

表題：階段降段動作における中足趾節関節の機能について

著者名：松本和久

明治国際医療大学 保健医療学部柔道整復学科

要旨：

目的) 前向きの降段動作と後ろ向きの降段動作の中足趾節関節の矢状面の関節運動を分析し，併せて中足趾節関節屈曲筋力を中足趾節関節中間位と背屈位で計測し，降段動作の動作様式と中足趾節関節の機能の関係を検討した．

方法) 階段降段動作を分析する対象者は，健常成人男性 5 名（平均年齢 21.0 ± 0.0 歳，平均身長 169.8 ± 3.0 cm，平均体重 67.4 ± 7.6 kg），左右 10 肢とし，中足趾節関節屈曲筋力を計測する対象者は，健常成人男性 16 名，健常成人女性 10 名（平均年齢 21.2 ± 1.0 歳，平均身長 167.5 ± 8.2 cm，平均体重 63.1 ± 9.2 kg），左右 52 肢とした．

降段動作の分析は，対象者に 43 箇所の反射マーカを貼付した状態で高さ 20cm の 2 段の階段を前向き降段動作と後ろ向き降段動作を各 1 回実施し，反射マーカをの位置を 8 台のカメラによる三次元動作解析装置（OptiTrack Japan 社製 OptiTrack コントロールソフトウェア Motive: Body）を用いて計測し，OptiTrack 解析評価ソフトウェア SKYCOM を用いて膝関節，足関節，および中足趾節関節の屈曲，伸展，背屈，底屈角度の最大値を求めた．

中足趾節関節屈曲筋力の計測は，中足趾節関節屈曲伸展筋力アタッチメント（竹井機器工業社製）とストレインアンプ TSA-210（竹井機器工業社製）を用いて，中足趾節関節中間位と背屈位で実施した．

前向き降段動作時と後ろ向き降段動作時の，膝関節，足関節，および中足趾節関節の屈曲，伸展，背屈，底屈角度の最大値の平均を Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて比較した．統計処理には IBM SPSS Statistics Version 26.0 を用いて，統計学的有意水準は 5% とした．

結果) 前向き降段動作に対して後ろ向き降段動作の膝関節最大屈曲角度は $93.62 \pm 9.75^\circ$ と $60.69 \pm 12.77^\circ$ ，膝関節最大伸展角度は $-3.93 \pm 0.22^\circ$ と $-4.98 \pm 0.91^\circ$ ，足関節最大背屈角度は $31.73 \pm 5.05^\circ$ と $4.91 \pm 7.86^\circ$ ，足関節最大底屈角度は $28.16 \pm 2.70^\circ$ と $15.02 \pm 2.40^\circ$ ，中足趾節関節最大背屈角度は $40.00 \pm 26.71^\circ$ と $19.75 \pm 12.68^\circ$ と有意に高値を示し ($p < 0.05$)，中足趾節関節最大底屈角度は $6.55 \pm 1.28^\circ$ と $18.66 \pm 14.22^\circ$ で有意に低値を示した ($p < 0.05$)．

中足趾節関節中間位の中足趾節関節屈曲筋力は 24.35 ± 4.31 N，中足趾節関節

背屈位の中足趾節関節屈曲筋力は $25.22 \pm 3.78\text{N}$ で、中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力は中足趾節関節中間位での中足趾節関節屈曲筋力よりもわずかながら有意に高値であった ($p < 0.05$)。

結論) 階段降段動作における中足趾節関節は、前向き降段動作時は後ろ向き降段動作時の 2 倍以上の背屈角度が必要であり、また中足趾節関節屈曲は中足趾節関節背屈位で筋効率が良いことから、前向き降段動作を維持および獲得するためには、中足趾節関節背屈角度の維持・改善が重要であることが示唆された。

キーワード：

降段動作，動作分析，中足趾節関節，中足趾節関節屈曲筋力

本文：

1. 緒言

先行研究によると、階段は転倒・転落事故が発生する可能性が高い場所であり、事故全体における高齢者の割合は高く¹⁾、また、高齢化に伴う変形性膝関節症により 77% に階段昇降が困難となると報告されている²⁾。そのため多くの研究者が階段降段動作の動作分析を行っている^{3, 4, 5, 6)}が、中足趾節関節の関節運動を含めて検討した報告は少ない⁷⁾。また、私たちの生活において階段昇降は欠かすことのできない動作であるため、変形性膝関節症や関節リウマチなどの患者では後ろ向きで階段を降りることが報告され、階段降段動作の前降りと後ろ降りとの比較分析も行われているが⁸⁾、中足趾節関節の関節運動を含めて検討した報告は少ない。

本研究は、前向きの降段動作と後ろ向きの降段動作の中足趾節関節の矢状面の関節運動を分析し、併せて中足趾節関節屈曲筋力を中足趾節関節中間位と背屈位で計測し、階段降段動作の動作様式と中足趾節関節の機能の関係を検討した。

2. 対象および方法

1) 対象

(1) 階段降段動作を分析する対象者は、健常成人男性 5 名 (平均年齢 21.0 ± 0.0 歳、平均身長 $169.8 \pm 3.0\text{cm}$ 、平均体重 $67.4 \pm 7.6\text{kg}$)、左右 10 肢とした。

(2) 中足趾節関節屈曲筋力を計測する対象者は、健常成人男性 16 名、健常成人女性 10 名 (平均年齢 21.2 ± 1.0 歳、平均身長 $167.5 \pm 8.2\text{cm}$ 、平均体重 $63.1 \pm 9.2\text{kg}$)、左右 52 肢とした。

2) 方法

（１）降段動作の分析方法

①降段動作の計測

対象者は身体に密着したシャツとショーツを着用し、Rizzoli Body Protocolである両側の肩峰，上前腸骨棘，後上腸骨棘，大転子，大腿の中央線上，大腿骨外側上顆，大腿骨内側上顆，腓骨頭，脛骨粗面，脛骨の中央線上，外果，内果，踵骨のアキレス腱付着部，第１中足骨頭，第２中足骨頭，第５中足骨頭，母趾爪甲根部と，胸骨頸切痕部，胸骨剣状突起部，第７頸椎棘突起，第２胸椎棘突起，第１０胸椎棘突起，第１腰椎棘突起，第３腰椎棘突起，第５腰椎棘突起，右肩甲骨内側縁の４３箇所に反射マーカを貼付した．反射マーカは両側の踵骨のアキレス腱付着部，第１中足骨頭，第２中足骨頭，第５中足骨頭，母趾爪甲根部は直径 9.5mm，両側の大腿骨外側上顆，腓骨頭と第１腰椎棘突起，第３腰椎棘突起，第５腰椎棘突起は直径 6.4mm，それ以外の部位は直径 14mm を用いた（図１）．

階段は，高さ 10cm の訓練用ブロック（酒井医療株式会社製）の上に高さ 10cm の床反力計（テック技販社製 TF-4060-B）を設置した高さ 20cm 幅 60cm 奥行き 40cm の１段目と，高さ 40cm 幅 72cm 奥行き 40cm の訓練用ブロック（酒井医療株式会社製）を２段目とする２段の階段とした（図２）．

前向き降段動作は，２段目の階段上で正面を向いた直立位から開始し，適時下を向くことは許可し，１足１段で降段した後，正面を向いた直立位で終了する．後ろ向き降段動作も同様に，２段目の階段上で正面を向いた直立位から開始し，適時下を向くことは許可し，１足１段で降段した後，正面を向いた直立位で終了する．

降段動作の計測は，計測前に対象者が安定して可能になるまで入念に反復練習した後実施し，計測回数は１回とした．

関節運動の計測には三次元動作解析装置（OptiTrack Japan 社製 OptiTrack コントロールソフトウェア Motive: Body）を用いて，８台のカメラで実施した．４台のカメラは両側の踵骨のアキレス腱付着部，第１中足骨頭，第２中足骨頭，第５中足骨頭，母趾爪甲根部の反射マーカの死角を作らないように設置し，残りの４台のカメラは身体全体を捉えるように設置した（図３）．

床反力の計測は床反力計を用いて，OptiTrack Japan 社製 eSync2 を介して三次元動作解析装置と同期させて実施した．

②降段動作の解析

降段動作の解析は、OptiTrack 解析評価ソフトウェア SKYCOM を用いて実施した。

関節角度は、Rizzoli Body Protocol によって算出される仮想の股関節中心 (Thigh)、膝関節中心 (Shin)、足関節中心 (Foot)、および中足趾節関節中心 (Toe) と、母趾爪甲根部 (DP1)、第 2 中足骨頭 (SM)、踵骨のアキレス腱付着部 (CA) の反射マーカを用いて、膝関節は股関節中心 (Thigh) と膝関節中心 (Shin)、および足関節中心 (Foot) の 3 点角度、足関節は膝関節中心 (Shin) と足関節中心 (Foot)、および中足趾節関節中心 (Toe) の 3 点角度、中足趾節関節は母趾爪甲根部 (DP1) と第 2 中足骨頭 (SM)、および踵骨のアキレス腱付着部 (CA) の 3 点角度として算出した (図 4)。

各関節の関節角度は、床反力計の値を基に、床反力計に接地している間の接地側の膝関節、足関節、中足趾節関節の矢状面の角度を求め、計測開始直後から 0.05 秒間の直立位の各関節の平均値を 0° として補正した後、膝関節は正を屈曲、負を伸展、足関節は正を背屈、負を底屈、中足趾節関節は正を背屈、負を底屈として、最大屈曲と最大背屈角度、および最大伸展と最大底屈角度を求めた。

(2) 中足趾節関節屈曲筋力の計測方法

中足趾節関節屈曲筋力の計測は、中足趾節関節屈曲伸展筋力アタッチメント (竹井機器工業社製) とストレインアンプ TSA-210 (竹井機器工業社製) を用いて、中足趾節関節中間位と中足趾節関節背屈位で実施した (図 5 a, b)。

中足趾節関節中間位での中足趾節関節屈曲筋力の計測は、対象者の股関節と膝関節が屈曲 90° 位となるような端座位をとり、中足趾節関節屈曲伸展筋力アタッチメントを装着し、足関節が底屈し踵が床から離れないように注意しながら、最大努力で中足趾節関節を屈曲した際の筋力をトレインアンプ TSA-210 にて増幅してパーソナルコンピュータに記録した。次に中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力を計測した。中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力は、高さ 10cm の楔を足底に置き、股関節と膝関節が屈曲 90° 位となるような端座位をとり、中足趾節関節中間位と同様の方法で計測した。その後、同様の手順で反対側の中足趾節関節中間位と中足趾節関節背屈位の中足趾節関節屈曲筋力を計測した。この計測の後、再度反対側の中足趾節関節屈曲筋力を先ほどと逆の順序、すなわち中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力を計測した後、中足趾節関節中間位の中足趾節関節屈曲筋力を計測する。その後、同様の順で反対側の計測を実施する。このような手順で 2 回計測した中足趾節

関節中間位と中足趾節関節背屈位の中足趾節関節屈曲筋力の最大値の平均を求めた(図 5 c, d).

(3) 統計

前向き降段動作時と後ろ向き降段動作時の, 膝関節の最大屈曲, 伸展角度, 足関節の最大背屈, 底屈角度, 中足趾節関節の最大背屈, 底屈角度を, Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて比較した. 統計処理には IBM SPSS Statistics Version 26.0 を用いて, 統計学的有意水準は 5% とした.

中足趾節関節中間位と中足趾節関節背屈位の中足趾節関節屈曲筋力の最大値の平均を Wilcoxon の符号付き順位検定を用いて比較した. 統計処理には IBM SPSS Statistics Version 26.0 を用いて, 統計学的有意水準は 5% とした.

3. 結果

前向き降段動作(図 6)に対して後ろ向き降段動作(図 7)の膝関節最大屈曲角度は $93.62 \pm 9.75^\circ$ と $60.69 \pm 12.77^\circ$, 膝関節最大伸展角度は $-3.93 \pm 0.22^\circ$ と $-4.98 \pm 0.91^\circ$, 足関節最大背屈角度は $31.73 \pm 5.05^\circ$ と $4.91 \pm 7.86^\circ$, 足関節最大底屈角度は $28.16 \pm 2.70^\circ$ と $15.02 \pm 2.40^\circ$, 中足趾節関節最大背屈角度は $40.00 \pm 26.71^\circ$ と $19.75 \pm 12.68^\circ$ と有意に高値を示し ($p < 0.05$), 中足趾節関節最大底屈角度は $6.55 \pm 1.28^\circ$ と $18.66 \pm 14.22^\circ$ で有意に低値を示した ($p < 0.05$).

中足趾節関節中間位の中足趾節関節屈曲筋力は $24.35 \pm 4.31\text{N}$, 中足趾節関節背屈位の中足趾節関節屈曲筋力は $25.22 \pm 3.78\text{N}$ で, 中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力は中足趾節関節中間位での中足趾節関節屈曲筋力よりもわずかながら有意に高値であった ($p < 0.05$).

4. 考察

膝関節や足関節の関節角度は, 前向き降段動作時の方が後ろ向き降段動作時よりも大きいことが先行研究で報告されている^{6, 8, 9)}. しかし, 光学式三次元動作解析装置によって階段昇降時の中足趾節関節の動きを計測することは, 階段が物理的な死角を作るため非常に困難であるため, その報告は少ない. また第 1 中足趾節関節の動きから中足趾節関節の動きを計測しようとする, 第 1 中足趾節関節は外反することがあるため背屈角度が計測できない場合がある. そのため今回の研究では, 訓練用ブロックを用いて階段を作成することで階段による物理的死角を減少し, カメラ位置を足先部の反射マーカに集中させることで, 足先部の反射マーカの計測が可能となった. また中足趾節関節の関

節角度の算出方法を，母趾爪甲根部（DP1），第1中足骨頭（FM），踵骨のアキレス腱付着部（CA）の3点角度ではなく，母趾爪甲根部（DP1），第2中足骨頭（SM），踵骨のアキレス腱付着部（CA）の3点角度とすることで中足趾節関節の背屈・底屈角度を算出しやすくした（図3）。

その結果，膝関節と足関節は先行研究と同様の結果を示し，中足趾節関節の背屈角度は，前向き降段動作時は後ろ向き降段動作時の2倍以上の必要であることが分った．また中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲筋力は，中足趾節関節中間位での中足趾節関節屈曲筋力よりもわずかながら有意に高値を示したことから，中足趾節関節背屈位での中足趾節関節屈曲は筋効率が良いことが推察された．以上のことから，前向き降段動作を維持および獲得するためには，中足趾節関節背屈角度の維持・改善が重要であることが示唆された．

5．結語

階段降段動作における中足趾節関節は，前向き降段動作時は後ろ向き降段動作時の2倍以上の背屈角度が必要であり，また中足趾節関節屈曲は中足趾節関節背屈位で筋効率が良いことから，前向き降段動作を維持および獲得するためには，中足趾節関節背屈角度の維持・改善が重要であることが示唆された．

6．引用文献

- 1) 大西明宏，江原義弘「踵軌跡の特徴にもとづいた数式モデルによる安全な階段寸法の分析－高齢社会に対応した法律や指針が推奨する階段寸法の検討－」『バイオメカニズム学会誌』33(1)，2009年，p64－72．
- 2) 伊藤正明「階段昇降，逆降り時の膝関節モーメントの三次元解析－階段昇降時痛との比較」『別冊整形外科』42，2002年，p44－47．
- 3) 井川達也，勝平純司，山本澄子「高齢者の歩行・階段昇降動作時における主動筋および拮抗筋筋活動についての筋電図学的分析」『理学療法科学』28(1)，2013年，p35－38．
- 4) 田邊康雅，水上昌文「健常者の階段降段動作における下肢のバイオメカニクス」『理学療法科学』30(2)，2015年，p207－212．
- 5) 松本渉，永山智貴，小西倫太郎他「足関節機能が階段降段動作時の膝関節機能に及ぼす影響」『京都在宅リハビリテーション研究会誌』4，2010年，p25－28．
- 6) 長谷川正哉，島谷泰司，金井秀作他「側方への降段が下肢関節角度および下肢関節モーメントに及ぼす影響」『理学療法科学』22(1)，2007年，p151－156．

7) 佐藤洋一郎, 竹本晋也, 佐々木康輔他「降段動作の運動学的パターン分析」『理学療法学』36(3), 2009年, p114-119.

8) 富樫寛子「階段降段の動作分析—前降りと後ろ降りの比較—」『秋田理学療法』10(1), 2002年, p17-19.

9) Protopapadaki A, Drechsler WI, Cramp MC, et al. 「Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. 」『Clin Biomech』Feb22(2), 2007, p203-210.

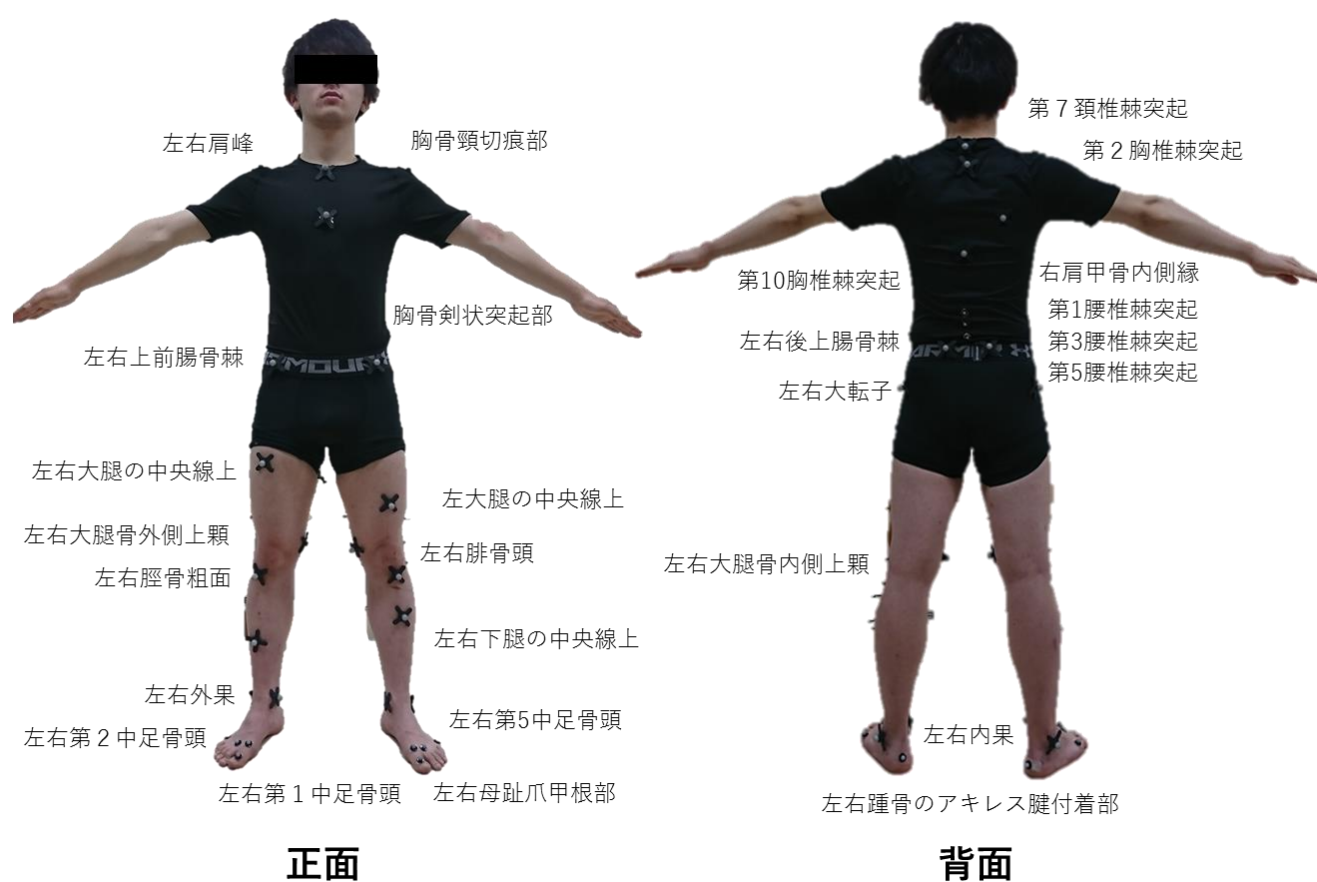


図1. Rizzoli Body Protocol marker set

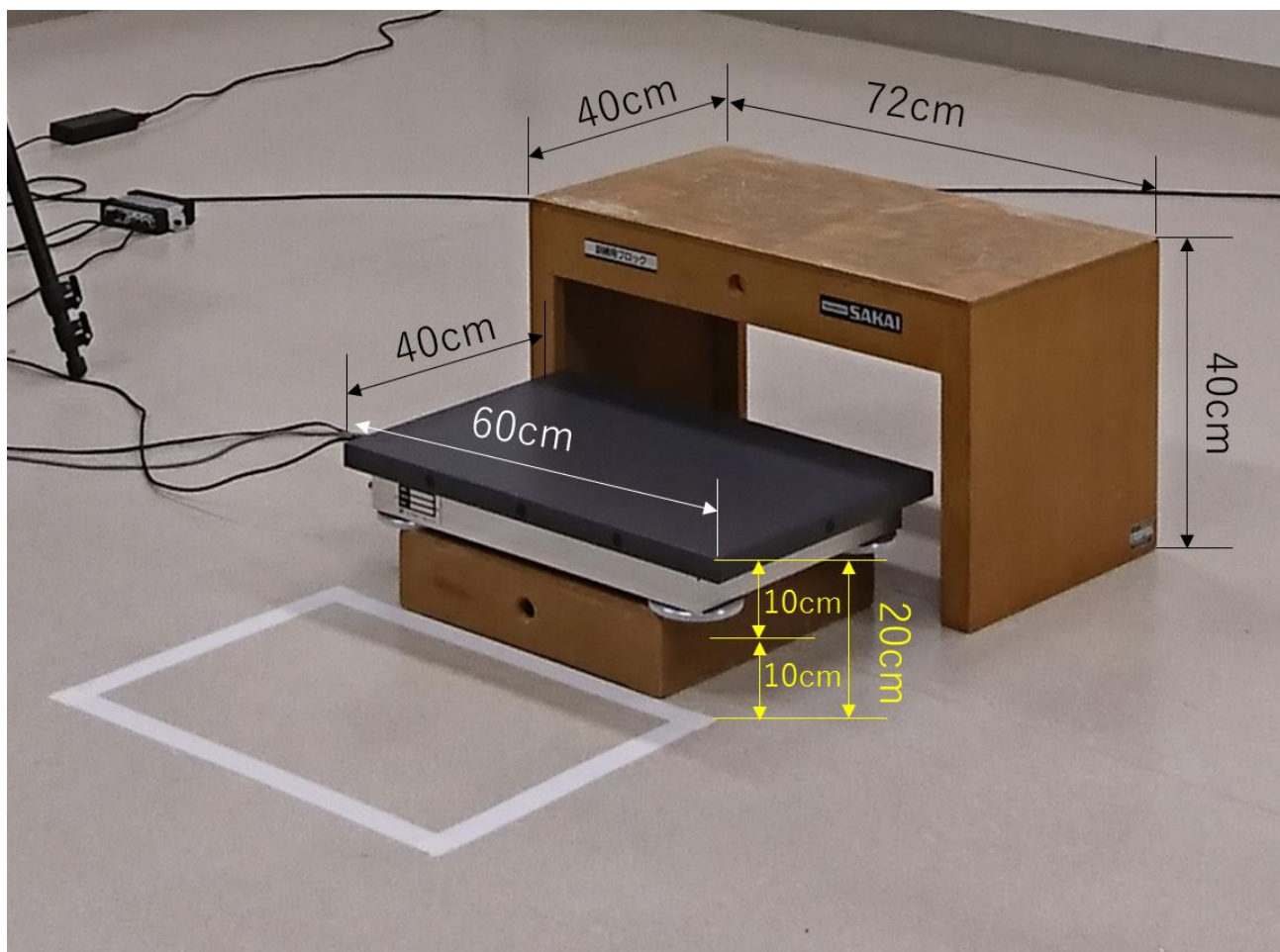


図 2 . 実験に使用した階段



図 3 . 8 台のカメラからの映像

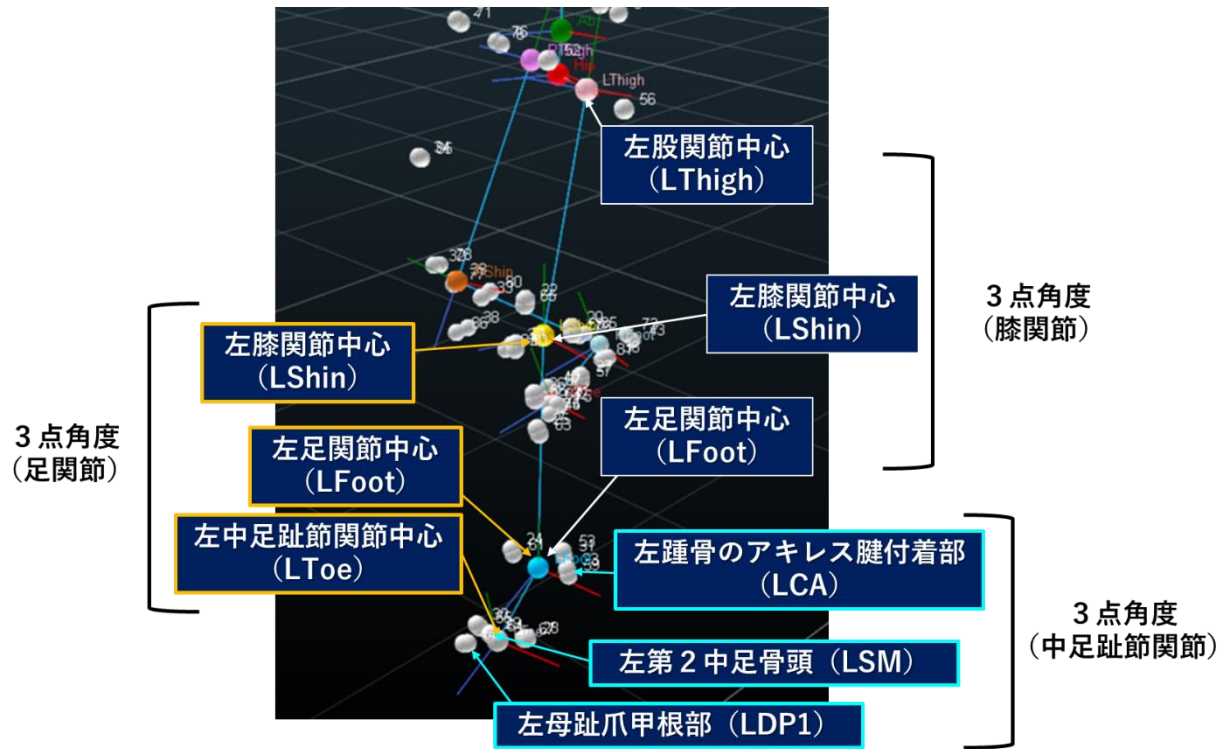


図4．各関節角度の求め方

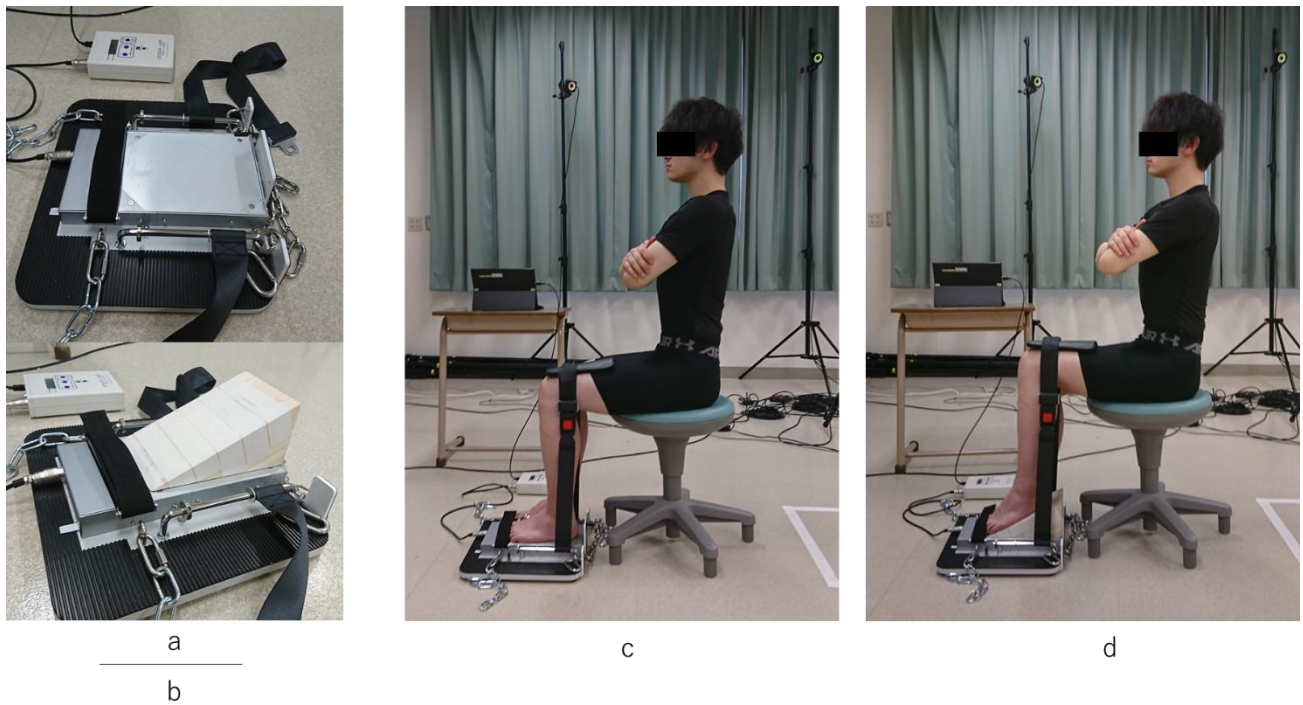


図5．中足趾節関節中間位と背屈位の中足趾節関節屈曲筋力の計測方法

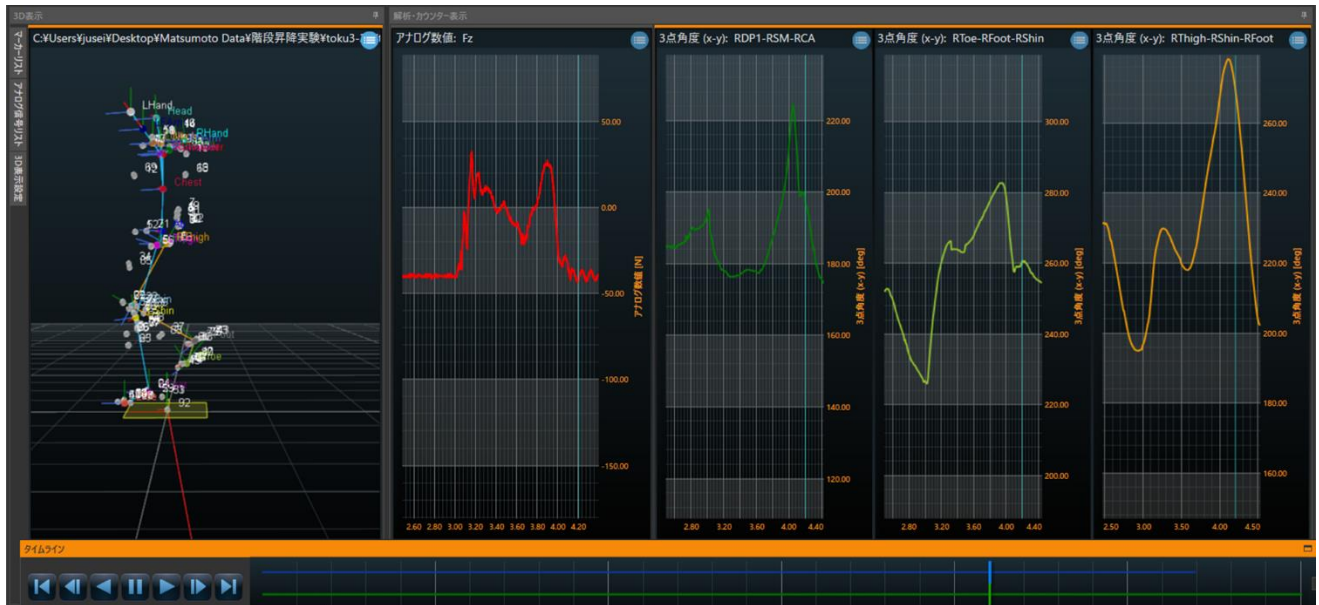


図 6 . 前向き降段動作時の各関節の矢状面の角度変化の一例



図 7 . 後ろ向き降段動作時の各関節の矢状面の角度変化の一例