

Elevation angle を用いた膝疾患患者術前後歩容の解析

東京大学 石川 雄己, Qi An, 中川 純希, 戸島 美智生, 岡 敬之, 安井 哲郎, 山下 淳, 淺間 一

Analysis of perioperative knee disease patient by using elevation angle

The University of Tokyo Yuki Ishikawa, Qi An, Junki Nakagawa, Michio Tojima,
Hiroyuki Oka, Tetsuro Yasui, Atsushi Yamashita and Hajime Asama

It is an important issue to prevent and cure knee disease. Gait pattern is suggested to be related with the knee disease progression. Therefore our objective is to analyze an elevation angle of perioperative knee disease patient gait and to clarify avoiding pain movement. As a result, planar law is observed in knee disease patient gait as a healthy people gait.

1. 序論

変形性関節症を始めとした膝関節に痛みを伴う患者は近年の高齢化に伴って増加傾向にある。変形性膝関節症は経年的に軟骨や半月板の損傷や骨棘を伴い関節痛を発生させる疾患である。本疾患は経年的に進行する疾患であることが知られているが、その悪化プロセスは解明されていない点が多い。膝関節内における応力集中を考慮することにより、歩行の仕方（歩容）が疾患の悪化プロセスに関わっていることが示唆されている¹⁾。そのため、歩容を調べることで悪化プロセス解明につながる重要な手掛かりと考えられている。しかし、膝関節疾患を持つ患者の歩容の特徴を抽出した研究はまだ数が少なく、どのような歩容が悪化に関わるかは未だ明らかになっていない。

膝関節疾患患者の歩容の形成には疼痛回避行動の影響が表れることが分かっている。関節リウマチは自己の免疫が関節を侵し、関節痛などを発生させる疾患である。膝関節において本疾患が進行すると二次性に膝関節の変形が生じる。そこで本研究では、疼痛回避歩容を調べるため関節リウマチ患者で、人工膝関節置換術（TKA）前後の歩容変化を解析できたため報告する。

ヒトの歩行を解析する手法として Elevation angle を用いた関節角度の算出手法があり、健常者では平面法則が成り立つことが明らかにされている²⁾。本手法は、ヒトの二足歩行を行う仕組みを考察し、どのように歩行形態を生成するか根幹に関わる法則を見つけ出す際に利用されている。疼痛回避歩容は歩行形態の問題であり、それを調べるためには平面法則を用いることが有効ではないかと考えられる。そこで本研究では関節リウマチ患者の TKA 前後歩行計測結果の Elevation angle を解析し、疼痛回避歩容の特徴を調べることを目的とする。

2. 歩行の平面法則

ヒトの歩行に共通する特徴の一つに平面法則がある。これはヒトが進化過程を含めて歩行を獲得する上で、どのような条件を満たすように適用するかを調べた際に発見されたものである。図 1 に示した大腿・下腿・足部の体節と鉛直方向との角度を Elevation angle と呼ぶ。このように定義された角度の歩行時の時系列データを三次元にプロットするとそれらが一平面上に現れることを平面法則と呼んでいる。平面法則の成立は下肢の 3 体節が独立して動いておらず、2 自由度の制御で動いていることを意味している。疼痛回避歩容は正常な歩行から外れた動作を行うが、健常なヒトの歩行の平面と比べることでそれがどの程度外れているかを知ることができる。

$$E = \sum (\alpha x + \beta y + \gamma - z)^2 \quad (1)$$

本研究では式 (1) のように平面上の数式を仮定し、足部の角度方向の二乗誤差が最小になるような近似平面を算出する。 α は大腿と足部の関係性を示し、近似平面の傾きを表す係数である。 β は下腿と足部の関係性を示し、近似平面の傾きを表す係数である。 γ は足部と鉛直方向との関係性を示し、近似平面の足部の角度方向の切片を表す係数である。各々の係数は式 (1) で計算される E を最小化するように算出する。 x , y と z は大腿、下腿と足部の Elevation angle であり、実験にて計測された値を使用する。 E は近似平面と計測された Elevation angle の足部角度方向の差の標準偏差であり、 E の値が小さいほど、近似平面上に Elevation angle が現れていることを示す。

3. 歩行計測

右膝内反変形を呈した関節リウマチ患者 1 名の TKA 前および TKA 後 2 か月の歩行を計測した (TKA 前; KRA, TKA 後; KRAp)。計測前に実験について説明をし、同意を得た。本実験は東京大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を受け実施された。比較対象として健常者 4 名の歩行も計測した (CON)。計測には光学モーションキャプチャシステム (VICON) を用いた。カメラは 7 台使用し、サンプリングレートは 100Hz とした。TKA 前後の患者と健常者で各々歩行一周期を 10 試行計測した。マーカセットは Plug in Gait マーカを使用し、RASI・LASI・RKNE・LKNE・RANK・LANK・RTOE・LTOE の 8 か所を使用した。鉛直方向ベクトルは絶対座標系の座標軸を使用した。Elevation angle は、鉛直方向ベクトルとの内積から算出した。

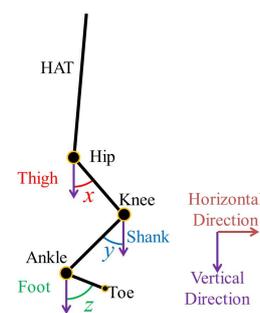


Fig. 1 Elevation angle.

4. 結果と考察

表 1 は KRA・KRAp の右脚 (Right), 左脚 (Left) と CON の Elevation angle に対する近似平面の係数と E の値を示している. CON のデータは両脚を平均し, 4 名の算出結果も平均した. \pm 以下は個体間の標準偏差を示している. KRA と KRAp の E の値は 6.57 から 7.37 までの値を示し, CON の値が 6.37 であった. KRA と KRAp の E は CON の E と比べても, 大きな差異はみられず, KRA と KRAp においても CON と同様の平面法則が成り立つ. 正常な歩行と同様に平面法則が成り立つことは, 環境条件へ同じ適応プロセスを経て歩容を生成していることを示している. また, 同様に平面法則が成り立つ場合においても平面の傾きが異なっている場合, どの関節角度との相関関係を保持し, どの関係を変化させているかを明らかにできる. 平面法則の成立は鉛直方向への適応を示し, 重力に対して一定の法則性が認められることを示している. 今まで疼痛回避動作は健常者との差異が認められる点のみが注目されており, 膝関節に疼痛を持っている場合も同様の法則が存在することは示されてこなかった. この法則を適用することにより, 疼痛回避を行う場合にどのような歩容の変化が起こるかを予測し, 膝関節疾患の悪化プロセスを再現できる可能性が示唆された.

α は個体ごとに差があり, 歩容の個体差が表れると考えられる. 特に KRA の左脚では, 他に比べて小さい値をとっており, 右脚の疼痛を軽減するような代償動作の結果が表れていると考えられる. KRAp の左脚の α は, KRA の左脚の α と比べて大きな値をとっており, CON の結果と近づいている. TKA によって代償動作が軽減されたことを示していると考えられる. β は個体ごとのばらつきが少なく, 共通して必要な関係性である可能性が高い. 下腿と足部の関係は疼痛を持っている場合でも動作を変化させない傾向があると言える. γ は KRAp で両脚とも高い値をとった. 足関節と鉛直方向の傾きが大きいことを示しており, TKA の影響が表れている可能性がある.

図 2 は KRA, KRAp と CON の Elevation angle を三次元プロットしたものである. それぞれ右脚の場合と左脚の場合の結果を示している. 個体ごとに鉛直方向に対する動きの大きさが輪の大きさとなって表れている. KRA の右脚は他の比べてプロットと比較して, 細長い形状をしており, 関節の可動域が小さくなっていることを示している.

5. 結論と今後の展望

膝関節疾患患者の歩行を Elevation angle を用いて解析し, 疼痛回避歩容の特徴を明らかにした. 膝関節疾患を持った患者の歩容を解析した結果, 健常者と同様に平面法則が成り立つことが明らかとなった. 今後は被験者数を増やし, 同様に法則が成り立つことを検証したい.

謝 辞

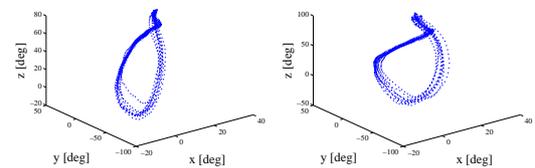
本研究の一部は, 科研費基盤研究 (B)24300198 およびカシオ科学振興財団の援助を受けた.

参 考 文 献

- 1) Y. Ishikawa, Q. An, Y. Tamura, A. Yamashita, H. Oka and H. Asama: "Effect of Mediolateral Knee Displacement on Ligaments and Muscles around Knee Joint: Quantitative Analysis with Three-dimensional Musculoskeletal Ligament Knee Model", Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-12), pp. 447-459, 2012.
- 2) F. Lacquaniti, R. Grasso and M. Zago: "Motor Patterns in Walking", News in Physiological Science, Vol. 14, pp. 168-174, 1999.

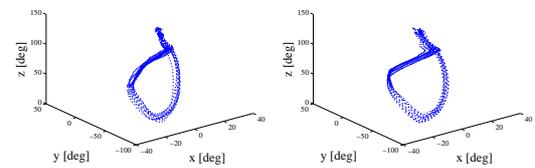
Table 1 Coefficient of approximate plane and E .

| | KRA | | KRAp | | CON |
|----------|-------|-------|--------|-------|------------------|
| | Right | Left | Right | Left | Both |
| α | -0.38 | -0.57 | -0.44 | -0.35 | -0.36 \pm 0.13 |
| β | 1.34 | 1.33 | 1.33 | 1.25 | 1.20 \pm 0.08 |
| γ | 89.34 | 82.82 | 100.57 | 95.58 | 88.44 \pm 4.56 |
| E | 6.80 | 7.04 | 7.37 | 6.57 | 6.37 \pm 0.62 |



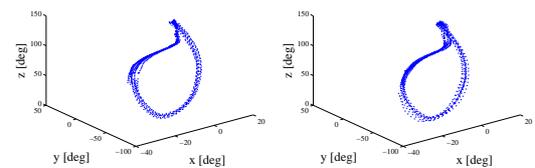
(a) KRA right leg

(b) KRA left leg



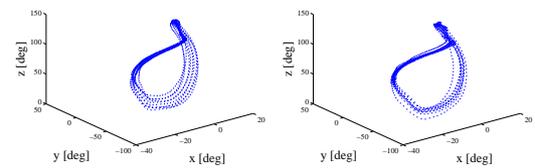
(c) KRAp right leg

(d) KRAp left leg



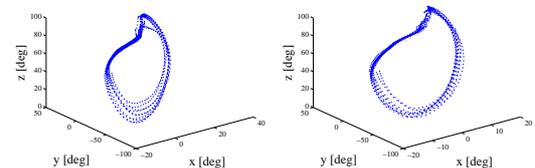
(e) 1st CON right leg

(f) 1st CON left leg



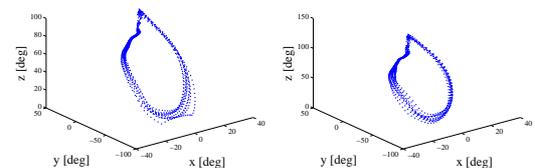
(g) 2nd CON right leg

(h) 2nd CON left leg



(i) 3rd CON right leg

(j) 3rd CON left leg



(k) 4th CON right leg

(l) 4th CON left leg

Fig. 2 Three-dimensional plot of elevation angle for each participants.