. Intralimb coordination variability in peripheral arterial disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(3):357–64.
- 61).Doya K. What are the computations of the cerebellum, the basal ganglia and the cerebral cortex? *Neural Netw.* 1999;12(7–8):961–74.
- 62).Huisinga JM, Pipinos II, Johanning JM, et al. The effect of pharmacological treatment on gait biomechanics in peripheral arterial disease patients. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:25.
- 63).Yentes JM, Huisinga JM, Myers SA, et al. Pharmacological treatment of intermittent claudication does not have a significant effect on gait impairments during claudication pain.

J Appl Biomech. 2012;28(2):184–91.

64).Farah BQ, Santos MF, Cucato GG, et al. Effect of frailty on physical activity levels and walking capacity in patients with peripheral artery disease: A cross-sectional study. J Vasc Nurs. 2021;39(3):84–8.

65).King S, Vanicek N, Mockford KA, et al. The effect of a 3-month supervised exercise programme on gait parameters of patients with peripheral arterial disease and intermittent claudication. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2012;27(8):845–51.

66).Schieber MN, Pipinos, II, Johanning JM, et al. Supervised walking exercise therapy improves gait biomechanics in patients with peripheral artery disease. J Vasc Surg. 2020;71(2):575–83.

67).Murphy TP, Cutlip DE, Regensteiner JG, et al. Supervised exercise versus primary stenting for claudication resulting from aortoiliac peripheral artery disease: six-month outcomes from the claudication: exercise versus endoluminal revascularization (CLEVER) study. Circulation. 2012;125(1):130–9.

68).Djerf H, Millinger J, Falkenberg M, et al. Absence of Long-Term Benefit of Revascularization in Patients With Intermittent Claudication: Five-Year Results From the IRONIC Randomized Controlled Trial. Circ Cardiovasc Interv. 2020;13(1):e008450.

69).Fakhry F, Spronk S, van der Laan L, et al. Endovascular Revascularization and Supervised Exercise for Peripheral Artery Disease and Intermittent Claudication: A

Randomized Clinical Trial. *Jama*. 2015;314(18):1936–44.

70).Persch LN, Ugrinowitsch C, Pereira G, et al. Strength training improves fall-related gait kinematics in the elderly: a randomized controlled trial. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2009;24(10):819–25.

71).Nicholson VP, McKean MR, Burkett BJ. Low-load high-repetition resistance training improves strength and gait speed in middle-aged and older adults. *J Sci Med Sport*. 2015;18(5):596–600.

72).Papa EV, Dong X, Hassan M. Resistance training for activity limitations in older adults with skeletal muscle function deficits: a systematic review. *Clin Interv Aging*. 2017;12:955–61.

73).Blears EE, Elias JK, Tapking C, et al. Supervised Resistance Training on Functional Capacity, Muscle Strength and Vascular Function in Peripheral Artery Disease: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021;10(10).

74).Machado I, Sousa N, Paredes H, et al. Combined Aerobic and Resistance Exercise in Walking Performance of Patients With Intermittent Claudication: Systematic Review. *Front Physiol*. 2019;10:1538.

75).Mazari FA, Khan JA, Carradice D, et al. Randomized clinical trial of percutaneous transluminal angioplasty, supervised exercise and combined treatment for intermittent claudication due to femoropopliteal arterial disease. *Br J Surg*. 2012;99(1):39–48.

- 76). Studenski S, Perera S, Patel K, et al. Gait speed and survival in older adults. *Jama*. 2011;305(1):50–8.
- 77). Hardy SE, Perera S, Roumani YF, et al. Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *J Am Geriatr Soc*. 2007;55(11):1727–34.
- 78). Sakamoto S, Yokoyama N, Tamori Y, et al. Patients with peripheral artery disease who complete 12-week supervised exercise training program show reduced cardiovascular mortality and morbidity. *Circ J*. 2009;73(1):167–73.
- 79). McGibbon CA. Toward a better understanding of gait changes with age and disablement: neuromuscular adaptation. *Exerc Sport Sci Rev*. 2003;31(2):102–8.
- 80). Beijersbergen CM, Granacher U, Vandervoort AA, et al. The biomechanical mechanism of how strength and power training improves walking speed in old adults remains unknown. *Ageing Res Rev*. 2013;12(2):618–27.
- 81). Cofré LE, Lythgo N, Morgan D, et al. Aging modifies joint power and work when gait speeds are matched. *Gait Posture*. 2011;33(3):484–9.
- 82). 天笠 志保, 荒神 裕之, 井上 茂. 医療・健康分野におけるスマートフォンおよびウェアラブルデバイスを用いた身体活動の評価:現状と今後の展望. *Japanese Society of Public Health*. 2021;68(9):585–96.
- 83). Jonkers I, Delp S, Patten C. Capacity to increase walking speed is limited by impaired hip and ankle power generation in lower functioning persons post-stroke. *Gait Posture*.

2009;29(1):129–37.

84).Ko SU, Stenholm S, Chia CW, et al. Gait pattern alterations in older adults associated with type 2 diabetes in the absence of peripheral neuropathy--results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Gait Posture*. 2011;34(4):548–52.

X. 図の説明

図 1. Fontaine 分類と Rutherford 分類

PAD 患者の症状を無症候性、間歇性跛行、安静時痛、組織欠損に区別する分類。

図 2. 歩行周期と各時期の名称（右足に着目）

歩行周期は立脚期と遊脚期からなる。立脚期は初期接地、荷重応答期、立脚中期、立脚終期、前遊脚期に、遊脚期は遊脚初期、遊脚中期、遊脚終期から構成される。

本研究では立脚期に着目してデータを抽出している。

図 3. 時間距離因子（ストライド長、ステップ長）

ストライド長は一側の踵が接地して次に同側の踵が接地するまでの距離を表し、ステップ長は一側の踵が接地して次に反対側の踵が接地するまでの距離を表す。

図 4. 関節モーメント（身体内部で発生）と外部モーメント、床反力の関係

初期接地における股関節運動を例示し説明する。踵が地面に着いた時、作用反作用の法則から踵が地面を押す力と同じ長さ、反対方向のベクトルが生じる。これが床反力計が計測する床反力である。床反力ベクトルが股関節の前方を通過するため、股関節には「屈曲方向」の外部モーメントが生じる。この時、外部モーメントに抗して姿勢を維持するため、股関節伸展筋が働き、身体内部に「伸展方向」の関節モーメントが生じる。この身体内部で

発生する関節モーメントを本研究では計測・解析している。両者は静止状態では釣り合うが、実際の歩行時には股関節が伸展され身体が前方へ進むため、伸展方向の関節モーメントが外部モーメントをわずかに上回っている。膝関節、足関節にも同様の関係が見られる。

図 5

Trailing Limb Angle の定義について示した。

大転子と第 5 中足骨頭を結ぶ線と垂直軸（Z 軸）のなす角度を計測し解析している。

図 6. 下肢動脈の解剖と領域分類

TASC II で提唱された大動脈腸骨動脈領域、大腿膝窩動脈領域、膝下領域の分類。臨床
上よく用いられている。

図 7. TASC 分類（大動脈腸骨動脈領域）

TASC A~D までの 4 ステージに分類され、A が単純、短区間病変を、D が複雑、長区間
病変を表す。

図 8. TASC 分類（大腿膝窩動脈領域）

TASC A~D までの 4 ステージに分類され、A が単純、短区間病変を、D が複雑、長区間
病変を表す。

図 9. 被験者の反射マーカセット位置

臨床歩行分析研究会が提唱する Data Interface File Format (DIFF) のマーカセットに 6 つのマーカを追加した合計 17 カ所に直径 19mm の赤外線反射マーカを貼付した。両側肩峰、右肩甲骨下角、両側上前腸骨棘、両側上後腸骨棘、両側大転子、両側大腿骨外側顆、両側第 5 中足骨頭、両側腓骨外果、両側踵骨の合計 17 点。

図 10. 立脚期 (0~100%) の各関節における典型的な関節モーメント

正を伸展（足関節は底屈）、負を屈曲（足関節は背屈）とし、各関節における立脚期の典型的な関節モーメントを示した。各関節、運動方向のモーメントの最大値を算出した。

図 11. 立脚期 (0~100%) の各関節における典型的な関節パワー

正をエネルギー産生、負をエネルギー吸収とし、各関節における立脚期の典型的な関節パワーを示した。各関節パワーにおける最大値を算出した。H1; 荷重応答期における股関節の進展方向へのパワー産生、H2; 立脚中期から終期における股関節屈曲パワー吸収、H3; 前遊脚期における股関節屈曲方向へのパワー産生、K1; 荷重応答期における膝関節伸展パワー吸収、K2; 立脚中期における膝関節伸展パワー産生、K3; 前遊脚期における膝関節伸展パワー吸収、A1; 立脚中期から終期における足関節底屈パワー吸収、A2; 立脚周期から前遊脚期における足関節底屈パワー産生。

図 12. トレッドミル歩行試験の様子

歩行条件は傾斜 12%、速度は 1.8 km/h もしくは 2.4 km/h と設定している。最大 10 分間歩行し、無痛歩行距離 (PWD) と最大歩行距離 (MWD) を記録した。腓腹筋内側頭に NIRO-200NX プローブを貼付し、近赤外線分光法による回復時間の測定も同時に行っている。

図 13. NIRO-200NX 画面と回復時間

座位安静で安静時組織ヘモグロビン濃度 (cHb) の基準値を測定する。トレッドミルへ移動し歩行を開始すると、 Δ cHb が低下する。歩行終了後、最大 5 分間患者を座位で休息させ、回復時間 (Recovery time: RT) を測定する。RT は Δ cHb が安静時基準に復するまで要した時間と定義した。虚血があると、酸素の需要供給バランスが崩れるため、運動開始後より酸素化ヘモグロビン濃度変化量 (Δ oxyHb) が低下し、脱酸素化ヘモグロビン変化量 (Δ deoxyHb) が増加する。このグラフ上の解離を虚血パターンと呼び、日常診療において虚血性跛行と神経性跛行との鑑別に用いている。

図 14. WIQ 質問票

痛み、歩行距離、歩行速度、階段昇降に関する 4 項目からなる。スコア化し、低値ほど間歇性跛行による歩行制限が大きいことを示す。

図 15. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) における多重比較 (ABI、PWD、MWD、RT)

全てのパラメータにおいて、術前と比較し、術直後 (1 週間) から有意に改善が見られ、以後 6 か月まで維持されるという結果が見られた。

図 16. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) における多重比較 (WIQ)

階段昇降を除く 3 項目で、術前と比較し、1 か月で有意に改善し、6 カ月まで維持された。

図 17. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) における多重比較 (時間距離因子)

全ての時間距離因子において、術前と比較し、術直後 (1 週間) では有意差がなく、1 か月から有意に改善が見られ、6 カ月まで維持された。

図 18. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) における多重比較 (関節モーメント)

股関節伸展モーメント (HE)、股関節屈曲モーメント (HF) において、術前と比較し、術直後 (1 週間) では有意差がなく、1 か月から有意に改善が見られ、6 カ月まで維持された。足関節底屈モーメント (AP) は、Friedman 検定では有意差が見られたが、Bonferroni 法による P 値調整を行った多重比較においてはどの時点でも有意差が見られなかった。

図 19. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) における多重比較 (関節パワー)

H2、H3、A2 において、術前と比較し、術直後（1 週間）では有意差がなく、1 か月から有意に改善が見られ、6 か月まで維持された。

図 20. 大動脈腸骨動脈領域群（AI 群）における多重比較（TLA）

術前と比較し、術直後（1 週間）では有意差がなく、1 か月から有意に改善が見られ、6 か月まで維持された。

図 21. 大動脈腸骨動脈領域群（AI 群）と健常者との比較（時間距離因子）

健常者と比較して、術前は全ての時間距離因子が有意に低値だった。6 か月ではストライド長、ステップ長、歩行速度において有意な低下が残存していた。

図 22. 大動脈腸骨動脈領域群（AI 群）と健常者との比較（関節モーメント）

健常者と比較して、術前は股関節伸展モーメント（HE）、膝関節伸展モーメント（KE）が有意に低値だった。6 か月では両者とも有意差が見られなくなった。

図 23. 大動脈腸骨動脈領域群（AI 群）と健常者との比較（関節パワー）

健常者と比較して、術前は H2、H3、K1、K2、K3、A2 において有意に低値だった。6 か月では K1 を除く全てのパラメータで有意差が見られなくなった。

図 24. 大動脈腸骨動脈領域群 (AI 群) と健常者との比較 (TLA)

健常者と比較して、術前は有意に低値だった。6 か月では有意差が見られなくなった。

図 25. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (ABI、PWD、MWD、RT)

全ての肢の全てのパラメータにおいて、術前と比較し、術直後 (1 週間) から改善が見られた。B の MWD、RT を除いたパラメータで 6 か月まで改善が続くもしくは維持された。

図 26. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (WIQ)

全ての肢の全てのパラメータにおいて、術前と比較し、1 か月で改善が見られた。A、B の歩行速度を除いたパラメータで 6 か月まで改善が続くもしくは維持された。

図 27. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (時間距離因子)

全ての肢の全ての時間距離因子において、術前と比較し、1 週間でやや改善し、1 か月でさらに改善した。A のステップ長を除いた全ての時間距離因子において 1 か月と比較して 6 か月では低下していた

図 28. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (関節モーメント)

全ての肢の股関節伸展モーメント (HE)、股関節屈曲モーメント (HF)、膝関節伸展モーメント (KE)、足関節底屈モーメント (AP) において、術前と比較し、1 か月で改善が見られ

た。B、B' の HF、A の KE、B の AP を除いたパラメータで 1 か月と比較し、6 か月では低下していた。

図 29. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (股関節パワー)

全ての肢の H1、H2、H3 において、術前と比較し、1 か月で改善していた。A の H2、H3、C の H2 を除いたパラメータで 1 か月と比較し、6 か月で低下していた。

図 30. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (膝関節パワー)

全ての肢の K1、K2、K3 において、術前と比較し、1 か月で改善していた。A の K3 を除いたパラメータで 1 か月と比較し、6 か月で低下していた。

図 31. 大腿膝窩動脈領域群 (FP 群) 時系列変化 (足関節パワー)

全ての肢の A2 において、術前と比較し、1 か月で改善していた。しかし全ての肢で 1 か月と比較し、6 か月で低下していた。

XI.図

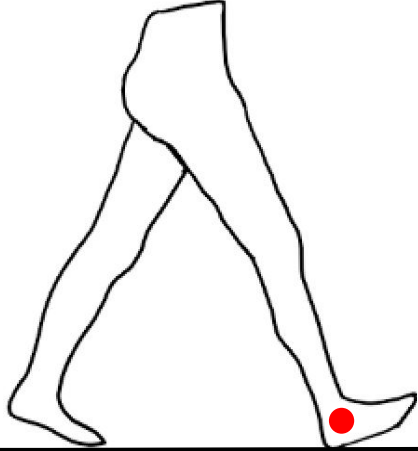
Fontaine分類	Rutherford分類	臨床的特徴
I	0	無症候性
II a	1	軽度の跛行
II b	2	中等度の跛行
	3	重度の跛行
III	4	安静時痛
IV	5	小さな組織欠損 ^a
	6	大きな組織欠損 ^b

a; 治癒しない皮膚潰瘍もしくは限局性の壊疽

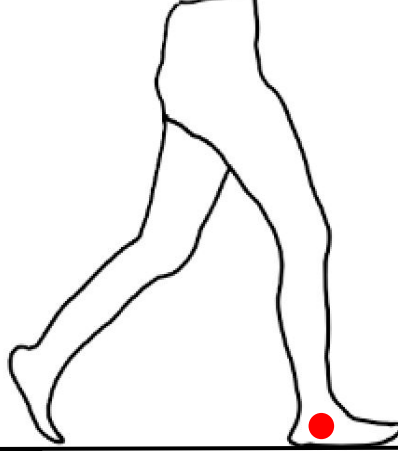
b; 中足部に及ぶ、もしくは救肢不能

図1

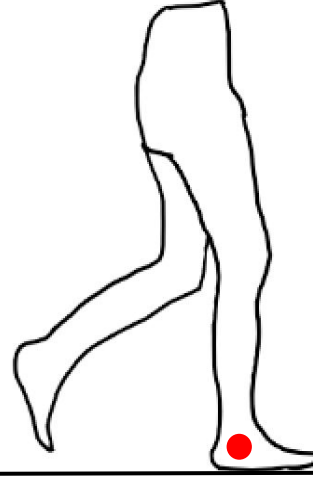
初期接地
(0%)



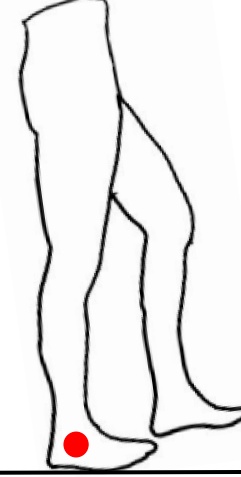
荷重応答期
(0-20%)



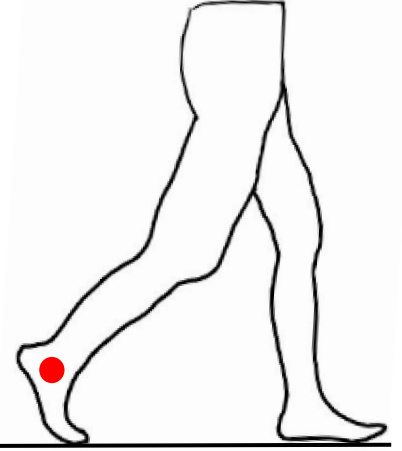
立脚中期
(20-50%)



立脚終期
(50-80%)



前遊脚期
(80-100%)

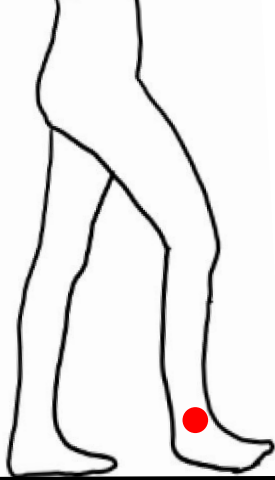


立脚期 (0-100%で区分)

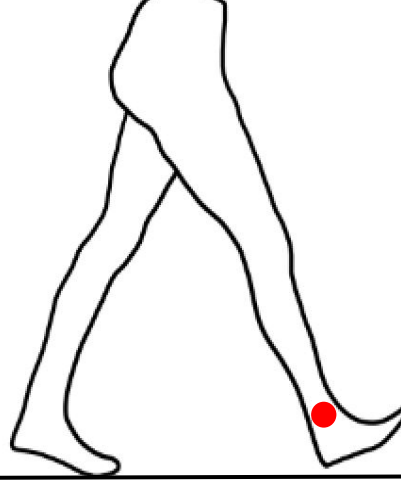
遊脚初期



遊脚中期



遊脚終期



遊脚期

図2

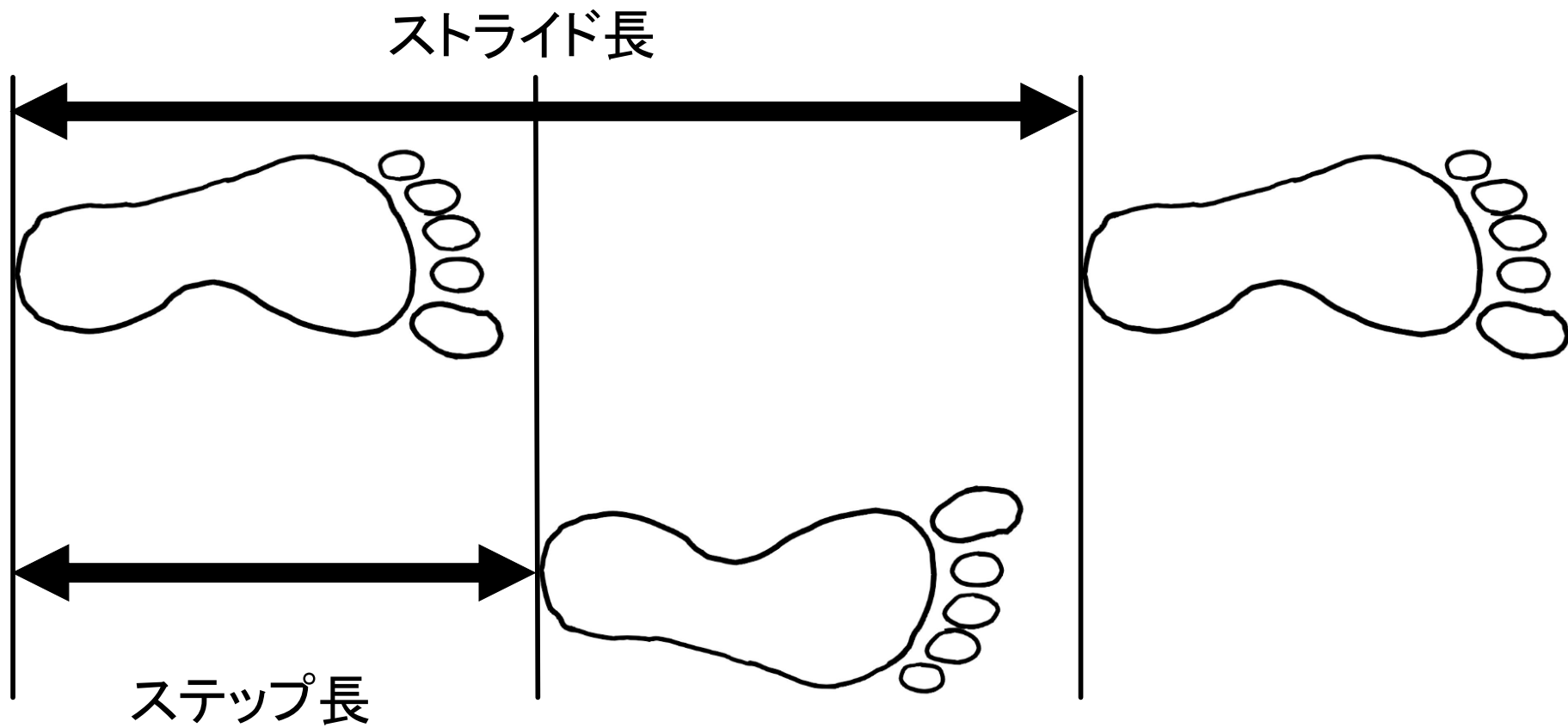


図3

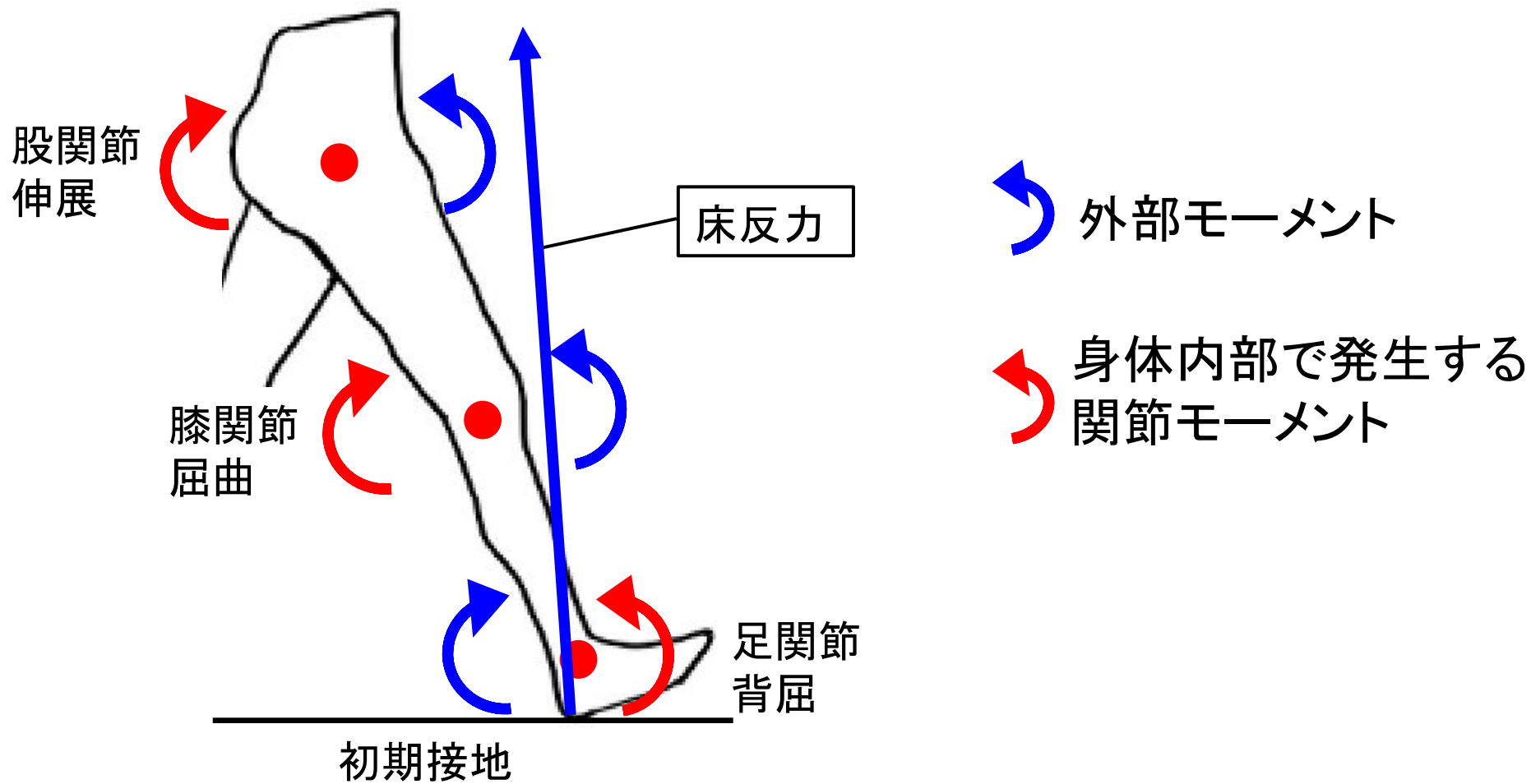


図4

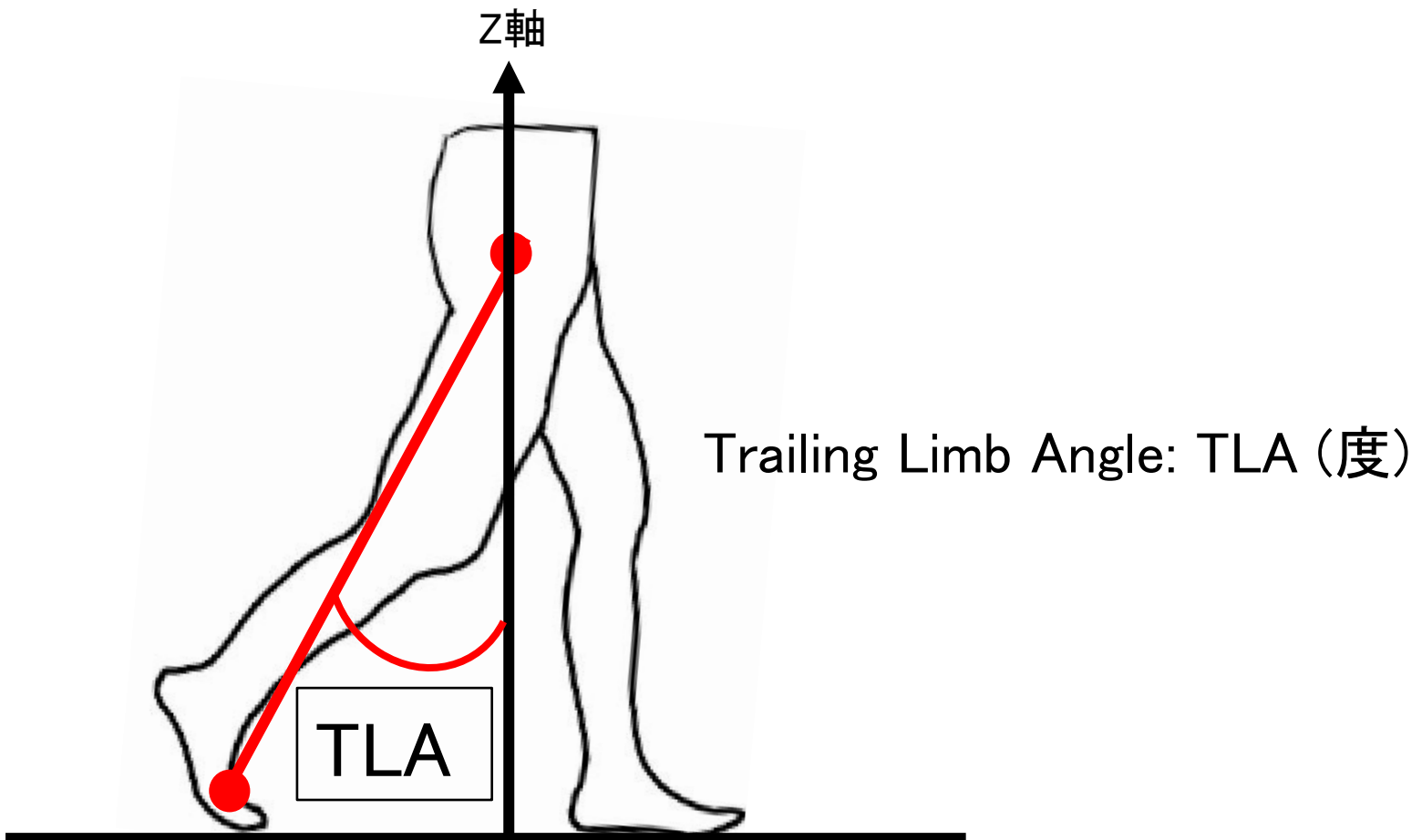


図5

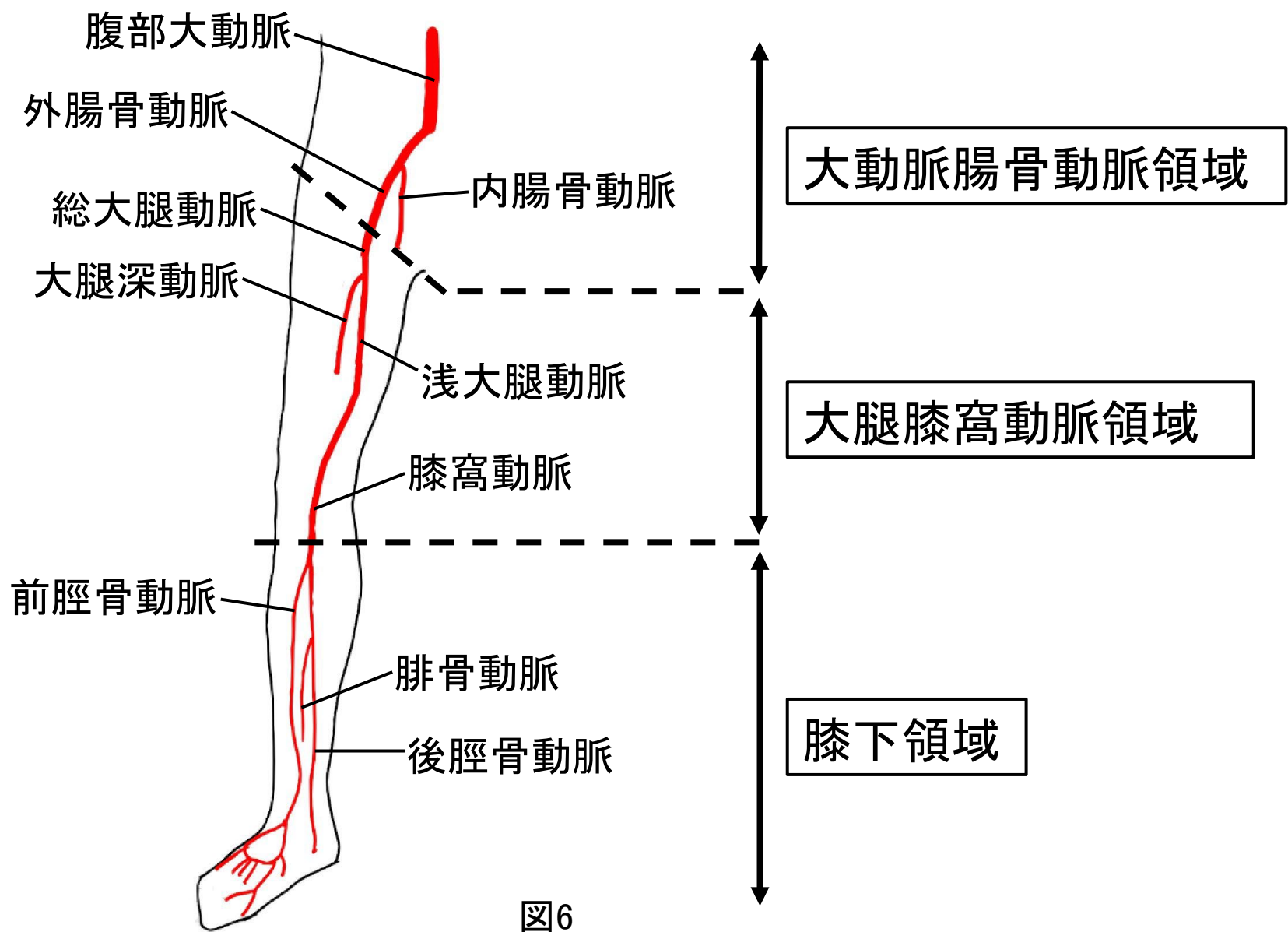


図6

图7 TASC分類 (大動脈腸骨動脈領域)

J Vasc Surg: 2007;45 Suppl S:S5-67.

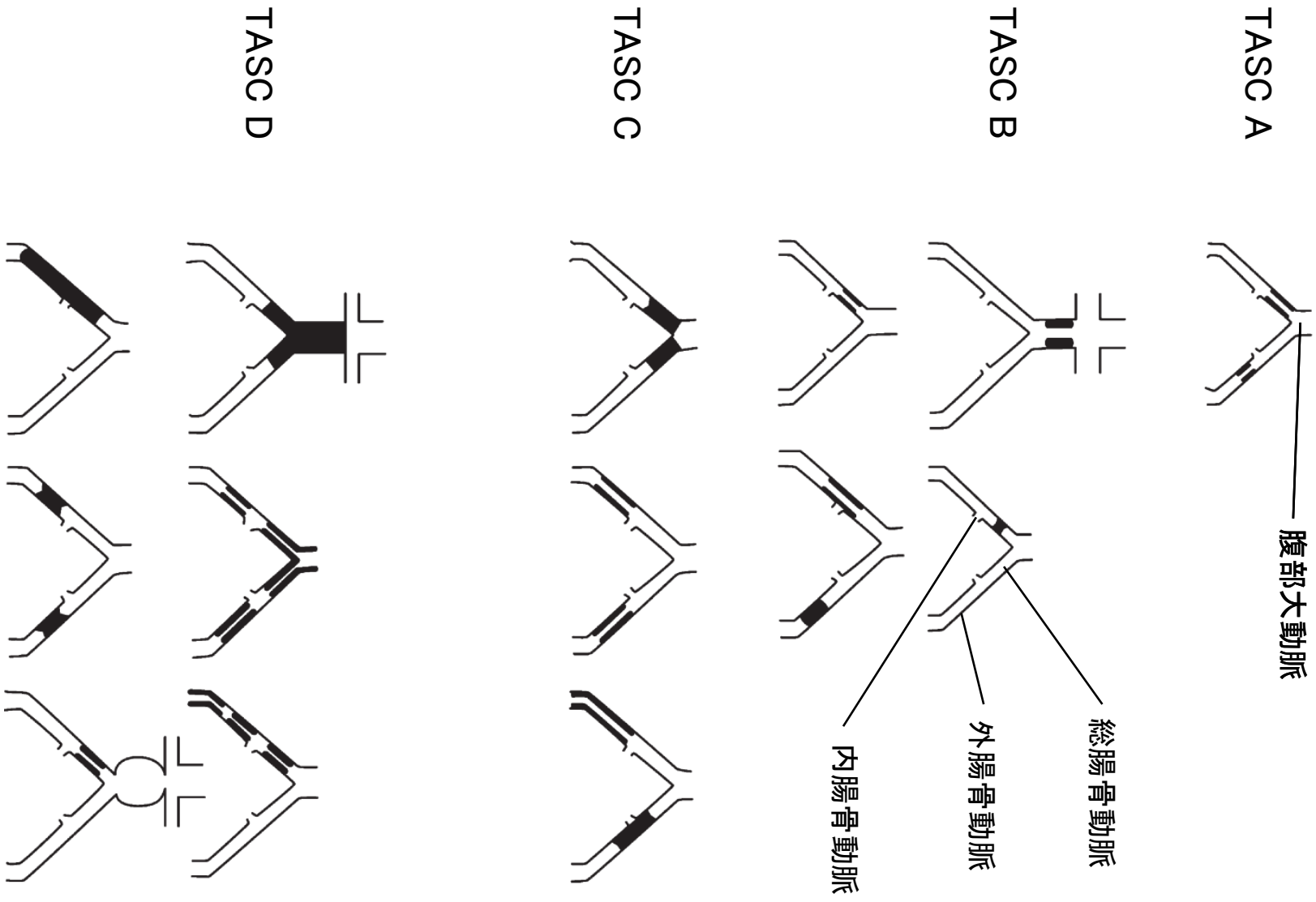


図8 TASC分類 (大腿膝窩動脈領域)

J Vasc Surg. 2007;45 Suppl 1:S:S5-67.

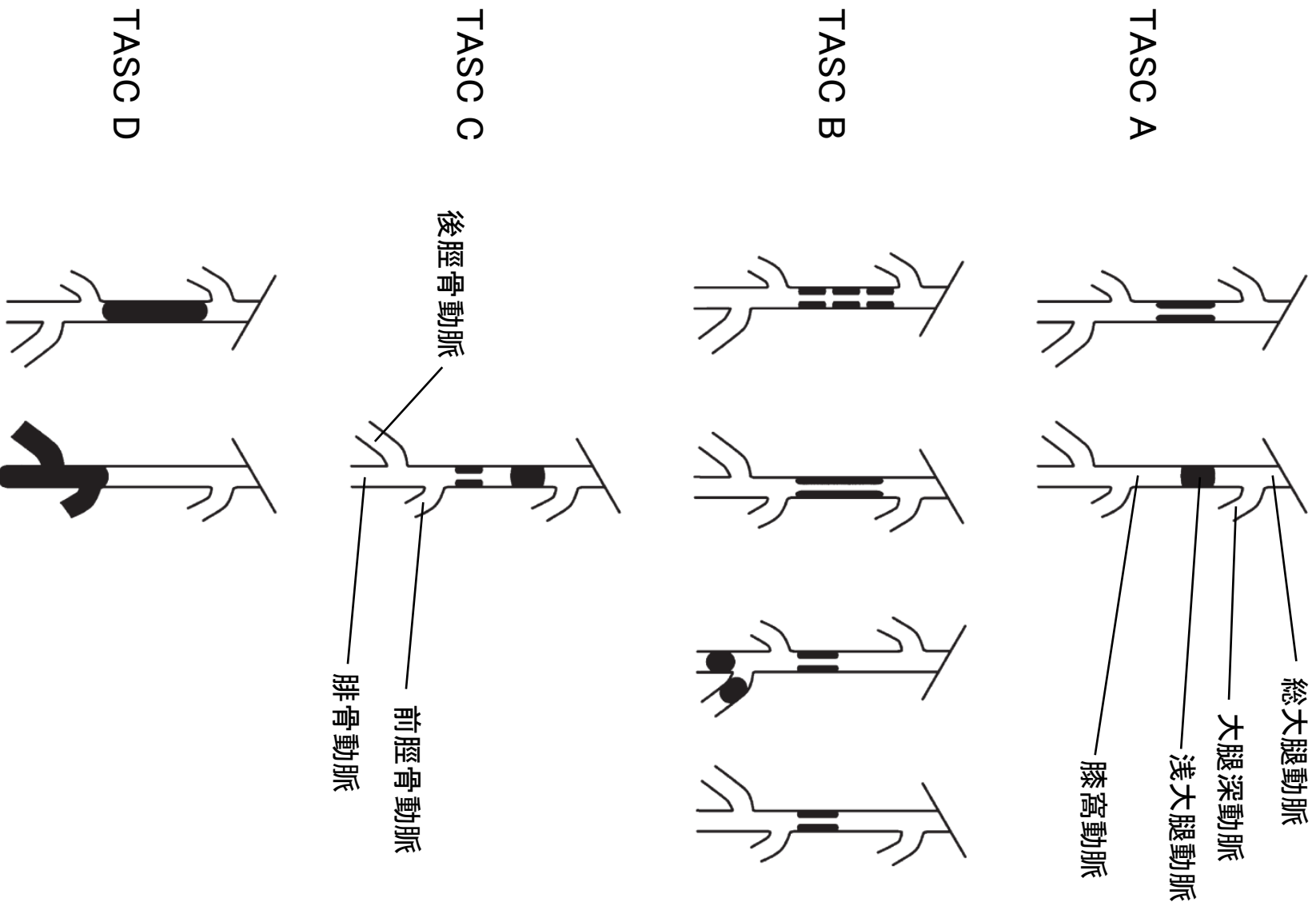
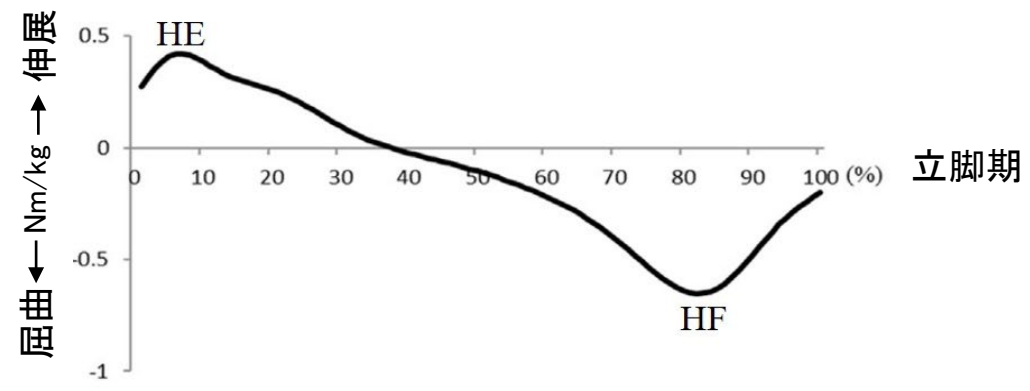




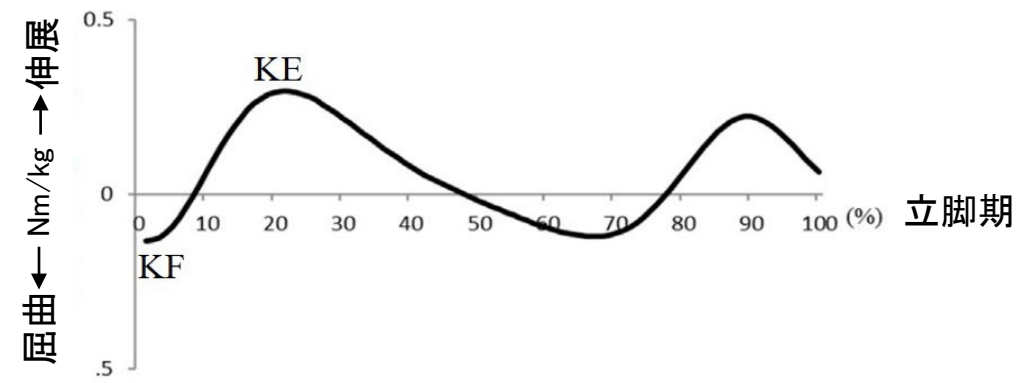
图9

典型的な関節モーメント

股関節



膝関節



足関節

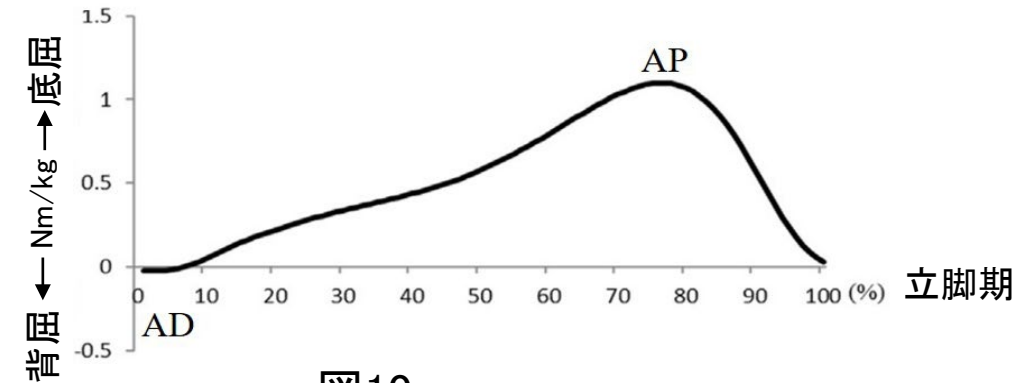


図10

典型的な関節パワー

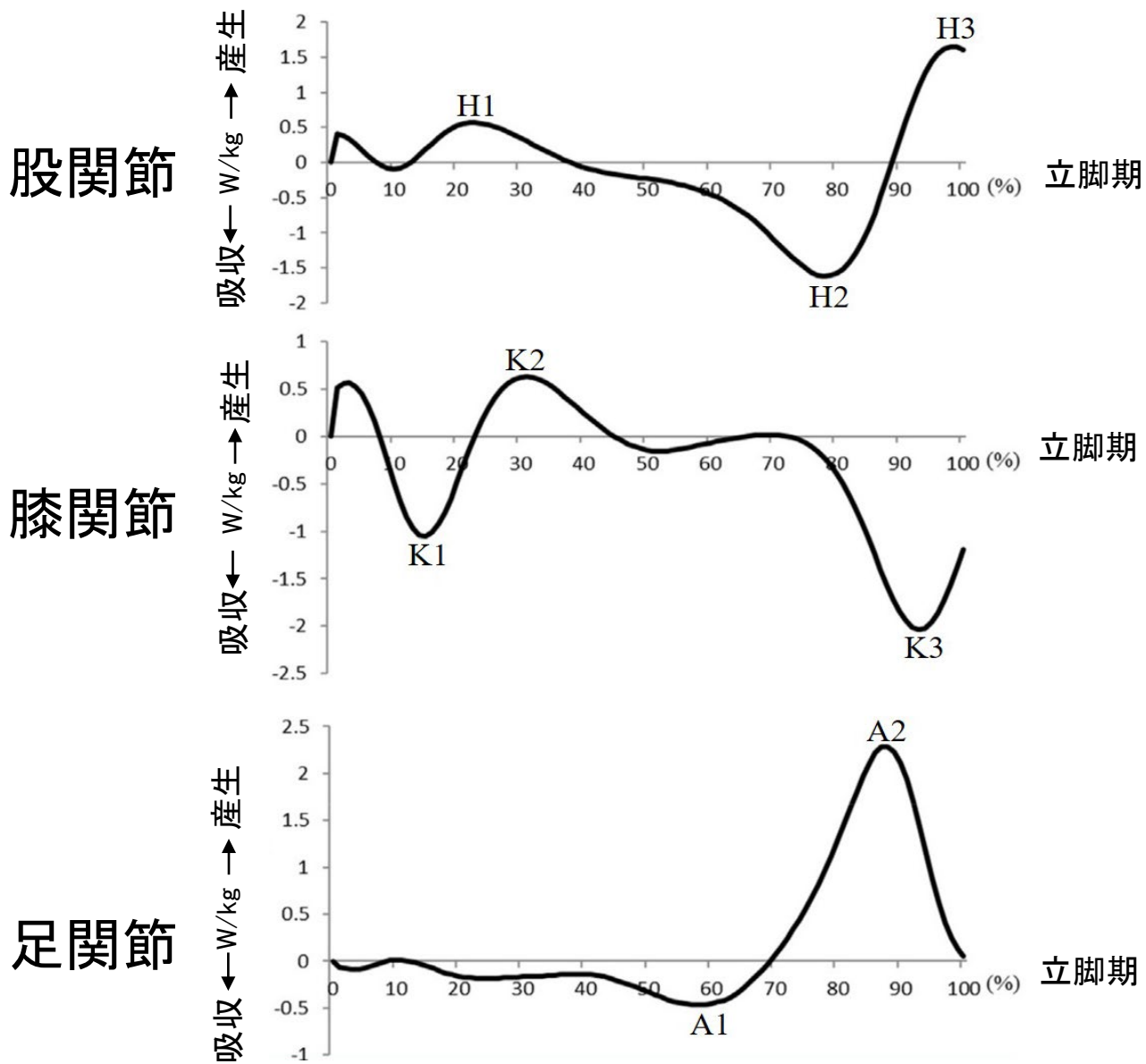
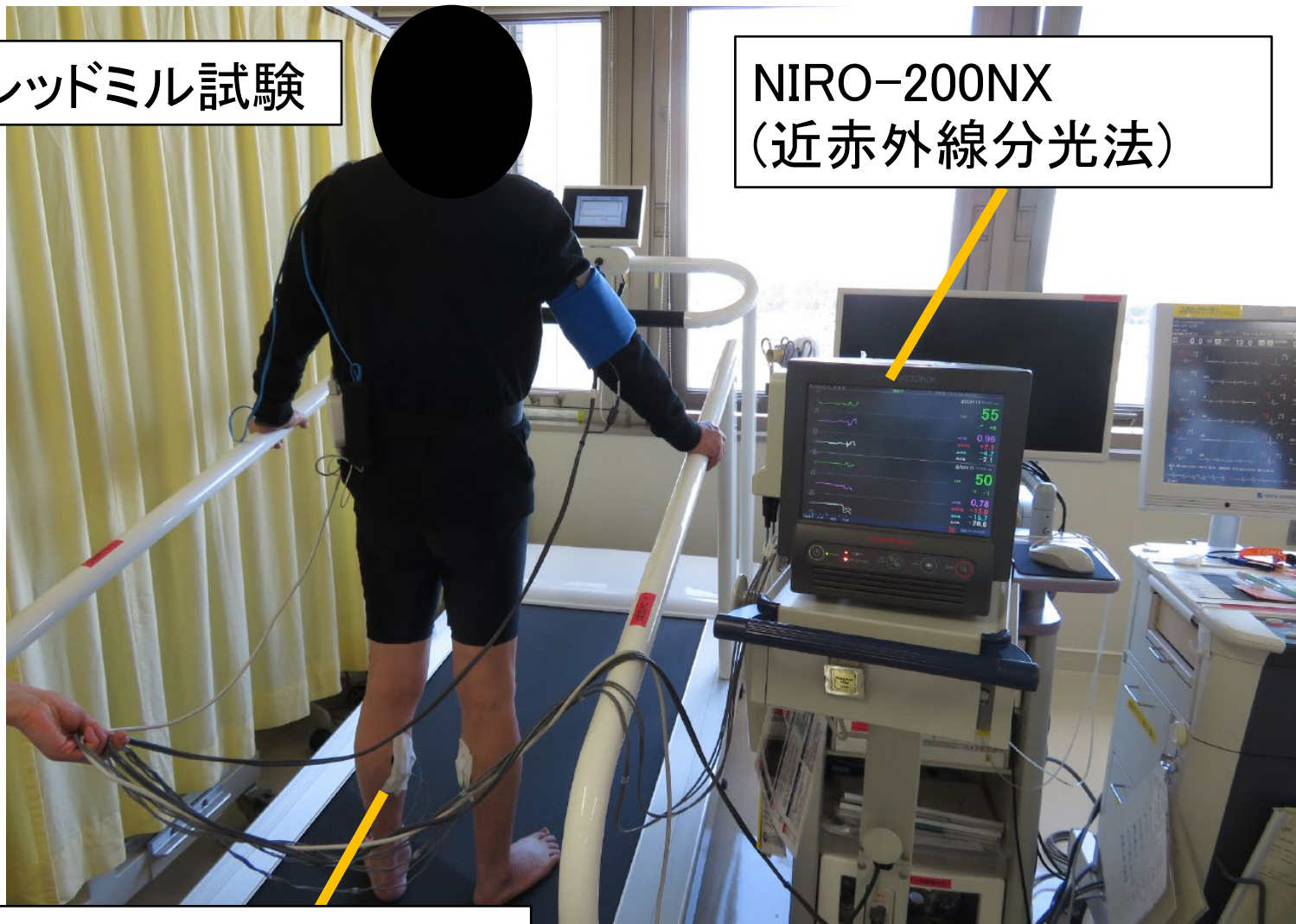


図11

トレッドミル試験

NIRO-200NX
(近赤外線分光法)



腓腹筋内側頭に
NIRO-200NXプローブ

図12



歩行開始

歩行終了

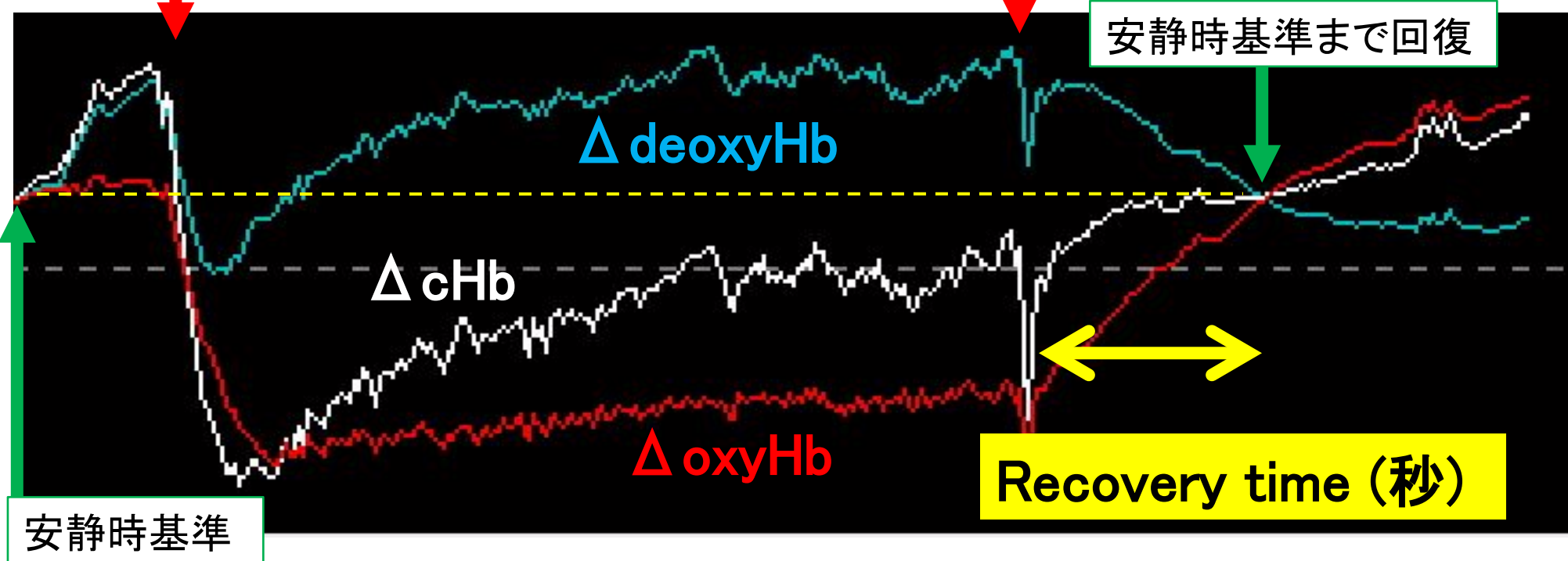


図13

1. 歩行障害

どんな理由で歩くことがむずかしかったかについて質問します。この一週間で、次のうち何が原因で歩行が困難と感じましたか？また、その症状が影響した程度をお答えください。

A. 下肢血行障害による症状	どちらのあしが痛みましたか？ (あてはまるものにし点を入れて下さい)	歩行に影響した程度				
		下肢	右	左	両方	
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
B. 鑑別診断	1. ふくらはぎや臀部の痛み、うずき、ときに痛みを伴う(はり)	歩行に影響した程度				
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に

B. 鑑別診断	1. 関節(足首、膝、股関節)の痛み、こわばり、うずき 2. 片足または両足の筋力低下 3. 胸痛または胸部不快感 4. 息切れ 5. 動悸 6. その他の問題	歩行に影響した程度				
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	非常に

2. 歩行距離

この一週間で、平地で休まずに次の距離を歩いた場合、どの程度歩行が困難と感じましたか？

距離	1. 室内 2. 15メートル 3. 50メートル 4. 100メートル 5. 200メートル 6. 300メートル 7. 450メートル	困難を感じた程度				
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	歩けなかった

3. 歩行スピード

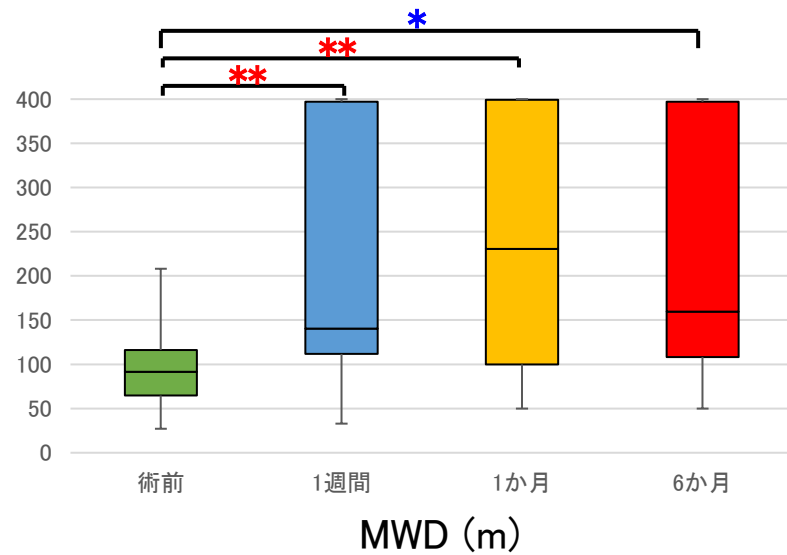
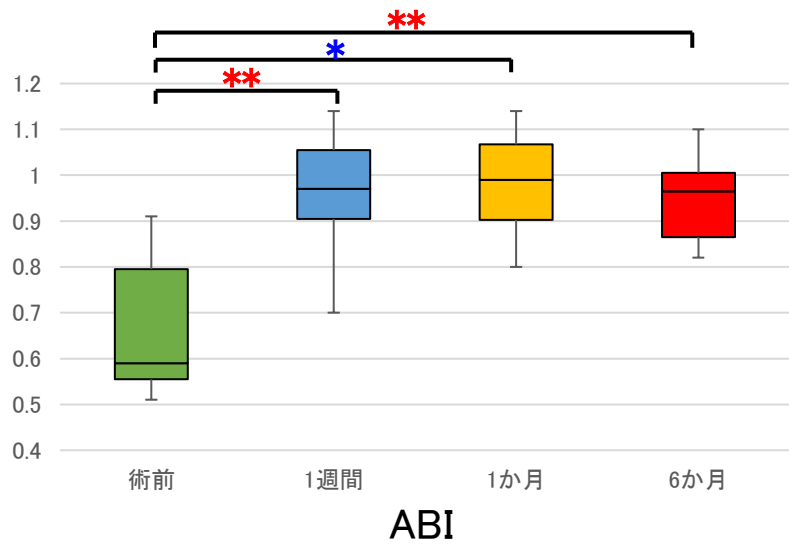
この一週間で、平地で約100mを次の速度で休まずに歩いた場合、どの程度歩行が困難と感じましたか？

スピード	1. ゆっくり歩いた場合 2. ふつうに歩いた場合 3. 早足で歩いた場合 4. 走ったり、ジョギングした場合	困難を感じた程度				
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった

4. 階段を上がること

この一週間で、次の階段を休まずに上がった場合、どの程度困難と感じましたか？

階段	1. 12段(踊り場まで) 2. 24段(一階上のフロアまで) 3. 36段(一階上の踊り場まで)	困難を感じた程度				
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった
		全くない	わずかに	いづらか	かなり	できなかった



** $P < .01$

* $P < .05$

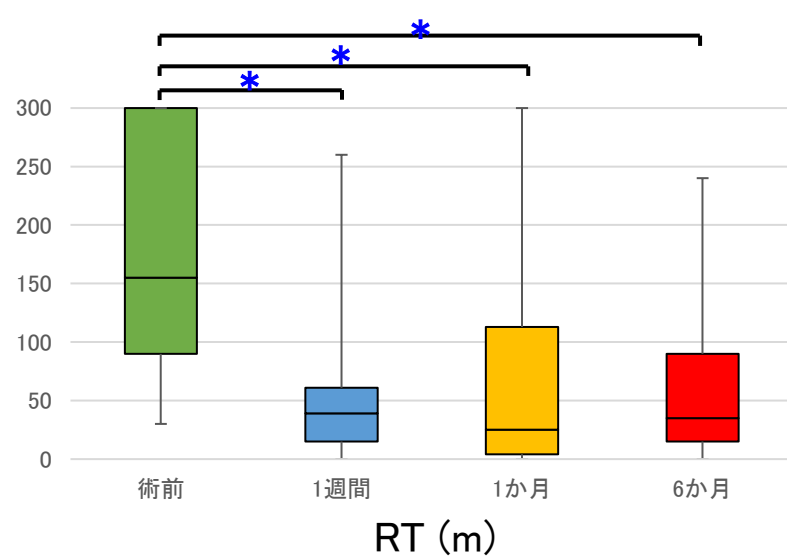
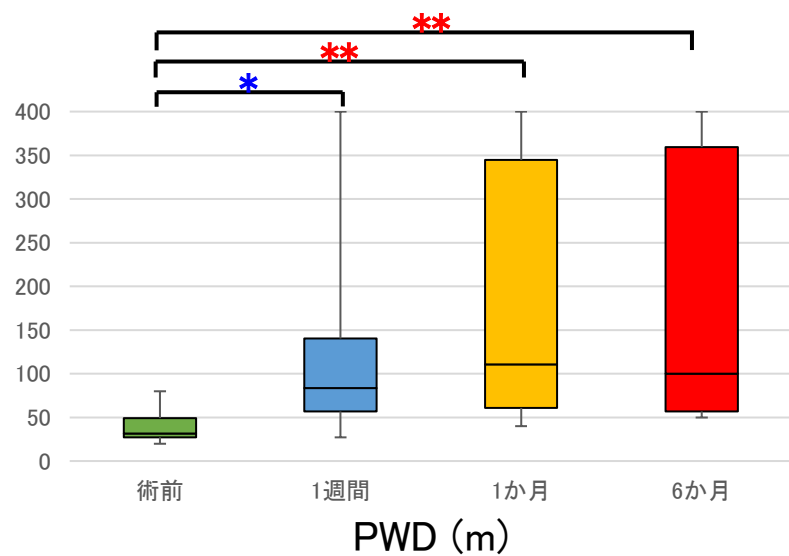
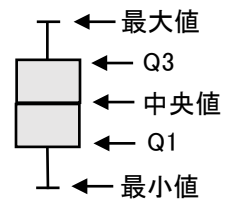
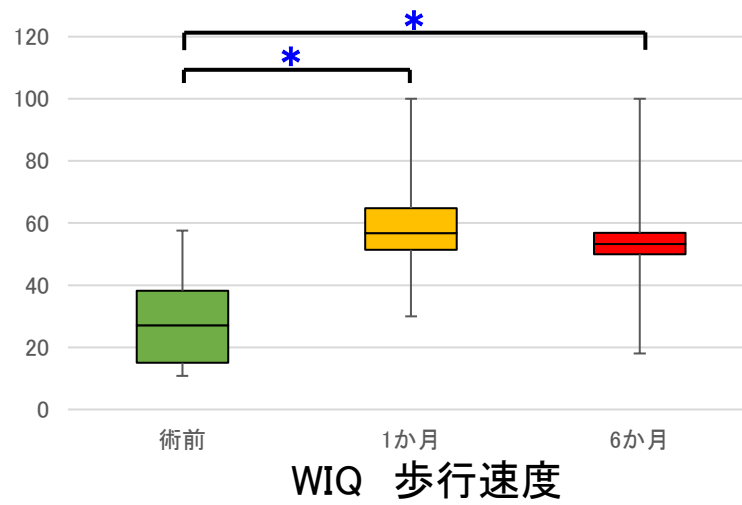
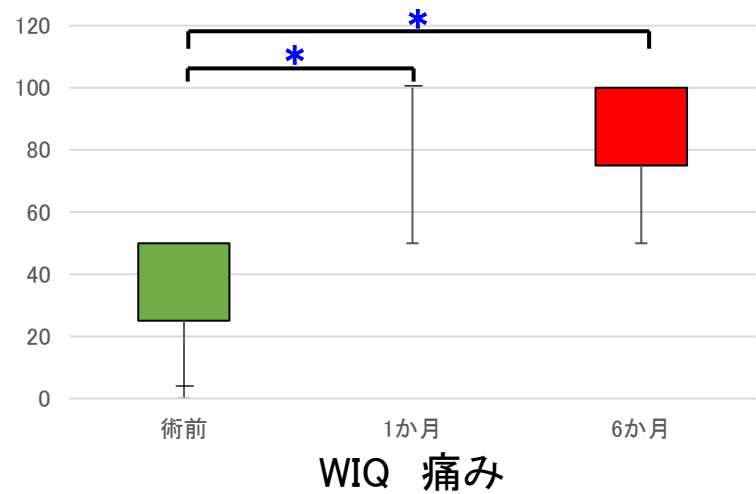


図15



** $P < .01$

* $P < .05$

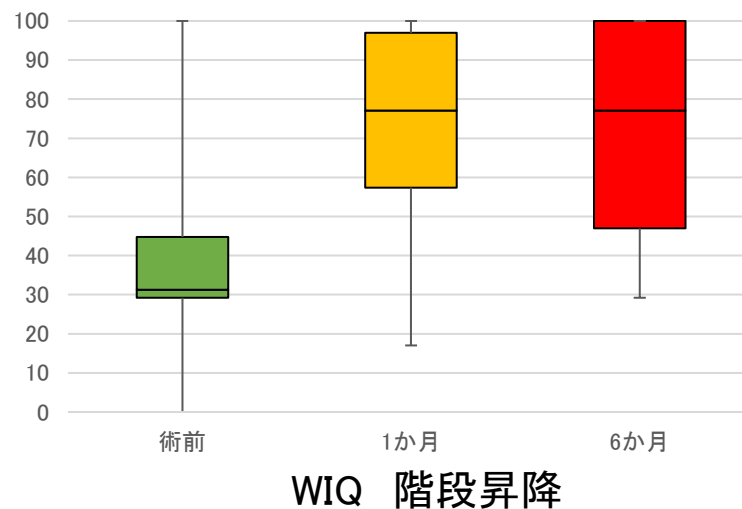
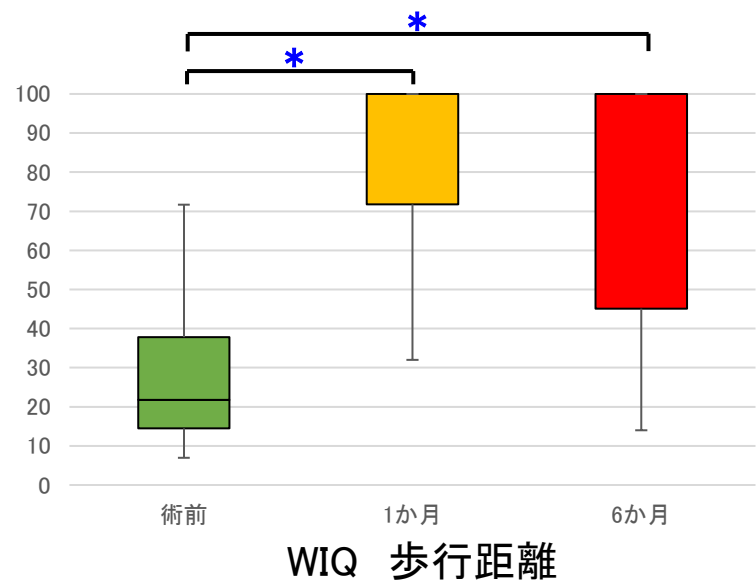
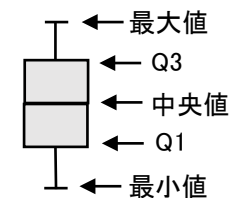
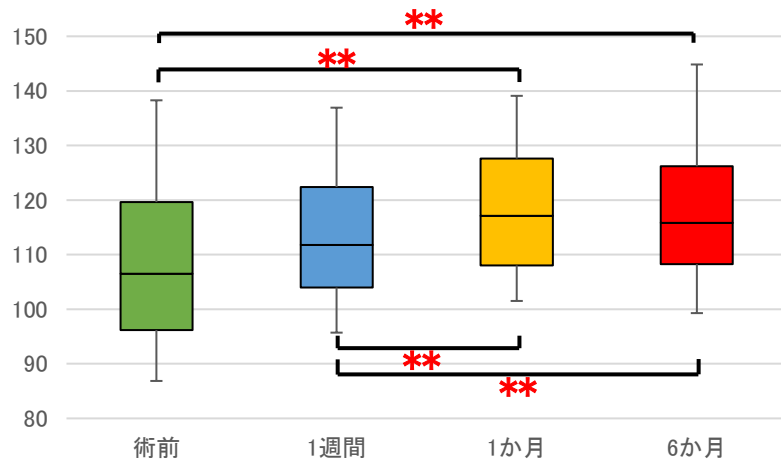
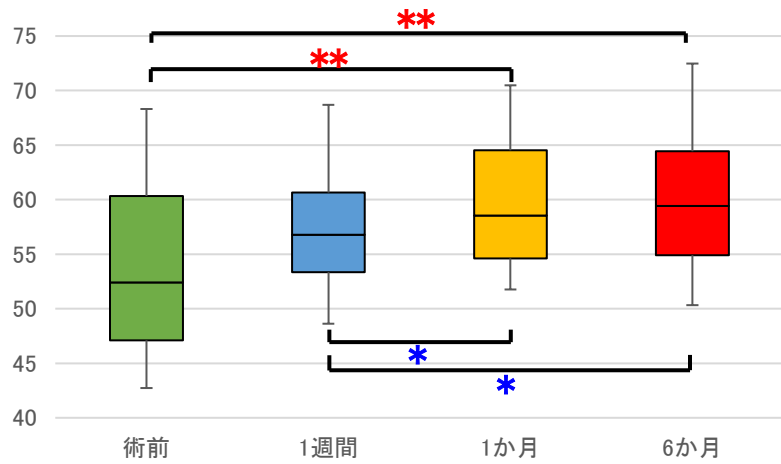


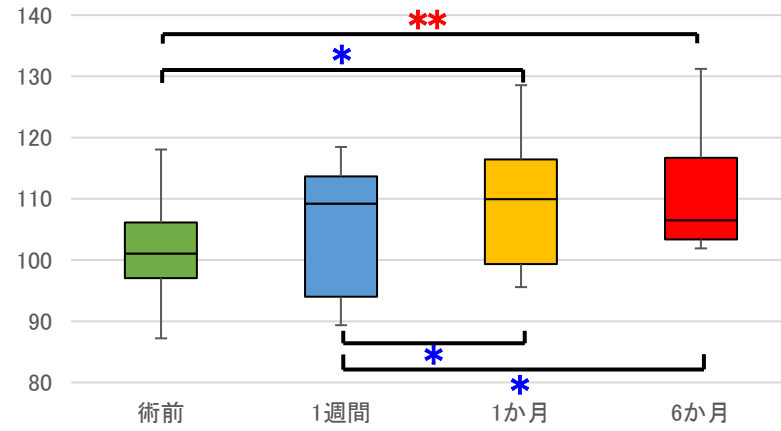
図16



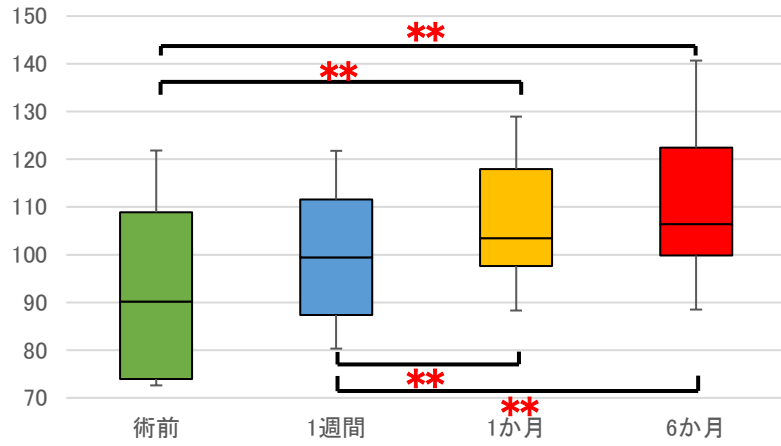
ストライド長 (cm)



ステップ長 (cm)



ケイデンス (歩/分)



歩行速度 (cm/s)

** P<.01

* P<.05

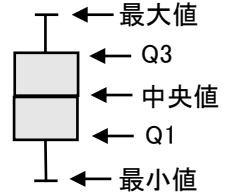
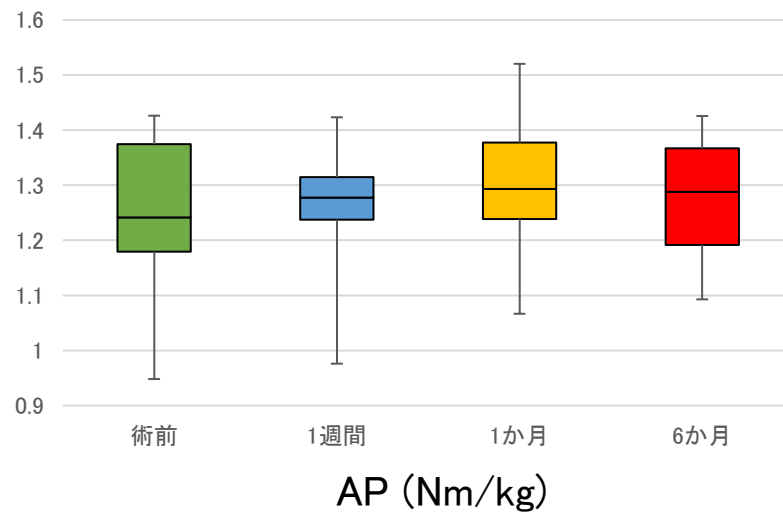
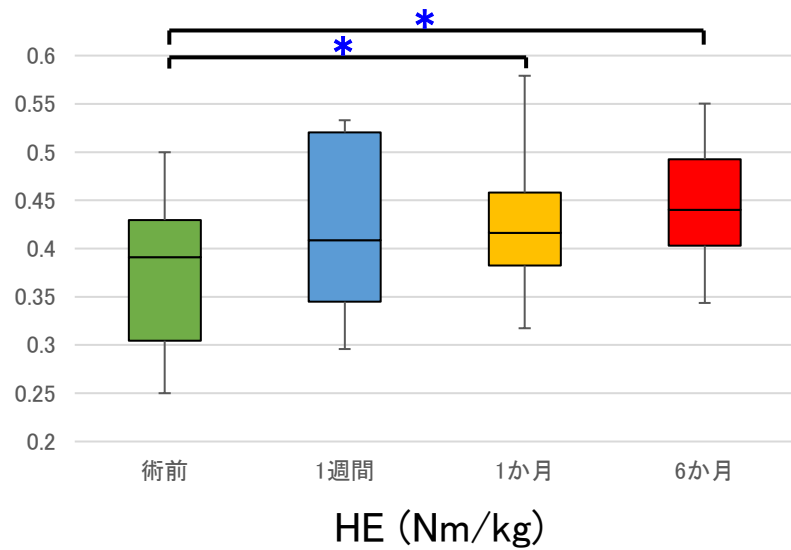


図17



**** P<.01**

*** P<.05**

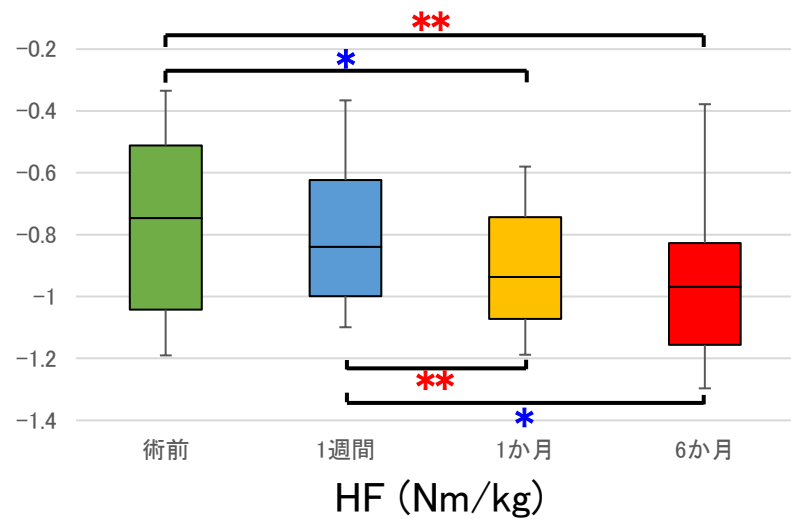
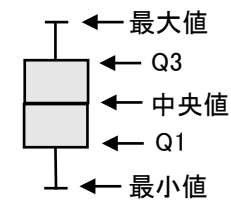
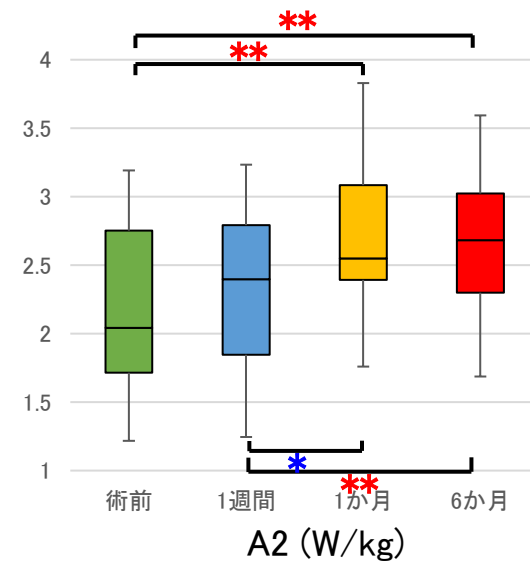
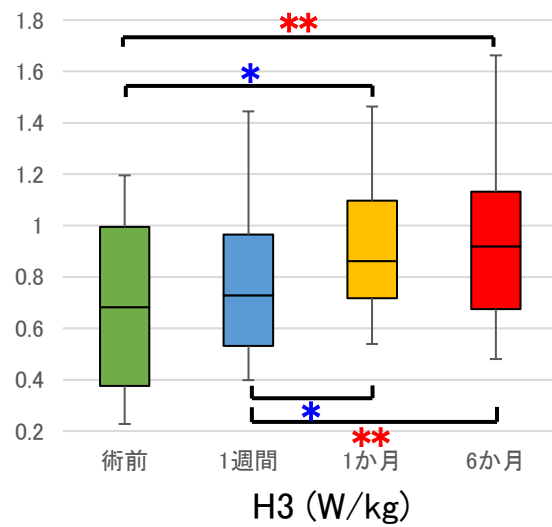
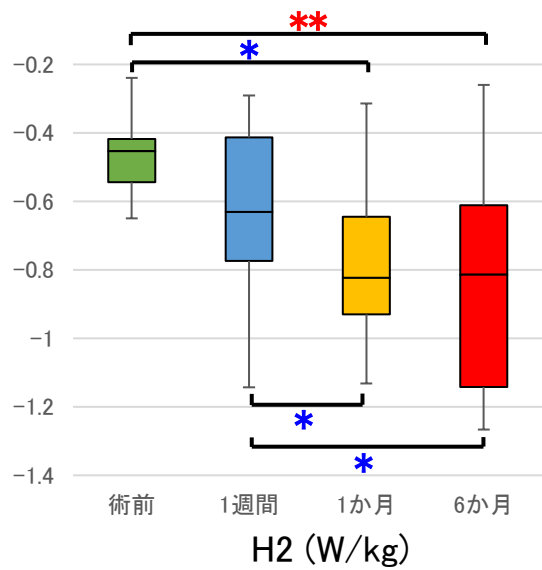


図18



** $P < .01$

* $P < .05$

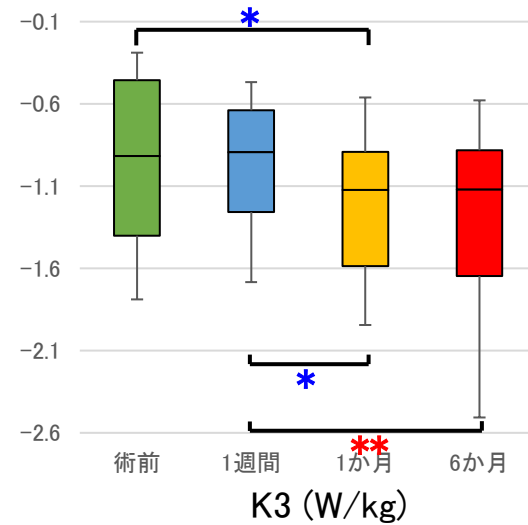
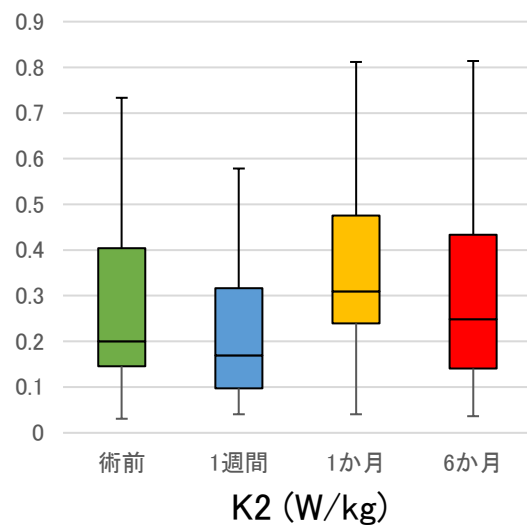
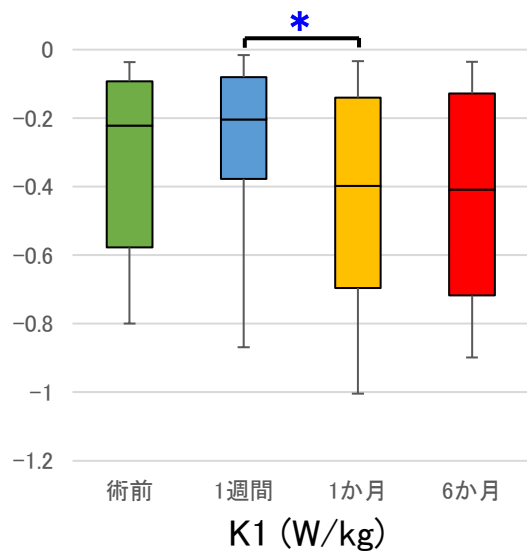
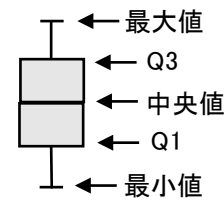


図19

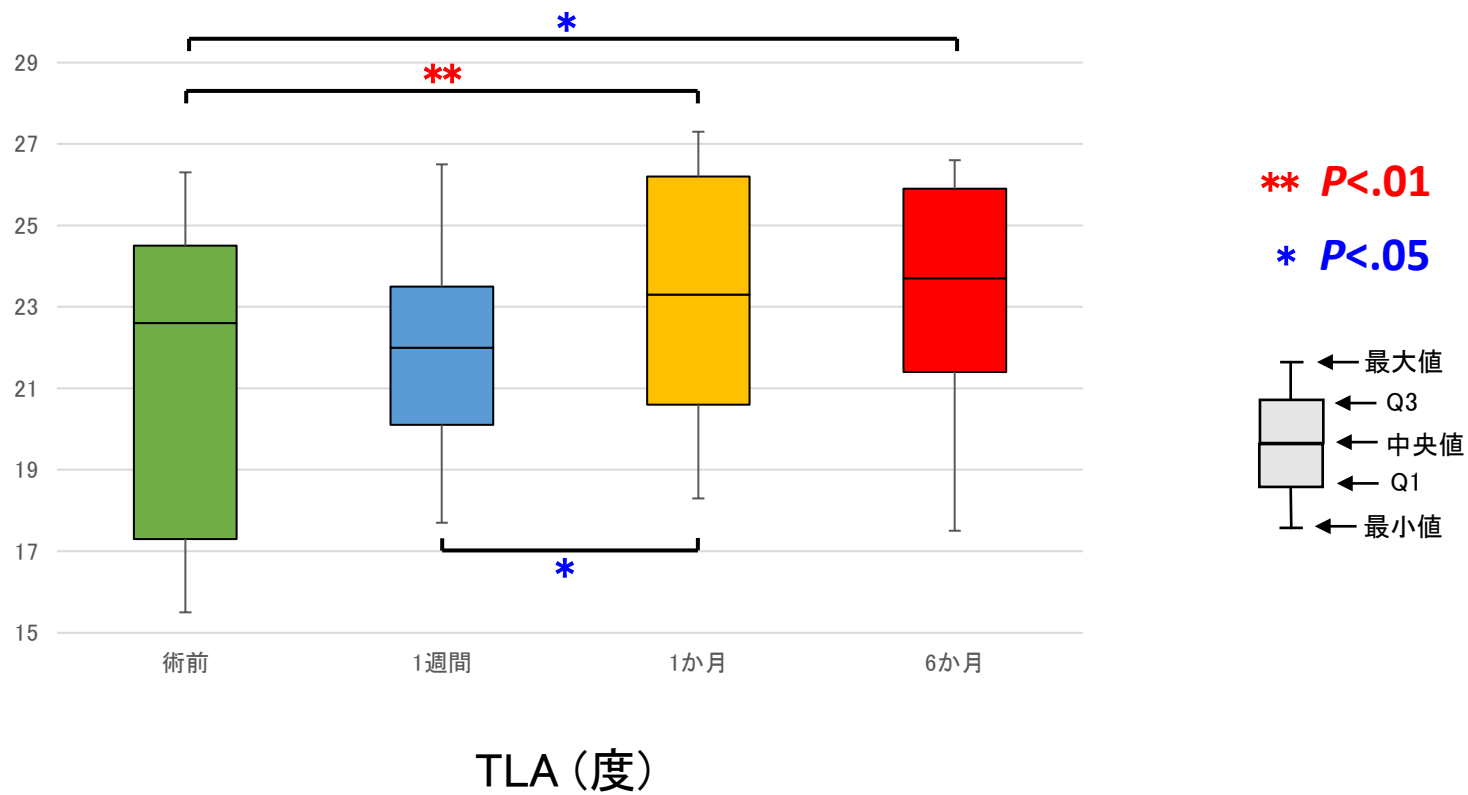
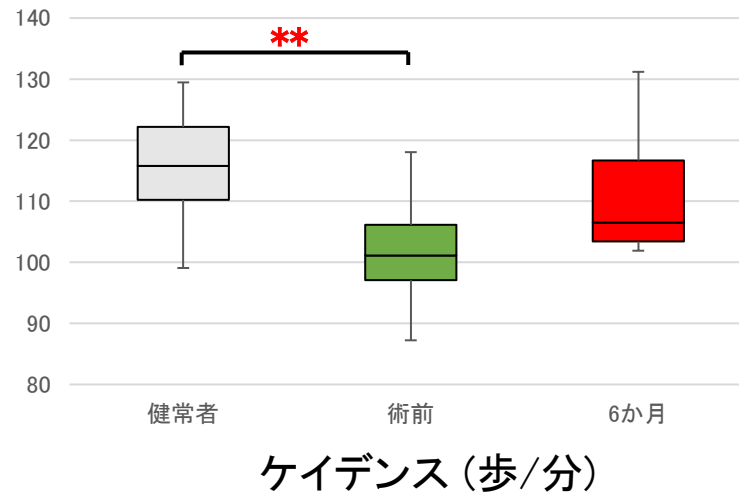
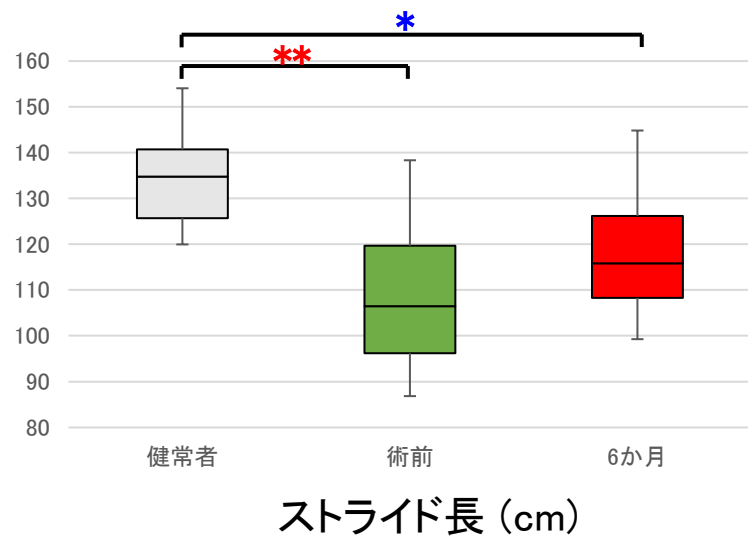


図20



**** P < .01**

*** P < .05**

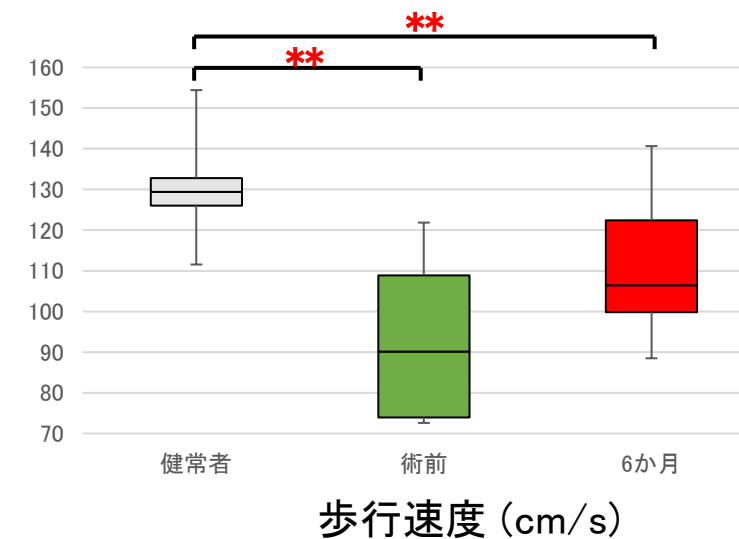
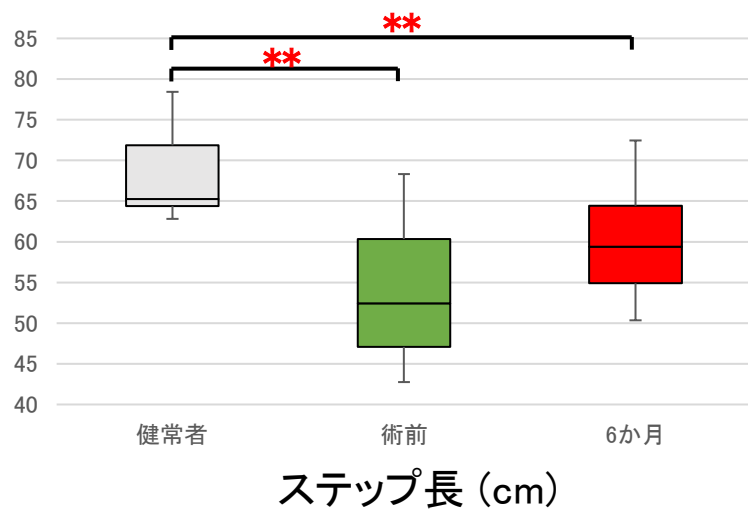
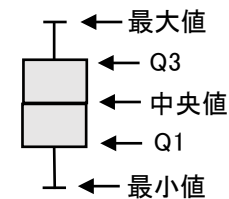


図21

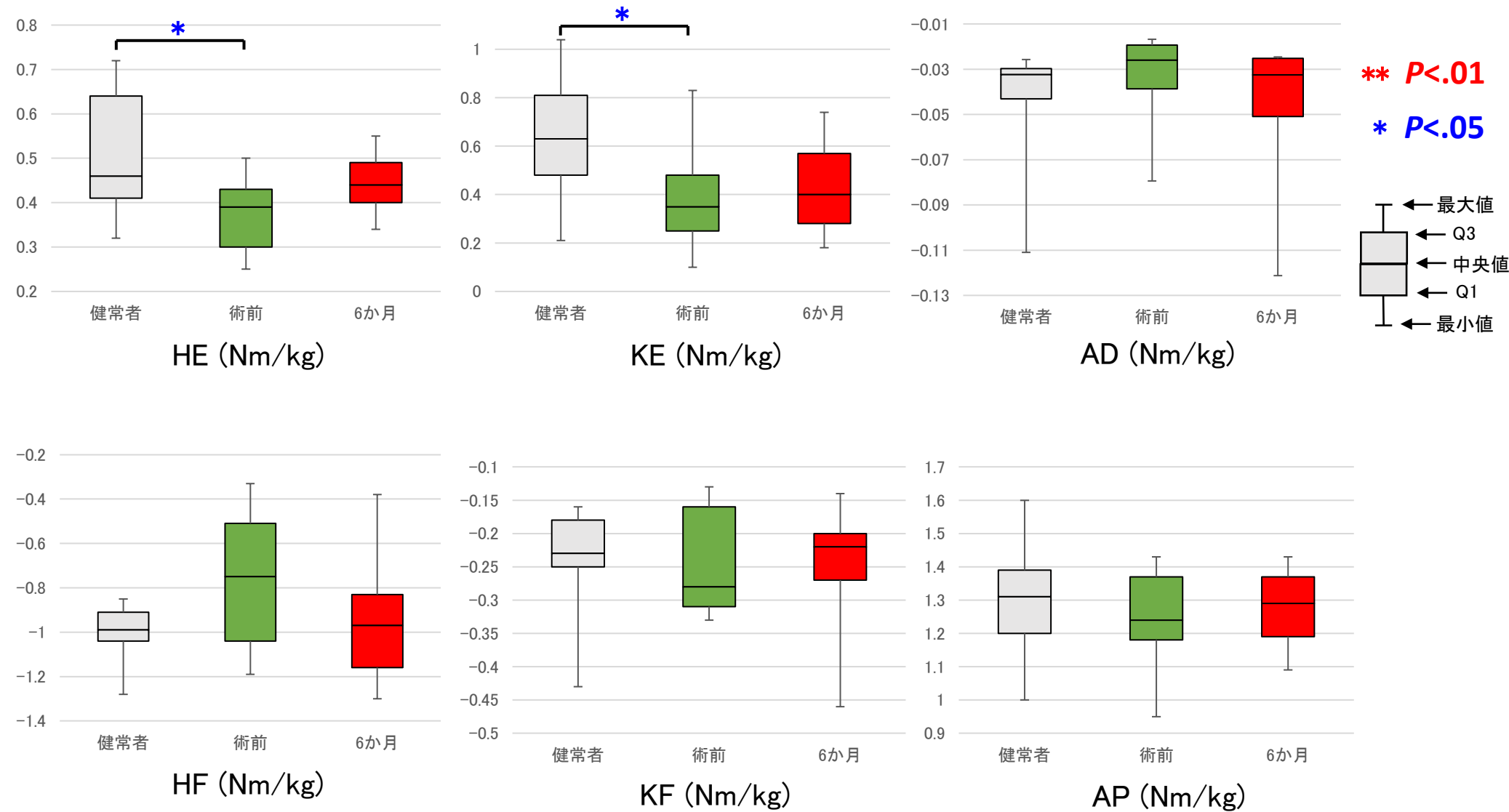
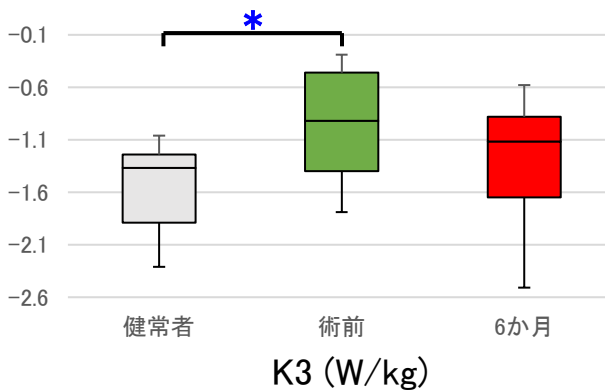
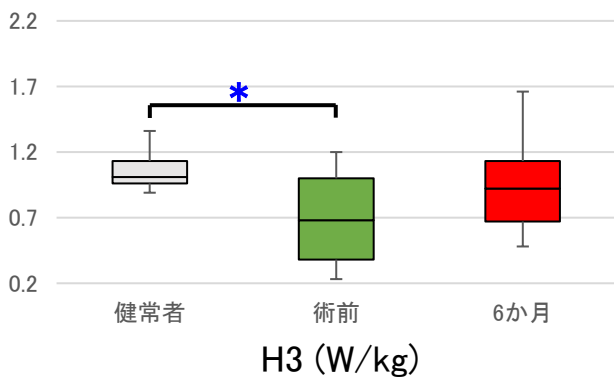
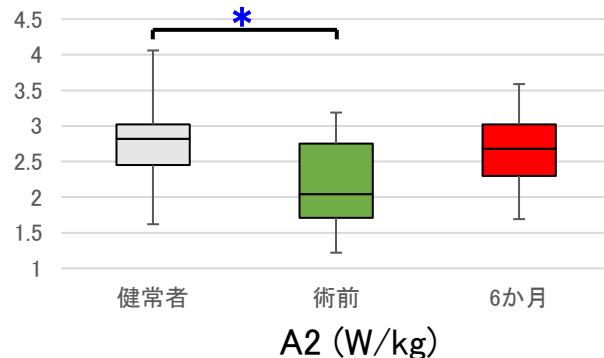
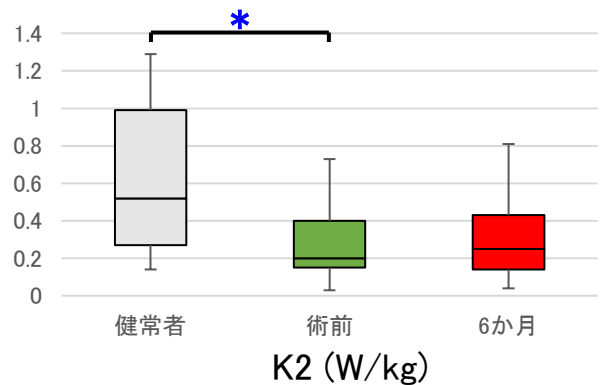
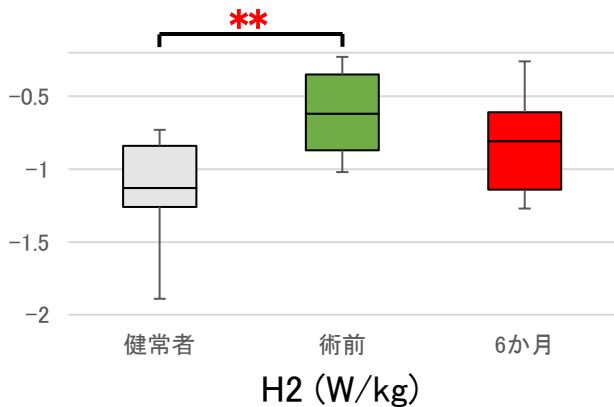
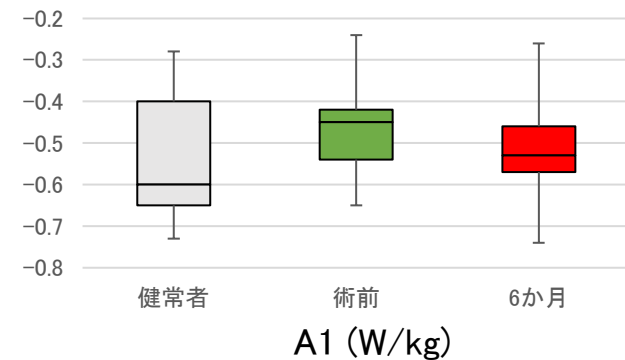
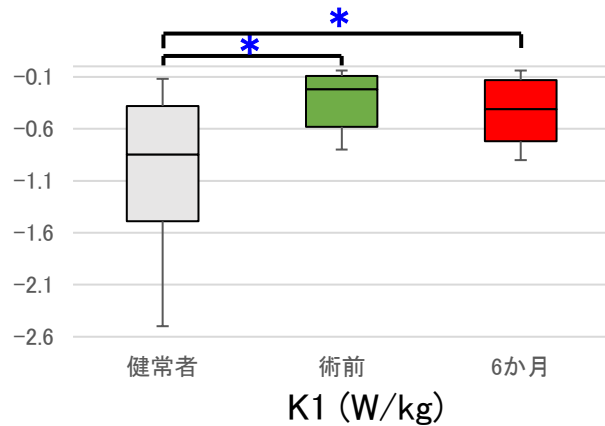
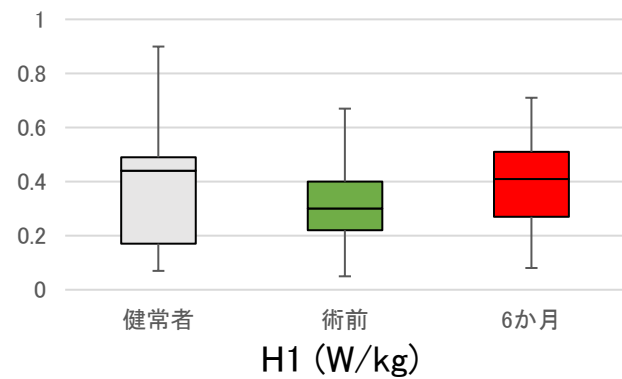
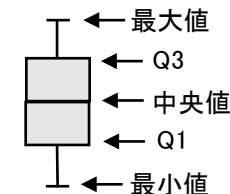


図22



** $P < .01$

* $P < .05$



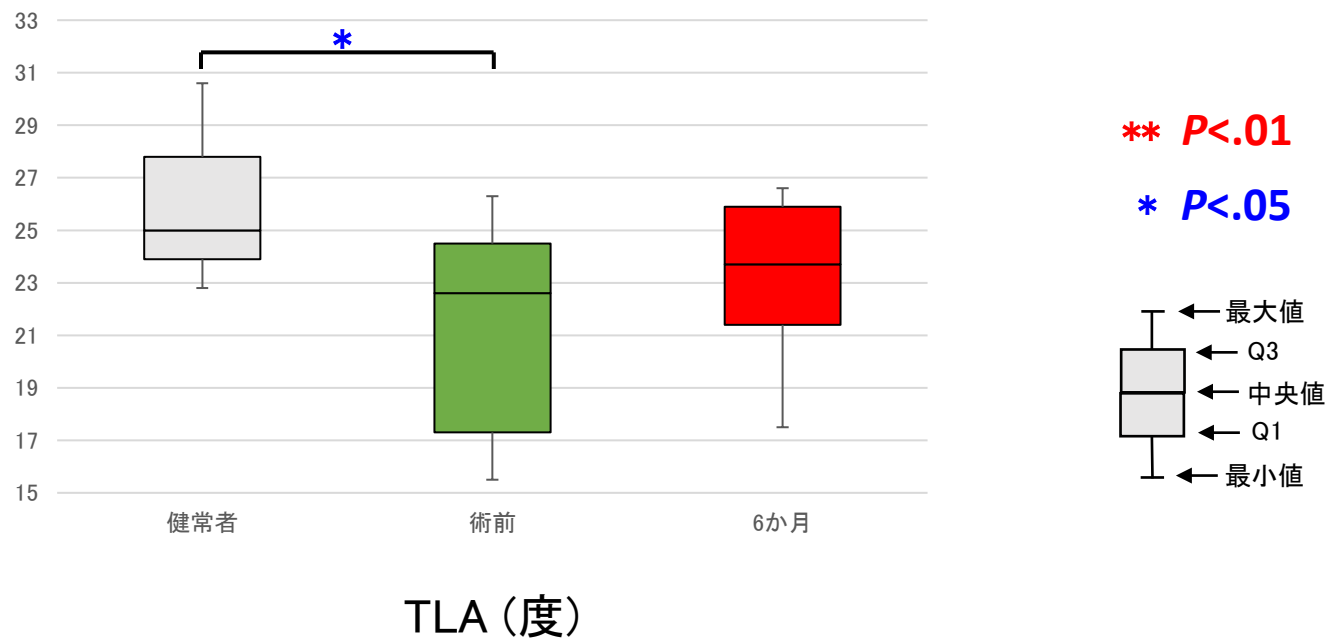
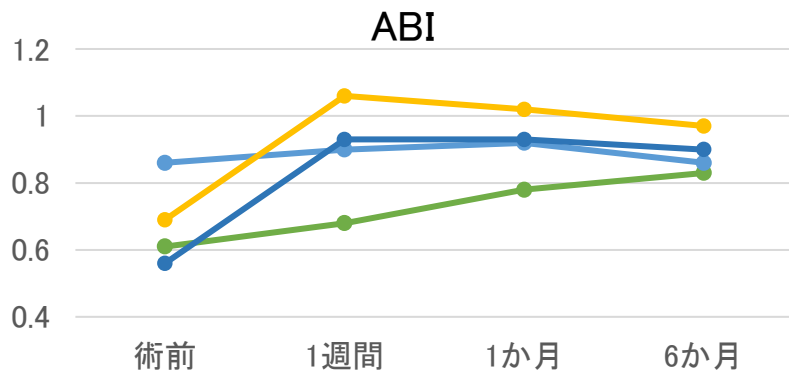
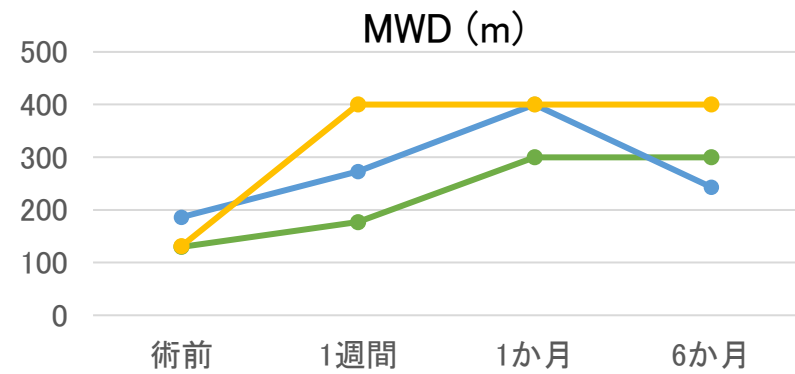


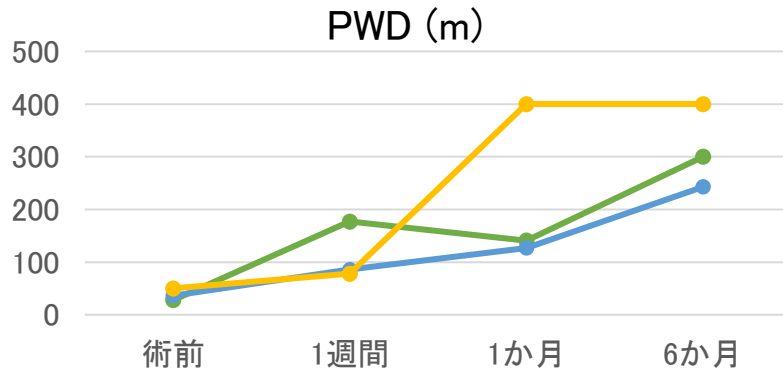
図24



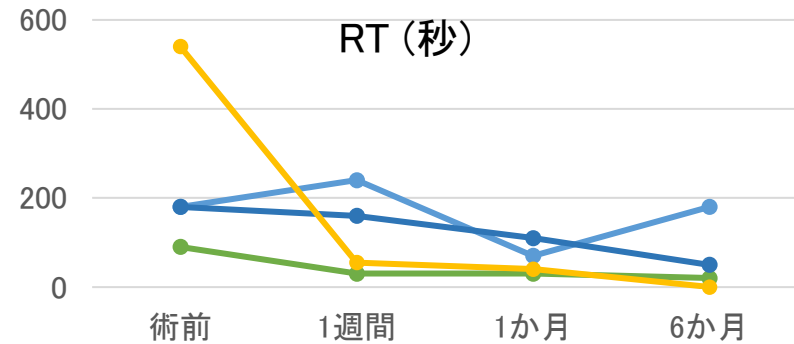
	術前	1週間	1か月	6か月
A	0.61	0.68	0.78	0.83
B	0.86	0.9	0.92	0.86
B'	0.56	0.93	0.93	0.9
C	0.69	1.06	1.02	0.97



	術前	1週間	1か月	6か月
A	130	177	300	300
B = B'	186	273	400	243
C	131	400	400	400



	術前	1週間	1か月	6か月
A	28	177	141	300
B = B'	36	86	127	243
C	50	78	400	400



	術前	1週間	1か月	6か月
A	90	30	30	20
B	180	240	70	180
B'	180	160	110	50
C	540	55	40	0

図25

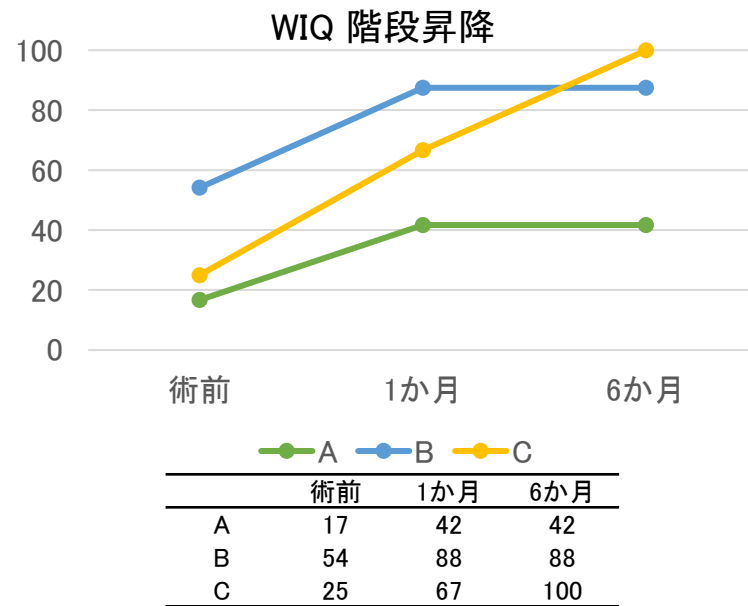
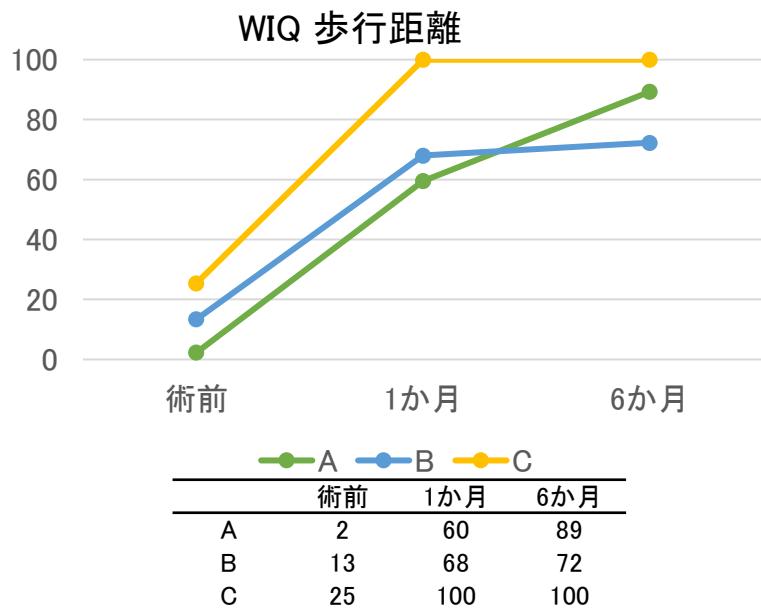
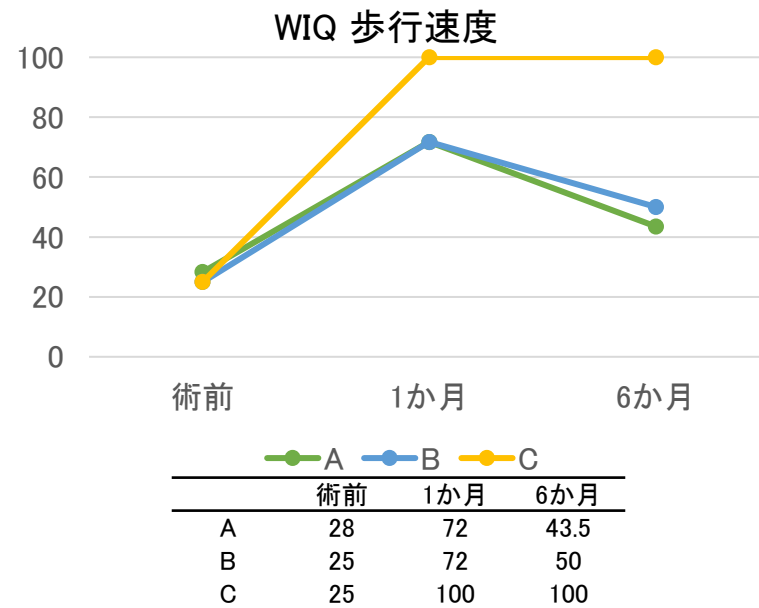
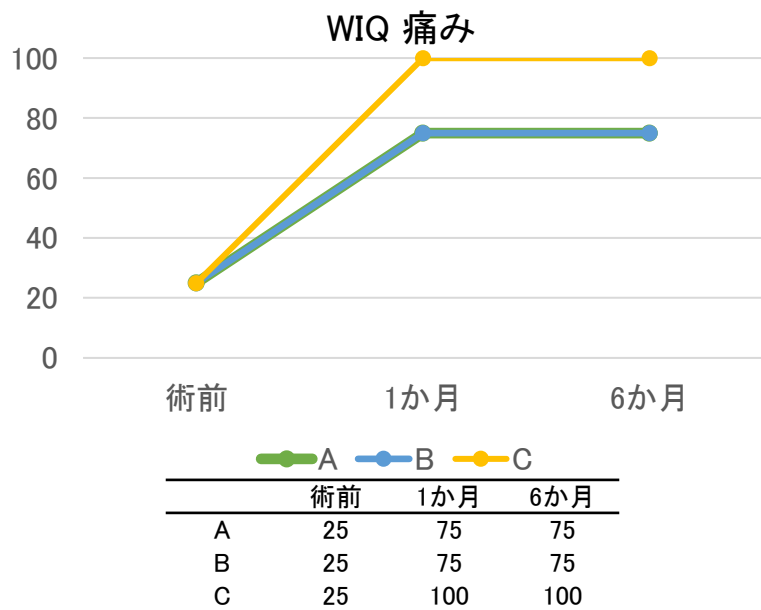


図26

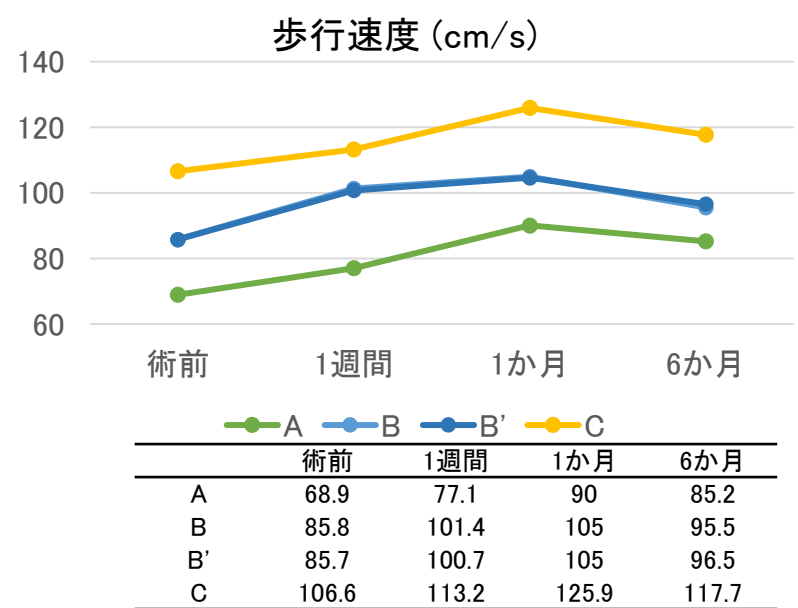
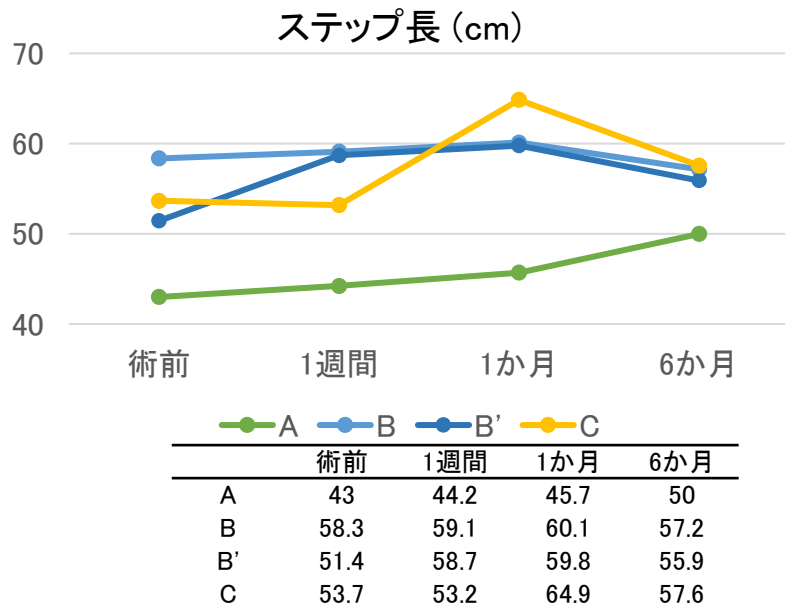
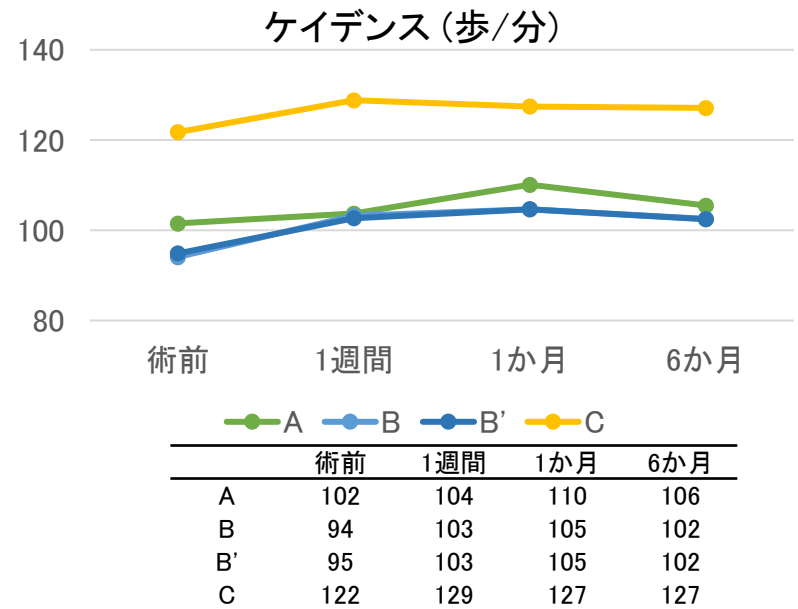
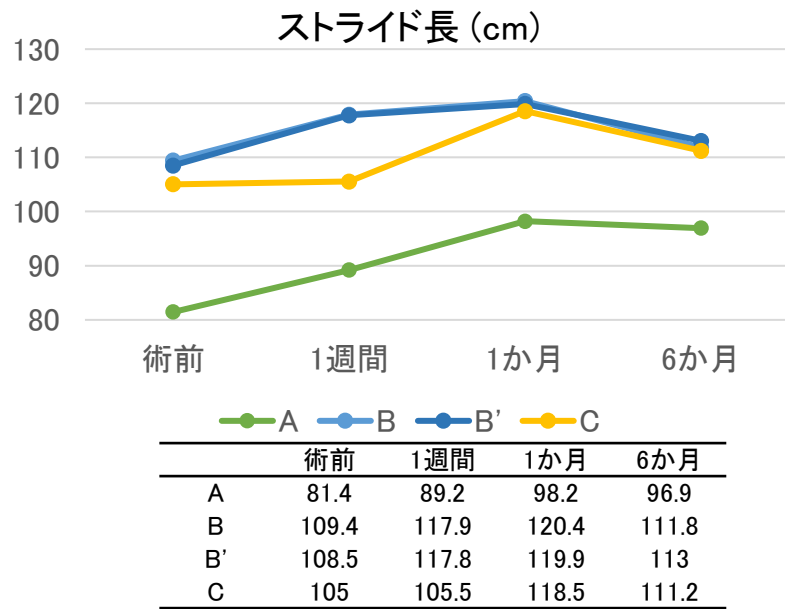
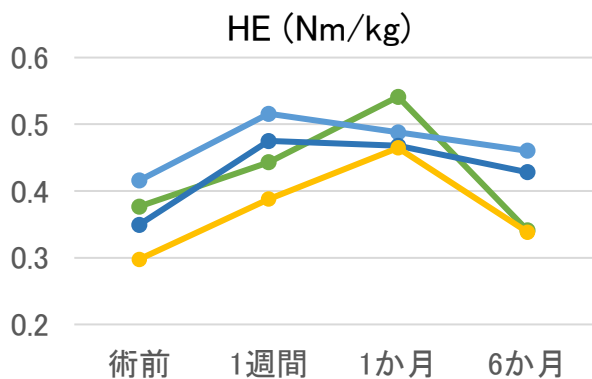
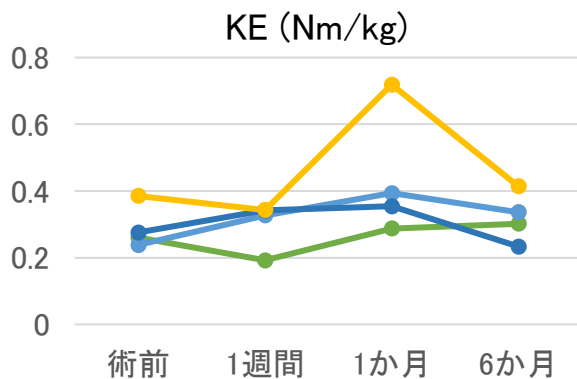


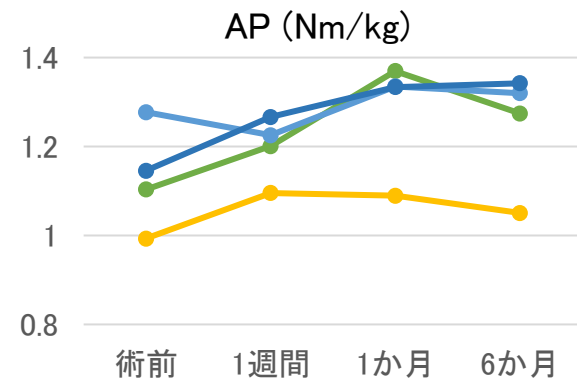
図27
111



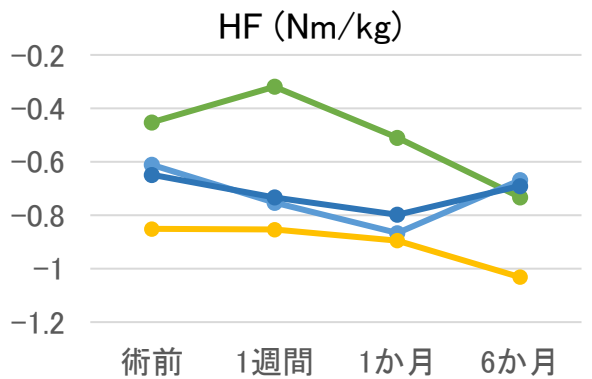
	術前	1週間	1か月	6か月
A	0.38	0.44	0.54	0.34
B	0.42	0.52	0.49	0.46
B'	0.35	0.47	0.47	0.43
C	0.3	0.39	0.46	0.34



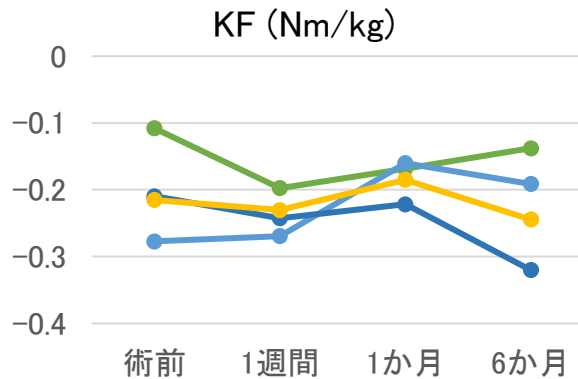
	術前	1週間	1か月	6か月
A	0.26	0.19	0.29	0.30
B	0.24	0.33	0.39	0.34
B'	0.28	0.34	0.35	0.23
C	0.39	0.34	0.72	0.41



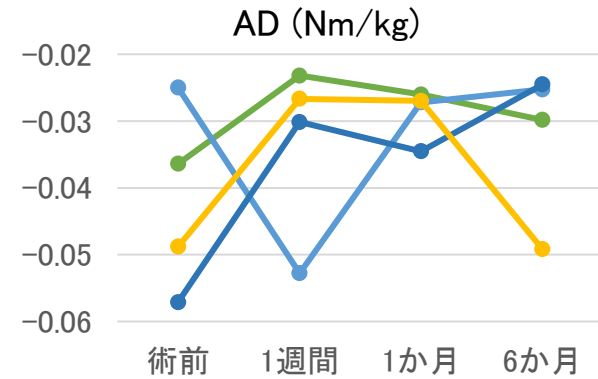
	術前	1週間	1か月	6か月
A	1.10	1.20	1.37	1.27
B	1.28	1.23	1.33	1.32
B'	1.15	1.27	1.33	1.34
C	0.99	1.10	1.09	1.05



	術前	1週間	1か月	6か月
A	-0.45	-0.32	-0.51	-0.73
B	-0.61	-0.75	-0.87	-0.67
B'	-0.65	-0.73	-0.80	-0.69
C	-0.85	-0.85	-0.90	-1.03



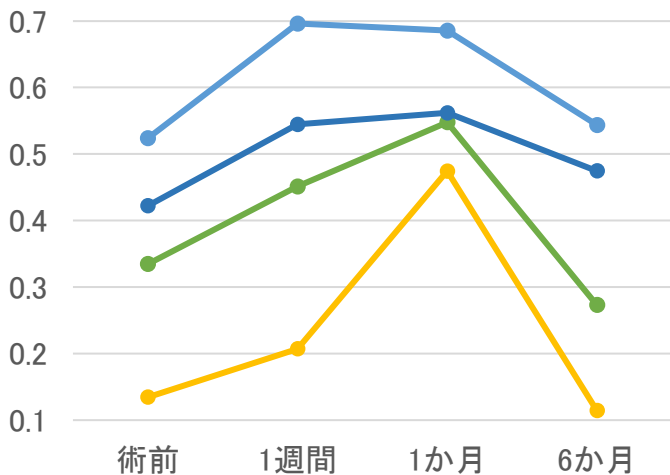
	術前	1週間	1か月	6か月
A	-0.11	-0.20	-0.17	-0.14
B	-0.28	-0.27	-0.16	-0.19
B'	-0.21	-0.24	-0.22	-0.32
C	-0.22	-0.23	-0.19	-0.24



	術前	1週間	1か月	6か月
A	-0.036	-0.023	-0.026	-0.030
B	-0.025	-0.053	-0.027	-0.025
B'	-0.057	-0.030	-0.035	-0.025
C	-0.049	-0.027	-0.027	-0.049

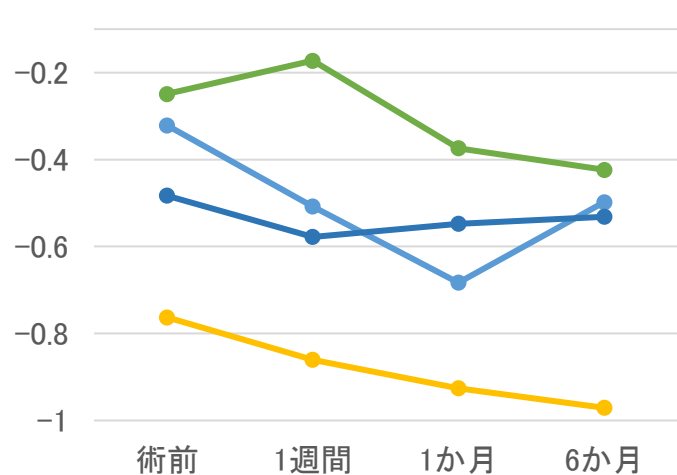
図28

H1 (W/kg)



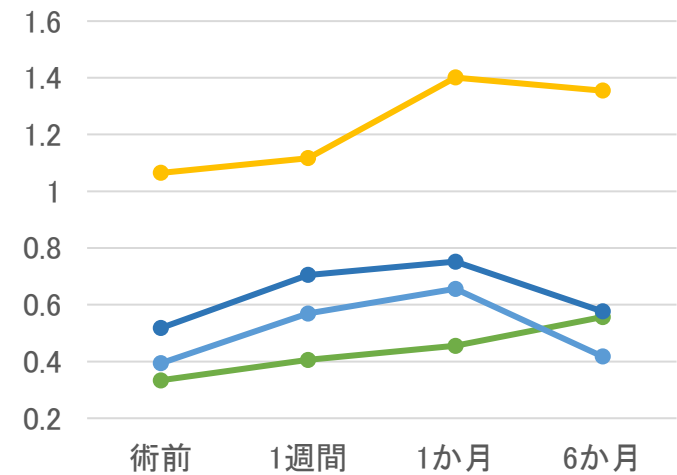
	術前	1週間	1か月	6か月
A	0.33	0.45	0.55	0.28
B	0.52	0.70	0.69	0.54
B'	0.42	0.54	0.56	0.47
C	0.13	0.21	0.47	0.11

H2 (W/kg)



	術前	1週間	1か月	6か月
A	-0.25	-0.17	-0.37	-0.42
B	-0.32	-0.51	-0.68	-0.5
B'	-0.48	-0.58	-0.55	-0.53
C	-0.76	-0.86	-0.93	-0.97

H3 (W/kg)



	術前	1週間	1か月	6か月
A	0.33	0.41	0.45	0.56
B	0.39	0.57	0.66	0.42
B'	0.52	0.70	0.75	0.58
C	1.06	1.12	1.4	1.35

図29

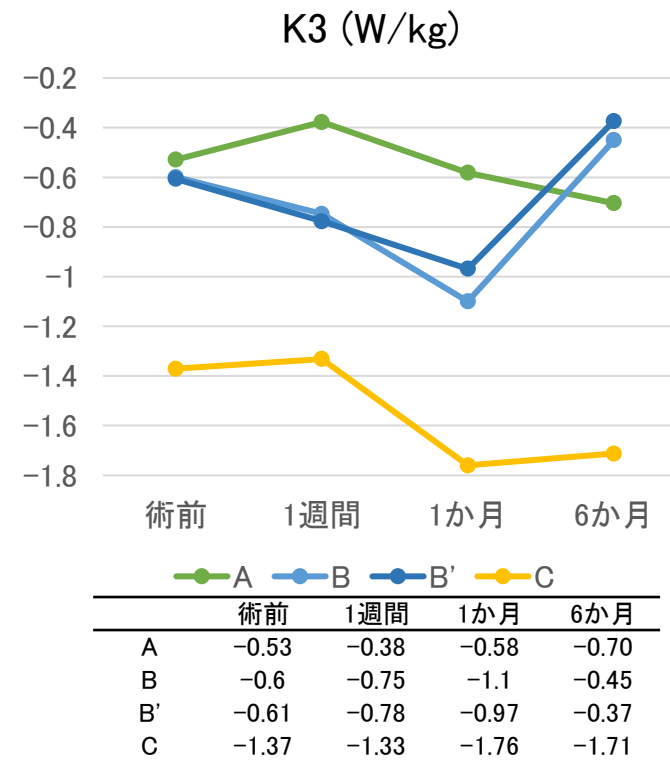
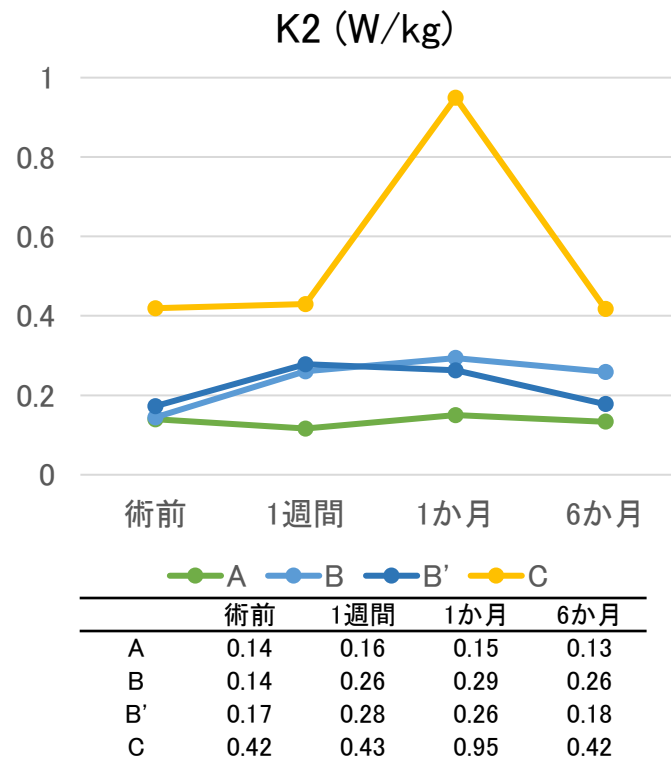
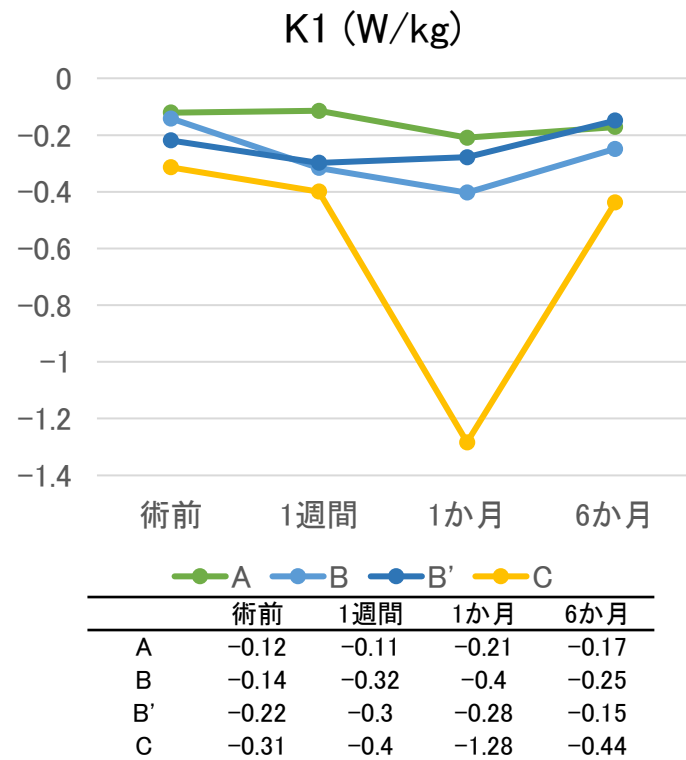
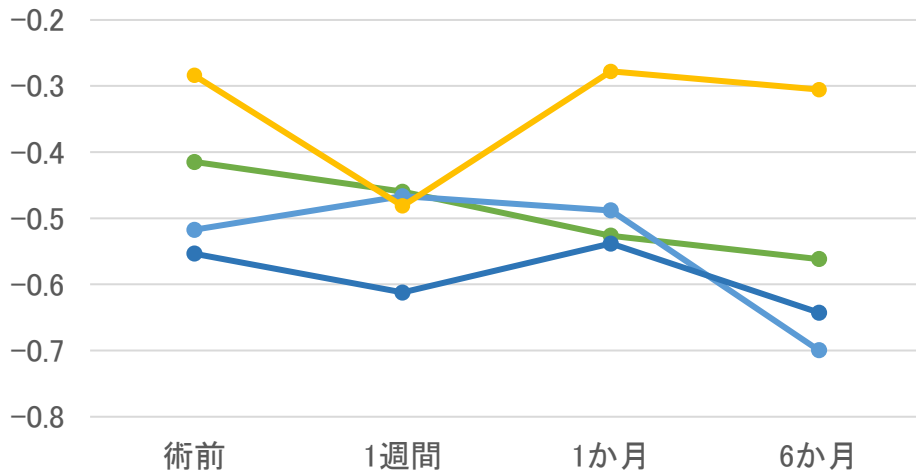


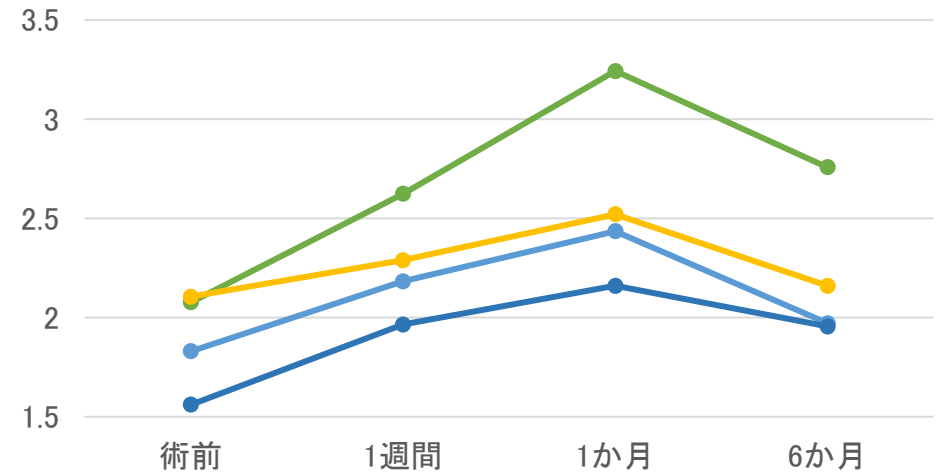
図30

A1 (W/kg)



	術前	1週間	1か月	6か月
A	-0.41	-0.46	-0.53	-0.56
B	-0.52	-0.47	-0.49	-0.7
B'	-0.55	-0.61	-0.54	-0.64
C	-0.28	-0.48	-0.28	-0.31

A2 (W/kg)



	術前	1週間	1か月	6か月
A	2.08	2.62	3.24	2.76
B	1.83	2.18	2.43	1.97
B'	1.56	1.96	2.16	1.95
C	2.10	2.29	2.52	2.16

図31

XII.表

表1 大動脈腸骨動脈領域 (AI群) 脱落患者と計測完遂患者の背景

	脱落患者 (n = 10)	完遂患者 (n = 10)	P 値
性別, 男性	6 (60)	9 (90)	.3
年齢, 歳	73 (62, 74)	72 (68, 73)	.79
身長, m	1.62 (1.6, 1.64)	1.62 (1.6, 1.69)	.6
体重, kg	55 (53.4, 61.9)	60.1 (54.6, 62.9)	.5
高血圧症	8 (80)	8 (80)	1
脂質異常症	3 (30)	6 (60)	.37
糖尿病	1 (10)	2 (20)	1
心血管疾患	2 (20)	1 (10)	1
脳血管疾患	3 (30)	2 (20)	1
慢性腎臓病	4 (40)	4 (40)	1
維持透析	0 (0)	1 (10)	1
喫煙歴	6 (60)	9 (90)	.3
Fontaine分類 II a / II b	4 (40) / 6 (60)	8 (80) / 2 (20)	.17
Rutherford分類 2 / 3	4 (40) / 6 (60)	8 (80) / 2 (20)	.17
TASC分類 A / B / C / D	4 (40) / 3 (30) / 0 (0) / 3 (30)	2 (20) / 4 (40) / 2 (20) / 2 (20)	.59
ABI	0.58 (0.5, 0.69)	0.58 (0.55, 0.74)	.62

カテゴリ変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

**, $P < .01$

表2 AI群、健常者の背景

	PAD患者 (AI群) n = 10	健常者 n = 10	P 値
性別, 男性	9 (90)	8 (80)	1
年齢, 歳	72 (68, 73)	71 (71, 74)	.88
身長, m	1.62 (1.6, 1.7)	1.65 (1.61, 1.66)	.85
体重, kg	60.1 (54.6, 62.9)	59.2 (54.1, 64.7)	.94
高血圧症	8 (80)	6 (60)	.63
脂質異常症	6 (60)	5 (50)	1
糖尿病	2 (20)	0 (0)	.47
心血管疾患	1 (10)	0 (0)	1
脳血管疾患	2 (20)	0 (0)	.47
喫煙歴	9 (90)	5 (50)	.14

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

**, $P < .01$

表3 AI群 患肢の症状、病変性質

	PAD患者 (AI群) n = 14
術前ABI	0.59 (0.55, 0.91)
Fontaine分類 II a / II b	11 (79) / 3 (21)
Rutherford分類 2 / 3	11 (79) / 3 (21)
跛行出現部位	
臀部	6 (43)
大腿部	8 (57)
下腿	11 (79)
TASC分類 A / B / C / D	2 (14) / 6 (43) / 2 (14) / 4 (29)
病変部位	
総腸骨動脈	6 (43)
外腸骨動脈	6 (43)
総腸骨-外腸骨動脈	2 (14)
内腸骨動脈	5 (36)
有意狭窄 / 閉塞	7 (50) / 7 (50)

カテゴリ変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

表4 AI群 EVT結果、経過中の有害事象

	PAD患者 (AI群) n = 14
EVT	
BMS / Stent graft	12 (86) / 2 (14)
手術時間, 分	105 (74, 131)
出血量, g	30 (8, 49)
手技成功	14 (100)
残存狭窄あり	0 (0)
術中合併症	0 (0)
期間中の有害事象	
術後合併症	0 (0)
標的病変の再狭窄	0 (0)
重大な有害事象	0 (0)

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記
BMS, ベアメタルステント

表5 AI群 計測・解析結果 (ABI、PWD、MWD、RT、WIQ)

	PAD患者 (AI群) n = 14				Friedman test <i>P</i> value	多重比較					
	術前	1週間 (1W)	1か月 (1M)	6か月 (6M)		術前-1W <i>P</i> value	術前-1M <i>P</i> value	術前-6M <i>P</i> value	1W-1M <i>P</i> value	1W-6M <i>P</i> value	1M-6M <i>P</i> value
ABI	0.59 (0.56, 0.8)	0.97 (0.91, 1.06)	0.99 (0.9, 1.07)	0.97 (0.87, 1.01)	<.01**	<.01**	.02*	<.01**	1	1	1
PWD, m	32 (27, 49)	84 (57, 141)	111 (61, 345)	100 (57, 359)	<.01**	.01*	<.01**	<.01**	1	1	1
MWD, m	92 (65, 116)	141 (112, 397)	231 (100, 399)	160 (108, 397)	<.01**	<.01**	<.01**	.03*	1	1	1
RT, 秒	155 (90, 300)	39 (15, 61)	25 (4, 113)	35 (15, 90)	<.01**	.02*	.03*	.04*	1	1	1
WIQ 痛み	50 (25, 50)	-	100 (100, 100)	100 (75, 100)	<.01**	-	.02*	.02*	-	-	1
WIQ 歩行距離	22 (15, 38)	-	100 (100, 100)	100 (100, 100)	<.01**	-	.01*	.01*	-	-	1
WIQ 歩行速度	27 (15, 38)	-	57 (51, 65)	53 (50, 57)	<.01**	-	.01*	.01*	-	-	.43
WIQ 階段昇降	31 (29, 45)	-	(77 (57, 97)	77 (47, 100)	.03*	-	.09	.06	-	-	1

連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, *P* < .05

***, *P* < .01

表6 AI群 計測・解析結果 (時間距離因子)

	PAD患者 (AI群) n = 14					多重比較					
	術前	1週間 (1W)	1か月 (1M)	6か月 (6M)	Friedman test <i>P</i> value	術前-1W <i>P</i> value	術前-1M <i>P</i> value	術前-6M <i>P</i> value	1W-1M <i>P</i> value	1W-6M <i>P</i> value	1M-6M <i>P</i> value
ストライド長, cm	106.5 (96.2, 119.7)	111.8 (104, 122.4)	117.1 (108, 127.6)	115.8 (108.3, 126.2)	<.01**	.15	<.01**	<.01**	<.01**	<.01**	1
ステップ長, cm	52.4 (47.1, 60.3)	56.8 (53.3, 60.6)	58.5 (54.6, 64.5)	59.4 (54.9, 64.4)	<.01**	.1	<.01**	<.01**	.01*	.01*	1
ケイデンス, 歩/分	101 (97, 106)	109 (94, 114)	110 (99, 116)	106 (103, 117)	<.01**	1	.02*	<.01**	.02*	.01*	.25
歩行速度, cm/s	90.2 (74, 108.9)	99.4 (87.4, 111.6)	103.5 (97.7, 117.9)	106.4 (99.9, 122.4)	<.01**	.62	<.01**	<.01**	<.01**	<.01**	.35

連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, *P* < .05

***, *P* < .01

表7 AI群 計測・解析結果 (関節モーメント)

	PAD患者 (AI群) n = 14				Friedman test <i>P</i> value	多重比較					
	術前	1週間 (1W)	1か月 (1M)	6か月 (6M)		術前-1W <i>P</i> value	術前-1M <i>P</i> value	術前-6M <i>P</i> value	1W-1M <i>P</i> value	1W-6M <i>P</i> value	1M-6M <i>P</i> value
HE, Nm/kg	0.39 (0.3, 0.43)	0.41 (0.34, 0.52)	0.42 (0.38, 0.46)	0.44 (0.4, 0.49)	.02*	.41	.02*	.02*	1	1	1
HF	-0.75 (-1.04, -0.51)	-0.84 (-1.0, -0.62)	-0.94 (-1.07, -0.74)	-0.97 (-1.15, -0.83)	<.01**	1	.04*	<.01**	<.01**	.01**	1
KE	0.35 (0.25, 0.48)	0.27 (0.25, 0.40)	0.42 (0.33, 0.59)	0.4 (0.28, 0.57)	.09						
KF	-0.28 (-0.16, -0.31)	-0.25 (-0.19, -0.28)	-0.25 (-0.16, -0.32)	-0.22 (-0.20, -0.27)	.65						
AD	-0.03 (-0.04, -0.02)	-0.03 (-0.04, -0.03)	-0.03 (-0.04, -0.03)	-0.03 (-0.05, -0.03)	.45						
AP	1.24 (1.18, 1.37)	1.28 (1.24, 1.31)	1.29 (1.24, 1.38)	1.29 (1.19, 1.37)	.04*	1	.54	1	.35	1	1

連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, *P* < .05

***, *P* < .01

表8 AI 群 解析・計測結果 (関節パワー)

	PAD患者 (AI群) n = 14				Friedman test <i>P</i> value	多重比較					
	術前	1週間 (1W)	1か月 (1M)	6か月 (6M)		術前-1W <i>P</i> value	術前-1M <i>P</i> value	術前-6M <i>P</i> value	1W-1M <i>P</i> value	1W-6M <i>P</i> value	1M-6M <i>P</i> value
H1, W/kg	0.3 (0.22, 0.4)	0.4 (0.25, 0.58)	0.36 (0.21, 0.46)	0.41 (0.27, 0.51)	.11						
H2	-0.45 (-0.54, -0.42)	-0.63 (-0.77, -0.41)	-0.82 (-0.93, -0.65)	-0.81 (-1.14, -0.61)	<.01**	1	.04*	<.01**	.01*	.01*	1
H3	0.68 (0.38, 1)	0.73 (0.53, 0.96)	0.86 (0.72, 1.1)	0.92 (0.67, 1.13)	<.01**	1	.02*	<.01**	.04*	<.01**	1
K1	-0.22 (-0.58, -0.09)	-0.2 (-0.38, -0.08)	-0.4 (-0.7, -0.14)	-0.41 (-0.72, -0.13)	.03*	1	.71	.41	.04*	.08	1
K2	0.2 (0.15, 0.4)	0.17 (0.1, 0.32)	0.31 (0.24, 0.48)	0.25 (0.14, 0.43)	.04*	1	.21	1	.18	.25	.47
K3	-0.92 (-1.4, -0.46)	-0.89 (-1.26, -0.64)	-1.12 (-1.59, -0.89)	-1.12 (-1.65, -0.88)	<.01**	1	.02*	.08	.02*	<.01**	1
A1	-0.45 (-0.54, -0.42)	-0.53 (-0.55, -0.42)	-0.49 (-0.6, -0.46)	-0.53 (-0.57, -0.46)	.16						
A2	2.04 (1.71, 2.75)	2.4 (1.85, 2.8)	2.55 (2.39, 3.08)	2.68 (2.3, 3.02)	<.01**	1	<.01**	<.01**	.01*	<.01**	1

連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

***, $P < .01$

表9 AI 群 解析・計測結果 (TLA)

	PAD患者 (AI群) n = 14				Friedman test <i>P</i> value	多重比較					
	術前	1週間 (1W)	1か月 (1M)	6か月 (6M)		術前-1W <i>P</i> value	術前-1M <i>P</i> value	術前-6M <i>P</i> value	1W-1M <i>P</i> value	1W-6M <i>P</i> value	1M-6M <i>P</i> value
TLA, 度	22.6 (17.3, 24.5)	22 (20.1, 23.5)	23.3 (20.6, 26.2)	23.7 (21.4, 25.9)	<.01**	1	<.01**	.02*	.01*	.12	1

連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

***, $P < .01$

表10 AI群 健常者との比較結果 (時間距離因子、関節モーメント、パワー、TLA)

	PAD患者 (AI群) n = 14		健常者 n = 10	PAD vs. 健常者	
	術前	6か月		術前 vs. 健 P value	6M vs. 健 P value
ストライド長, cm	106.5 (96.2, 119.7)	115.8 (108.3, 126.2)	134.7 (125.7, 140.7)	<.01**	.01*
ステップ長, cm	52.4 (47.1, 60.3)	59.4 (54.9, 64.4)	65.2 (64.4, 71.9)	<.01**	<.01**
ケイデンス, 歩/分	101 (97, 106)	106 (103, 117)	116 (110, 122)	<.01**	.24
歩行速度, cm/s	90.2 (74, 108.9)	106.4 (99.9, 122.4)	129.4 (126, 132.8)	<.01**	<.01**
HE, Nm/kg	0.39 (0.3, 0.43)	0.44 (0.4, 0.49)	0.46 (0.41, 0.64)	.02*	.52
HF	-0.75 (-1.04, -0.51)	-0.97 (-1.15, -0.83)	-0.99 (-1.04, -0.9)	.07	.77
KE	0.35 (0.25, 0.48)	0.4 (0.28, 0.57)	0.63 (0.48, 0.81)	.03*	.07
KF	-0.28 (-0.16, -0.31)	-0.22 (-0.20, -0.27)	-0.23 (-0.25, -0.18)	.77	.82
AD	-0.026 (-0.039, -0.019)	-0.032 (-0.051, -0.025)	-0.03 (-0.04, -0.03)	.11	.68
AP	1.24 (1.18, 1.37)	1.29 (1.19, 1.37)	1.31 (1.20, 1.39)	.52	.86
H1, W/kg	0.3 (0.22, 0.4)	0.41 (0.27, 0.51)	0.44 (0.17, 0.49)	.24	.82
H2	-0.45 (-0.54, -0.42)	-0.81 (-1.14, -0.61)	-1.13 (-1.26, -0.84)	<.01**	.07
H3	0.68 (0.38, 1)	0.92 (0.67, 1.13)	1.01 (0.96, 1.13)	.02*	.38
K1	-0.22 (-0.58, -0.09)	-0.41 (-0.72, -0.13)	-0.85 (-1.49, -0.38)	.01*	.02*
K2	0.2 (0.15, 0.4)	0.25 (0.14, 0.43)	0.52 (0.27, 0.99)	.04*	.05
K3	-0.92 (-1.4, -0.46)	-1.12 (-1.65, -0.88)	-1.37 (-1.89, -1.24)	.03*	.16
A1	-0.45 (-0.54, -0.42)	-0.53 (-0.57, -0.46)	-0.6 (-0.65, -0.4)	.32	.48
A2	2.04 (1.71, 2.75)	2.68 (2.3, 3.02)	2.86 (2.49, 3.06)	.04*	.52
TLA, 度	22.6 (17.3, 24.5)	23.7 (21.4, 25.9)	25 (23.9, 27.8)	.02*	.07

連続変数は 中央値 (IQR) 表記 **P* < .05 ***P* < .01 健, 健常者

表11 大腿膝窩動脈領域 (FP群) 計測完遂患者の背景

	A	B	C
性別	男性	男性	女性
年齢, 歳	84	68	61
身長, m	1.61	1.68	1.54
体重, kg	50.7	55.4	58
高血圧症		○	○
脂質異常症			
糖尿病	○	○	○
心血管疾患		○	○
脳血管疾患		○	
喫煙歴	○	○	○

表12 FP群 患肢 (4肢) の症状、病変性質

	A	B	B'	C
術前ABI	0.61	0.86	0.56	0.69
Fontaine分類	II b	II a	II a	II a
Rutherford分類	3	2	2	2
跛行出現部位	大腿 / 下腿	下腿	下腿	下腿
TASC分類	C	B	D	B
病変部位	SFA閉塞 (ISO)	SFA 75% 狭窄	SFA閉塞	SFA閉塞

SFA, 浅大腿動脈

表13 FP群 EVT結果、経過中の有害事象

	A	B	B'	C
EVT				
デバイス	ステント	ステント	ステントグラフト	ステント
手術時間, 分	229	74	118	126
出血量, g	129	10	0	5
手技成功	○	○	○	○
残存狭窄, %	0	0	0	0
術中合併症	無	無	無	無
期間中の有害事象				
術後合併症	無	無	無	無
標的病変の再狭窄	無	無	無	無
重大な有害事象	無	無	無	無

表14 AI群とFP群の術前パラメータ比較 (患者背景)

	AI群 (20 人)	FP群 (6 人)	<i>P</i> value
性別, 男性	15 (75)	4 (66.7)	1
年齢, 歳	72 (67, 74)	66 (62, 70)	.31
身長, m	1.62 (1.6, 1.66)	1.62 (1.58, 1.64)	.63
体重, kg	57.5 (53.5, 63.1)	56.7 (54.4, 63.9)	.86
高血圧症	16 (80)	5 (83.3)	1
脂質異常症	9 (45)	3 (50)	1
糖尿病	3 (15)	6 (100)	<.01**
心血管疾患	3 (15)	2 (33.3)	.56
脳血管疾患	5 (25)	1 (16.7)	1
慢性腎臓病	8 (40)	5 (83.3)	.02*
維持透析	1 (5)	1 (16.7)	.42
喫煙歴	15 (75)	6 (100)	.3

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, *P* < .05

** , *P* < .01

表15 AI群とFP群の術前パラメータ比較（患肢の症状、病変性質）

	AI群 (24 肢)	FP群 (8 肢)	<i>P</i> value
術前ABI	0.59 (0.55, 0.74)	0.60 (0.57, 0.69)	.91
跛行出現部位			
臀部	15 (62.5)	0 (0)	<.01**
大腿	17 (70.8)	3 (37.5)	.11
下腿	18 (75)	8 (100.0)	.3
Fontaine分類 II a / II b	15 (62.5) / 9 (37.5)	5 (62.5) / 3 (37.5)	1
Rutherford分類 2 / 3	15 (62.5) / 9 (37.5)	5 (62.5) / 3 (37.5)	1
TASC分類 A / B / C / D	6 (25) / 9 (37.5) / 2 (8.3) / 7 (29.2)	0 (0) / 3 (37.5) / 4 (50) / 1 (12.5)	

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, *P* < .05

***, *P* < .01

表16 AI群とFP群の術前パラメータ (PWD、MWD、RT)

	AI群 (24 肢)	FP群 (8 肢)	<i>P</i> value
PDW, m	36 (28, 56)	39 (36, 58)	.35
MWD, m	92 (81, 118)	136 (117, 152)	.04*
RT, 秒	195 (90, 250)	180 (171, 248)	.84

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

** $, P < .01$

表17 AI群とFP群の術前パラメータ (WIQ)

	AI群 (20 人)	FP群 (6 人)	<i>P</i> value
WIQ (痛み)	50 (25, 50)	25 (25, 25)	.25
WIQ (歩行距離)	17 (13, 34)	17 (9, 24)	.48
WIQ (歩行速度)	22 (15, 36)	27 (25, 34)	.46
WIQ (階段昇降)	42 (27, 54)	54.2 (32, 70)	.44

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$

**, $P < .01$

表18 AI群とFP群の術前パラメータ (時間距離因子、関節モーメント、関節パワー)

	AI群 (24 肢)	FP群 (8 肢)	<i>P</i> value
時間距離因子			
ストライド長, cm	109.3 (99.6, 117.1)	106.8 (98.4, 113.1)	.7
ステップ長, cm	54.1 (50.4, 59.1)	52.6 (50.9, 58.7)	1
ケイデンス, 歩/分	106 (100, 116)	103 (100, 108)	.46
歩行速度, cm/秒	95 (84, 114)	89 (86, 106)	.41
関節モーメント, Nm/kg			
HE	0.39 (0.34, 0.46)	0.40 (0.34, 0.44)	.83
HF	-0.79 (-0.99, -0.57)	-0.63 (-0.76, -0.46)	.14
KE	0.37 (0.28, 0.5)	0.27 (0.24, 0.29)	.03*
KF	-0.21 (-0.29, -0.18)	-0.24 (-0.28, -0.2)	.9
AD	-0.03 (-0.03, -0.02)	-0.03 (-0.04, -0.03)	.49
AP	1.20 (1.17, 1.33)	1.21 (1.13, 1.27)	.57
関節パワー, W/kg			
H1	0.29 (0.21, 0.42)	0.41 (0.33, 0.5)	.16
H2	-0.65 (-0.88, -0.45)	-0.43 (-0.70, -0.31)	.13
H3	0.71 (0.41, 0.93)	0.49 (0.42, 0.66)	.22
K1	-0.32 (-0.5, -0.17)	-0.21 (-0.24, -0.14)	.12
K2	0.23 (0.15, 0.37)	0.14 (0.13, 0.18)	.07
K3	-0.99 (-1.42, -0.59)	-0.60 (-0.73, -0.54)	.15
A1	-0.47 (-0.58, -0.42)	-0.47 (-0.57, -0.41)	.83
A2	2.14 (1.63, 2.62)	1.95 (1.72, 2.15)	.3

カテゴリー変数は総数 (%), 連続変数は 中央値 (IQR) 表記

*, $P < .05$ ***, $P < .01$