

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K18524

研究課題名(和文) プタ膝を用いた半月板逸脱に対するCentralization法の生体力学的解析

研究課題名(英文) Biomechanical analysis of Centralization technique for meniscus extrusion using porcine knees

研究代表者

河野 佑二 (Kohno, Yuji)

東京医科歯科大学・統合研究機構・非常勤講師

研究者番号：10822562

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：「半月板逸脱」に対する治療法としてわれわれの臨床グループは「Centralization法」という手術手技を考案し、良好な術後臨床成績は得ているが、その半月板機能における「バイオメカニクス」は十分わかっていない。本研究では、新鮮凍結プタ膝およびオリジナルの万能試験機を用いて、「半月板バイオメカニクス」の検討方法を確立させた。確立した半月板モデルおよび評価方法にて、膝屈曲角度を変えての検討を行い、「Centralization法」の有効性を明らかにした。また半月板切除後の逸脱に対して臨床的に行っている関節包をアドバンスメントした「Centralization法」の有効性も明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「変形性膝関節症」の原因となる「半月板逸脱」に対する治療法である「Centralization法」に関して、半月板部分切除後の逸脱に対する効果はどうか、深屈曲時の垂直負荷の影響はどうか、などの問いに日常臨床でしばしば直面するが、それらに応える半月板の「バイオメカニクス」は明らかにしていない。本研究では、それらに対する「Centralization法」の有効性を生体力学的側面から解析し明らかにした。本研究成果により「Centralization法」の普及による変形性膝関節症の予防も期待され、臨床で極めて重要である。

研究成果の概要(英文)：Our clinical group developed the "Centralization technique" as a treatment for "meniscus extrusion". Although this surgical technique obtained good postoperative clinical results, the "biomechanics" of meniscal function was not clarified. In this study, we established an examination method for "meniscal biomechanics" using fresh frozen porcine knees and the original universal tester. Using the established meniscus model and evaluation method, we clarified the effectiveness of the "Centralization technique" in different knee flexion angles. We also clarified the effectiveness of the "centralization technique" with capsular advancement for meniscus extrusion after meniscectomy which was clinically performed.

研究分野：整形外科学

キーワード：半月板 バイオメカニクス Centralization法

## 1. 研究開始当初の背景

半月板は膝関節において衝撃吸収、荷重分散、安定性などの点で重要な役割を果たす。半月板損傷はしばしばスポーツ外傷や半月板変性が原因となり起こるが、近年では様々な断裂に対して半月板縫合が試みられており、半月板切除に比して中長期成績が良好であるという報告もある。また半月板切除や半月板付着部損傷により半月板逸脱が起こり、半月板逸脱は変形性膝関節症の発症に関与すると言われている。

申請者の所属する臨床グループでは、逸脱した半月板を整復し安定化させることにより変形性膝関節症を予防することを目的とした、鏡視下 Centralization 法という suture anchor を用いた手術手技を報告し(Koga et al, Arthrosc Tech, 2012)、術後 2 年において良好な術後成績を得ている(Koga et al, Arthroscopy, 2016)。申請者の所属研究室では、ラットモデルを用いて半月板逸脱に対する Centralization 法の軟骨変性における有効性を示した (Ozeki et al, J Orthop Sci, 2017)。また当研究室では Centralization 法のバイオメカニクスを明らかにするため、オリジナルの万能試験機を作製し、新鮮凍結ブタ膝を用いて半月板の荷重分散機能における生体力学的解析を行った。半月板逸脱モデルに対して、膝屈曲 45° における垂直負荷 (200N) 時の検討では Centralization 法は良好な半月板の荷重分散機能を再獲得できた (Ozeki, Koga, Matsuda, Kohno et al, J Orthop Sci, minor revision)。

しかしながら Centralization 法に関して、半月板部分切除後の逸脱に対する効果はどうか、深屈曲時はどうか、垂直負荷を増やすとどうか、などの問いに日常の臨床ではしばしば直面するが、それらに応える半月板のバイオメカニクスは明らかにしていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、半月板逸脱に対する Centralization 法に関して、半月板部分切除後の逸脱に対する効果や、深屈曲時の垂直負荷の影響などを、生体力学的側面から解析することである。新鮮凍結ブタ膝やヒト屍体膝を用いて、半月板のバイオメカニクスを解析した研究は散見されるが、申請者の所属する臨床グループが考案した Centralization 法に関して半月板の荷重分散機能を解析した報告はないため、独自性を有すると考える。日常の臨床でしばしば遭遇する半月板切除後の逸脱などに対する Centralization 法の効果を、これまでの良好な臨床成績に加えて、本研究により生体力学的側面からも明らかにすることは、本手術手技の普及による変形性関節症の予防も期待され、創造性が高くかつ臨床上重要な研究であると考えられる。また本研究はすでに査読審査のある学会発表に採択された有用データも数多く得られており、複数本の論文化も達成可能と見込まれる。

## 3. 研究の方法

(1) 新鮮凍結ブタ膝を用いて、半月板逸脱モデルを作成する。前述の論文投稿中の先行研究では半月板後方付着部を切離し、半月板周囲の靭帯組織も切離することで逸脱モデルとした。また予備的研究の半月板切除逸脱モデルでは半月板後方内縁を切除後に後方付着部を切離することで作成した。一方 Centralization 法は suture anchor を用いて臨床に準じた手法で作成している。それぞれオリジナルの万能試験機にセッティングし、垂直負荷時の半月板の荷重分散についてフィルム式圧センサーを用いて解析し、接触面積、接触圧、最大荷重などを定量評価する。モデルに関しては、半月板逸脱のメカニズムや関節周囲靭帯の温存など、より臨床に即したモデルへ改良の余地があり、評価に関しても圧センサーの挿入位置など、さらなる検討を重ねて半月板検討モデルを確立させる。

(2) 確立した半月板検討モデルおよび評価方法にて、万能試験機に専用のデバイスを装着することで膝屈曲角度を変えての検討を行い、Centralization 法の有効性を生体力学的側面から明らかにする。

(3) 半月板切除後の逸脱など臨床診療でしばしば遭遇する場面に即したモデルにて、Centralization の有効性を検討する。予備的研究の半月板切除逸脱モデルでは、半月板周囲の関節包を剥離してアドバンスメントして Centralization することで良好な荷重分散機能を再獲得できた。また suture anchor の位置・本数の検討など、さらなる Centralization のバイオメカニクスについて明らかにし、臨床応用につなげていく。

## 4. 研究成果

(1) 上記方法により作成した新鮮凍結ブタ膝モデルおよび評価法で行った投稿中の論文は Journal of Orthopaedic Science にアクセプトされ、本モデルおよびバイオメカニクス評価法は確立できた。

(2) 確立した半月板逸脱モデルおよび評価方法にて Centralization 法の有効性を生体力学的側面から明らかにできたため、膝屈曲角度を変えての半月板バイオメカニクスに関する検討

も重ね、国内および国際学会で発表を行った。本研究は BMC Musculoskeletal Disorder にアクセプトされ、膝屈曲角度を変えても Centralization 法の有効性を生体力学的側面から明らかにできた。

(3) 日常臨床でしばしば遭遇する半月板部分切除後に半月板逸脱を生じ変形性膝関節症に至った症例に対して、われわれは骨棘切除後に関節包をアドバンスメントした半月板 centralization による治療法を報告し (Nakagawa, JOS 2017)、臨床成績および画像評価において有用性を示していた (Koga, AJSM 2020) が、本治療法をバイオメカニクスの観点から検討した。半月板後方内縁を切除後に後方付着部を切離することで作成した半月板切除逸脱モデルを用いて、Centralization 法の有効性をアンカー1本および2本、さらに関節包をアドバンスメントした場合について荷重分散機能を評価した。本研究は Journal of Orthopaedic Research にアクセプトされ、半月板切除後の逸脱に対して臨床的に行っている関節包をアドバンスメントした Centralization 法の有効性を荷重分散機能の再獲得というバイオメカニクスの観点から示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kubota Rei, Koga Hideyuki, Ozeki Nobutake, Matsuda Junpei, Kohno Yuji, Mizuno Mitsuru, Katano Hisako, Sekiya Ichiro	4. 巻 21
2. 論文標題 The effect of a centralization procedure for extruded lateral meniscus on load distribution in porcine knee joints at different flexion angles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BMC Musculoskeletal Disorders	6. 最初と最後の頁 205
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12891-020-03197-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ozeki Nobutake, Koga Hideyuki, Matsuda Junpei, Kohno Yuji, Mizuno Mitsuru, Katano Hisako, Tsuji Kunikazu, Saito Tomoyuki, Muneta Takeshi, Sekiya Ichiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Biomechanical analysis of the centralization procedure for extruded lateral menisci with posterior root deficiency in a porcine model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Science	6. 最初と最後の頁 161 ~ 166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jos.2019.02.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kohno Yuji, Koga Hideyuki, Ozeki Nobutake, Matsuda Junpei, Mizuno Mitsuru, Katano Hisako, Sekiya Ichiro	4. 巻 40
2. 論文標題 Biomechanical analysis of a centralization procedure for extruded lateral meniscus after meniscectomy in porcine knee joints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Research	6. 最初と最後の頁 1097 ~ 1103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/jor.25146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 久保田 礼, 古賀 英之, 大関 信武, 河野 佑二, 他
2. 発表標題 外側半月板逸脱に対するCentralization法の生体力学的効果における膝屈曲角度の影響
3. 学会等名 第11回JOSKAS
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田 礼, 古賀 英之, 大関 信武, 河野 佑二, 他
2. 発表標題 外側半月板逸脱に対するcentralization法の荷重分散機能に関する生体力学的解析 異なる膝屈曲角度での検討
3. 学会等名 第34回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田 礼, 古賀 英之, 大関 信武, 河野 佑二, 他
2. 発表標題 Centralization法の荷重分散における生体力学的効果・異なる膝屈曲角度での解析
3. 学会等名 第46回日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rei Kubota, Hideyuki Koga, Nobutake Ozeki, Yuji Kohno, etc
2. 発表標題 The effect of centralization procedure for extruded lateral meniscus on load distribution in porcine knee joints at 30-90 degrees of flexion
3. 学会等名 Orthopaedic Research Society (ORS) Annual Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------