

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K16624

研究課題名(和文) Kinematical alignment TKAのバイオメカニクスの検討

研究課題名(英文) Biomechanical assessment for kinematical alignment TKA

研究代表者

高山 孝治 (Takayama, Koji)

神戸大学・医学研究科・医学研究員

研究者番号：80546490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：健常者、Kinematical alignment TKA (K-TKA) 患者、Mechanical alignment TKA (M-TKA) 患者を対象として足底圧計測装置を用いて歩行時の足底圧分布と後足部における足底圧内外側比、片脚起立時の足底圧中心の動揺中心(前後中心; COPAP, 内外中心; COPML)、動揺距離(TD)を評価した。後足部内外側比はM-TKA群で有意に高値であり、またCOPMLはM-TKA群が有意に内側に位置しており、TDにおいてはM-TKA群と健常者群に有意差を認めた。M-TKAでは足底圧が内側化し、バランス能力低下に影響を与える可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Kinematical alignment TKA (K-TKA) がMechanical alignment TKA (M-TKA) と比較して良好な成績を得られる要因の一つに、M-TKAでは足底圧が内側化し、バランス能力低下に影響を与える可能性があると考えられた。このようにM-TKAと比較した際のK-TKAの良好な成績のメカニズムが解明されていくことが新規のインプラントデザインや手術法の開発の一助となり、それによりTKAの術後成績向上が得られ、健康寿命の延伸や医療費抑制が可能となるなど社会的意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The plantar pressure distribution was investigated using a pressure plate during walking and one-leg standing among patients after Kinematical alignment TKA (K-TKA), patients after Mechanical alignment TKA (M-TKA), and healthy controls. Conventional and true mechanical axes (the line from the femoral head to the lowest point of the calcaneus) were evaluated on unipedal standing long-leg radiographs. The M-TKA group showed a medial rearfoot loading pattern during walking. On the contrary, the K-TKA and Healthy groups showed an almost equal pressure distribution between the medial and lateral rearfoot. Moreover, although both mechanical axes in the K-TKA group passed through the knee more medially, a more neutral alignment was achieved in the true mechanical axis compared to that in the M-TKA group. K-TKA results in more neutral weight-bearing through the true mechanical axis and allows patients to walk while maintaining medial and lateral rearfoot pressure more evenly than M-TKA.

研究分野：人工関節

キーワード：人工膝関節全置換術 キネマティックアライメント バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

本邦では高齢者人口の増加により変形性膝関節症の患者数は 2400 万人に及ぶ可能性が報告されている。変形性膝関節症患者数の増加に伴い、人工膝関節全置換術 (TKA) の件数も年々増加傾向にあり、この 10 年間で約 2 倍に増加し、年間約 7 万 5000 例となっている。現在、本邦での人口 1 万人あたりの TKA 手術件数は 5 人であり、米国の 23 人と比較すると、今後もさらに手術件数が増加していく可能性が高いと予測される。一方で、TKA 術後成績に関して、医師立脚型評価における良好な成績が報告されているが、患者立脚型評価では、TKA 術後の膝に満足していない割合は 20%にまで上るとの報告もあり、人工股関節全置換術 (THA) と比べ患者満足度が低いことが指摘されている。TKA 術後の良好な臨床成績には、術中の正確な骨切りによる、伸展屈曲や内外反での良好な軟部組織バランス、至適な下肢 alignment の獲得の重要性が指摘されているが、患者満足度を上昇させる根本的解決法は未だ解明されていない。従来、下肢 alignment は股関節-膝関節-足関節を結ぶ下肢機能軸が主な評価指標として用いられてきた。しかし、近年は膝 OA 患者においては、後足部の alignment も術後成績の影響因子とされ、後足部を含む股関節-膝関節-踵を結ぶ下肢機能軸評価が重要視されている。TKA では、大腿骨・脛骨の機能軸に垂直に骨切りすることを目標とする Mechanical alignment 法が一般的であるが、近年、生理的な alignment 獲得を目指す Kinematical alignment 法が Howell らにより報告された。これは軟骨摩耗等関節症性変形が起こる前の骨形態を目指した骨切りを行う方法である。我々は、日本人の健常人における大腿骨遠位関節面は大腿骨機能軸に対し軽度外反し、脛骨近位関節面は脛骨機能軸に対し軽度内反していることを報告しており、この Kinematical alignment 法による TKA に早くから着目し、Kinematical alignment TKA の良好な短期臨床成績を報告している。しかし、研究開始時点において Kinematical alignment 法が Mechanical alignment 法と比較して良好な成績となる要因は不明であり、そのメカニズムを解明する必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、Kinematical alignment TKA と Mechanical alignment TKA を比較し、バイオメカニクスの検討を行うことであった。Kinematical alignment TKA は近年注目されてきているが、正確な骨切りが必要なこと、膝蓋大腿関節の問題などにより、Kinematical alignment TKA を実施している施設は国内のみならず海外でも未だ少ないのが現状である。Kinematical alignment TKA の術後成績報告は近年散見されるが、その多くは短期臨床成績の報告であり、そのメカニズムの詳細は検討されていない。本研究により Kinematical alignment TKA の良好な成績のメカニズムを解明されることにより、TKA の術後成績向上や新たなインプラント開発に貢献することが期待された。

3. 研究の方法

これまで独自に開発した ORF tensor®を用いて、術中の軟部組織バランスの評価を行い、人工膝関節の機種間での比較、術後不安定性との相関、術後可動域との相関などを報告してきた。本研究においても、Kinematical alignment TKA と Mechanical alignment TKA の軟部組織バランスを比較検討することで、Kinematical alignment TKA の軟部組織バランスを解明することを目指した。さらに共同研究者である福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 長宗高樹准教授と共同開発している足底圧センサーを用いて、Kinematical alignment と Mechanical alignment で比較し、荷重時、歩行時での足底における荷重分布を検討する予定とした。さらに、画像処理ソフトにて 3 次元的術前プランニングを行い、膝蓋大腿関節とくに大腿骨前方の形状を Kinematical alignment TKA と Mechanical alignment TKA で比較検討予定とした。現在のインプラントは Mechanical alignment TKA を想定して作成されており、Kinematical alignment TKA では、外側支帯解離を要する症例が存在している。3 次元的に大腿骨前方の骨形態とインプラント形態を比較することで、Kinematical alignment TKA に適したインプラント形状を検討する予定とした。また、術後にレントゲンでは評価困難である大腿骨・脛骨の回旋アライメントを 3 次元的に評価する予定とし、また、Dual-energy x-ray absorptiometry (DEXA) を用いて主に脛骨内側と外側の骨密度の評価を行い、Kinematical alignment TKA と Mechanical alignment TKA で比較検討、膝関節における荷重分布を考察する予定とした。

4. 研究成果

本研究期間において、健常者 (n=25)、Kinematical alignment TKA 患者 (n=25)、Mechanical alignment TKA 患者 (n=25) を対象として、下肢 alignment と足底圧を評価した。片脚立位の

術後下肢 alignment 評価では、後足部を含む股関節-膝関節-踵を結んだ機能軸において、Mechanical alignment TKA 群 (mean value in Hip-Knee-Calcaneus angle, $-2.1 \pm 1.9^\circ$) では軽度外反であったが、Kinematical alignment TKA 群 (同、 $0.3 \pm 2.3^\circ$) では、より neutral な alignment を獲得していた。

足底圧は、高密度センサープレート (図 1 A) を用いて、歩行サイクル (踵初期接地 ~ つま先離地) における各 10 領域におけるピーク圧 (図 1 B)、初期接地時の後足部における足底圧内外側比 (内側/外側)、つま先離地時の前足部の内外比、片脚起立時の足底圧中心 (center of pressure; COP) の動揺中心 (前後中心; COPAP, 内外中心; COPML)、動揺距離 (traveled distance; TD) を評価した。踵中央から第 2 中足骨頭と第 3 中足骨頭の中点を結ぶ線 (Y 軸) とその垂線 (X 軸) を用いた座標系をもとに、COP の動揺中心の Y 座標を COPAL、X 座標を COPMP と定義した (図 1 C)。

各 10 領域の足底ピーク圧 (図 2) と前足部内外側は 3 群間で有意差を認めなかったが、後足部内外側比は、Mechanical alignment TKA 群 (mean value, 1.14 ± 0.20) で、Kinematical alignment TKA 群 (同、 1.04 ± 0.12)、健康者群 (同、 1.03 ± 0.17) と比較し有意に高値であることが発見された。片脚起立時の評価では、COPAP は両 TKA 群に有意差を認めなかったが (図 3 A)、COPML は Mechanical alignment TKA 群 (-2.7 ± 3.3 mm) が Kinematical alignment TKA 群 (1.0 ± 4.3 mm)、健康者群 (0.7 ± 2.9 mm) よりも有意に内側に位置していた (図 2 B)。TD は Mechanical alignment TKA 群 (60.7 ± 26.9 mm) は健康者群 (33.3 ± 19.6 mm) より有意に大きかったが (図 2 C)、健康者群と Kinematical alignment TKA 群 (43.3 ± 28.3 mm) では有意差は認めなかった。従来の Mechanical alignment TKA では歩行時の後足部の足底圧が健康者群に比して内側化しバランス能力が低下していたが、Kinematical alignment TKA 群では後足部の内外側圧は均等であり、健康者と同様のパターンを呈していた。下肢 alignment の結果も踏まえると、後足部を含む下肢 alignment は、歩行サイクルにおける後足部の初期接地時の足底圧分布や片脚起立時の重心動揺に影響を与えたと考えられた。本検討により、Kinematical alignment TKA は Mechanical alignment TKA と比較して、踵から股関節にかけてより neutral な荷重軸を獲得し、後足部の内側と外側圧が均等に分布する健康者に近い足底圧パターンを呈することが示唆された。同内容を国際雑誌に投稿し 2021 年に受理掲載された。

図 1 . 足底圧計測

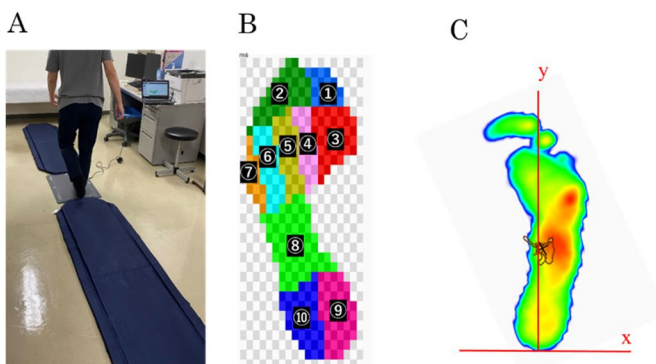


図 2. 歩行時足底ピーク圧の比較

Healthy:健康者群、KA : Kinematical alignment TKA 群、MA : Mechanical alignment TKA 群

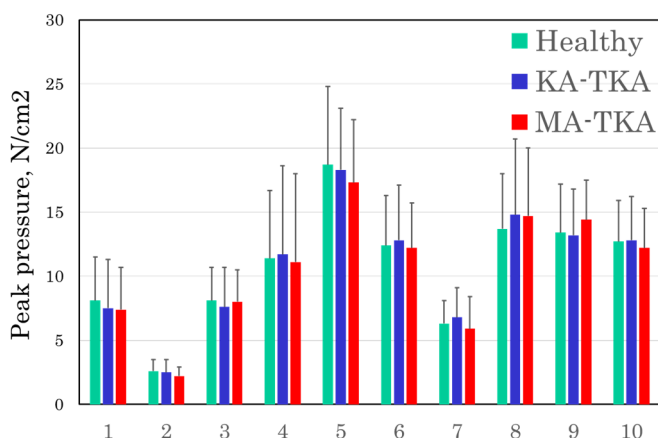
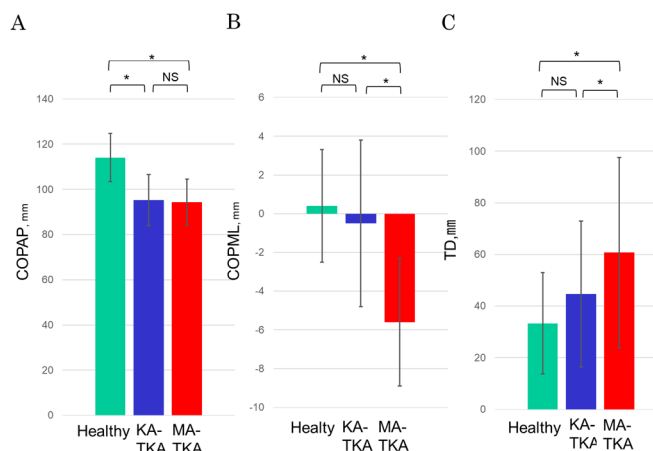


図 3. 片脚起立時の足底圧の比較

Healthy:健康者群、KA : Kinematical alignment TKA 群、MA : Mechanical alignment TKA 群、*: $p < 0.01$



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoyuki Kamenaga, Naoki Nakano, Koji Takayama, Masanori Tsubosaka, Yoshinori Takashima, Kenichi Kikuchi, Masahiro Fujita, Yuichi Kuroda, Shingo Hashimoto, Shinya Hayashi, Takahiro Niiura, Ryosuke Kuroda, Tomoyuki Matsumoto	4. 巻 120
2. 論文標題 Comparison of plantar pressure distribution during walking and lower limb alignment between modified kinematically and mechanically aligned total knee arthroplasty	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 110379
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jbiomech.2021.110379.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 亀長 智幸、松本 知之、高山 孝治、林 申也、橋本 慎吾、壺坂 正徳、高島 良典、菊池 健一、藤田 雅広、黒田 良祐
2. 発表標題 Kinematically aligned TKA とMechanically aligned TKA の歩行時と起立時の足底圧の比較
3. 学会等名 第46回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------