大腿骨頭壊死症に対する大腿骨転子間弯曲内反骨切り術後の脚長差

池村　聡、山本卓明、神宮司誠也、首藤敏秀、中島康晴、岩本幸英
（九州大学　整形外科）

大腿骨頭壊死症に対する、大腿骨転子間弯曲内反骨切り術後脚長差についてX線学的に調査した。JOA scoreは術前平均62.9点から、最終時平均87.5点に改善していた。平均内反角度は25.3°で、脚短縮の平均は13.2mmであった。術前、術後での患側脚長差は、内反角度と極めて強い相関(r=0.9485、P<0.0001)を認めた。

1.　研究目的

当科では、大腿骨頭壊死症に対して、外側に健常部が残存している症例には、主として大腿骨転子間弯曲内反骨切り術を行ってきた。しかし、術後生じる脚長差についての詳細な報告は少ない。そこで今回我々は、大腿骨転子間弯曲内反骨切り術後の脚長差について、X線学的に調査したので報告する。

2.　研究方法

1993年1月から2005年8月までに当科で施行した41例47股を対象とした。男性17例19股、女性24例28股である。年齢は15から68歳で平均33.6歳であった。術後観察期間は0.3から12年で平均観察期間は5年であった。基礎疾患は、ステロイド性30例36股、アルコール性4例4股、外傷性3例3股、狭義の特発性4例4股であった。病期は2001年改定　特発性大腿骨頭壊死症の病期分類で、Stage3Aが42股、Stage3Bが4股、Stage4が1股であった。病型はType Bが2股、Type C1が39股、Type C2が6股であった。調査項目は、術前及び最終観察時でのJOA score、X線では全例に対して術前・術後の股関節正面での頸体角、補正のための閉鎖孔上縁間距離(図1)、脚短縮に関しては患側での閉鎖孔上縁－小転子間の距離を測定した(図2)。

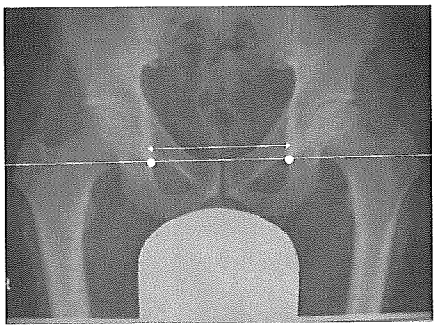


図1:閉鎖孔上縁間距離

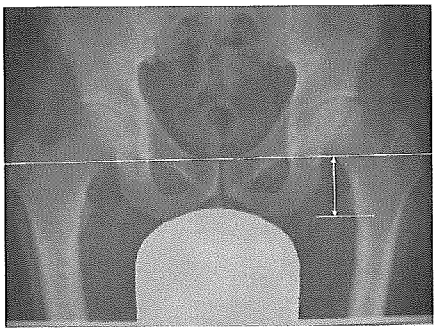


図2:脚短縮

3.　研究結果

JOA scoreは術前平均62.9点から、術後平均87.5点に改善していた(図3)。
また術前、術後での患側脚長差は、内反角度と統計学的に極めて強い相関を認めた(Pearson's correlation coefficient; n=47、r=0.9485、p<0.0001)(図4)。10-15°の内反では平均5mm、16-20°では平均9.6mm、21－25°では平均12.3mm、26-30°では平均13.7mm、31-35°では平均18mm、36-40°では平均23mmの脚短縮を生じ、平均内反角度は

25.3° で脚短縮の平均は 13.2mm であった。最も症例の多い 20－30° の内反でおおよそ 15mm 未満の脚短縮が生じることが分かった(表1)。

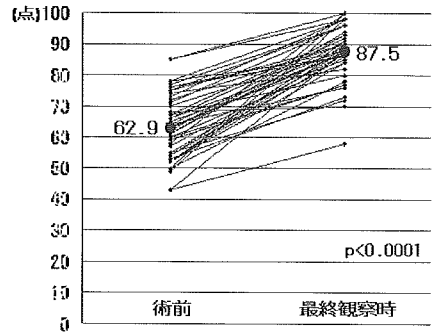


図3：JOA scoreの推移

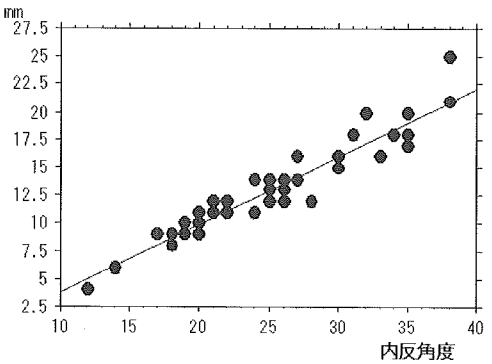


図4：内反角度と脚長差

内反角度	術前後患側脚長差
10-15° (2症例)	平均5mm
16-20° (12症例)	平均9.6mm
21-25° (11症例)	平均12.3mm
26-30° (11症例)	平均13.7mm
31-35° (9症例)	平均18mm
36-40° (2症例)	平均23mm
平均25.3°	平均13.2mm

表1：内反角度と平均脚短縮

4. 考察

大腿骨転子間弯曲内反骨切り術は、Pauwels に代表される従来の内反骨切りに比べ、大転子高位が生じにくい、中小殿筋不全が生じにくい、切骨面が広く、かつ海綿骨同士であるため骨癒合が良好である、そして脚短縮量が少ないと言われている [1-6]。脚短縮に関する過去の報告では、平均値の測定に関するものを散見するのみである [1-3]。今回の調査で、内反角度と脚短縮との間で極めて強い相関を認め(r=0.9485、p<0.0001)、それは、どれ位内反をつけると、どれ位の脚長差を生じるかという指標になりえると考えられた。

本術式は、比較的若い女性にも多く行われており、それらの患者は、脚短縮に伴う術後の跛行、また補高使用によるシューズ選択の制限を主とした、cosmetic な部分も気にしている場合があり、脚短縮量が術前計画によりある程度予測できることは、術前の患者への説明の一助にもなりえると考えられた。

今回の調査はX線のみでの調査であったため、今後はどれ位の脚長差で補高が必要になるか、どれ位の脚長差で ADL 障害を認めるか、またその ADL 障害はどのようなものであるか、などを調査する必要があると考えられた。

5. 結論

大腿骨頭壊死症に対する大腿骨転子間弯曲内反骨切り術後の脚長差についてX線学的に調査した結果、内反角度と脚長差には極めて強い相関を認めた。

6. 研究発表

1. 論文発表
   なし
2. 学会発表
   なし

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
   なし
2. 実用新案登録
   なし
3. その他
   なし

8. 参考文献

1) Sakano S, Hasegawa Y, Torii Y, Kawasaki M, Ishiguro N. Curved intertrochanteric varus osteotomy for osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg[Br] 2004; 86-B: 359-65.
2) 春藤基之、増田武志、菅野大己、佐々木 茂、古川晃郁、浅海浩二： 大腿骨頭壊死に対する内反骨切り術. Hip Joint 04; 30: 421-25.
3) 柁原俊久、渥美 敬、小原 周、山野賢一、黒木良克： チタン製スクリュウおよびプレートシステムを用いた転子間彎曲内反骨切り術の経験. 関節外科 vol.14; no.10:127-31, 1995.
4) 山本卓明、神宮司誠也、本村悟朗、中島康晴、

首藤敏秀、杉岡洋一、岩本幸英：特発性大腿骨頭壊死症に対する転子間弯曲内反骨切り術の術後成績．Hip Joint 04; 30: 418-20.

5) 香月一朗、杉岡洋一、牛島正博、永津 治、江口正雄、貝原信紘、西尾篤人：亜脱臼変形性股関節症に対する彎曲内反骨切り術の成績．中部整災誌、29: 628-30, 1986.

6) Ito H, Kaneda K, Matsuno T. Osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg[Br] 1999; 81-B: 969-74.

人工股関節置換術の術後短期合併症、術後脱臼、長期耐用性：多施設共同研究

小林千益、堀内博志　(信州大学医学部　運動機能学)
山本卓明、本村悟朗、神宮司誠也、岩本幸英　(九州大学大学院医学研究院　整形外科学)
佛淵孝夫、重松正森　(佐賀大学医学部　整形外科学)
樋口富士男　(久留米大学医学部附属医療センター　整形外科)
大園健二、坂井孝司　(独立行政法人国立病院機構大阪医療センター　整形外科)
菅野伸彦、高尾正樹　(大阪大学大学院医学系研究科　器官制御外科学)
進藤裕幸、榎本　寛、岡野邦彦、尾崎誠　(長崎大学大学院医歯薬学総合研究科　発生分化機能再建学)
大橋弘嗣、高岡邦夫　(大阪市立大学大学院医学研究科　整形外科学)
久保俊一、井上重洋、藤岡幹浩、高橋謙治　(京都府立医科大学大学院医学研究科　運動機能再建外科学)
松本忠美、兼氏　歩、杉森端三　(金沢医科大学　整形外科学)

人工股関節置換術(THA)の短期および長期合併症調査を 10 施設共同で行った。術後短期合併症の中で最も頻度が高かった THA 脱臼に関し、最近の経過観察時までの頻度も調べ、危険因子の検討も行った。

短期合併症調査では、2,515 例中、全身合併症が 4.6%に、局所合併症が 5.9%に生じた。危険因子の検討結果より以下の結論を得た。高齢の患者や術前全身合併症のある患者の THA は、全身及び局所合併症を生じやすく注意を要する。術後全身合併症予防のためには、できるだけ早く離床させることが重要である。再置換術は局所合併症の頻度が高く注意を要する。深部静脈血栓症の理学的予防法は、局所合併症全般の予防のためにも推奨される。

短期合併症を調査した 2,515 例の最近の経過観察時(術後平均経過観察期間3年)までの THA 脱臼は 4.2%であった。高齢の患者、男性患者、関節リウマチ、大腿骨頭壊死症、大腿骨頚部骨折、再置換術は、THA 脱臼のリスクが高かった。それらのハイリスク群では、THA に際し、コンポーネント位置不良や、骨盤と大腿骨の衝突(impingement)を避け、THA の緊張(tightness)をやや高めにするなどの注意を要する。さらに、THA の際の外側進入法と、術後の深部静脈血栓症の理学的予防法も、THA 脱臼予防のために推奨される。

長期合併症調査では、初回 THA 618 例で、平均術後経過観察期間 10 年で 15%に再手術を要した。関節リウマチでソケットがゆるみやすかった。内径 28mm のソケットや、捻じ込み式(Threaded 型)セメント非使用ソケットは耐用性が不良で用いるべきでない。大腿骨コンポーネントは、男性患者で固定破綻をきたしやすく注意を要する。

1. 研究目的

人工股関節置換術(以下 THA)の短期(1ヶ月以内)合併症、術後脱臼、長期耐用性の実態とその関連因子は、これまで全国規模では明らかにされていなかった。今回、全国の代表的な 10 施設で、それらの頻度と関連因子を調査した。本研究の目的は、THA の合併症と長期耐用性の実態を調べ、関連因子を同定し、THA の安全性と耐用性を向上される方策を見出すことである。

2. 研究方法

[術後短期(1ヶ月以内)合併症調査] 1998 年 7 月～2002 年 6 月の 4 年間に施行した THA 2,515 例を調査した。手術時年齢は 19～95 歳で平均 62 歳であり、女性が 83%を占めた。術前に全身的合併症が 44%の症例にあり、臓器別頻度は、脈管(高血圧症など)18%、心 7%、代謝性(糖尿病など)7%、肝胆膵 5%、消化管 3%、呼吸器 3%などであった。股関節疾患は、変形

性関節症 84%、大腿骨頭壊死症 9%、関節リウマチ 4%などであった。麻酔は、吸入麻酔と硬膜外麻酔の併用 43%、吸入麻酔 24%、腰椎麻酔 24%、硬膜外麻酔 95であった。手術進入法は、後側方が 76%、側方 19%、その他が 5%であった。82%は初回 THA であったが、18%では対象股関節に手術の既往があった(THA 再置換 10%、骨切り後 THA3%、人工骨頭置換術後 THA3%、他 2%)。セメント使用は、ソケットで 12%、ステムで 21%であった。術後、理学的血栓予防(間歇的空気圧迫法など)が 67%に行われた。それらの症例について術後1ヶ月以内の全身および局所の合併症に関して調査を行った。関連因子の検討を多重ロジスティックスチック回帰によって行った。

[THA 脱臼調査] 術後短期合併症の中で最も頻度の高かった THA 脱臼に関して、最近の経過観察時までの頻度も調べ、その危険因子の検討も行った。短期合併症調査の対象となった 2,515 例の最近の経過観察時までの術後平均経過観察期間は3±1.3 年であった。関連因子の検討は多重ロジスティックスチック回帰によって行った。

[術後長期合併症調査] 初回 THA618 例(女性が 89%)の情報が得られた。手術時年齢は平均 61 歳で、診断は股関節症が 80%で、次いで関節リウマチが 12%であった。ソケットの内径は 22mm が 64%、28mm が 33%、26mm が 3%であった。人工関節の固定は、7割がセメント固定であった。術後経過観察期間は平均 10 年であった。

3. 研究結果

[術後短期(1 ヶ月以内)合併症調査] THA 2,515 例中、術後短期全身合併症が 115 例 4.6%に生じた。臓器別には頻度順に、消化管系 0.8%、循環器系 0.6%、肝胆膵系 0.6%、呼吸器系 0.6%、腎尿路系 0.4%などであった。また、局所の合併症が 149 例 5.9%にあり、その内訳は頻度順に、THA 脱臼 2.8%、創治癒障害 1.0%、末梢神経障害 0.7%、褥創 0.5%などであった。

危険因子の検討の結果、全身および局所合併症の発生には関連があり、ともに手術時年齢が高いこと、術前全身合併症があること(オッズ比:それぞれ 2.6 と 1.9)が危険因子となっていた。さらに、全身合併症には術後床上安静期間が長いことが危険因子となっていた。局所合併症は再置換術で頻度が高く(オッズ比:2.4)、深部静脈血栓症の理学的予防法が局所合併症全般の予防に有効であった(オッズ比:0.53)。

[THA 脱臼調査] 短期合併症調査の対象となった 2,515 例の最近の経過観察時(術後平均3年)までの THA 脱臼は 106 例 4.2%であった(単回脱臼が 55 例 2.2%、反復性脱臼 51 例 2.0%)。その危険因子は、手術時年齢が高いこと、男性であること(オッズ比は 1.9)、股関節疾患が関節リウマチ、大腿骨頭壊死症、大腿骨頚部骨折であること(オッズ比はそれぞれ 2.9、3.3、3.5)、再置換術(オッズ比:3.2)、後外側進入法による手術(オッズ比:2.5)で、深部静脈血栓症の理学的予防法が THA 脱臼の予防にも有効であった(オッズ比:0.45)。

[術後長期合併症調査] 平均術後経過観察期間 10 年の初回 THA618 例中、95 例 15%に再手術を要した。その理由はソケットと大腿骨コンポーネントの非感染性固定破綻がそれぞれ 79%と 32%(両者破綻 17%)、その他が 6%であった。耐用性を制限する危険因子は、ソケットに関しては、診断が関節リウマチであること、ソケットの内径が 28mm であること、捻じ込み式(Threaded 型)セメント非使用ソケットの使用であった。大腿骨コンポーネントに関しては、男性患者の耐用性が女性に比べて不良であった。

4. 考察

[術後短期(1 ヶ月以内)合併症調査] 今回の調査で示した THA 2,515 例の術後短期全身合併症と局所合併症の頻度とその内訳は、THA を行う医療側が注意するべき点として役立つとともに、患者への informed consent にも利用できる。合併症予防策としては、同定された危険因子に注意することが大切で、術前全身合併症があれば特に高リスクなので、他科と協力して対処することが必要である。さらに、術後床上安静期間の短縮が術後全身合併症予防に、深部静脈血栓症の理学的予防法が術後局所合併症予防に推奨される。再置換術は局所合併症の頻度が高いので慎重な対応が望まれる。

[THA 脱臼調査] 短期合併症調査の対象となった 2,515 例の術後平均3年の THA 脱臼は 4.2%で、従来の報告とほぼ一致する頻度であった。今回同定した

危険因子は、手術時年齢が高いこと、男性であること、股関節疾患が関節リウマチ、大腿骨頭壊死症、大腿骨頚部骨折であること、再置換術、後外側進入法による手術で、深部静脈血栓症の理学的予防法がTHA 脱臼の予防にも有効であった。従って、術後脱臼予防策としては、高齢、男性、関節リウマチ、大腿骨頭壊死症、大腿骨頚部骨折の患者はハイリスクなので、特に注意を要する。手術に際しては、後側方進入法より、外側進入法が推奨される。Masonis らの包括的文献解析では、THA 脱臼頻度は側方進入法では0.55%で、後側方進入法の3.95%の1/6であった[1]。しかし、術後の跛行(中殿筋不全)の頻度が側方進入法の方が高率(4%～30%)であるとも述べている。側方進入法の中でも、中殿筋の前 2/3 を大転子より切離する Hardinge 法では中殿筋不全の頻度が高いので、中殿筋の前 1/3 を切離する Bauer 法[2]や Mallory 法[3]が推奨される[4]。

[術後長期合併症調査] 平均術後経過観察期間10年の初回THA618例中、95例15%に再手術を要した。その理由はソケットと大腿骨コンポーネントの非感染性固定破綻がそれぞれ79%と32%(両者破綻17%)、その他が6%であった。耐用性を制限する危険因子は、ソケットに関しては、診断が関節リウマチであること、ソケットの内径が 28mm であること、捻じ込み式(Threaded 型)セメント非使用ソケットの使用であった。大腿骨コンポーネントに関しては、男性患者の耐用性が女性に比べて不良であった。

5. 結論

[術後短期(1ヶ月以内)合併症調査] THA 2,515例の術後短期全身・局所合併症の頻度と関連因子を明らかにした。年齢が高い患者はリスクが高く、術前全身合併症があれば特に高リスクなので、他科と協力して対処することが必要である。さらに、術後床上安静期間の短縮が術後全身合併症予防に、深部静脈血栓症の理学的予防法が術後局所合併症予防に推奨される。再置換術は局所合併症の頻度が高いので慎重な対応が望まれる。

[THA 脱臼調査] 2,515例の術後平均3年の THA 脱臼は 4.2%であった。高齢、男性、関節リウマチ、大腿骨頭壊死症、大腿骨頚部骨折の患者は術後脱臼のリスクが高いので、特に注意を要する。手術に際しては、後側方進入法より、外側進入法(中殿筋不全の頻度が低い Bauer 法や Mallory 法)が推奨される。

[術後長期合併症調査] 平均術後経過観察期間10年の初回 THA618 例中 15%に再手術を要した。耐用性を制限する危険因子は、ソケットに関しては、診断が関節リウマチであること、ソケットの内径が 28mm であること、捻じ込み式(Threaded 型)セメント非使用ソケットの使用であった。大腿骨コンポーネントに関しては、男性患者の耐用性が女性に比べて不良であった。

6. 研究発表

1. 論文発表

1) 小林千益:人工骨頭・人工股関節置換術:合併症予防のコツ. 岩本幸英(監), 久保俊一(編) 股関節外科の要点と盲点. pp272-273, 文光堂, 東京, 2005

2. 学会発表

1) 小林千益、久保俊一、山本卓明、樋口富士男、菅野伸彦、大園健二、進藤裕幸、大橋弘嗣、佛淵孝夫、松本忠美:人工股関節置換術の長期耐用性に関する多施設共同研究.日本整形外科学会学術総会(第78回), 横浜市, 2005

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
   なし
2. 実用新案登録
   なし
3. その他
   なし

8. 参考文献

1) Masonis JL, Bourne RB: Surgical approach, abductor function, and total hip arthroplasty dislocation. Clin Orthop 405: 46-53, 2002
2) Bauer R, Poisel KS, Oberthaler W: The transgluteal approach to the hip joint. Arch Orthop Traumat Surg 95: 47-49, 1979
3) Frndak PA, Mallory TH, Lombardi AV Jr: Translateral surgical approach to the hip: the abductor muscle "split." Clin Orthop 295:

135-141, 1993
4) 小林千益:人工骨頭・人工股関節置換術:合併症予防のコツ. 岩本幸英(監), 久保俊一(編) 股関節外科の要点と盲点. pp272-273, 文光堂, 東京, 2005

三次元 MRI を用いた骨頭回転骨切り術シミュレーション

小山 毅、菅野伸彦、西井 孝、三木秀宣、高尾正樹、花之内健仁、中村宣雄、吉川秀樹
(大阪大学大学院 医学系研究科 器官制御外科学)

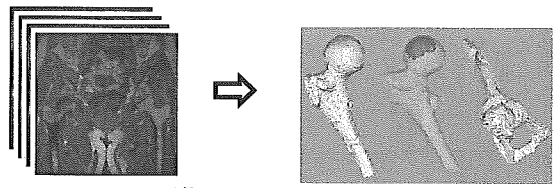
特発性大腿骨頭壊死症(ION)に対し、三次元 MRI 画像から抽出した三次元モデルを用いて骨頭回転骨切り術の手術シミュレーションを行ない、任意の回転・内反の角度に対して術後に予定される荷重部健常率を定量的に評価する方法を考案した。Stage 1-2 の ION のうち Type C1 および C2 それぞれ 20 関節に対し、前方回転 80 度まで、後方回転 150 度まで、内反 20 度までの範囲で手術シミュレーションを行ない、術前後の Type 分類の変化を検討した。骨頭回転と内反の相乗効果により荷重部健常率が改善することが定量的に実証された。術前 Type C2 の場合、内反のみでは術後に Type B には至らず、後方回転 150 度および内反 20 度の組み合わせにより 65%が術後に Type B または A に至った。術前 Type C1 の場合、内反 20 度のみでも 65%が術後に Type B となったが、さらに前方回転 60 度を加えれば 95%が術後に Type B または A に至った。この手法は、術後に予定される荷重部健常率を定量的に評価し、最適な回転・内反の角度を決めるのに有用であった。

1. 研究目的

特発性大腿骨頭壊死症(ION)に対する骨頭回転骨切り術は有効な関節温存手術であるが、症例の適応選択および術前計画が重要である。術後の荷重部健常率が 34%以上あれば成績が良いと報告されているが [1]、これを術前に定量的に評価することは、従来、X 線画像や二次元 MRI 画像では困難であった。また、一般的に骨切り術の術前計画や手術ナビゲーションに用いられている CT 画像は、壊死領域の描出が MRI よりも劣る。そこで、三次元(3D) MR 画像から抽出した 3D モデルを用いて骨頭回転骨切り術のシミュレーションを行なう方法を考案した。そして、術後に予定される荷重部健常率を定量的に評価し、術前後の Type 分類の変化を検討した。

2. 研究方法

1998 年 4 月から 2005 年 5 月までに三次元 spoiled gradient-echo recalled (3D SPGR) MRI [2] を撮影し得た ION のうち、厚生労働省研究班の分類で Type C1 または C2、Stage が 1 または 2 のものを対象とした。このうち Type C1、C2 ともにそれぞれ 20 関節であった。3D SPGR MR 画像は、1.0T の MR 撮影装置にて、スライス厚 1mm、FOV 160mm、マトリックスサイズ 256×256 にて撮影した。DICOM 描画ソフトウェアを用いて MR 画像から大腿骨、壊死領域および臼蓋を抽出し、それらの 3D 表面モデルを作成した(図 1)。



3D SPGR MR 画像　　3D モデル

図 1. 3D SPGR MR 画像からの 3D モデルの抽出

骨頭回転骨切り術シミュレーション(図 2)は、まず、骨頭中心と大腿骨頸部の中心を通るようにして定めた頸部軸を軸として、骨頭回転を前方には 80 度まで、後方には 150 度まで行なった。さらに、骨頭の内反を 20 度まで加えた。手術シミュレーション後の荷重部健常率を股関節正面方向の平面投影像上にて計測し、術後に予定される Type 分類を求めた。術前 Type C1、C2 のそれぞれにおいて、軟部組織の緊張を考慮して、前方回転 60 度、80 度および後方回転 120 度、150 度を行なった場合の Type 分類の分布の変化を、内反をしない場合と 20 度内反を加えた場合とでそれぞれ求めた。

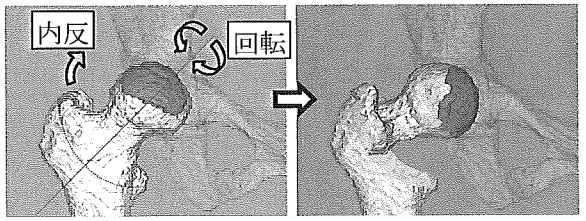
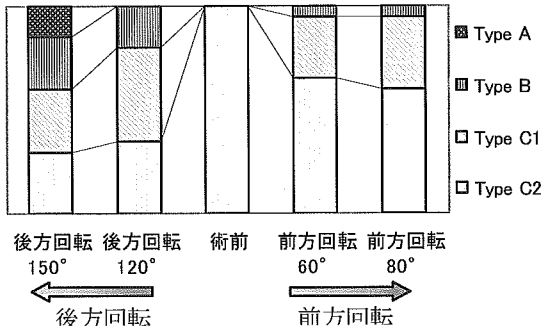


図 2. 骨頭回転骨切り術シミュレーション

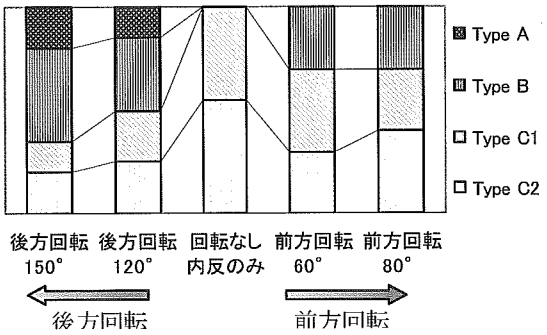
3. 研究結果

(1) 術前 Type C2 の場合

骨頭回転骨切り術シミュレーション前後での Type 分類の分布の変化を図 3 に示す。内反のみでは術後に Type B に至ったものはなく、後方回転 150 度および内反 20 度の組み合わせにより 65%が術後に Type B または A に至った。



内反を加えない場合

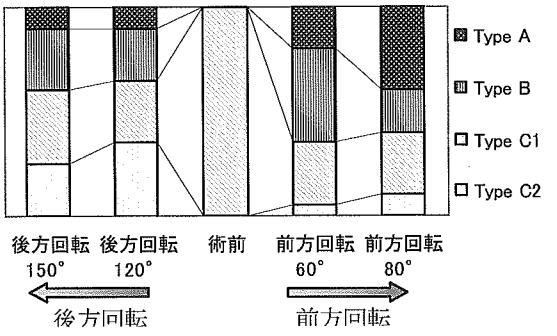


内反 20 度を加えた場合

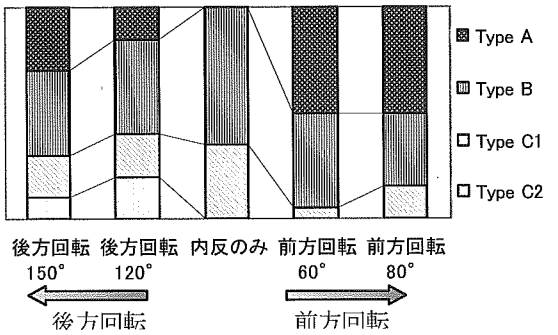
図 3. 術前 Type C2 の場合の Type 分類の変化

(2) 術前 Type C1 の場合

骨頭回転骨切り術シミュレーション前後での Type 分類の分布の変化を図 4 に示す。内反 20 度のみでも 65%が術後に Type B となったが、さらに前方回転 60 度を加えれば 95%が術後に Type B または A に至った。



内反を加えない場合



内反 20 度を加えた場合

図 4. 術前 Type C1 の場合の Type 分類の変化

4. 考察

骨頭回転骨切り術のシミュレーションにより、荷重部健常率は骨頭回転と内反の相乗効果により増大することが定量的に実証された。術前 Type C2 の場合、内反なしで後方回転を行なうよりも、後方回転に内反を加えることにより、術後 Type が A または B となって手術適応となる割合が増加した。術前 Type C1 の場合、内反のみでも手術適応となるものが 65%あったが、これに前方回転を加えれば 95%が手術適応となった。

術前 Type C2 では前方回転よりも後方回転にて荷重部健常率が改善する例が多かったのに対し、術前 Type C1 では後方回転よりも前方回転にて荷重部健常率が改善する例が多かった。これは、壊死領域の局在が、Type C1 では骨頭の前部に位置しているのに対し、Type C2 では、壊死領域全体の重心としては骨頭の後部に位置しているからであると考えられた。

この手法の利点の一つは、3D SPGR MRI を用いたシミュレーションであるため、従来の二次元 MRI 撮影と同様に、患者にとっては単回の 10 分以内の MRI 撮影で済み、負担が比較的少ないことである。一方、この手法の欠点は、3D モデルの抽出を手作業に頼らざるを得ず、その作業に多大な手間と時間が掛かる

ことである。

5. 結論

MRI ベースの骨頭回転骨切り術シミュレーション手法により、任意の骨頭回転および内反の角度において、骨頭回転骨切り術とそれに伴う壊死領域の移動を三次元的に可視化できた。さらに、術後に予定される荷重部健常率の定量的な評価が可能であり、最適な回転・内反の角度を決めることができた。

6. 研究発表

1. 論文発表
   なし
2. 学会発表

1) 小山 毅、菅野 伸彦、西井 孝、三木 秀宣、高尾 正樹、花之内 健仁、吉川 秀樹: MRI による大腿骨頭壊死症に対する回転骨切り術シミュレーション. 第 32 回日本股関節学会、新潟、2005.11.7.
2) 小山 毅、菅野 伸彦、西井 孝、三木 秀宣、高尾 正樹、花之内 健仁、佐藤 嘉伸、田村 進一、吉川 秀樹: MRI を用いた大腿骨頭壊死症に対する骨頭回転骨切り術シミュレーション. 第 14 回日本コンピュータ外科学会、千葉、2005.11.20.

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
   なし
2. 実用新案登録
   なし
3. その他
   なし

8. 参考文献

1) Miyanishi K, Noguchi Y, Yamamoto T, Irisa T, Suenaga E, Jingushi S, Sugioka Y, Iwamoto Y. Prediction of the outcome of transtrochanteric rotational osteotomy for osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Br. 82: 512-6, 2000.
2) Disler DG, Peters TL, Muscoreil SJ, Ratner LM, Wagle WA, Cousins JP, Rifkin MD. Fat-suppressed spoiled GRASS imaging of knee hyaline cartilage: technique optimization and comparison with conventional MR imaging. AJR Am J Roentgenol. 163:887-92, 1994.

ナビゲーションを用いた大腿骨頭回転湾曲骨切り術

菅野伸彦、小山　毅、山梨　渉、西井　孝、三木秀宣、高尾正樹、花之内健仁、中村宣雄、吉川秀樹
(大阪大学大学院 医学系研究科 器官制御外科学)

特発性大腿骨頭壊死症(ION)に対するMRI画像からの骨頭回転骨切り術のシミュレーションに基づき、最適な骨頭回転角度を決定し、更に脚長や前捻を変更せずに内反が加えられる転子間3次元湾曲骨切り術を考案し、ナビゲーションを使用して手術を行った報告をする。症例はステロイド性両側ION の37歳女性で、右股関節の病型TypeC2、病期Stage3Aに対し、大転子切離や腸腰筋を切離せずに転子間で球面と円筒を組み合わせた骨切りを行い、前方80度内反15度を加えAA Hip Plateで固定した。術後3週にて、右下肢の自動挙上や外転が可能となり、術後3ヶ月のX線写真で骨切り部の骨癒合良好で疼痛なく荷重可能となった。

1. 研究目的

特発性大腿骨頭壊死症(ION)は30歳から40歳代の若年者に発症のピークがあり、骨頭圧潰をきたすような予後不良な症例には骨切り術などの骨頭温存治療は重要である。骨切り術を成功させるには、適切な適応選択および手術手技が必要である[1]。われわれは、適切な適応選択のために、MR画像を用いたコンピュータ骨切りシミュレーションを考案し、病型TypeC1およびC2での骨頭回転方向や角度での予後良好な病型TypeAやBへの変更の可能性を定量的に評価できるようにした[2]。その結果から、骨頭を頚部軸周りに回転させるのみならず、内反方向の回転も加味することがより壊死部を非荷重部へ移動させることが明らかとなった。この3次元的な骨頭回転移動を実現するには、骨切りデザインとしても平面よりも曲面の方が脚長や大腿骨頚部前捻の変化を最小限にとどめることができる。更に、大腿骨近位部に付着する筋を温存する骨切りデザインも考案し、これを手術室で確実に手術に反映するために手術ナビゲーションのモジュールを開発し、臨床応用したので報告する。

2. 対象および方法

症例:37歳女性、両股ION
主訴:右股関節痛
職業:主婦
既往歴:2002年6月発症SLE患者で、ステロイドパルス治療1000mg3日連続投与を2クール施行。経口プレドニゾロン1日最大投与量30mgであった。
現病歴:2005年2月より右股関節痛出現し、他院で両側IONと診断され、右大腿骨頭回転骨切り術、左骨髄細胞移植勧められたが、長期療養のため実家のある大阪で手術希望し、当院紹介された。初診時両股関節のX線写真で、右大腿骨頭正面像には帯状硬化像、側面像でCrescent signを認め、Type C2、Stage 3Aと診断した(図1)。側面像での帯状硬化像は一部鮮明ではないが、関節面の後方3分の1は健常部の像を呈した。

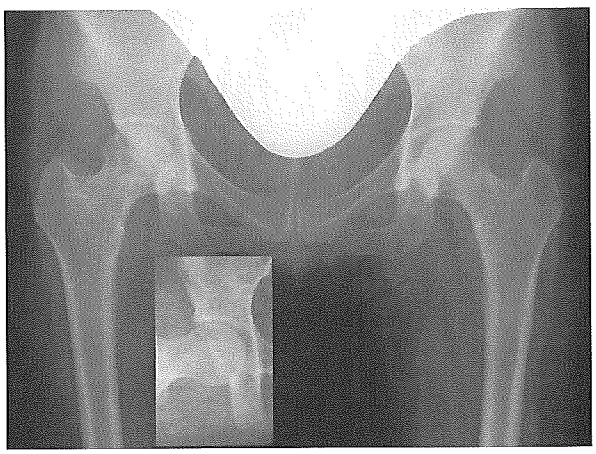


図1. 両股関節正面および右股関節側面X線像

T1強調MR画像では、両側大腿骨頭に帯状低信号像を認め、左股関節はType C1、Stage1であった(図2)。右大腿骨頭には、荷重部軟骨下骨部にも低

信号を認め、圧潰後の変化と思われた。頚部軸を通るAxio-Sagittal断面画像でも、骨頭後方関節面は3分の1が健常部の像を呈し、従来通り、骨頭前方回転骨切り術の適応があるものと思われた(図2)。

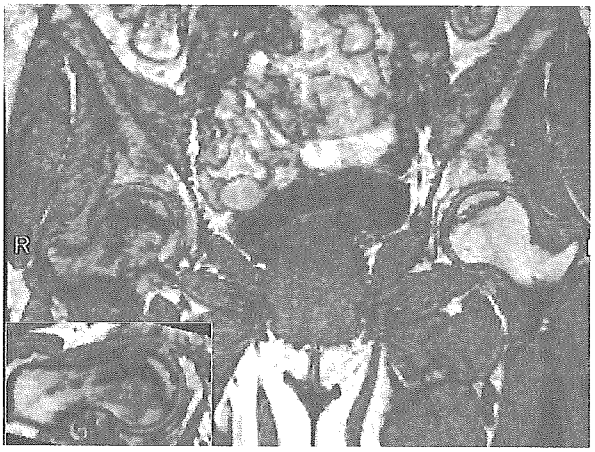


図2. T1強調MR画像

そこで、MR画像データから、骨盤、大腿骨、壊死病変部のコンピュータモデルを作成し、以前にわれわれが考案した回転骨切り術のシミュレーションを行った[1)]。また、頚部軸周りの回転と内反をかけても脚短縮や大腿骨頚部前捻の変化が最小限となる骨切りデザインとして、転子間で球状に骨切りできる大転子から小転子にかけての適切な直径の球を設定し、更に大転子および小転子を温存できる円筒形の骨切りデザインを組み合わせて考案した(図3)。これを実現し、回転後にプレート固定できるように手術進入は小切開前方進入と後側方進入を組み合わせることにした。手術ナビゲーションは、われわれの開発したCTベースのシステムを用い[3)]、骨切りツールは寛骨臼回転骨切り用のものを用いた[4)]。

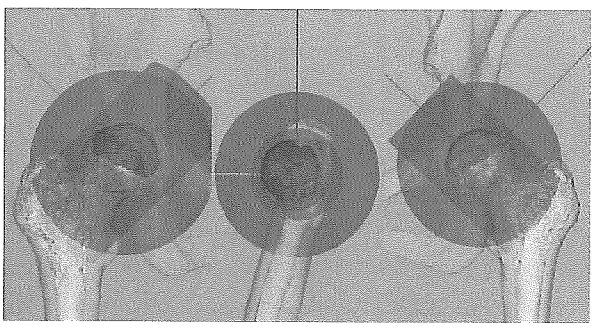


図3. 球面と円筒を組み合わせた骨切りデザイン

3. 研究結果

MR画像データから作成したコンピュータモデルでの骨頭回転骨切りシミュレーションの結果を図4に示す。本症例の場合、後方回転よりも前方回転のほうが、Type C2から少ない回転角度でType Bへと変更可能であった。

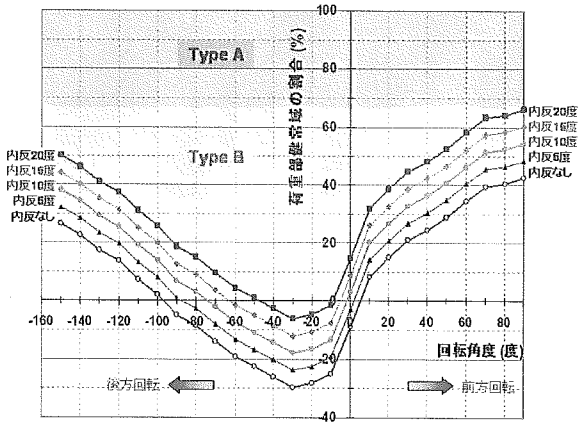


図4. 骨頭回転骨切りシミュレーション

骨頭前方回転60度のみで、TypeBに変更可能であったが、安全のため内反も加え、80度前方回転する方針とした。頚部軸周りに80度前方回転した後、脚短縮しないように骨頭中心周りに内反させ、骨切り部に接触が十分得られるように15内反する計画とした(図5)。

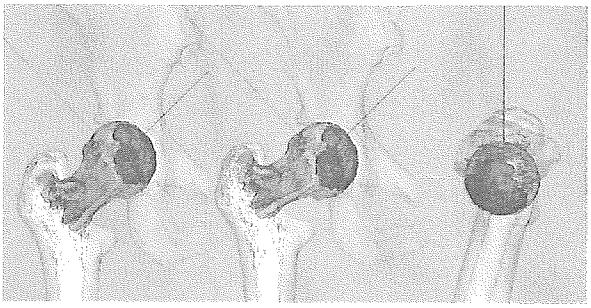


図5. 前方回転80度、内反15度の手術計画

手術は全身麻酔にて、左側臥位とし、OptoTrak使用した阪大式ナビゲーション装置を患者尾側壁面に配備した。大腿骨遠位に経皮的に2.4mmKワイヤー2本を刺入し、創外固定器で赤外線トラッカを装着した。まずは、上前腸骨棘から2cm外側および遠位から遠位に8cmの縦切開を加え、大腿筋膜張筋と縫工筋の間から前方進入で関節包を露出し、臼蓋縁に沿って関節包の前方半分を切開した。次に後側方進入にて外旋筋群を梨状筋から大腿方形筋まで内側大腿回旋動静脈を温存しながら切離し、小殿筋と関節包の間を剥離して後方関節包を露出し、臼蓋縁に沿って関節包の後方半分を切開して関節包を全周性に切開した。大腿骨近位部をナビゲーションのポインターで触知し、表面レジストレーションを行った。ナビゲー

ションでドリルの刃先をトラッキングしながら骨切り線に前方および後方から3mmごとに皮質骨を穿孔し、ノミで骨切りする際に割れないようにミシン目様の皮質骨孔を作成した。次にノミの刃先をトラッキングしながら、前方および後方から骨切り計画通りに転子間で3次元骨切りを行った(図6)。

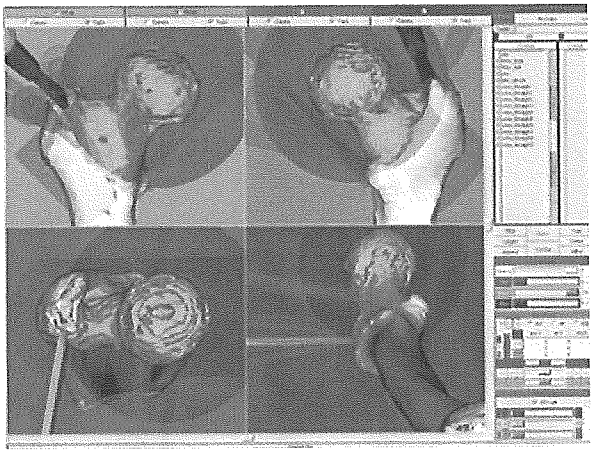


図6. ナビゲーションでの骨ノミのトラッキング像

大腿骨が切り離される前に大腿骨頚部にKワイヤーを2本刺入し、3点でのレジストレーションを行い、大腿骨頭の回転角と位置を計測した。内固定はAA Hip Plateを110度にして固定し、ラグスクリューを1本追加した(図7)。

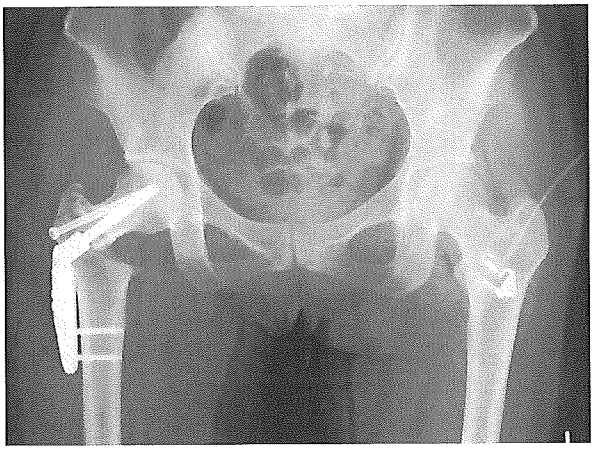


図7. 術後X線写真

術後は、下肢の自動挙上も3週で可能となり、3ヶ月にてX線学的に骨癒合がみられている。

4. 考察

大腿骨頭のIONに対して、コンピュータ支援手術の技術を応用した報告は非常に少なく、本研究のようにMR画像データからの骨切りシミュレーションおよび手術ナビゲーションを組み合わせて実際の臨床で用いられた報告は、本報が最初である。骨切りシミュレーションにおいて、壊死部を非荷重部に効率的に回転移動させる角度を算出し、大腿骨頭中心を中心とした球面と大腿骨頚部軸を中心とした円筒面の組み合わせによる転子間での3次元骨切りは、大転子を切離することなく、また腸腰筋を温存できるので、術後の筋力回復が早く、また骨頭前方回転に内反を加えても脚短縮や大腿骨頚部前捻の変化を最小限にできる。CTベースの手術ナビゲーションを用いることで、立案した手術計画通りに、骨切りを行うことを容易ならしめ、術中にX線コントロールをするよりも3次元的に正確な術具の位置を誘導するのに有効であった。今後、症例数を増加させ、本手法の更なる臨床的安全性と有効性を検討していく予定である。

5. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1) 小山毅、菅野伸彦、西井孝、三木秀宣、高尾正樹、花之内健仁、吉川秀樹:MRIによる大腿骨頭壊死症に対する回転骨切り術シミュレーション. 第32回日本股関節学会、新潟、2005.11.7.
2) 小山毅、菅野伸彦、西井孝、三木秀宣、高尾正樹、花之内健仁、佐藤嘉伸、田村進一、吉川秀樹:MRIを用いた大腿骨頭壊死症に対する骨頭回転骨切り術シミュレーション. 第14回日本コンピュータ外科学会、千葉、2005.11.20.

6. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

7. 参考文献

1) Miyanishi K, Noguchi Y, Yamamoto T, Irisa T, Suenaga E, Jingushi S, Sugioka Y, Iwamoto Y.: Prediction of the outcome of transtrochanteric rotational osteotomy for osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Br. 2000

May;82(4):512-6.

2) Koyama T, Sugano N, Nishii T, et al: MRI-based surgical simulation of the transtrochanteric rotational osteotomy for the femoral head osteonecrosis. In: Lemke HU, et al, editors: Computer Assisted Radiology and Surgery. Amsterdam, Elsevier, 2004. p1300

3) Sugano N, Sasama T, Nakajima Y, Sato Y, Nishii T, Yonenobu K, Tamura S, Ochi T: Accuracy evaluation of surface-based registration methods in computer navigation system for hip surgery performed through a posterolateral approach. Computer Aided Surgery 6: 195-203, 2001.

4) Nakahodo K, Sasama T, Sato Y, et al: Intraoperative update of 3D bone model during computer navigation of pelvic osteotomies using real-time 3D position data. In: Lemke HU, et al, editors: Computer Assisted Radiology and Surgery. Amsterdam, Elsevier, 2000. p252-256.

ラット大腿骨頭壊死症モデルの骨組織再生評価のための マイクロCTによる骨量計測法の開発

徳永邦彦　（新潟大学医歯学総合病院　整形外科）
高野玲子、遠藤直人　（新潟大学大学院医歯学総合研究科　整形外科）
山子　剛、津田貴博　（新潟大学大学院　自然科学研究科）
原　利昭　（新潟大学　工学部）

ラット外傷性大腿骨頭壊死モデルにおける骨再生過程を観察する上で、骨組織の定量評価が必要である。従来の骨形態計測法は、代表的な断面における2次元の組織像での計測であり、その定量性には限界がある。我々は工学用マイクロCTを用いて、濃度が既知の溶液を含有したファントムとラット大腿骨頭壊死モデルの大腿骨頭を同時に撮影し、骨組織の形態変化とともに、石灰化度の定量的評価の妥当性について検討した。

1. 研究目的

我々は、ラット外傷性大腿骨頭壊死モデルとエレクトロポレーションを用いて、壊死部周囲の骨髄細胞に肝細胞成長因子(hepatocyte growth factor、以下HGF)遺伝子の導入を試みてきた[1]が、再生した骨組織の評価は、従来の組織像を用いた2次元での評価にとどまっていた。近年、マイクロCTが開発され、小さな検体の3次元情報を詳細に検討できるようになった。本研究の目的は、工学用マイクロCTを用いて骨組織の3次元構造が把握できるか否かの検討と、石灰化濃度既知のK_2HPO_4溶液を含有したファントムと検体を同時に撮影し、そのCT値から検体の真の石灰化度を3次元的に計測する方法を開発することである。

2. 研究方法

①マイクロCT撮像画像のCT値と組織像の対比:ラットに外傷性大腿骨頭壊死[2][3]を作成後、2、6、12週後に犠牲死させたラット大腿骨頭壊死モデルから採取した大腿骨頭を、一部頚部を含めて工学用マイクロCT(SMX-130CT-SV 島津製作所)を用いてスライス厚31μmで撮影した。得られたCT値を256階調に変換し、骨組織と認識できない60未満をgrade 0、60以上をX線透過性が低い順に等間隔にgrade 1～9を設定した。任意の前額断スライス上で60～255の組織面積を合計で100%とした時の各gradeの占める面積の割合(%)を2次元で検討した(図1)。

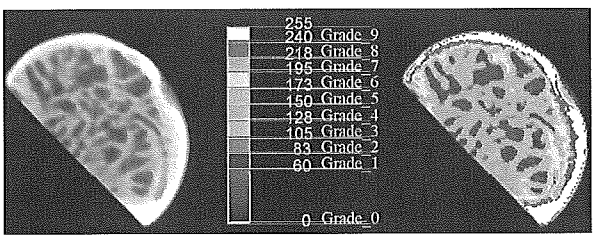


図1

また、各断面を三次元構成し、骨頭全体の体積に対する各gradeの体積の割合(%)を3次元で検討した。

②石灰過度測定用ファントムの作成と精度検定:骨の主要な構成成分であるハイドロキシアパタイトと同じX線減衰係数をもつリン酸カリウム(K_2HPO_4)溶液[4]を含有したアクリル製ファントムを作成した(図2)。

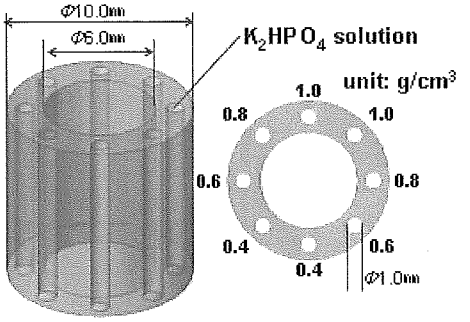


図2

外径 10 mm、内径 6 mm の円筒で、2 mm 厚の壁に直径 1 mm の cell を有し、この cell 内に 4 種類の濃度(0。4、0。6、0。8、1。0 g/cm$^{3)}$の K_2HPO_4 溶液を封入した。X 線管電圧 50 kV、電流 36 mA、Voxel size 19 μm の条件でファントムと検体とを同時に撮影した。断面積の違いによる測定精度を検証するため、直径 2 mm から 6 mm まで段階的な断面積を有する円筒に濃度が既知の K_2HPO_4 溶液を封入した検体(図3)を撮像して、ファントムの石灰化度測定の有用性を検討した。

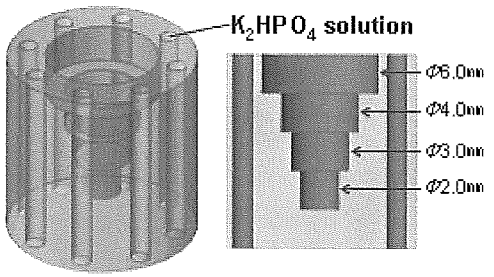
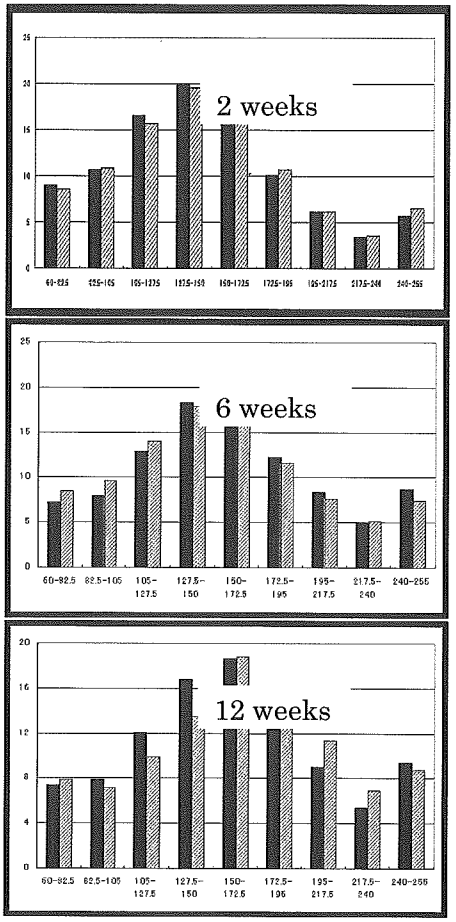


図3

3. 研究結果



① マイクロ CT 撮像画像の CT 値と組織像の対比:

図4

2 次元でのCT値の分布は、大腿骨頭壊死の組織像の経時的変化とは無関係であったが、3 次元でのCT値の分布は、図4に示す通り、壊死作成後 2 週、6 週では有意差がないものの、12 週において grade 6、7 に階層分けした領域で壊死群が高値を示した(黒:コントロール、斜線:壊死モデル)。組織断面と近似した CT 断面を選択し、実際の標本上で対応する組織と比較検討すると、CT 上で grade6、7 に分類された部分は、組織上で線維組織に対応していた。添加骨は壊死骨と同様、黄緑色として認識されており、この手法では既存の壊死骨と新生骨を識別できないことが判明した(図5)。

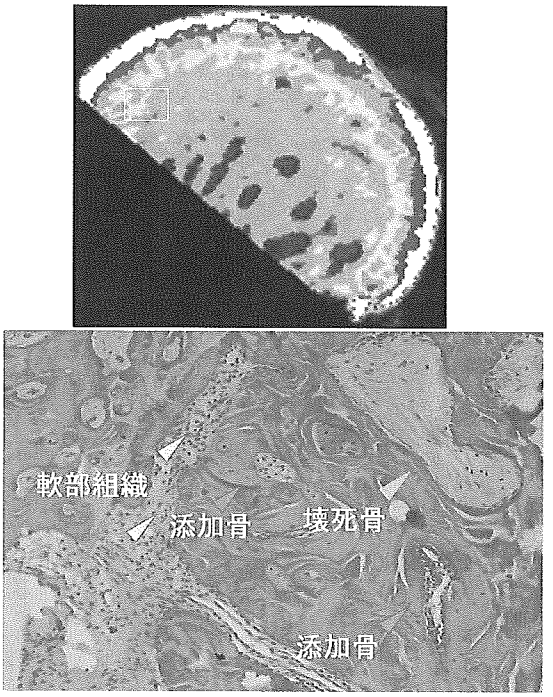


図5

② 石灰化度測定用ファントムの作成と精度検定:階段状に作成した円筒容器の全ての断面積で CT 値と石灰化度の間に線形関係:R2>0。99 が成立した(図6)。

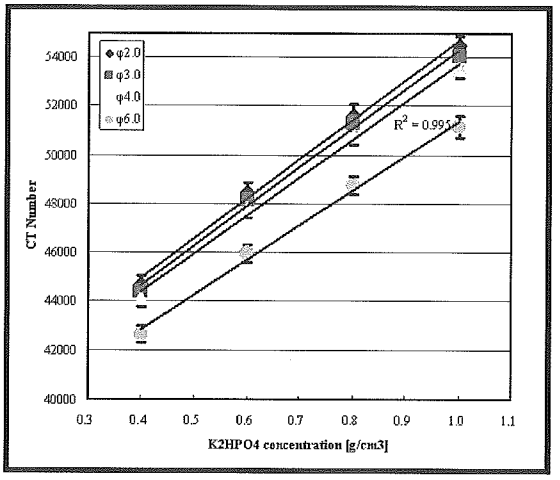


図6

また、ファントムを用いた石灰化度計測の誤差を[校正 DMB 値]-[真の DMB 値]で定義すると (DMB :density of mineralization of bone)、図7に示すように平均誤差は 0.028 g/cm^3 であり、最大誤差は 0.078 g/cm^3 であった。

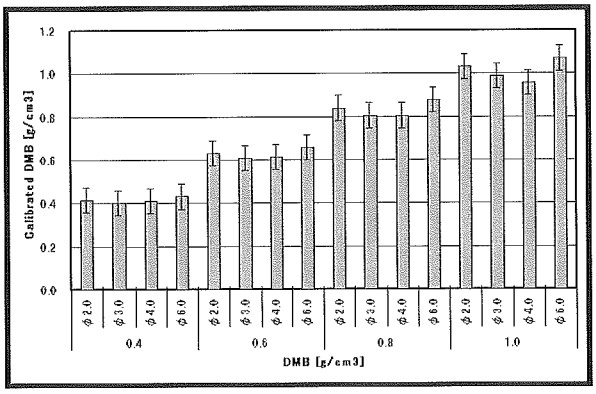


図7

4. 考察

海綿骨の強度は骨量、骨梁構造、及び骨質の3つの因子により決定される。骨質の関与する因子として、骨代謝回転、骨石灰化度、マイクロクラックの蓄積、骨基質特性が挙げられる。中でも骨の石灰化度が力学的強度、材料特性に及ぼす影響は大きい[5][6]。マイクロCT画像によって小動物の骨格の微細な構造を3次元的に把握できるが、同時にX線透過性の違いから 4000 階調の CT 値を得ることができる。我々はこの CT 値から直接骨質の評価が可能かどうか検討したが、スライス厚 31 μmの条件では partial volume effect が生じるため、CT 値を直接扱う方法では骨壊死後に生じる新生骨の評価は不可能であった。 Partial volume effect を抑えるためにも、撮影スライス厚を減らす必要がある。また、石灰化度を単にCT値で表現する手法の定量性は低いと考え、石灰化度が既知のファントムを標本とともに撮影し、その石灰化度とCT値より真の石灰化度を換算するためのファントムを考案した。このファントムを用いた撮影では、濃度既知の K_2HPO_4 溶液を封入した断面積の異なる円柱の全ての断面でCT値と石灰化度との間に線形関係が成立し、断面積の違いによりそれらの傾きと切片に違いが生じることが分かった。従って、断面積毎にCT値を既知の石灰化度で校正することで、試料の石灰化度の3次元的解析が理論上可能であると考えられた。我々が今回開発したファントムの測定誤差は 0.028 g/cm^3 であり、ラット大腿骨頭壊死モデルなどの小動物の実験への応用は可能と考えられる。しかし、壊死後に観察される新生骨の石灰過度が、既存の壊死骨のそれとどの程度違うのかは現時点で不明であり、今後は検出精度の検討が必要である。

5. 結論

マイクロCTを用いた小動物の骨組織の定量的評価法を検討し、骨の石灰化度を計測するための K_2HPO_4 溶液を含有したファントムを考案した。このファントムは、マイクロCTを用いた定量的骨評価に有用と考えられる。

6. 研究発表

1. 論文発表
   なし
2. 学会発表

1) 山子剛, 津田貴博, 高野玲子, 徳永邦彦, 遠藤直人, 原利昭:大腿骨頭壊死による骨壊死後の骨質変性. 第32回 日本臨床バイオメカにクス学会、北海道、2005.10.29.

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
   なし
2. 実用新案登録
   なし
3. その他
   なし

8. 参考文献

1) 伊藤知之, 他, ラット大腿骨頭壊死症モデルにおける遺伝子治療の試み. 別冊整形外科 48: 60-63, 2005.
2) Norman, D., et al., Vascular deprivation-induced necrosis of the femoral head of the rat. An experimental model of avascular osteonecrosis in skeletally immature individual of Legg-Perthes disease, *International Journal of Experimental Pathology*, Vol.79: 173-181, 1998.
3) Boss JH., Misselivich, I., Animal model osteonecrosis of the femoral head of laboratory animals: The lessons learned from a comparative study of osteonecrosis in man and experimental animals, *Veterinary pathology*, Vol.40: 345-354, 2003

4) Nuzzo, S., et al., Quantification of the degree of mineralization of bone in three dimensions using synchrotron radiation microtomography, *Medical physics*, Vol.29(11): 2672-2681, 2002.
5) Van der Linden, JC., et al., Trabecular bone's mechanical properties are affected by its non-uniform mineral distribution, *Journal of Biomechanics*, Vol.34: 1573-1580, 2001.
6) Follet, H., et al., The degree of mineralization is a determinant of bone strength: a study on human calcanei, *Bone*, Vol.34: 783-789, 2004.

CD34 陽性骨髄単核細胞による血管新生と骨形成

安原愼治、久留隆史、寺山弘志、越智光夫　(広島大学大学院医歯薬総合研究科整形外科学)
安永裕司　(広島大学大学院医歯薬総合研究科人工関節・生体材料学)
田畑泰彦　(京都大学再生医科学研究所)

我々は骨髄より骨髄単核球細胞(BMMNCs)を採取し、bFGF と混合してアテロコラーゲンゲル(Col)に包埋後、骨欠損部に移植し血管新生および骨形成が誘導されることを平成 16 年度本会議にて報告した[1)]。また BMMNCs より分離した CD34 陽性細胞中の 18%が血管内皮様細胞であったと報告[2, 3)]があり、我々は骨髄から BMMNCs を採取し、CD34 陽性細胞を分離移植することで血管新生が促進され、後に続く骨新生もより早期に促進する可能性があると考え以下の研究を行った。

1. 研究目的

BMMNCs を CD34 陽性および陰性細胞に分離し bFGF を加えて家兎の骨欠損部に移植し血管形成と後に続く骨形成を検討した。

2. 研究方法

日本白色家兎の腸骨より骨髄液を 10ml 採取し、BMMNCs を Ficoll 法にて抽出した[4, 5, 6)]。さらに磁気細胞分離システムを用いて CD34 陽性細胞と CD34 陰性細胞に分離した。それらの細胞をゼラチン粒子により徐放化させた 10 μg の bFGF gelatin microspheres[7)]と溶解し Col に混和した後、家兎大腿骨内顆に作成した直径 6mm×深さ 7mm の骨欠損部に移植した。Col+bFGF+BMMNCs (5×10^6 cells) [BMMNC 群]、Col+bFGF+ CD34 陽性細胞(5×10^4 cells)[CD34 陽性群]、Col+bFGF+ CD34 陰性細胞 (4.5×10^6 cells) [CD34 陰性群]、Col+bFGF[bFGF 群]の 4 群を作成し、移植後2,4,8週で屠殺し血管新生と骨新生を評価した。

3. 研究結果

移植後2週にて BMMNC 群 17.4±1.7 (mean±SD)、CD34 陽性群 15.8±1.2(mean±SD)、CD34 陰性群 10.5±2.5(mean±SD)、bFGF 群では 7.5±1.3(mean±SD)であった。CD^{34} 陽性群・BMMNC 群は CD^{34} 陰性群・bFGF 群と比較して有意に血管新生の増加を認めた。(図 1)

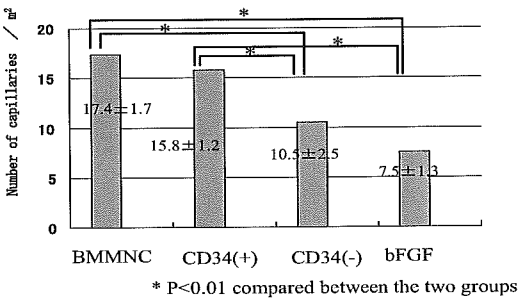


図1: Capillary density at implanted sites two weeks after implantation

移植後4週と8週で各群の骨新生率を計算した。BMMNC 群:27.5±14.2(%) ,59.6±7.1(%) ,CD34 陽性群は:26.4±6.6(%) ,40.3± 8.7(%) ,CD34 陰性群は:20.7± 3.1(%), 38.0± 7.4(%) ,bFGF 群は:6.2± 4.1(%),11.9± 2.9(%) であった。移植後4週にて CD^{34} 陽性群・BMMNC 群は bFGF 群と比較して有意に骨形成の増加を認めた。移植後 8 週にて CD34 陽性群・BMMNC 群・ CD34 陰性群は bFGF 群と比較して有意に骨形成の増加を認めた。特に BMMNC 群は CD34 陽性群・CD34 陰性群と比較して有意に骨形成の増加を認めた。(図 2,3, 4)

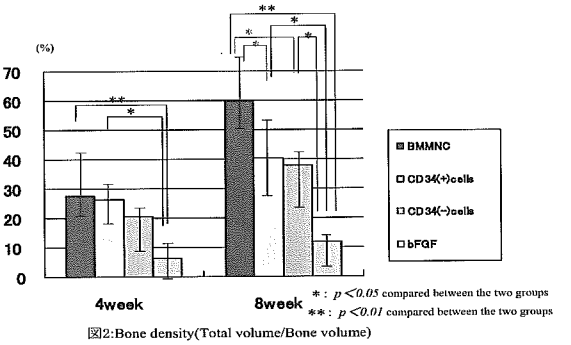


図2:Bone density(Total volume/Bone volume)

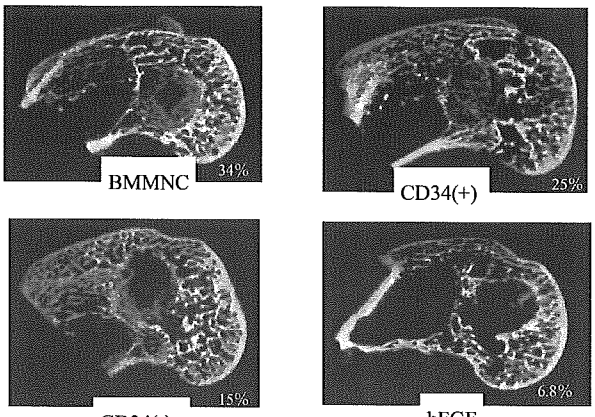


図3：4週

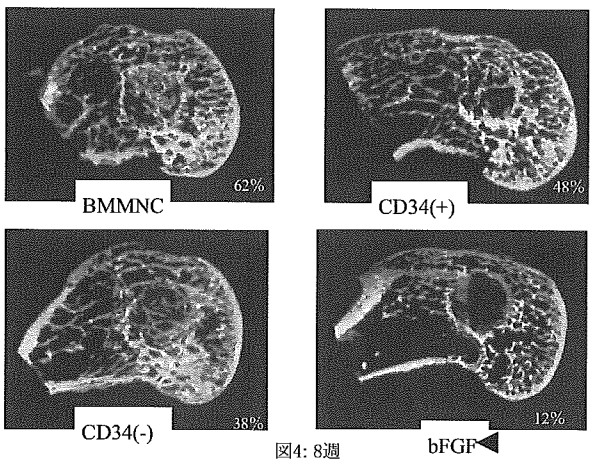


図4：8週

4. 考察

今回のデータでは CD34 陽性細胞群および BMMNC 群で血管新生を促進した。一方、骨形成においては BMMNC 群で高い骨形成を示していた。このことは、骨髄単核球中に含まれる細胞が骨形成の促進に関与していることが示唆され、骨髄単核球により血管新生を介した骨形成を十分期待できると考えられる。以上より、骨形成を目的とした臨床応用を考慮した際には細胞の純化を省略できると考えられる。1999 年に Pittenger ら[4]が骨髄細胞中の多分化能を持つ間葉系幹細胞の存在が報告されて以来、骨新生、骨形成において重要な細胞ソースとして利用されている。一方、血管学の領域において Yuyama ら[2]は BMMNCs を末梢虚血部に移植することにより虚血が改善され、これが CD34 陽性細胞に含まれる血管内皮前駆細胞と CD34 陰性細胞に含まれる多くの血管増殖因子の供給によるものと報告している[6, 8]。整形外科領域において Gangii ら[9]は血行不全がその病態とされる大腿骨頭壊死症に対し骨壊死部に BMMNCs を移植し骨頭の圧壊を回避でき良好な成績を報告しており、今後、血管新生を介した骨形成を目標とした様々な細胞治療法が開発されることが期待される。

5. 結論

CD34 陽性細胞と骨髄単核細胞の血管新生に有意差を認めなかったが、骨形成では骨髄単核細胞の方が CD34 陽性細胞と比較して有意に骨形成を促進した。

6. 研究発表

1. 論文発表
   なし
2. 学会発表
   安原 慎治 安永 裕司 久留 隆史 田畑泰彦 越智光夫：CD34 陽性骨髄単核球細胞による血管新生と骨形成、第20回 日本整形外科基礎学術集会、伊勢 2005.10.19-20

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
   なし
2. 実用新案登録
   なし
3. その他
   なし

8. 参考文献

1) Hisatome T ,Yuji Yasunaga, Mitsuo Ochi et al. Neovascularization and bone regeneration by implantation of autologous bone marrow mononuclear cells. Biomaterials, 2005 Aug;26(22):4550-6
2) Tateishi-Yuyama E,Matsubara H,Murohara T,Ikeda U,Shintani S et al. Therapeutic anigogenesis for patients with limb ischaemia by autologous transplantation of bone-marrow cells.A pilot study and a randomized controlled trial.The Lancet 2002;360:427-435
3) Asahara T,Murohara T,Sullivan A,Silver M et al.Isolation of putative progenitor endothelial cells for angiogenesis.Science 1997;275:964-967