

学位論文

仰臥位前方アプローチの人工股関節置換術における
CT-based navigation 使用での cup 設置精度

氏名 松木 佑太

所属 山口大学大学院医学系研究科
整形外科学

令和4年11月

目次

1. 要旨	3
2. 研究の背景	4
3. 目的	5
4. 方法	
(1) 対象	5
(2) 方法	6
(3) 解析	7
5. 結果	7
6. 考察	8
7. 結語	10
8. 謝辞	10
9. 参考文献	10

1. 要旨

人工股関節全置換術 (Total hip arthroplasty, 以下 THA) においてカップ設置角度、カップ設置位置は脱臼の予防、外転筋レバーアームの再建、腸腰筋インピンジメント予防などの点で重要性はますます高くなっている。これまで後方アプローチでの Computed Tomography (CT)-based navigation 使用による cup 設置の正確性に関する報告は多数あるが、仰臥位前方アプローチ (Direct anterior approach, 以下 DAA) での報告は少なく、また術中イメージを使用した設置精度との比較をした報告はない。今回 DAA での THA における CT-based navigation を使用したカップ設置精度を検討した。DAA による THA を施行した 156 例 171 股における、カップ設置精度について、術中 mechanical cup alignment guide 使用群 (MG 群 63 股)、術中 fluoroscopy 使用群 (FS 群 58 股)、CT-based navigation 使用群 (CTN 群 50 股) の 3 群について比較した。検討項目は、Lewinneck の safe zone 内のカップ設置割合 (%)、カップ外転角 (radiographic inclination, 以下 RI)、カップ前捻角 (radiographic anteversion, 以下 RA)、カップの骨頭中心位置 (上下、前後、内外) に関して、術前計画と術後設置角度、位置を比較し、その絶対値誤差をそれぞれ 3 群にて検討した。術後 2 週で全例 CT 検査を実施し、三次元解析ソフトにて誤差を抽出した。Lewinneck の safe zone 内の設置割合は、MG 群 80.9% (55/63)、FS 群 81% (47/58)、CTN 群 100% (50/50) で、CTN 群は MG 群 ($p=0.005$)、FS 群 ($p=0.005$) よりも有意に高かった。RI は MG 群 $4.4 \pm 3.2^\circ$ 、FS 群 $3.6 \pm 3.1^\circ$ 、CTN 群 $2.8 \pm 2.5^\circ$ であり、CTN 群は MG 群 ($p=0.01$) よりも有意に誤差が小さかった。RA は MG 群 $5.8 \pm 4.7^\circ$ 、FS 群 $4.8 \pm 4.1^\circ$ 、CTN 群 $2.8 \pm 1.9^\circ$ で、CTN 群は MG 群 ($p=0.0001$)、FS 群 ($p=0.02$) より有意に誤差が小さかった。RI、RA に対して絶対値誤差 3° 以上を outlier とし各群間で比較した。RI について MG 群 63.5% (40/63)、FS 群 43.1% (25/58)、CTN 群 36% (18/50) で、CTN 群は MG 群 ($p=0.03$) より有意に outlier が少なかった。RA について、MG 群 66.7% (42/63)、FS 群 58.6% (34/58)、CTN 群 48% (24/50) で CTN 群は MG 群 ($p=0.04$) よりも有意に outlier が少なかった。カップの骨頭中心座標 (内外:X 軸、前後:Y 軸、上下:Z 軸) については、X 軸、Y 軸では 3 群とも有意差は認めなかった。しかし Z 軸では MG 群 $3.3 \pm 3.2\text{mm}$ 、FS 群 $3.2 \pm 3.0\text{mm}$ 、CTN 群 $1.8 \pm 1.4\text{mm}$ で、CTN 群が MG 群 ($p=0.02$)、FS 群 ($p=0.007$) に対して有意に誤差が少なかった。絶対値誤差より 2mm 以上を outlier とし各群間で比較を行った。X 軸、Y 軸において有意差は認められなかった。一方 Z 軸に関しては CTN 群が MG 群 ($p=0.03$)、FS 群 ($p=0.04$) よりも有意に outlier が少なかった。今回の結果から、DAA での THA において、CT-based Navigation 使用することで mechanical cup alignment guide 使用や、fluoroscopy を使用するよりもカップ設置精度が向上し、有用であることが確認された。

2. 研究の背景

近年、変形性股関節症に対する THA は、手術技術の向上や implant の進歩に伴い、良好な術後長期成績が示されている(1)。また THA 後の患者満足度は整形外科手術の中で最も高いと言われている(2)。一方で、頻度は低いものの THA 術後の脱臼、人工関節感染、ステム周囲骨折などの合併症が問題とされている(3、4)。中でも THA 後の脱臼率は 0.8~4.7%と報告され(5、6、7)、初回脱臼後の再脱臼率は 10.3~60.4%で、15.9%が頻回脱臼に移行すると言われており(8)、再置換術の理由としても上位を占めている。このように THA 後の脱臼は、患者にとって ADL、QOL を低下させる非常に重篤な合併症である。

THA 後の脱臼の因子に関しては、インプラントの設置角度不良、小さな骨頭径、軟部組織の緊張低下など様々な因子が報告されている(9)。カップの設置角度について Lewinneck らは RI30~50° , RA5~25° に設置することで脱臼を防ぐことができると報告した(10)。しかし近年、この Lewinneck の safe zone 内の設置角度であっても脱臼する例が見られ、Danoff らは許容範囲を RI41.4°、RA 17.1° を中心とした、半径が 4.3° の円の範囲とより狭く定義した sweet spot safe zone を報告し、カップ設置角度の重要性を指摘している(11)。脱臼は骨やインプラントがインピンジメントすることで起こるため、このようなカップ設置角度は非常に重要な要素である。また近年、インプラントインピンジメントによる脱臼を防ぐために、寛骨臼側のカップ前捻と大腿骨側のステム前捻の合計を規定する combined anteversion theory の有用性が報告されている(12)。THA において骨頭中心位置を正確に再現することで、股関節の安定性が向上するとされ、脱臼を予防するためにはモーメントアーム、外転筋力の維持も重要とされている(13)。その他、腸腰筋インピンジメントが THA 後の合併症として注目されており、単純 X 線正面像(14)や 3D-CT(15)でのカップの臼蓋縁からはみ出しやカップ前捻が要因として挙げられている。これらの合併症を予防するため、理想的で正確なカップ設置の重要性はますます高まっている。

カップを理想的で正確に設置するためにはこれまで様々な工夫がなされてきた。手術体位について、カップ設置精度にも影響すると指摘されており、側臥位で行う後外側アプローチ(Posterolateral approach、以下 PL approach)などの後方アプローチより、仰臥位で行う前方アプローチ(Direct anterior approach、以下 DAA)、前外側アプローチ(Anterolateral approach)などの前方アプローチの方が、骨盤の角度が安定し、術中の骨盤の傾きも少ないため、カップの設置精度には有利との報告がある(16)。カップ設置の方法について、カップホルダーに mechanical cup alignment guide を装着してカップを打ち込む方法や(17)、術中イメージを使用して設置角度を確認する方法(18)、Navigation system を使用する方法(19)などが挙げられ、それぞれ有用性が報告されている。側臥位、PL approach での Navigation system を使用したカップ設置精度について、Tsutsui らは CT-based navigation の有用性を報告している(20)。また、

骨頭中心の 3 次元的位置においても、CT-based navigation は術前計画と術後設置位置の誤差が少なく、良好な結果であったと報告されている(21)。Navigation system は CT-based、fluoroscopic、imageless の 3 つのタイプに分けられ、その中でも CT-based navigation を使用することで最も正確に implant を設置することができるとの報告がある(19)。また、CT-based navigation において、術前 CT データと術中の骨盤をマッチングさせるレジストレーションの方法は paired-point matching、2D-3D matching、surface matching の 3 つに大別され(19)、これらの要因もカップ設置精度に関わってくるかもしれない。

Navigation system 使用での DAA THA について、imageless navigation や fluoroscopic based navigation を使用した、DAA THA におけるカップ設置精度は正確という報告は多いが(22、23)、CT-based navigation での報告は少数である(24)。また、術中イメージを使用した方法と CT-based navigation を使用した方法を直接比較した報告はなく、仰臥位でイメージ使用群と CT-based navigation とのカップ設置精度に違いがあるかは、まだわかっていない。

3. 目的

DAA にて行った THA において、従来の mechanical cup alignment guide を使用した群(MG 群)、術中イメージ使用した群(fluoroscopy、FS 群)、CT-based navigation (surface matching)を使用した群(CTN 群)の 3 群にて、①カップの Lewinneck の safe zone 内への設置割合、②術前計画と術後設置におけるカップの外転角、前捻角、3 次元骨頭中心の絶対値誤差、③カップ設置角度、位置における outlier の割合について検討した。

4. 方法

(1) 対象

当院にて 2014 年 1 月から 2020 年 6 月の間に、primary THA を行った 304 例 340 股のうち、仰臥位、DAA による初回 THA を行った 220 例 236 股を対象とした。そのうち、術前術後のデータが確認できなかった 15 例と適切なデータが確認できなかった 50 例を除いた、156 例 171 股を解析の対象とした。男性 45 例 47 股、女性 111 例 124 股、手術時の平均年齢は 65.4 ± 12.6 歳(20-86 歳)であった。原疾患は変形性股関節症 142 股、大腿骨頭壊死 22 股、関節リウマチ 3 股、急速破壊型股関節症 2 股、外傷性股関節症 2 股であった。カップは半球形状である PINNACLE (DePuy Synthes, Warsaw, IN) 115 股、SQRUM (Kyocera, Kyoto, Japan) 24 股、R3 (Smith & Nephew, Memphis, TN) 19 股、Trident (Stryker, Michigan, USA) 13 股の 4 種類を対象機種とした。骨頭径は 28mm が 41 例、32mm が 100 例、36mm が 30 例であった。2014 年～2017 年に行った 60 例 63 股は mechanical cup alignment guide を使用した

free hand technique にてカップを設置した(MG 群)。また 2017 年～2019 年に行った 54 例 58 股は術中イメージを使用してカップを設置した(FS 群)。2019 年 5 月以降に行った 42 例 50 股では CT-based navigation を用いてカップを設置した(CTN 群)。それぞれの群における年齢、性別、疾患、BMI は 3 群で有意差を認めなかった(Table 1)。

(2) 方法

術前計画は、すべての群において、三次元解析ソフト Zedhip (LEXI, Tokyo, Japan) にて CT データを基に作成した。仰臥位で、両下肢は安楽な姿勢で、骨盤から足部まで、Aquilion Precision system (Toshiba Medical System, Tokyo, Japan) による helical CT にて撮像した。Helical 1mm CT sections にて再構成されたデータを基に計画を作成した。骨盤には Functional pelvic plane (FPP) 基準を用いてカップの設置計画を行った。すべての群における基本的な目標設置角度は、Radiographic で、 $RI40^\circ$ 、 $RA15^\circ$ とした。CTN 群は ZedHip で術前計画を行った後、同様の設置角度、位置を CT-based navigation system (CT Hip 1.1, Stryker, Mahwah, NJ) で再現し作成した。

手術は、DAA にて手術を行っている 2 人の senior doctor (I.T, T.A) が行った。MG 群におけるカップ設置は、Saxler らの報告と同様に、 RI 、 RA ともに目標設置角度に設定された mechanical cup alignment guide をカップインパクトに接続し、その角度を参考に設置した(17)。寛骨臼前縁とカップ前縁の距離、寛骨臼後縁とカップ後縁の距離、涙痕下端からカップ下縁の距離、寛骨臼外側からカップ外側縁までの距離を計測し、術前計画を参考にカップを設置した。FS 群においては、まず術前に、イメージにて両側の閉鎖孔が同様に見えるよう骨盤の回旋を調節し、40 度に曲げて作成した Kirschner 鋼線 (Fig1) をイメージにて涙痕間線に一致するように設置した後に、Kirschner 鋼線とカップの赤道面 (an equatorial plane) が平行になることを目標に、寛骨臼をリーミング (掘削) し、カップを設置した。前捻角は、3 次元テンプレートによる術前計画と同様の見え方となるようにイメージにて調整し、かつ前壁、後壁とカップ辺縁の距離を参考にした。CTN 群は、まず健側の腸骨稜にリファレンスとなる tracker を設置し、次に画像と患者位置をマッチングさせるために、ポインターにて関節外の骨盤表面を registration し、surface matching を行い、最小 2 乗法での誤差が 1mm 未満であることを確認した。Navigation system に従い臼蓋をリーミングし、トライアルカップを設置。その後目標設置角度にてカップを設置した (Fig2)。全例術後 2 週で CT 撮像を行い、三次元解析ソフト ZedHip にて誤差を測定した。術前使用した 3D テンプレートの座標を使用し、術後データの参照点を FPP 基準にてマッチングさせ、実際に設置されたカップデータを反映させることで、カップの設置角度と位置を測定し、絶対値誤差を計算した。カップの骨頭中心位置に関しては、 X 、 Y 、 Z 軸にて定義した。 X 軸は両

上前腸骨棘を結んだ軸とし、Z軸はX軸に垂直で、FPPに平行な、恥骨結合を通る軸とした。Y軸はZ軸に垂直な矢状面での軸とした。

検討項目はLewinneckのsafe zone(外転角30-50°、前捻角5-25°)内へのカップの設置割合、カップのRI、RA、カップ骨頭中心位置(X軸、Y軸、Z軸)における術前計画と術後実測値の絶対値誤差を、MG群、FS群、CTN群にて比較検討した。カップ設置精度に関して、絶対値誤差が3°以内の設置が重要だという報告があり(26)、これらに準じて、RI、RAの設置誤差が3°以上をoutlierとし、3群間にて検討した。また、カップ骨頭中心の位置に関して、絶対値誤差が2mm以内の設置の報告があり(20)、これらに準じて3群間におけるカップ設置誤差が2mm以上をoutlierとし、3群間にて検討した。

(3) 解析

Lewinneckのsafe zone内へのカップ設置割合をFisher's exact testにて検討した。カップ設置におけるRI、RA、カップ骨頭中心位置の、術前計画と術後結果の絶対値誤差の、3群間の比較をone way ANOVA、post hoc analysisをTurkey-Kramer testにて行った。3°以上のRI、RAの設置誤差の割合を3群間にてFisher's exact testで検討した。また、2mm以上のカップ骨頭中心の絶対値誤差の、3群間での割合に対してFisher's exact testにて検討した。p valueが0.05以下にて有意差ありとした。すべての統計はJMP Software(version 14.0, SAS Institute, Cray, NC, USA)にて行った。G*Power(version 3.1, Heinrich Heine Universität, Düsseldorf, Germany)によるPower analysisはone way ANOVAにて、alpha 0.05、power 0.8、Sample size 156以上にてeffect size fは0.25であることを確認した。

5. 結果

Lewinneckのsafe zone内へのカップ設置の割合は、MG群で84.1%(51/63)、FS群で80%(47/58)、CTN群で100%(50/50)であった。CTN群がMG群(p=0.005)、FS群(p=0.005)と比較し有意にsafe zone内にカップ設置されていた。

RIにおける術前計画角度と術後設置角度の絶対値誤差は、MG群で $4.4 \pm 3.2^\circ$ 、FS群 $3.6 \pm 3.1^\circ$ 、CTN群 $2.8 \pm 2.5^\circ$ で、MG群に対して、CTN群(p=0.01)が有意に誤差の小さい結果であった(Fig3)。一方で、MG群とFS群、FS群とCTN群に有意差を認めなかった。RAにおける絶対値誤差は、MG群で $5.8 \pm 4.7^\circ$ 、FS群で $4.8 \pm 4.1^\circ$ 、CTN群で $2.8 \pm 1.9^\circ$ で、CTN群がMG群(p=0.0001)、FS群(p=0.02)に対して有意に絶対値誤差が小さかった(Fig4)。一方でMG群とFS群には有意差を認めなかった。

カップ骨頭中心の術前計画からの絶対値誤差に関して、X軸はMG群 $2.4 \pm 2.1\text{mm}$ 、FS群 $1.8 \pm 1.6\text{mm}$ 、CTN群 $2.1 \pm 1.7\text{mm}$ で有意差を認めなかった(Fig5A)。Y

軸は MG 群 $1.9 \pm 1.6\text{mm}$ 、FS 群 $1.9 \pm 1.6\text{mm}$ 、CTN 群 $1.7 \pm 1.4\text{mm}$ で、3 群間に有意差は認めなかった(Fig5B)。Z 軸は MG 群 $3.3 \pm 3.2\text{mm}$ 、FS 群 $3.2 \pm 3.0\text{mm}$ 、CTN 群 $1.8 \pm 1.4\text{mm}$ で CTN 群が MG 群 ($p=0.007$)、FS 群 ($p=0.02$) に対して有意に絶対値誤差が小さかった(Fig5C)。

outlier の割合に関しても CTN 群が有意に少なかった。絶対値誤差が 3° 以上の outlier の割合は、RI については MG 群 63.5% (40/63)、FS 群 43.1% (25/58)、CTN 群 36% (18/50) で、CTN 群が MG 群 ($p=0.004$) より有意に outlier が少なかった。また FS 群も、MG 群 ($p=0.03$) より有意に outlier が少なかった。RA については、MG 群 66.7% (42/63)、FS 群 58.6% (34/58)、CTN 群 48% (24/50) で、CTN 群が MG 群 ($p=0.04$) に対して有意に outlier が少なかった。

カップ骨頭中心の絶対値誤差が 2mm 以上の outlier の割合は、X 軸は MG 群 49.2% (31/63)、FS 群 32.8% (19/58)、CTN 群 40% (20/50) で各群間に有意差は認めなかった。Y 軸は MG 群 34.9% (22/63)、FS 群 41.4% (24/58)、CTN 群 26% (13/50) で、3 群間に有意差は認めなかった。Z 軸は MG 群 52.4% (33/63)、FS 群 51.7% (30/58)、CTN 群 32% (16/50) で、CTN 群が MG 群 ($p=0.03$)、FS 群 ($p=0.04$) より有意に outlier が少なかった。

術後合併症について 3 群全てで、脱臼 0 例、腸腰筋インピンジメント 0 例、術中骨折 2 例(MG 群 1 例、FS 群 1 例。いずれも保存加療)、ステム周囲骨折 1 例(FS 群)、表層感染 1 例(CTN 群)であった。

6. 考察

仰臥位による DAA THA において、imageless navigation や fluoroscopic based navigation を使用したカップ設置精度は報告されており (Table 3)、mechanical cup alignment guide の使用よりも、正確なカップ設置が可能と報告されている (22、23)。しかし、CT-based navigation を使用した報告は少なく (24)、また DAA において術中 mechanical cup alignment guide 使用、術中イメージ使用と CT-based navigation の使用を比較した報告はない。今回の検討にて、mechanical cup alignment guide を使用する方法と比較し、CT-based navigation を使用することで、RI、RA や 3 次元的なカップ骨頭中心の位置を術前計画と比較して正確に再現することができることが確認された。また、術中イメージ使用との比較では RA の絶対値誤差に有意差を認め、カップ骨頭中心の Z 軸にて有意差を認めた。CT-based navigation 群で有意に設置誤差が少なく、正確な設置を可能とした。これまでは、側臥位でのアライメントガイド使用と navigation system 使用との比較における navigation system の有用性の報告はあるが (25)、仰臥位での、mechanical cup alignment guide 使用、イメージ使用と CT-based Navigation を比較したのは初めての報告である。

Limitation はまず症例数が少ない点である。しかし、power analysis にて $f=0.18$ であり、十分な sample size と考えている。次に期間によって手術方法を変えており、randomized control study ではない点で、learning curve に影響する可能性は否定できない。最後に 4 種類の cup を使用している点が挙げられる。しかし、cup の形状は同様の半球タイプであり、それぞれのインプラント間にて検討したが、有意差は認めなかったため、結果に影響しないと考える。また今回は大腿骨の stem 前捻や combined anteversion を検討していない。あくまでカップ角度、位置の正確性を評価することが目的であるため、評価項目としなかった。

DAA THA において CT-based navigation を使用することでアライメントガイド使用や、イメージ使用よりも正確な角度でカップ設置が可能であった。cup 設置を正確に行うことは、術後脱臼を予防するために重要である(8)。そのために、各々様々な tool を使用することで、カップ設置精度が向上するという報告がある(19)。仰臥位 DAA による THA において、術中イメージの使用は、mechanical cup alignment guide 使用でのカップ設置と比較し、設置精度を向上させるとの報告がある(18)。James らは、術中イメージ使用し、閉鎖孔などの形態学的な特徴をマッチングさせることで、正確にカップを設置できると報告している(18)。本症例では MG 群と FS 群において、RI、RA の絶対値誤差に有意差を認めなかったものの、RI の outlier は FS 群において有意に少なかった。これまでの報告と同様であった。側臥位、PL approach での CT-based navigation を使用した cup 設置精度について、Tsutsui らは術前計画と術後設置角度の絶対値誤差が、RI $1.5^{\circ} \pm 1.3^{\circ}$ 以内、RA $2.1 \pm 1.8^{\circ}$ 以内であり、non navigation system 群と比較し、良好な結果であったと報告している(20)。本検討でも CTN 群は、MG 群と比べて RI、RA ともに有意に誤差が少なく、設置精度は正確であった。さらに、CTN 群は、FS 群との比較において、RI の絶対値誤差に有意差は認めなかったものの、RA では有意差を認め、誤差が少なかった。DAA による THA の cup 設置精度において、CT-based navigation の有用性は少数ながら報告されている(24)。しかし本研究のように、イメージ使用との比較は報告がなく、初めてである。

Cup 骨頭中心位置に関する本検討では、術中 mechanical cup alignment guide 使用、術中イメージ使用と比較し、CT-based navigation を使用することで、カップの術前計画と術後設置の、X 軸、Y 軸に有意差は認めないものの、Z 軸において有意に正確に設置することができた。カップ骨頭中心位置を正確に再現することは、外転筋力、モーメントアームの維持に重要と報告されている(12)。CT-based navigation を使用したカップ骨頭中心位置に関する諸家の報告(Table4)では、X 軸、Y 軸、Z 軸の全てにおいて有意に正確な設置であったと報告されている(20、21)。しかし本検討では Z 軸のみに有意差を認めた。原因として、X 軸に関してはカップ設置位置と内板との距離に制限あり大きな誤差が生じにくいこと、また Y 軸もカップを臼蓋前後の辺縁にてコンタクトし固定させることにより誤差が生じにくいことが考えられる。本検討にて、Navigation

使用にて Z 軸での絶対値誤差に有意差があったことが、3 次元の cup 骨頭中心位置をより正確に再現する可能性がある。

これらの結果から、仰臥位 DAA THA において、mechanical cup alignment guide 使用や術中イメージ使用より、もっとも正確な設置角度、位置を可能にするのは CT-based navigation 使用であり、有用である。一方で、navigation 使用でもカップ設置誤差が生じると言う報告がある(26)。本検討でも CTN 群にて outlier が存在した。誤差を生じる要因としては、カップ打ち込みなどの術中の様々な操作の中で、骨盤の fixation device が緩むことが挙げられる(24)。本研究では術中 fixation device の明らかな緩みは認められなかった。

DAA による THA の cup 設置精度において、CT-based Navigation の有用性は少数ながら報告されている(24)。しかし、本研究のように、イメージ使用との比較は報告がない。また PL approach での CT-based navigation 使用の有用性や、PL approach と DAA での検討は複数報告されている(26)。今回の研究にて、DAA による THA において、アライメントガイドやイメージを使用するより CT-based navigation を使用することで、正確なカップ設置が可能となることが確認された。

7. 結語

DAA による THA にて mechanical cup alignment guide 使用、イメージ使用、CT-based navigation 使用の比較を行った。CT-based navigation 使用にて RA の絶対値誤差が有意に減少し、outlier が少なかった。カップ骨頭中心位置においても上下位置において有意に正確であった。CT-based navigation の使用は、術後脱臼や腸腰筋インピンジメントを予防する手段として有用である。

8. 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号 JP20K11254)の支援を受けて行われた。

9. 参考文献

- (1)Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. *Lancet*. 2007;370(9597):1508-1519.
- (2)Khanduja V. Total Hip Arthroplasty in 2017 – Current Concepts and Recent Advances. *Indian J Orthop*. 2017;51(4):357-358. doi:10.4103/ortho.IJOrtho_367_17
- (3)Phillips CB, Barrett JA, Losina E, et al. Incidence rates of dislocation, pulmonary embolism, and deep infection during the first six months after elective total hip replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(1):20-26.

- (4) Lindahl H, Malchau H, Herberts P, Garellick G. Periprosthetic femoral fractures classification and demographics of 1049 periprosthetic femoral fractures from the Swedish National Hip Arthroplasty Register. *J Arthroplasty*. 2005;20(7):857–865.
- (5) Malkani AL, Ong KL, Lau E, Kurtz SM, Justice BJ, Manley MT. Early- and late-term dislocation risk after primary hip arthroplasty in the Medicare Population. *J Arthroplasty* 2010;25:21e5.
- (6) Gausden EB, Parhar HS, Popper JE, et al. Risk Factors for Early Dislocation Following Primary Elective Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018;33(5):1567-1571.e2.
- (7) De Martino I, D’Apolito R, Soranoglou VG, et al. Dislocation following total hip arthroplasty using dual mobility acetabular components: a systematic review. *Bone Joint J*. 2017;99–B(ASuppl1):18-24.
- (8) Kotwal RS, Ganapathi M, John A, Maheson M, Jones SA. Outcome of treatment for dislocation after primary total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(3):321–326.
- (9) Rowan FE, Benjamin B, Pietrak JR, Haddad FS. Prevention of Dislocation After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018;33(5):1316–1324.
- (10) Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, et al. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am*. 1978 Mar;60(2):217–20.
- (11) Danoff JR, Bobman JT, Cunn G, et al. Redefining the Acetabular Component Safe Zone for Posterior Approach Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(2):506–511.
- (12) Widmer KH, Zurfluh B. Compliant positioning of total hip components for optimal range of motion. *J Orthop Res*. 2004; 22:815–821.
- (13) Delp SL, Maloney W. Effects of hip center location on the moment-generating capacity of the muscles. *J Biomech*. 1993;26(4–5):485–499.
- (14) Chalmers BP, Sculco PK, Sierra RJ, Trousdale RT, Berry DJ. Iliopsoas Impingement After Primary Total Hip Arthroplasty: Operative and Nonoperative Treatment Outcomes. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(7):557–564.
- (15) Ueno T, Kabata T, Kajino Y, et al . Three-Dimensional Host Bone Coverage Required in Total Hip Arthroplasty for Developmental Dysplasia of the Hip and Its Relationship With 2-Dimensional Coverage. *J Arthroplasty*. 2019;34(1):93–101.
- (16) Nakata K, Nishikawa M, Yamamoto K, et al. A Clinical Comparative Study of the Direct Anterior With Mini-Posterior Approach. *J Arthroplasty* 2009;24(5):698–704

- (17) Saxler G, Marx A, Vandeveld D, et al. The accuracy of free-hand cup positioning CT based measurement of cup placement in 105 total hip arthroplasties. *Int Orthop* 2004;28:198e201.
- (18) James CR, Peterson BE, Crim JR, Cook JL, Crist BD. The Use of Fluoroscopy During Direct Anterior Hip Arthroplasty: Powerful or Misleading?. *J Arthroplasty*. 2018;33(6):1775–1779.
- (19) Sugano N. Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Surg*. 2013;5(1):1-9.
- (20) Tsutsui T, Goto T, Wada K, Takasago T, Hamada D, Sairyō K. Efficacy of a computed tomography-based navigation system for placement of the acetabular component in total hip arthroplasty for developmental dysplasia of the hip. *J Orthop Surg (Hong Kong)*.2017;25(3):2309499017727954.
- (21) Iwana D, Nakamura N, Miki H, et al. Accuracy of angle and position of the cup using computed tomography-based navigation systems in total hip arthroplasty. *Comput Aided Surg*. 2013;18(5–6):187–194.
- (22) Richard L, Bernd K, Boris O, et al. Total Hip Arthroplasty Using Imageless Computer-Assisted Hip Navigation A Prospective Randomized Study. *J Arthroplasty* 2014;29:786–791
- (23) Moritz T, Frank L, Monika KL, et al. Accuracy and potential pitfalls of fluoroscopy-guided acetabular cup placement. *Computer Aided Surgery*, 2005; 10(5/6): 329–336
- (24) Maeda Y, Sugano N, Nakamura N, et al. The Accuracy of a Mechanical Cup Alignment Guide in Total Hip Arthroplasty (THA) Through Direct Anterior and Posterior Approaches Measured with CT-Based Navigation. *J Arthroplasty* 2015;30:1561–1564
- (25) Kalteis T, Handel M, Bathis H, et al. Imageless navigation for insertion of the acetabular component in total hip arthroplasty: is it as accurate as CT-based navigation? *J Bone J Surg Br* 2006; 88(2): 163-167.
- (26) Barrack RL, Jeffrey AK, John CC, et al. Accuracy of Acetabular Component Position in Hip Arthroplasty. *J Bone Joning Surg* 2013;95:1760–8

Table1

	MG 群	FS 群	CTN 群	P-value
患者 / 股	60 / 63	54 / 58	42 / 50	N/A
年齢 (歳)	66.1 ± 12.2	67.6 ± 9.6	62.3 ± 14.7	0.14
性別(男性 / 女性)	13 / 50	22 / 36	12 / 38	0.08
Body Mass Index (kg/m ²)	23.9 ± 3.5	24.4 ± 5.7	24.4 ± 4.8	0.94
疾患 (股)				
変形性股関節症: 大腿骨頭壊死:	53: 7: 1: 1: 1	48: 9: 0: 1: 0	41: 6: 2: 0: 1	0.52
関節リウマチ: 急速破壊型股関節症: 外傷性股関節症				

Fig 1

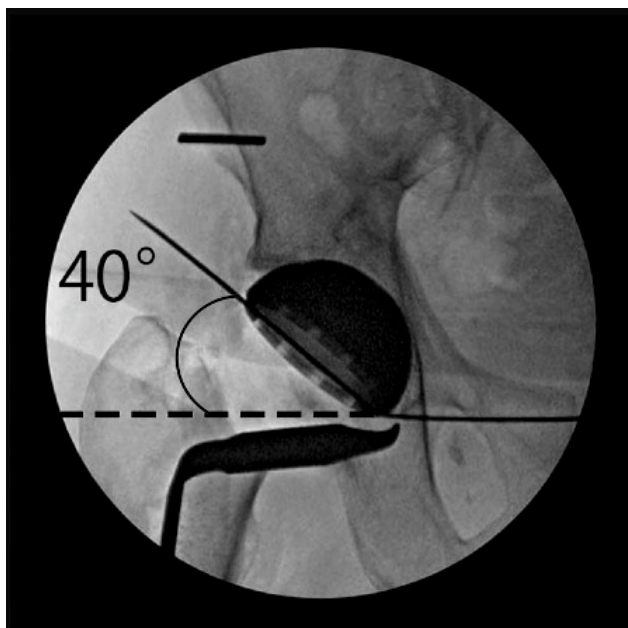


Fig2

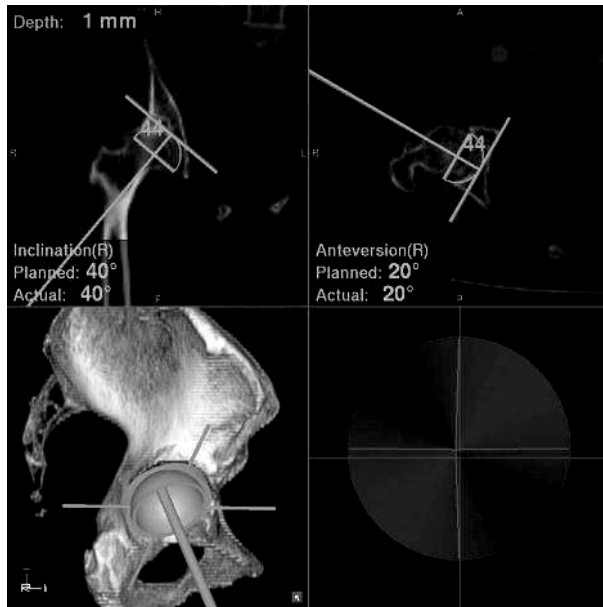


Fig3

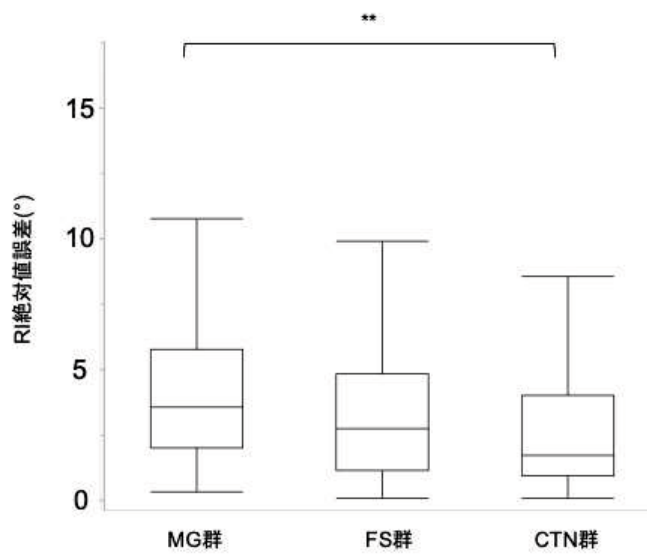


Fig 4

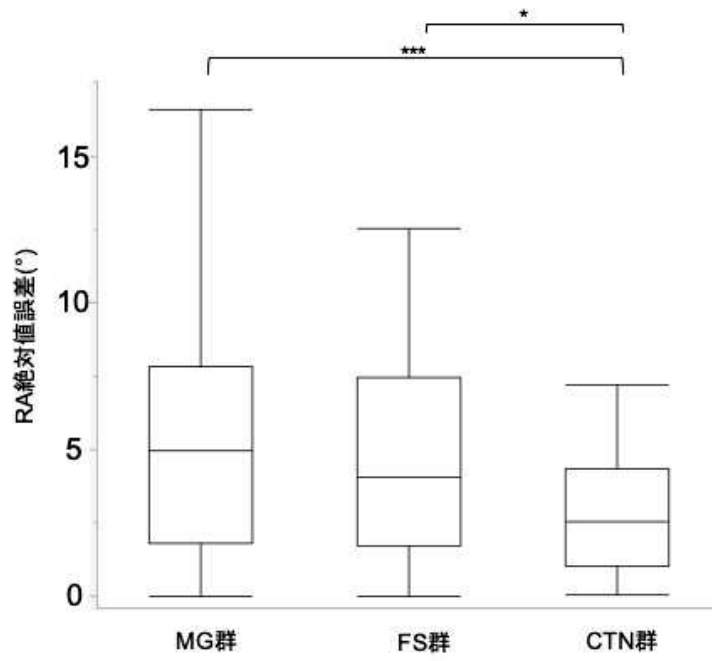


Fig5A

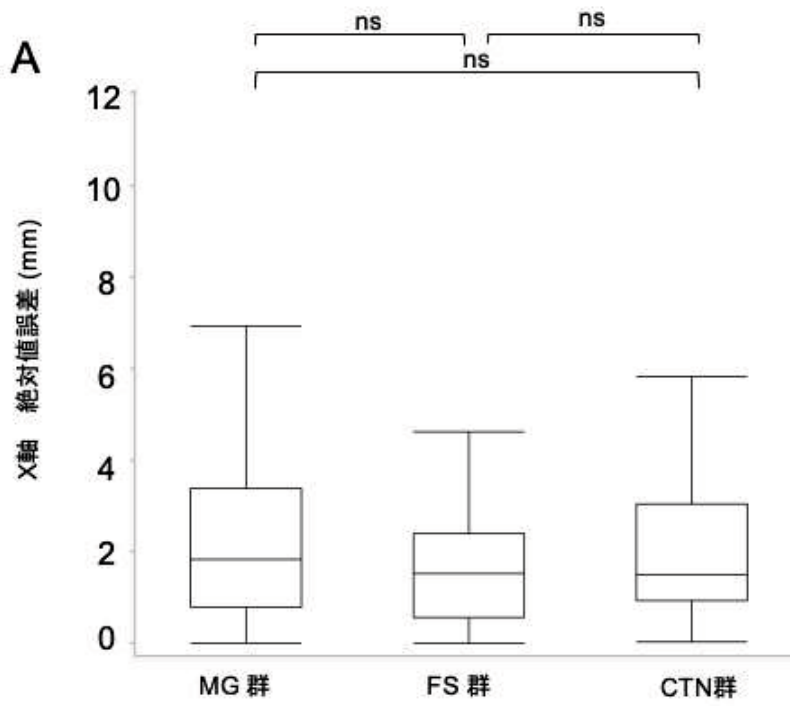


Fig5B

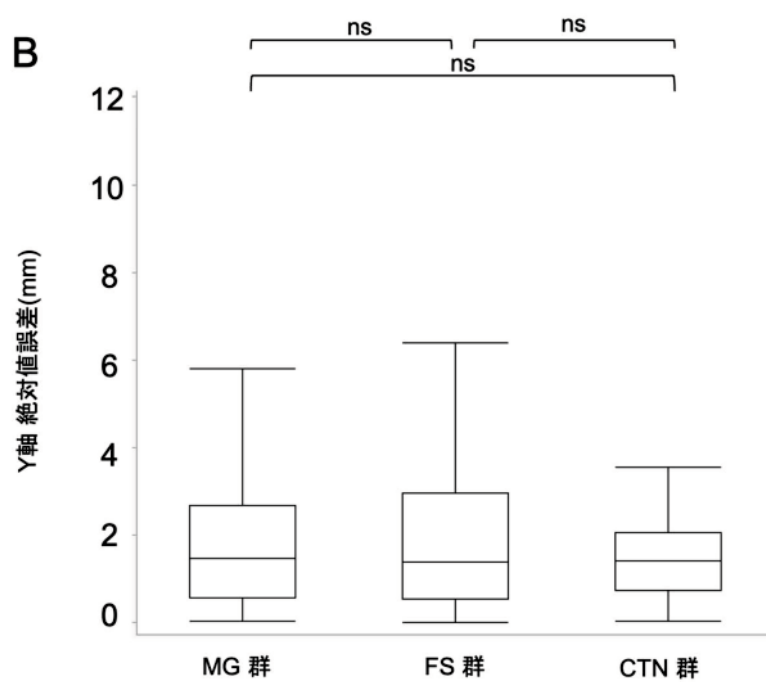


Fig5C

