

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月9日現在

機関番号：10107

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009年度～2011年度

課題番号：21591928

研究課題名（和文）股関節包と股関節唇の関節軟骨保護機能に関する生体力学的研究

研究課題名（英文）Biomechanical analysis of the protective function for the articular cartilage caused by the capsule and labrum of the hip joint

研究代表者

伊藤 浩 (ITO HIROSHI)

旭川医科大学・医学部・教授

研究者番号：80261296

研究成果の概要（和文）：ビーグル犬股関節とMRIを用い、2～2.5時間の荷重負荷に対して、股関節唇の有無が関節軟骨の変形にどれだけ影響を及ぼすかを経時的に観察し検討した。その結果、股関節唇の存在により関節軟骨厚の変化速度が減少することが判明した。股関節唇には関節軟骨への負荷を均等に分散させ、最荷重部の軟骨への負荷を軽減する役割があることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We performed biomechanical analysis of the protective function for the articular cartilage caused by the capsule and labrum of the hip joint using beagle dogs and MRI. Deformation of the cartilage caused by the load for 2 to 2.5 hours was significantly reduced by the capsule and labrum. Biomechanical load to the articular cartilage appears to be distributed equally and reduced by the presence of the labrum.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・整形外科学

キーワード：関節病学

1. 研究開始当初の背景

股関節の安定性に関する研究は少ないが、一旦不安定性が生じると関節軟骨の微細な損傷が引き起こされ、変形性股関節症が発症すると報告されている(Orthopaedic Knowledge Update, 9th edition. AAOS 2008)。臼蓋形成不全に対する臼蓋形成術など、股関節に不安定性をもたらす骨性要素に対する再建方法はかなり確立しているが、股関節包や股関節唇など軟部組織要素(図1)に対する評価方法と再建方法は未だに確立していないのが現状である。

関節軟骨には、衝撃や荷重負荷に対するいわゆるクッションのような緩衝作用がある。一定以上の荷重負荷がかけられた場合、関節軟骨は一旦変形して薄くなり、その後荷重が除去されると徐々に元の形態に回復する。また、股関節包と股関節唇の生体力学的機能として、股関節を安定化させる、大腿骨頭を包み込み大腿骨頭軟骨と臼蓋軟骨間に関節液を保持する、圧力を分散させ軟骨に対する負荷を軽減する、などが挙げられているが、それを裏付ける実験的研究は乏しい。股関節包と股関節唇には関節腔内を密閉して関節液

が満ちた閉鎖空間を作り、関節軟骨への負荷を均等に分散させ、最荷重部の軟骨への負荷を軽減するとされる。この機能に関して、股関節唇が軟骨変形の軽減にどの程度寄与しているかは未だ明らかではない。

近年のMRIの進歩により、MRIが関節軟骨の厚さや水分含有量などの状態をCTより正確に評価できるようになった。膝関節におけるMRIを用いた動物実験では、半月板の有無が荷重負荷に対する軟骨の変形量に影響を及ぼし、半月板の摘出により軟骨が著明に変形することが報告されている。しかし股関節においては、股関節包や股関節唇が、荷重負荷に対する軟骨変形をどれだけ軽減し得るかにして評価した実験は、現在までほとんど見出せない。



図1 股関節の軟部組織

2. 研究の目的

股関節を安定化させる重要な軟部組織には、関節包、関節包内靭帯および輪帯、股関節唇が挙げられるが、我々は死体を用いた実験で、股関節の牽引力に対する安定性に最も貢献している軟部組織は、関節包中間部で頸部を円周状に取り囲んでいる輪帯であることを明らかにし、腸骨大腿靭帯と股関節唇の安定性に対する貢献度は輪帯より少ないことを報告した(J Orthop Res 27:989-95; 2009)。

本研究の目的は、ビーグル犬股関節を用いて2~2.5時間の荷重負荷に対し股関節唇の有無が、関節軟骨の変形にどれだけ影響を及ぼすかを、MRIを用いて軟骨を経時的に観察し評価することである。これまでに報告された膝関節の動物実験を参考に、荷重負荷に対する軟骨の変形量を評価するため、ビーグル犬股関節と荷重負荷装置、MRIを用いて生体力学的実験を行った。正常股関節唇モデルと股関節唇切除モデルにおいて、荷重負荷前後に経時的にMRI撮影を行い、関節軟骨厚を測定して厚さがどれだけ変化するかを検討

した。

3. 研究の方法

(1) 荷重装置作製

ビーグル犬股関節に荷重負荷をかけつつ、同時にMRI撮影を施行できる荷重システムを構築した。本荷重システムは、MRI室内で用いる荷重装置とMRI室外で用いるAir flow control deviceとの組み合わせにより構成される。まず前者の荷重装置について説明する。

荷重装置に求められる要件は、磁気を帯びない材料を用い、必要な荷重を負荷可能な機構を有し、十分な強度を有することである。犬股関節を設置可能な、幅138mm、奥行き90mm、高さ91mmの容積を有するボックスと、直径63mmのピストンを連結した荷重装置を設計、制作した。外部からの圧縮空気により、ピストン(ストローク46mm)が移動し股関節に荷重を付加する仕組みとした。荷重は1方向圧縮のみで、空気圧の操作により負荷、除荷ともに可能である。股関節はボックス内に骨セメントを用いて固定し、ボックス内は関節液で満たすことが可能となるよう設計した。固定肢位は股関節中間位とし、骨盤側をピストン先端に、大腿骨側をボックス底面に完全固定した。MRI装置内で用いる本荷重装置はポリカーボネート(一部ポリ塩化ビニル、アクリル)を用いて作成し、ピストンリングとしてニトリルゴム(NBR)、エアシール用にシリコングリスを用いた(図2)。

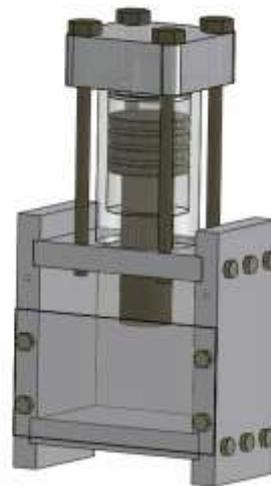


図2 荷重装置

次にAir flow control deviceを説明する。コンプレッサ(日立建機; PAH4220V)、エアフィルタ(日立建機; HAF-8BH)、レギュレータ(日立建機; R-40F)を直列に連結し、レギュレータと前述の荷重装置をナイロンチューブ(内径6mm)により連結した。エアフィルタはレギュレータ保護のために用いており、圧縮空気中の不純物と水分を除去可能である。装置間の連結にはワンタッチジョイント(ハイカプラシリーズ; 日東工器)を用いることで、スムーズな分解/組み立てを实

現させた。コンプレッサの最大発生圧力は4.2MPaであるが、その他の装置、連結チューブ、繋ぎ手は許容圧力1MPa以上で選定し(最大1.0MPa=3077N)、十分な安全率を考慮した機器選定とした。

(2) 動物の準備

4匹のビーグル犬(体重約20kg)の、関節包より外の軟部組織を取り除いた股関節を採取し、実験まで冷凍保存した。

(3) MRIを用いた軟骨厚の評価

軟骨厚の評価には1.5-TのMRI(EXCELART Vantage XGV 1.5T:東芝メディカルシステムズ)を用いた。コイルはDual coil(ϕ 70mmflexiblecoil, ϕ 150mm70mmflexiblecoil)を用いた。MRI撮影は①Fat-suppressed T2 star weighted 3D image(TR/TE 27/15, NEX3.0, PE Matrix 200, RO Matrix 160, PE FOV 6.3mm, RO FOV 5.0mm, resolution 0.31mm \times 0.31mm, slice thickness 1.0mm \times 25)と、②Fat-suppressed Proton weighted image(TR/TE 27/15, NEX3.0, PE Matrix 200, RO Matrix 160, PE FOV 6.3mm, RO FOV 5.0mm, resolution 0.39mm \times 0.18mm, slice thickness 1.0mm \times 25)の2つの方法で行った。撮影方法①にてサブトラクション画像を作製した。犬股関節肢位はneutral positionとし、冠状断撮影で評価した。関節軟骨厚の評価は骨頭中心を通る断面で行い、最荷重部における臼蓋軟骨と大腿骨頭軟骨の両者を含む厚さをdigital image上で計測した。

(4) 正常関節唇モデル、関節唇切除モデルにおける荷重負荷とMRI撮影

①2匹の片側の冷凍保存したビーグル犬股関節を12時間解凍した。標本を荷重装置内に固定して牛血清を満たし、MRIにセットした。
②各々のサンプルは計7回のMRI撮影を行った。まず荷重負荷前に撮影した。
③連続的2時間の静的荷重負荷で軟骨は一定の変形状態になると報告されており9)、荷重軸に沿った方向に2~2.5時間の静的荷重を加えた。荷重は片脚起立を想定し、体重の約4倍の80kg重とした。荷重負荷直後、30分後、60分後、90分後、120分後、150分後にMRI撮影を行った。
④荷重負荷除去後サンプルを約14時間放置して、軟骨厚が荷重負荷前に戻るのを待った。
⑤メスを用いて股関節唇を全切除し、股関節唇切除モデルを作製した。同様に標本を荷重装置内に固定して牛血清を満たし、MRIにセットした。まず荷重負荷前に撮影した。同様に荷重軸に沿った方向に2~2.5時間80kg重の静的荷重を加えた。荷重負荷直後、30分後、60分後、90分後、120分後、150分後にMRI撮影を行った。

製作した荷重装置の加圧と負荷荷重の関係、および再現性を評価するため、加圧と減

圧を5回繰り返す実験を3回にわたり施行した。装置の再現性を評価するために、統計学的に各々の実験において級内相関係数(intraclass correlation coefficient)を計算した(SPSS version 17.0)。

4. 研究成果

(1) 荷重装置の再現性

級内相関係数は実験1回目で0.998、2回目で0.999、3回目で1.000で、全ての実験で0.999であり、再現性のある加圧と負荷荷重の関係が得られ、荷重装置がこの実験に適したものであることが確認された(図3)。

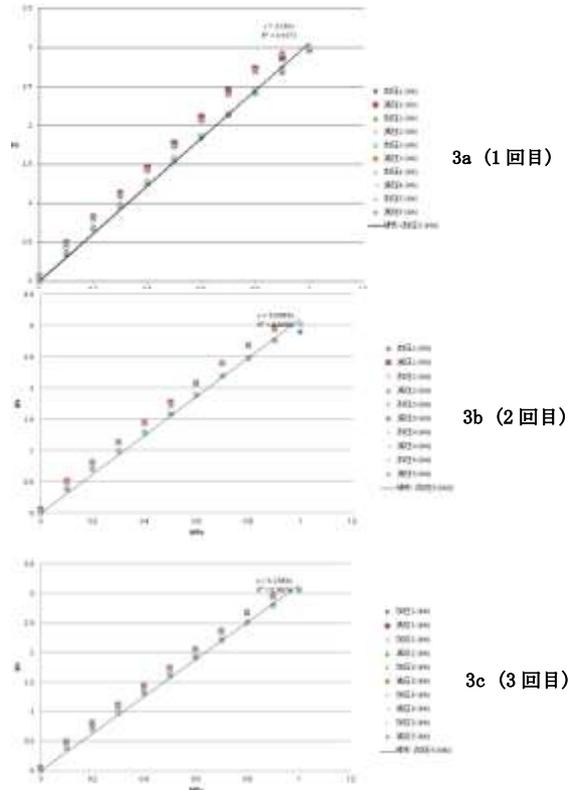


図3 加圧と負荷荷重の関係(加圧と減圧を5回繰り返した実験結果)

(2) 軟骨厚の経時変化

各ビーグル犬の軟骨厚の測定結果を示す(図4-7)。いずれも関節唇切除モデルの方が荷重早期に変形量が大きくなっていた。正常モデルにおける荷重直後の軟骨厚変化量は平均 0.24 ± 0.13 mmであったのに対し、関節唇切除モデルでは平均 0.51 ± 0.10 mmであり、有意に関節唇切除モデルでは荷重直後より大きく軟骨厚が減少していた(Mann-Whitney U test, $P = 0.028$)。荷重負荷150分後の軟骨厚変化量は、正常モデルでは平均 0.44 ± 0.21 mmであったのに対し、関節唇切除モデルでは平均 0.73 ± 0.05 mmであり、関節唇切除モデルで有意に軟骨厚が減少していた(Mann-Whitney U test, $P = 0.046$)。4頭目における関節唇正常モデルと関節唇切除モデルの荷重開始前と荷重開始150分後を比較

したサブトラクション画像を示す(図 8, 9)。骨頭上方最荷重部の白い部分が軟骨厚の変化量を示している。軟骨厚の変化量は関節唇正常モデルで 0.3 mm、関節唇切除モデルで 0.8 mm であり、関節唇切除により変形量が増加していた。

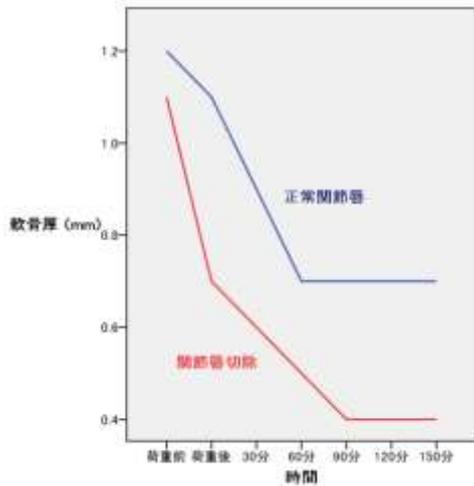


図 4 1 頭目における正常関節唇モデルと関節唇切除モデルの経時的軟骨厚の変化

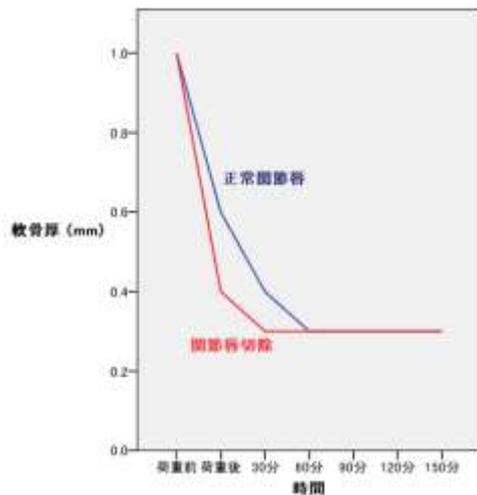


図 5 2 頭目における正常関節唇モデルと関節唇切除モデルの経時的軟骨厚の変化

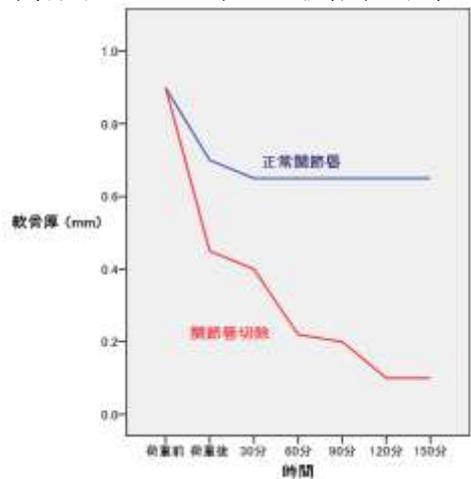


図 6 3 頭目における正常関節唇モデルと関節唇切除モデルの経時的軟骨厚の変化

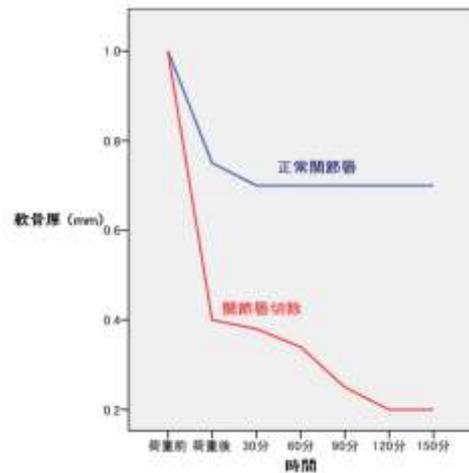


図 7 4 頭目における正常関節唇モデルと関節唇切除モデルの経時的軟骨厚の変化

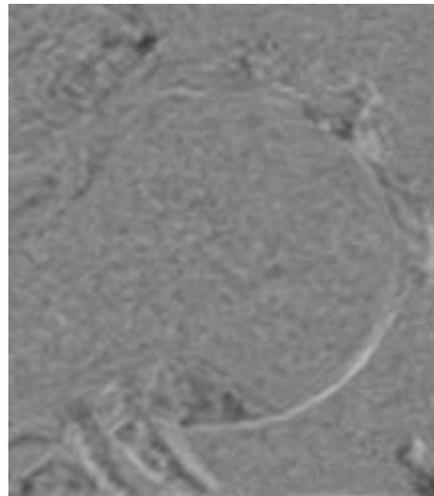


図 8 4 頭目における関節唇正常モデルの荷重開始前と荷重開始 150 分後を比較したサブトラクション画像

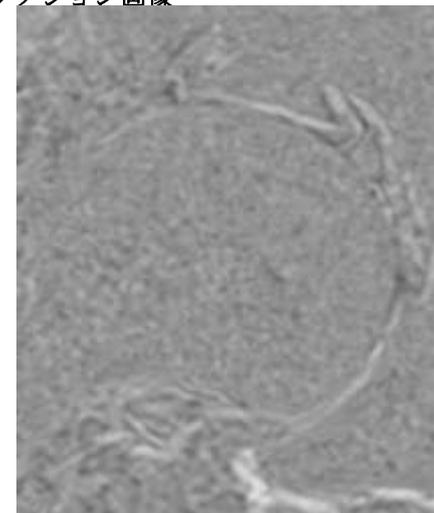


図 9 4 頭目における関節唇正常モデルの荷重開始前と荷重開始 150 分後を比較したサブトラクション画像

(3) 結論

ビーグル犬股関節と MRI を用い、2～2.5 時間の荷重負荷に対して、股関節唇の有無が関節軟骨の変形にどれだけ影響を及ぼすかを経時的に観察し検討した。その結果、股関節唇の存在により関節軟骨厚の変化速度が減少することが判明した。股関節唇には関節軟骨への負荷を均等に分散させ、最荷重部の軟骨への負荷を軽減する役割があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

伊藤 浩、谷野弘昌、中村聡喜、西田恭博、松野丈夫：股関節唇の関節軟骨保護機能に関する生体力学的研究。平成 21 年度研究助成金による研究成果報告書。(査読無) 2011 年、33-39.

[学会発表] (計 1 件)

伊藤 浩：Primary および Revision THA における機種選択のストラテジー。第 29 回 関西股関節研究会 (招待講演)。2011 年 4 月 9 日。大阪市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 浩 (ITO HIROSHI)
旭川医科大学・医学部・教授
研究者番号：80261296

(2) 研究分担者

松野 丈夫 (MATSUNO TAKEO)
旭川医科大学・医学部・副学長
研究者番号：10165847

谷野 弘昌 (TANINO HIROMASA)
旭川医科大学・医学部・特任講師
研究者番号：70422045

(3) 連携研究者

なし