

J1620202

Elevation angle の近似平面を用いた変形性膝関節症患者の歩容解析 (平面法則の有無と近似平面の角度差を用いた検討)

石川 雄己^{*1}, 安 琪^{*2}, 中川 純希^{*1}, 戸島 美智生^{*3}, 安井 哲郎^{*4},
岡 敬之^{*5}, 芳賀 信彦^{*6}, 山下 淳^{*7}, 浅間 一^{*7}

Gait Analysis of Knee Osteoarthritis Patients by Using Approximate Plane of Elevation Angle (Confirmation of a Planar Law and Analysis of Angular Difference of the Approximate Plane)

Yuki ISHIKAWA^{*1}, Qi AN, Junki NAKAGAWA, Michio TOJIMA, Tetsuro YASUI,
Hiroyuki OKA, Nobuhiko HAGA, Atsushi YAMASHITA and Hajime ASAMA

^{*1} Department of Precision Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan

It is an important issue to prevent and cure knee osteoarthritis. Gait pattern is suggested to be related with the knee osteoarthritis progression. Therefore our objective is to analyze an elevation angle of knee osteoarthritis patient gait and to clarify the feature of movement by using approximate plane of elevation angle. As a result, the same planar law could be applied to a knee osteoarthritis patients gait as a healthy people gait. Some patients have the different approximate plane slope from that of healthy people.

Key Words : Knee Osteoarthritis, Elevation Angle, Walking and Gait, Principal Component Analysis

1. 序 論

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り、歩行障害などを引き起こし、患者の Quality of Life 低下を招いている。本邦での有病者数は 2,530 万人と推定されるなど、その疾患対策への社会的ニーズが高まっている⁽¹⁾。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くある。過去の研究で、歩行時の下肢アライメント（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⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。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。また、歩容の特徴を用いて疾患であるか診断できる手法が検討されている。しかし、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。

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⁽⁵⁾。本手法では、ヒトの二足歩行を行う仕組みを考察しており、どのように歩行を生成するかという根幹に関わる法則を見つけ出す際に利用されている。特に動作の自由度を減らし、制御を簡便化する法則を見つけることができる。本研究で明らかにしたい点も歩行形態の生成に関わる問題であるため、本手法が有効ではないかと考えられる。そこで本研究では変形性膝関節症患者の歩行計測結果の Elevation angle を解析し、歩容の特徴を調べることを目的とする。得られた Elevation angle から近似平面を算出し、疾患患

^{*1} 学生員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻（〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）

^{*2} 非会員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

^{*3} 非会員，東京大学大学院 医学系研究科 リハビリテーション医学（現早稲田大学 スポーツ科学学術院）

^{*4} 非会員，東京大学医学部附属病院 整形外科・脊椎外科

^{*5} 非会員，東京大学医学部附属病院 22 世紀医療センター

^{*6} 非会員，東京大学大学院 工学系研究科 リハビリテーション医学

^{*7} 正員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

E-mail: ishikawa@robot.t.u-tokyo.ac.jp

者でも近似平面で説明できる歩容であるかを確認し、近似平面の法線ベクトルを用いて、疾患患者と健常者を判別できるか検討する。

2. Elevation angle を用いた歩行解析

2・1 Elevation angle の定義

ヒトの歩行に共通している特徴の1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応するかを調べた際に発見されたものである⁶⁾。図1左に示した大腿 (Thigh)・下腿 (Shank)・足部 (Foot) の体節と鉛直方向との角度を Elevation angle (θ_{thigh} , θ_{shank} , θ_{foot}) と呼ぶ。このように定義された角度の時系列データを3次元にプロットすると、それらが同一平面上に現れることを平面法則と呼んでいる。図1右は右脚の Elevation angle のプロット例を示している。近似平面 (黒のメッシュ)、近似平面の基底ベクトル (緑と赤の線) と法線ベクトル (水色の線) を同時に表示している。図中の hs と to は右脚踵接地のと右脚爪先離地のタイミングを示している。平面法則が成り立つことは下肢の3つの体節は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。患者の歩容は正常な歩行から外れた動作を行うが、平面法則が成り立つかどうかを調べることで、それがどの程度外れているかを知ることができる。正常な歩行と同様に平面法則が成り立つ場合には、同様の適応プロセスを経て歩容を生成していることが明らかになる。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と考えられる。

2・2 主成分分析を用いた近似平面の算出

本研究では主成分分析を用いて、得られた計測データから近似平面を生成する⁶⁾。主成分分析は直交座標系を回転させ、分散を最も説明できる成分から順に主成分を抽出する手法であり、平面法則が成り立つ場合には、第1主成分と第2主成分で3変量の Elevation angle を説明できることになる。したがって、第1主成分と第2主成分の負荷量は近似平面の基底ベクトルとなり、第3主成分の負荷量が近似平面の法線ベクトルとなる。本研究では、歩容の特徴をこの平面でとらえることとし、健常者と比較するため、近似平面の角度差を算出する。さらに近似平面がどれだけ計測データを説明できているかを調べるために、第1主成分と第2主成分の累積寄与率を算出する。寄与率は各主成分の分散を全変量の和で割ったものである。累積寄与率は第1主成分と第2主成分の寄与率の合計で算出する。

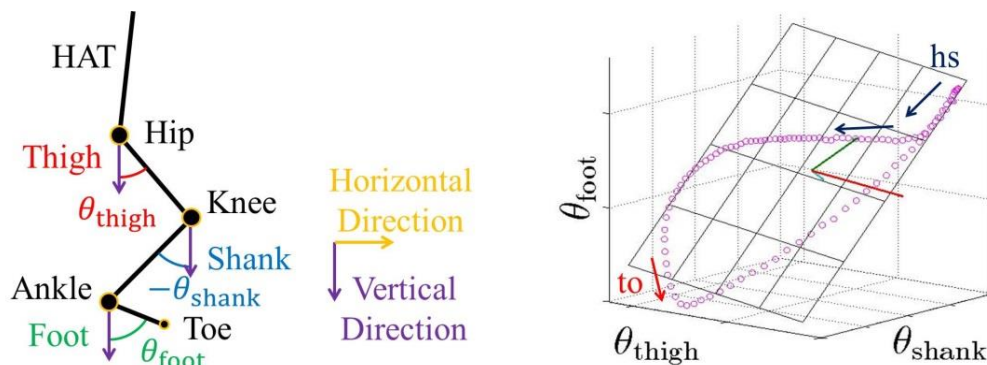


Figure 1 Elevation angle and 3 dimensional plot

3. 歩行計測

変形性膝関節症患者3名 (OA1, 2, 3) と比較対象として健常者3名 (CON1, 2, 3) の歩行を計測した。計測開始前に実験について十分に説明をし、同意を得た。ま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。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9台使用し、サンプリングレートは100 Hzとした。各々歩行1周期を10試行計測した。マーカセットはPlug in Gaitを使用し、

RASI・LASI・RKNE・LKNE・RANK・LANK・RTOE・LTOE の 8 か所のマーカを使用した。マーカの情報は、3 次元スプライン補間を用いて一歩行周期を 100%に正規化した。鉛直方向と水平方向は絶対座標系の座標軸を使用した。鉛直方向の単位ベクトルを鉛直方向ベクトルとした。各被験者の Elevation angle は各体節と鉛直方向ベクトルとの内積から算出した。

4. 結果と考察

図 2 は例として CON1 と OA3 の Elevation angle を 3 次元プロットし、近似平面、近似平面の基底ベクトルと法線ベクトルを表示したものである。健常者はそれぞれ右脚 (Right) の場合と左脚 (Left) の場合の結果を、患者は患側 (Disease) の場合と反対側 (Contralateral) の場合の結果をそれぞれ示している。CON1 は左右ともにほぼ同様の近似平面が見られるのに対し、OA3 の左右の近似平面は傾きが異なっていることが確認できる。

得られた Elevation angle がどの程度近似平面で説明できるか調べるために累積寄与率を調べた。表 1 は CON1, 2, 3 と OA1, 2, 3 の両脚 (R は右脚, L は左脚, D は患側の脚, C は反対側の脚) の Elevation angle に対する近似平面の累積寄与率を示している。表 2 中の Mean と SD はそれぞれ健常者群と患者群の累積寄与率の平均と標準偏差である。健常者群と患者群で t 検定を行った際の p 値は 0.273 となっており、健常者群と患者群で有意差はみられない。先行研究⁶⁾においては全被験者において 0.99 以上の累積寄与率が報告されているが、本研究では健常者においても 0.99 を必ずしも超えないため、個体差としてばらつきがあるものと思われる。累積寄与率に関しては健常者群、患者群の患側と反対側で大きな差はなく、全ての被験者において 0.98 を超えているため、疾患を持っている場合でも平面法則が成り立つことを示唆している。

健常者群と患者群の Elevation angle に対する近似平面の角度差を調べ、違いが表れるかを調べた。表 2 は OA1, 2, 3 の患側の近似平面と CON1, 2, 3 の両脚の近似平面の角度差を示している。表 2 中の Mean と SD はそれぞれ OA1, 2, 3 と健常者群との角度差の平均と標準偏差である。健常者間で相互に角度差を算出した結果、平均が 3.347° 、標準偏差が 1.485° 、最大角度差が 6.054° であった。この結果と比較して、OA1 と OA3 は角度差が大きく、健常者と異なっていることを確認できる。しかし、OA2 においては、健常者間の平均から標準偏差以内の範囲に OA2 と健常者の角度差の平均があり、大きな差があるとは言えない。本結果から、近似平面の角度差のみを用いて健常者と患者を識別することは難しいと思われる。

5. 結 論

変形性膝関節症患者の歩行を Elevation angle を用いて解析し、歩容の特徴を明らかにした。変形性膝関節症患者の歩容を解析した結果、健常者と同程度の平面法則が確認された。また、近似平面の角度差を健常者と患者で比較した結果、健常者と比べて差がある被験者とそうでない被験者が確認された。今後は被験者数を増やし、近似平面で歩容を説明できるか確認し、他の指標と組み合わせることで疾患の判別に用いられる可能性を検討したい。

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。

Table 1 Cumulative contribution ratio

CON1R	CON1L	CON2R	CON2L	CON3R	CON3L	Mean	SD
0.989	0.989	0.989	0.992	0.987	0.986	0.989	0.002

OA1D	OA1C	OA2D	OA2C	OA3D	OA3C	Mean	SD
0.992	0.989	0.986	0.981	0.986	0.989	0.987	0.004

Table 2 Angular difference between OA and CON [degree].

	CON1R	CON1L	CON2R	CON2L	CON3R	CON3L	Mean	SD
OA1	8.260	9.922	6.522	5.081	4.948	6.325	6.843	1.926
OA2	4.000	3.874	3.979	7.260	5.305	4.002	4.737	1.349
OA3	23.238	24.388	22.985	19.628	22.680	23.081	22.667	1.600

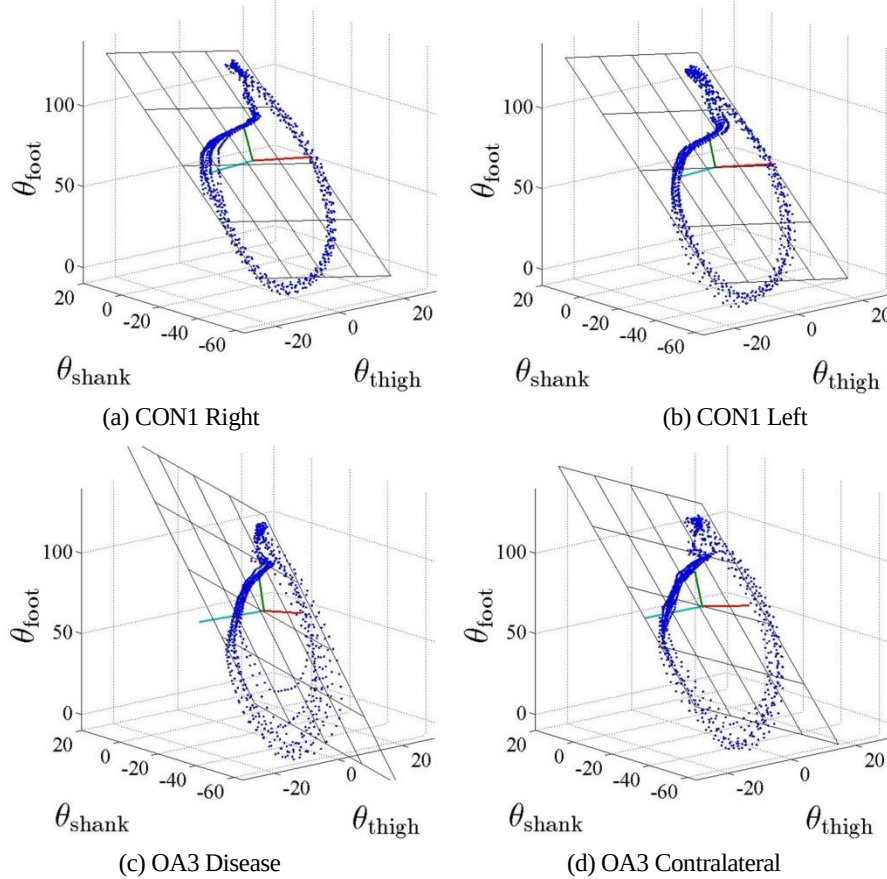


Figure 2 Plot of elevation angle with approximate plane, basis vector and normal vector

文 献

- (1) Yoshimura N., Muraki S., Oka H., Mabuchi A., En-Yo Y., Yoshida M., Saika A., Yoshida H., Suzuki T., Yamamoto S., Ishibashi H., Kawaguchi H., Nakamura K., and Akune T., "Prevalence of Knee Osteoarthritis, Lumbar Spondylosis and Osteoporosis in Japanese Men and Women: The Research on Osteoarthritis/Osteoporosis against Disability (ROAD)", *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, Vol. 27, No. 5 (2009), pp. 620-628.
- (2) Ishikawa Y., An Q., Tamura Y., Yamashita A., Oka H. and Asama H., "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)*, (2012), pp. 447-459.
- (3) Henriksen M., Graven-Nielsen T., Aaboe J., Andriacchi T.P. and Bliddal H., "Gait Changes in Patients with Knee Osteoarthritis Are Replicated by Experimental Knee Pain", *Arthritis Care & Research*, Vol. 62, No. 4 (2010), pp. 501-519.
- (4) Maly M.R., Costigan P.A. and Olney S.J., "Mechanical Factors Relate to Pain in Knee Osteoarthritis", *Clinical Biomechanics*, Vol. 23, No. 6 (2008), pp. 796-805.
- (5) Lacquaniti F., Grasso R. and Zago M., "Motor Patterns in Walking", *News in Physiological Science*, Vol. 14, (1999), pp. 168-174.
- (6) Borghese N. A., Bianchi L. and Lacquaniti F., "Kinematic Determinants of Human Locomotion", *Journal of Physiology*, Vol. 494, No. 3 (1996), pp. 863-879.