

# バランス力・連結力評価における暗黙知の 伝承に向けた動作解析および知識構造化

## Motion Analysis and Knowledge Structuring for Transferring Tacit Knowledge in Balance and Connectivity Assessment

佐藤航<sup>1</sup> 山本葵<sup>2</sup> 萩原礼奈<sup>1</sup> 小山直樹<sup>3</sup> 熊谷小百合<sup>3</sup> 藤波努<sup>1</sup> 西村拓一<sup>1</sup>

SATO Wataru<sup>1</sup>, YAMAMOTO Aoi<sup>2</sup>, HAGIWARA Reina<sup>1</sup>, KOYAMA Naoki<sup>3</sup>,

KUMAGAI Sayuri<sup>3</sup>, HUIJINAMI Tsutomu<sup>1</sup>, and NISHIMURA Takuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

<sup>1</sup>Graduate Schools of Advanced Science and Technology, JAIST

<sup>2</sup>相澤健康スポーツ医科学センター

<sup>2</sup>Jisenkai Aizawa Medical Science center for Health and Sports

<sup>3</sup>産業技術総合研究所 人間拡張研究センター

<sup>3</sup>Human Augmentation Research Center, AIST

**要旨:** 専門家の知識を伝承していくために、専門家の行動を可視化し、暗黙的に行っている行為を記述し知識を構造化することが役立つと考えている。そこで、我々は介護予防・健康増進に資する身体基礎動作（著者の山本が提案）を取り上げ、モーションキャプチャにより動作計測・分析し、熟練者の暗黙知の抽出と知識構造化を進めている。山本は、この動作を見ることで、その人のバランス力と連結力を見極め、姿勢や動きを改善することができる。そこで山本自身の理想的な動作を動画とモーションキャプチャで計測し、その動作特性を分析した。その後、山本にヒアリングし、動作を実施する上での目的や注意事項を計測データをもとに抽出し構造化を行った。

## 1. はじめに

我が国の総人口は2019年、1億2617万人となっており、65歳以上の人口は3589万人で総人口に占める割合も28.4%となった[1]。そんな中で厚生労働省は介護予防マニュアルを作成するなど、介護予防活動を実施している。介護予防とは「要介護状態の発生をできる限り防ぐこと、そして要介護状態にあってもその悪化をできる限り防ぐこと」[2]と定義されている。また急速な高齢化に伴って健康増進の重要性も高まっており[3]、そのためには、栄養、運動、メンタル、医学の知識を自分ごととして理解し実践することが重要である[4]。

このような背景を受けて我々は、身体基礎動作の計測を行い、介護予防・健康増進に役立つ暗黙知の抽出を行なっている。本論文ではモーションキャプチャを用いて測定した身体基礎動作を分析し、得ら

れた知見を述べる。

本稿では、次節にて身体基礎動作の暗黙知を抽出することにより障害予防、パフォーマンス向上を支援する技術を提案する。3節では、そのための第一歩として実施した計測の詳細を説明し、4節でその結果を示し、5節で身体基礎動作を実施する上での注意事項を述べ、6節で今後の課題を説明する。

## 2. 身体基礎動作の暗黙知抽出

現在我々は、介護予防と健康増進に役立つ身体基礎動作の暗黙知の抽出を行なっている。現在の医療制度の関心が、疾病予防ではなく予防薬の開発に関心が向けられている[5]こともあり、健康増進は世界中で取り組まれている。

このような背景を受けて、著者の山本は動画配信サービスを通して、健康的な身体づくりのためのストレッチや、障害予防に役立つ軸づくりのための運動などを紹

介している。また、スポーツ選手が行った基礎動作から、体のコンディショニングを明確に把握できる暗黙知を所持している。具体的には、3種類の身体基礎動作(片足立位・スクワット・ランジ)を行った際の体のふらつきや傾き、筋肉の張り具合などの情報を元に、左右の筋肉のバランスやその選手の特性を抽出する。抽出した特徴をもとに姿勢や動作を改善するフィードバックをすることで、多くのアスリートの身体動作状の課題を解決し、スポーツパフォーマンスを向上させてきた。

基礎動作から体のコンディショニングを明確に把握し、適切にフィードバックできるという暗黙知を構造化できれば、スポーツ教育現場を支援できるだけでなく、介護予防や健康増進にも役立つ。そのため、今後、山本による理想的な基礎動作およびよくある問題動作を計測し、それらの動作上の特徴を明らかにする。また、各動作の原因について、山本の暗黙知を形式化し因果関係を明確化し構造化していく。さらに、その原因を取り除くための指導の言葉や処置について、個別事象および個人の特性ごとに構築していく。一方、動画による骨格検出技術も構築する。これらの技術と知識を統合することで、全世界のユーザの基礎動作を動画で送付してもらい、AIで骨格検出、特徴分析、フィードバックを可能とする。より、詳細の指導を希望する方には山本から直接指導を受けられるようにする。

そこで本実験では、まず山本が行った基礎動作を、モーションキャプチャシステムを用いて計測し、そのデータを分析する。その後、山本にヒアリングし、動作を実施する上での目的や注意事項を計測データをもとに抽出し、構造化を行う。

### 3. モーションキャプチャを用いた身体基礎動作の測定

本実験では山本が行った3種類の基礎動作を、モーションキャプチャを使用して測定した。モーションキャプチャとは、身体各部の座標を計測し、身体動作を3次元時系列として客観的に表すテクノロジーである[6]。本実験で使用したのは装着式の慣性計測装置(IMU)であり、光学式モーションキャプチャ(MoCap)と比較して測定結果が素早く得られ、持ち運びが容易という特徴がある。

本実験ではモーションキャプチャシステムの中で23セグメントの剛体リンクモデルを構築するために身体測定を行った。次に、被験者は慣性センサシステムが装着された専用スーツを着用した。その後、キャリブレーションを行い、実際に3種類の基礎動作を行った。なお、本実験においては、定量的な比較のために同じ動作を3回繰り返した。また、理想となる動作例に加えて、背中が反る等の適切ではない身体の使い方をした際の動作例についても測定した。図1に山本が専用スーツを着用して片足立位を行なっている様子を、表1に本実験にお

ける計測項目を、図2~4にそれぞれの計測項目の特徴を表すアバター画像を示す。また、本実験で収録したそれぞれの身体基礎動作の流れは以下の通りである。

<身体基礎動作の流れ>

片足立位：右足を2秒上げる→左足を2秒上げる×2セット

スクワット：スクワット動作×2回

ランジ：右足でランジ→左足でランジ×2セット



図1 著者の山本が片足立位を行なっている様子

表1 本実験の計測項目

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| 片足立位  | 理想、外に崩れる、膝が曲がる、背が反れる       |
| スクワット | 理想、骨盤が後傾する、骨盤が前傾する、踵が浮き上がる |
| ランジ   | 理想、状態が破る、背が反れる、送り足が折れる     |

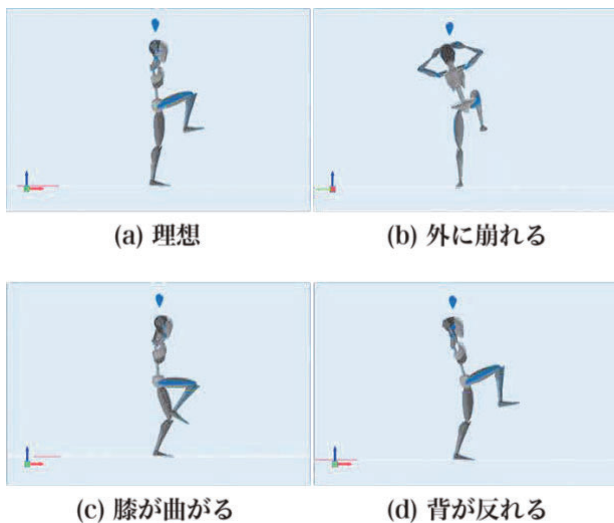


図2 片足立位の計測条件のアバター画像

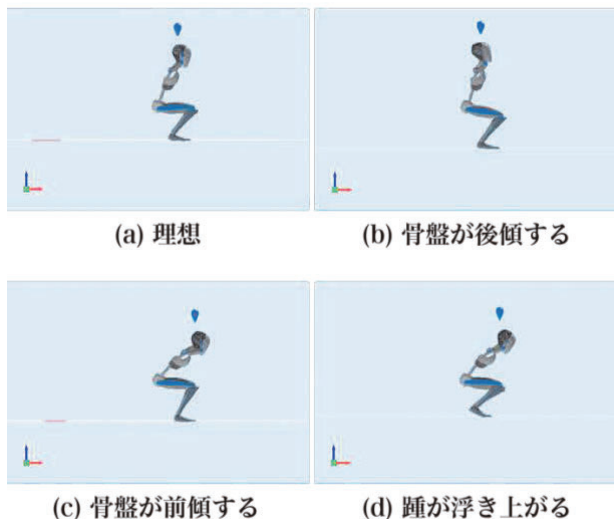


図3 スクワットの計測条件のアバター画像

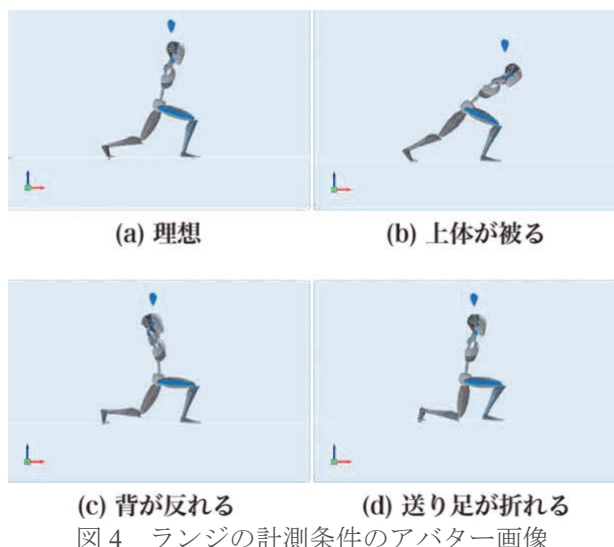


図4 ランジの計測条件のアバター画像

## 4. 測定データの分析

本節では、測定したデータをソフトを用いて理想動作とそうでない動作について比較分析した結果を示す。この分析を行うことで、適切でない動作の定量化を行うことができ、将来人工知能を用いた半自動判定システムを構築した際に一致率を提示することが可能となり、また具体的にどういった点に問題があるのかを指摘することも可能となる。なお、本節の図は末尾に付録として添付する。

### 4.1 理想の片足立位を行った際の骨盤から首までの角度の比較

図5に理想の片足立位を行った際の骨盤から首までの角度の変化を示す。また、表2に理想の片足立位を行った際の骨盤から首までの前後・左右の角度の平均および分散を示す。この考察からいえるのは、理想の片足立位は必ずしも上半身の軸がまっすぐではないということだ。左右の角度の変化に関しては、ほぼ $0^\circ$ でありブレがないのに対して、前後の角度の変化に関しては、後ろに $5^\circ$ ほど傾く傾向が確認できた。この結果は4回の片足立位から確認できたことだが、今後20回程度繰り返して標準偏差を取るなどの統計的な処理を施し、わずかな傾きが誤差によるものなのか、それとも、理想の片足立位を行う上で動作を保障することで起きるものなのかを分析していきたい。

表2 理想の片足立位を行った際の骨盤から首までの前後・左右の角度の平均および分散

| 前後平均           | 前後分散  | 左右平均  | 左右分散  |
|----------------|-------|-------|-------|
| $-4.760^\circ$ | 0.566 | 0.008 | 0.205 |

### 4.2 理想の片足立位における骨盤の回旋に関する考察

図6に理想の片足立位における骨盤・胸郭・ヘッド・右足・左足のZ軸方向の回転角を示す。ここでのZ軸とは、頭から足までを結ぶ軸である。この図から、右足を上げたときにヘッドは右を向き、胸郭は右を向いていることが確認できる。一方で、骨盤は大きく変化していないことが確認できる。

つまり、理想の片足立位において、骨盤は回旋しない方が良いという仮説は、図1からは正しいと言

える。実際に山本は、片足立位を行う際の注意事項について、骨盤が回旋・前後傾・側屈しないかを挙げている。これは後述する構造化知識と、データ分析の結果が一致しており、将来的にAIによる特徴分析を行う際の重要な指標となると考えられる。

## 5. 動作を実施する上での注意事項

図7～9に片足立位・スクワット・ランジ行う上での目的および注意事項をそれぞれ示す。これは山本にヒアリングを行った際の録画データを元に抽出し、その後文章にて確認し、構造化を行ったものだ。これらの知識構造化を行なって「軸感の維持」が全ての動作において重要であることが判明した。3種類の動作を実施する際、外側に崩れる、膝が曲がるなどの典型的なエラーが存在するが、それらのほとんどが「軸感の維持」に直結していると考えられる。

「軸感の維持」の意味について山本は、遠心方向に保っているか、運動につながる軸になっているかどうかと考えている。これは暗黙知であり、言葉で明確に記述するのは難しいため、データをさらに細かく分析していく必要がある。この際、着目するポイントは膨大で、肘の位置、胸郭の位置、骨盤から首までの角度の変化など多数考えられる。ただ、「軸感の維持」の決定打となる項目が存在する可能性が高いため、今後の展望とする。

## 6. おわりに

本稿では介護予防・健康増進に資する3種類の身体基礎動作を取り上げ、モーションキャプチャにより動作計測・分析し、熟練者の暗黙知の抽出と知識構造化を進めたことを述べた。

具体的には、山本自身の理想的な動作を動画とモーションキャプチャで計測し、その動作特性を分析した。その後、山本にヒアリングし、動作を実施する上での目的や注意事項を計測データをもとに抽出し構造化を行った。その結果、理想の動作でも完全にまっすぐではなく、5°程度傾くことなどが判明した。また、8月に行われた身体知研究会でのご指摘を元に、「理想の片足立位は骨盤が回旋しない」という仮説を立てて検証した。そこで動作特性の分析および山本の知識を構造化したところ、この仮説が正しいことが検証された。ただ、本実験で使用した6軸センサーを用いたモーションキャプチャシステムは

光学式に比べて位置の精度が低く、時間による誤差の蓄積も生じやすい。そのため、システムにどの程度の誤差が生じるのかを検証する必要がある。

ここで得られた知見や山本の暗黙知を構造化データ知識として蓄積すれば、クライアントの身体における課題の解決を支援するサービスを構築することが可能となる。クライアントのモーションキャプチャデータを人工知能で分析することで、「膝が曲がって行っている例に10%一致しているため、こういう筋トレをすれば良い」というように、違いを指摘したり、考えさせたり、適切なアドバイスをしたりすることが可能となる。今後は、山本の動作分析、および、暗黙知の構造化をさらに行い、クライアントの課題解決を支援する人工知能を構築していく。

## 謝辞

本研究において、片足立位を行った際の骨盤の回旋に関する考察を行ったが、これは本年8月に行われた身体知研究会で慶應義塾大学大学院の堀内氏からのご指摘をもとに実施したものである。片足立位のクオリティを決定づける重要な指標をご教示くださったことに感謝いたします。

## 参考文献

- [1]内閣府, 高齢化の現状と将来像  
URL<[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1\\_1\\_1.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/html/zenbun/s1_1_1.html)>参照(2022.8.17)
- [2]厚生労働省, 介護予防マニュアル  
URL<<https://www.mhlw.go.jp/content/12300000/000930363.pdf>>参照(2022.8.17)
- [3]西村拓一, 吉田康行, 林侑輝, 鴻巣久枝, 村田壽美子, 身体表現における指導者の声かけの目的と結果の予測, 人工知能学会 身体知研究会(2021)
- [4]体験型健康医学教室, りんご教室  
URL<<http://www.tsuminory.jp/ringo-school.html>>参照(2022.8.17)
- [5]リチャード・P・スローン, 企業内健康増進マニュアル, ダイヤモンド社, p.42(1992)
- [6]佐藤克美, 舞踊の熟達化を支援するためのモーションキャプチャ活用, 日本教育工学会論文誌, Vol.34, p.133(2010)

# 付録

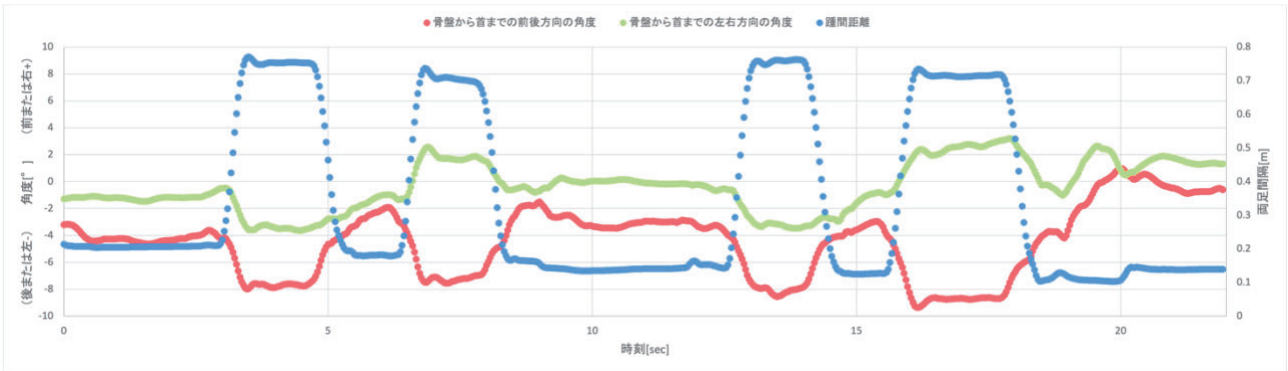


図5 理想の片足立位を行った際の骨盤から首までの角度の変化

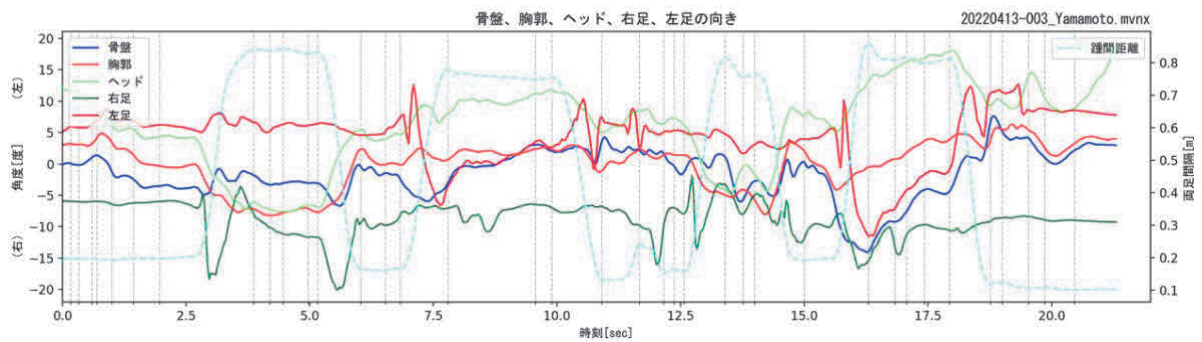


図6 片足立位における骨盤・胸郭・ヘッド・右足・左足のZ軸方向の回転角

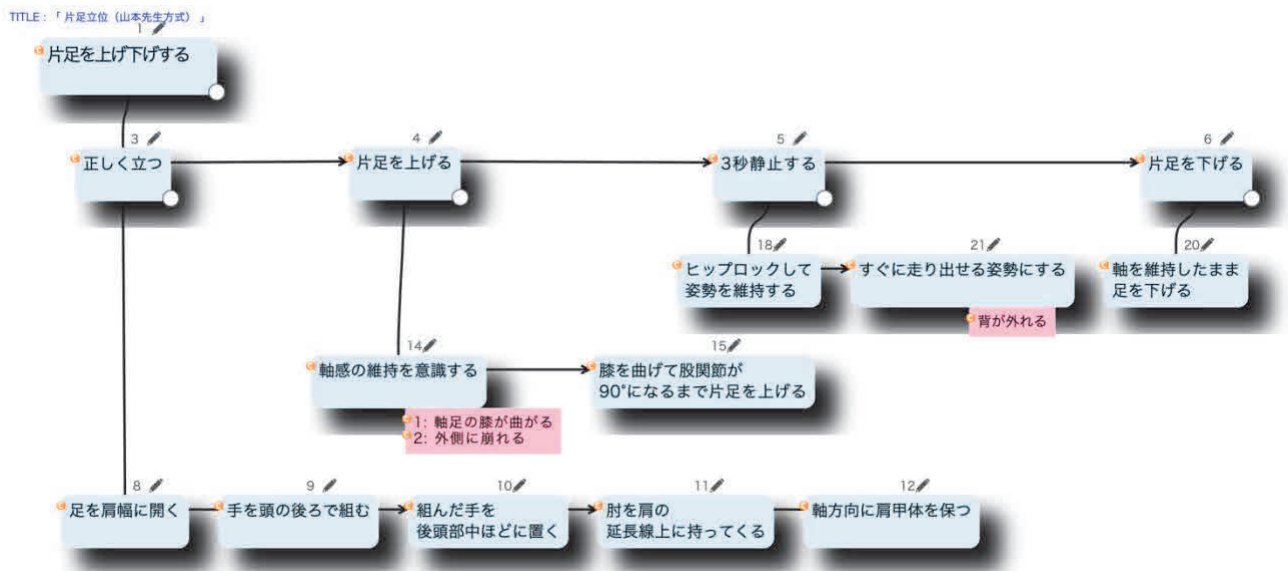


図7 片足立位を行う上での目的および注意事項

TITLE: 「スクワット (山本先生方式)」

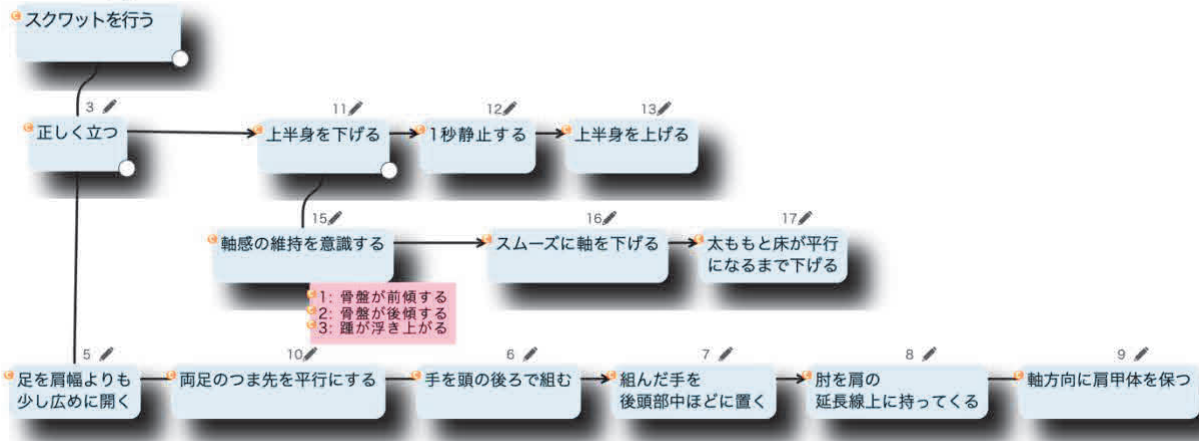


図8 スクワットを行う上での目的および注意事項

TITLE: 「ランジ (山本先生方式)」

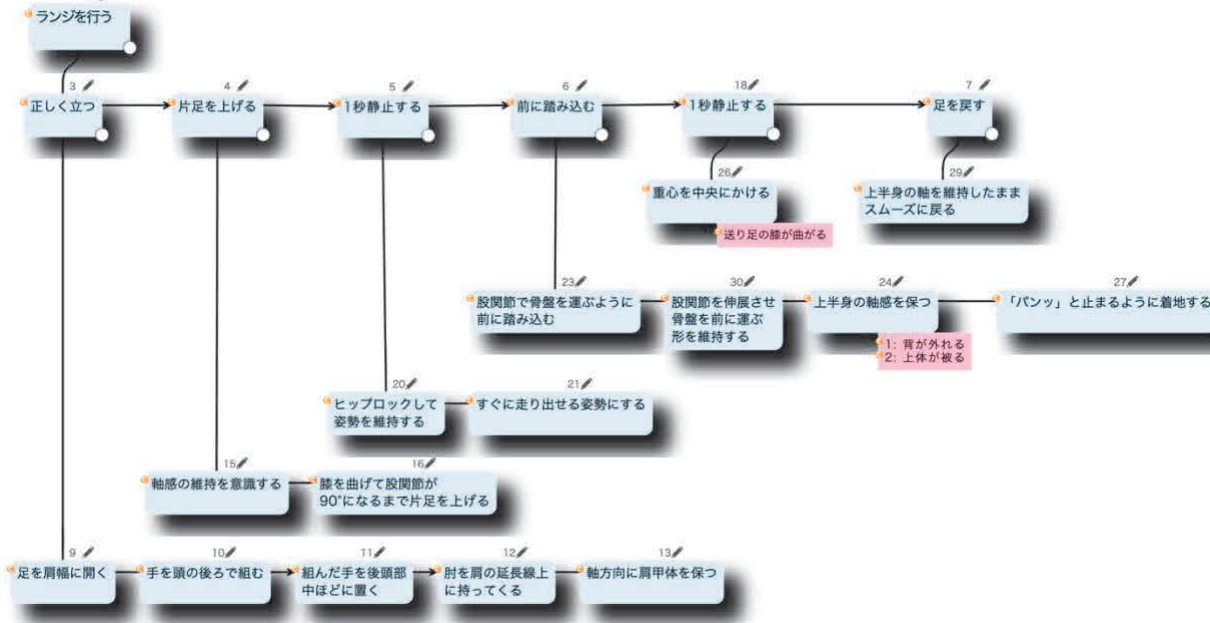


図9 ランジを行う上での目的および注意事項