

ソルター骨盤骨切り術変法の術前後における MRI を用いた 三次元的な形態評価

中村幸之¹⁾・和田晃房²⁾・山口亮介³⁾・川口健悟¹⁾
高村和幸¹⁾・柳田晴久¹⁾・山口徹¹⁾・李容承¹⁾
高橋宗志¹⁾・石川千夏¹⁾

1)福岡市立こども病院 整形・脊椎外科

2)佐賀整肢学園こども発達医療センター 整形外科

3)九州大学 整形外科

要旨 【背景】小児の寛骨臼形成不全症に対する Salter 骨盤骨切り術変法 (Angulated Salter Innominate Osteotomy : 以下, A-SIO) の術前後における骨頭被覆の変化を MRI で評価した. 【対象と方法】対象は A-SIO を行った DDH の 20 例で, 手術時年齢は平均 5.6 歳, MRI の撮影時年齢は術前が 5.3 歳で, 術後が 7.0 歳だった. コントロールとして 12 例を用い, その撮影時年齢は 7.1 歳だった. MRI (3D-MEDIC) の DICOM 画像を 3D-template ソフトウェアを使用し, 水平断像を 15° ずつ回転させて再構築画像を作成した. 軟骨性寛骨臼の前方から後方に向かって, 骨頭の被覆状態をグラフ化した. 【結果】DDH 患側の術前は, 広範な軟骨性寛骨臼の欠損を認めた. 術後は大きく改善され, コントロールの骨頭被覆とほぼ一致した. 【結論】MRI を用いて軟骨を含めた骨盤形態を評価した. DDH に対する A-SIO の術後に骨頭被覆が大きく改善されることが確認された.

序 文

成人の骨盤はさまざまな形態を示し, 一般的に三次元的な評価は CT が用いられる. 小児の関節周囲には軟骨成分が豊富に存在し, CT では軟骨性寛骨臼を含めた形態を評価することが難しい. また, 性腺被曝を避けるために小児に対する CT 検査は極力控えるべきである. しかし, 发育性股関節形成不全 (Developmental Dysplasia of the Hip : 以下, DDH) を代表とした, 小児期に手術が必要になる股関節疾患の軟骨性寛骨臼を含めた骨盤は, さまざまな形態を示すことから⁶⁾, 術前に適切な手術法を選択するためには, 股関節の形態を三次元的に評価する必要がある. また, 小児

期の軟骨性寛骨臼を含めた骨盤形態は骨成熟後の骨盤形態を反映する⁷⁾ことから, 手術によって正常の形態に近づけることが大切である. 本研究では, 我々が行っている Salter 骨盤骨切り術変法 (Angulated Salter Innominate Osteotomy : 以下, A-SIO¹⁰⁾) の術前後に MRI を撮影し, 軟骨性寛骨臼を含めた寛骨臼形態の変化を検討した. 得られた MRI のデータから再構築画像を作成し, 軟骨性寛骨臼の前方から後方までの骨頭被覆をグラフ化して三次元的に評価した. 本研究の目的は, 手術の前後でどのように被覆が改善されているのかを明らかにすることである.

Key words : developmental dysplasia of the hip (发育性股関節形成不全), angulated Salter innominate osteotomy (Salter 骨盤骨切り術変法), magnetic resonance imaging (MRI), cartilaginous acetabular (軟骨性寛骨臼)

連絡先 : 〒 813-0017 福岡県福岡市東区香椎照葉 5-1-1 福岡市立こども病院 整形・脊椎外科 中村幸之
電話 (092) 682-7000

受付日 : 2020 年 7 月 14 日

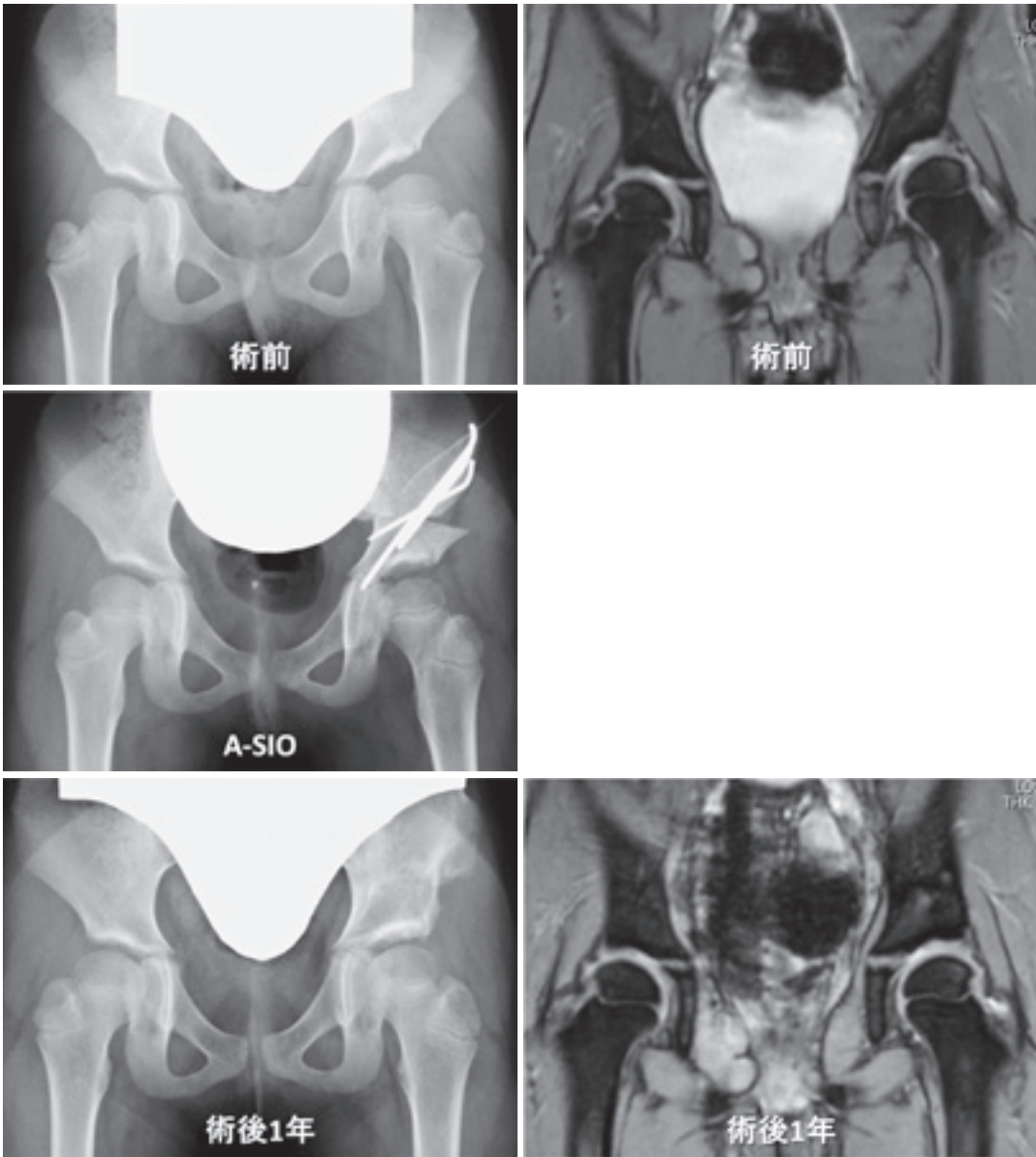


図1. 左DDHに対するA-SIOの術前後の単純X線とMRI像

- a : 5歳 術前の単純X線
- b : 5歳 A-SIO術後の単純X線
- c : 6歳 A-SIO術後1年の単純X線
- d : 5歳 術前のMRI
- e : 6歳 術後1年のMRI

対象・方法

対象は、DDH(完全脱臼)の初期整復後に寛骨臼形成不全症もしくは遺残亜脱臼(図1-a)を認め、A-SIO(図1-b,c)を施行した20例(男児2例、

女児18例)で、脱臼側は両側が1例、右側が3例と左側が16例であった。術前(術前MRI: 図1-d)と術後1年(術後MRI: 図1-e)でMRIを撮影した。撮影時年齢は術前MRIが平均5.3歳(3~7歳)で、術後MRIは7.0歳(6~10歳)であっ

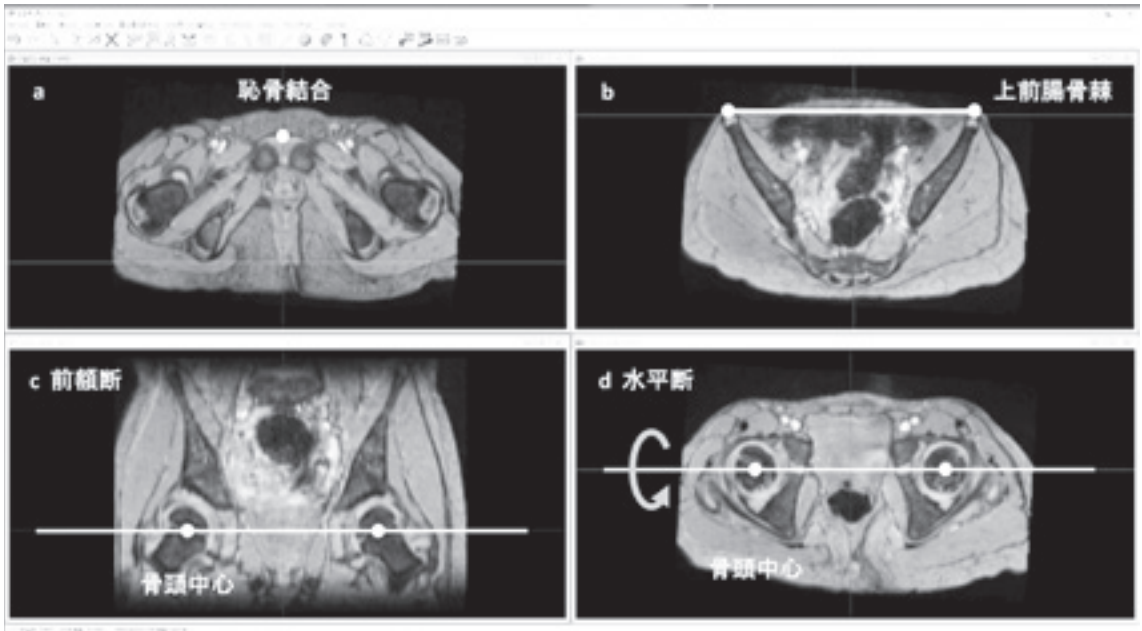


図2. 3D テンプレートソフトウェアを用いた再構築画像の作成

- a: 恥骨結合前面(白丸)
- b: 両側の上前腸骨棘先端(白丸)と恥骨結合の3点を結んだ平面を基準面として骨盤の傾きを補正する
- c: 骨頭中心を通る基準面(前額断)
- d: 前額断を骨頭中心で90°回転させると水平断が得られる

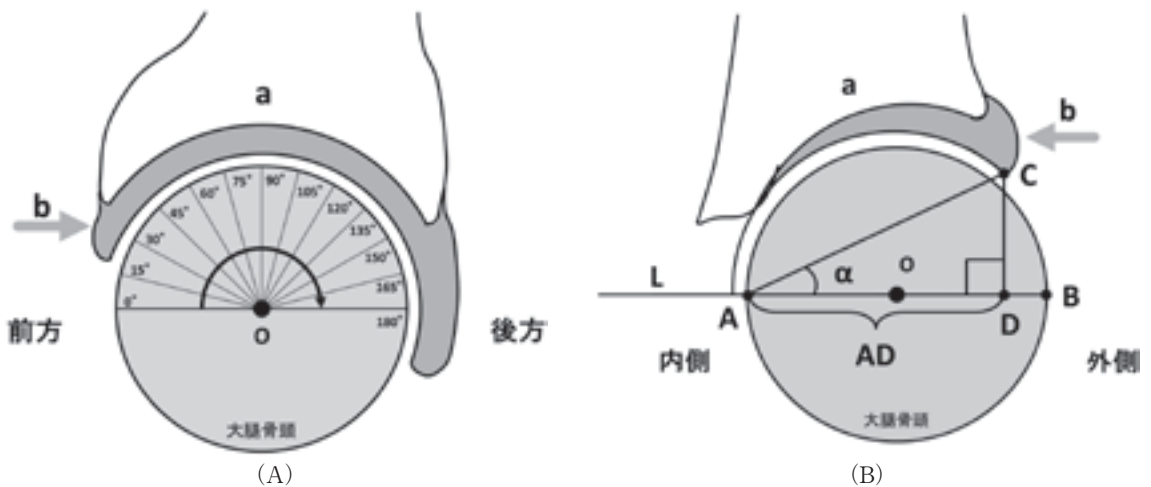


図3. 骨頭中心を通る矢状断像と前額断像の模式図

- (A)a: 骨性寛骨臼 b: 軟骨性寛骨臼 点O: 骨頭中心
- (B)a: 骨性寛骨臼 b: 軟骨性寛骨臼 点O: 骨頭中心 線L: 左右の骨頭中心を結んだ基準線 点A: 線Lと骨頭内側縁の交点 点B: 線Lと骨頭外側縁の交点 点C: 軟骨性寛骨臼蓋縁 点D: 点Cから線Lに下ろした垂線との交点 α : 骨頭被覆角 $AD(\text{骨頭被覆距離}) = AC \times \cos \alpha$

た. 手術時年齢は平均 5.6 歳(4~7 歳)であった. なお, 当院の遺残亜脱臼もしくは寛骨臼形成不全症に対する補正手術の適応は, 5 歳前後で臼蓋角

30° 以上もしくは Center Edge(CE)角が 5° 以下の症例である. 対象にペルテス病様変化を呈した症例はなく, 再脱臼例は除外した. コントロール

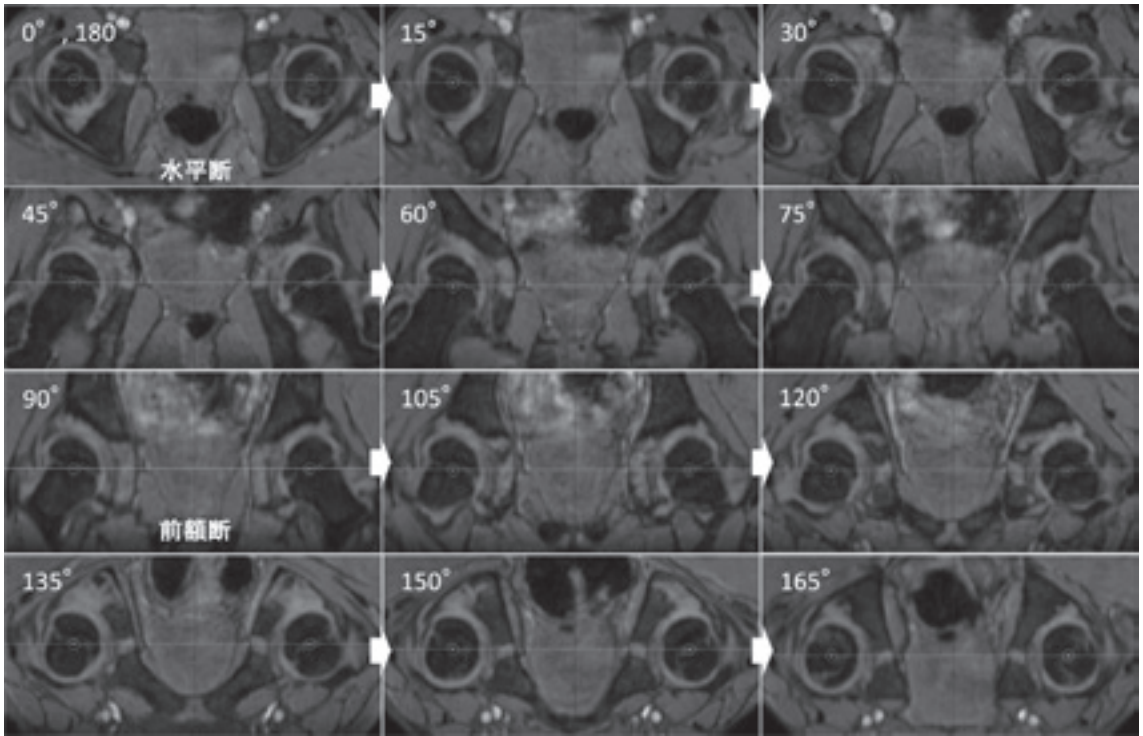


図4. 3Dテンプレートソフトウェアで作成した再構築画像(水平断から15°ずつ回転させて12枚の画像を作成する)

群として12例24股(男児8例, 女児4例)を用いた. コントロール群のMRI撮影時年齢は平均7.1歳(4~9歳)で, 疾患の内訳は単純性股関節炎6例, 外傷3例, 坐骨骨髓炎1例, 大腿骨近位部骨髓炎1例, 股関節痛1例だった.

1.5-tesla MRI(MAGNETOM Avanto, Siemens)を用いて, 撮像条件は3D-MEDICでスライス厚は1mmであった. 得られたDICOMデータを基に3Dテンプレートソフトウェア(Kyocera)を使用して次の手法で検討した. DICOMデータを3Dテンプレートに取り込むと図2のような画像が得られる. MRI撮影時の骨盤は前後左右に傾いているため, 最初に前額面を基準面に合わせて補正する. 恥骨結合の前面と上前腸骨棘の前方の3点を通る平面(基準面)が前額面となるように回転させて, 画像を標準化する(図2). 次に, 骨頭中心を通る平面(前額断)を90°回転させて水平断を作成し, 後方に向かって15°ずつ回転させて12枚の再構築画像を作成した(図2, 図3-a, 図4). 図4に0°から180°まで15°ずつ回転

させて得られた画像を示す. 骨頭中心を結んだ基準線Lと骨頭内側と外側の交点をそれぞれ点Aと点Bとした(図3-b). 軟骨性寛骨臼蓋縁を点C, さらに点Cから基準線Lに引いた垂線との交点を点Dとして, 骨頭の直径AB, 距離ACと骨頭被覆角 a ($\angle CAD$)を各画像で計測した(図3-b). 得られた値から骨頭被覆距離: $AD = AC \times \cos a$ を算出した(図3-b). 水平断(0°)から回転させた角度を β (0~180°)とし, β °回転させて得られた画像から計測した骨頭被覆距離 $AD(\beta)$ を, 骨頭の直径ABで除した値である骨頭被覆率($AD(\beta)/AB$)をy軸とし, $\cos \beta$ をx軸として散布図を作成した. 散布図を90°回転させて直径1の円の上に重ねて得られた図は, 軟骨性寛骨臼蓋縁と骨頭が接する部位を示し, 頭側から見た骨頭の被覆状態として観察できる(図5).

対象症例をコントロール群(12例24股), DDH健側群(19例19股)とDDH患側群(20例21股)に分類し, DDHでは術前と術後のMRIにおける骨頭被覆率を算出して比較した.

結果

各群の骨頭被覆率(AD(β)/AB)の平均値と標準偏差を表1に示した. 図5に各群の散布図を骨頭(直径:1)に重ね合わせた模式図を示す. 各点は前方から後方に向かって0~180°まで, 15°刻みの各数値(骨頭被覆率)をプロットし, 各点を結んで曲線を描いた. 曲線は骨頭と軟骨性寛骨臼蓋縁の接する部位を示す. コントロール群(Δ)は骨頭の前方で寛骨臼蓋の被覆が悪く, 前外側(45~105°)で被覆が大きく, 後方(105~180°)に向かって徐々に被覆が小さくなる傾向がみられた(図5-a). DDH 健側群(\square, \diamond)はコントロール群(Δ)と形態が類似していたが, 前方から外側(0~90°)にかけて被覆が小さかった(図5-b). また, A-SIOの術前(\square)と術後(\diamond)で撮影時期は異なるが, 曲線は一致して軟骨性寛骨臼の形態に変化はなく, コントロール群(Δ)と類似していた(図5-b). DDH 患側群の骨頭被覆率は, コントロール群(Δ)やDDH 健側群(\square, \diamond)に比べて, 術前(\times)が前方から後方にかけて広範囲に小さい値を示した. DDH 患側群の術後(\circ)は骨頭被覆率が増加してコントロール群(Δ)とほぼ同様の形態に改善された(図5-c).

考察

成人の股関節は寛骨臼, 大腿骨頭と関節面を形成する関節軟骨で構成され, ほとんどが骨組織であることから形態評価はCTが有用であり, 寛骨臼形成不全症に対する術前計画や術後評価に用いられている⁴⁾. 一方で, 小児期の関節周囲には骨端軟骨が豊富に存在し, 股関節は大腿骨近位の骨端軟骨と軟骨性寛骨臼, そして関節軟骨で構成され, 成長とともに骨化して骨成熟を迎える⁸⁾. 若年であるほど軟骨成分は多く, 単純X線やCTでは軟骨を含めた股関節の形態評価は困難であ

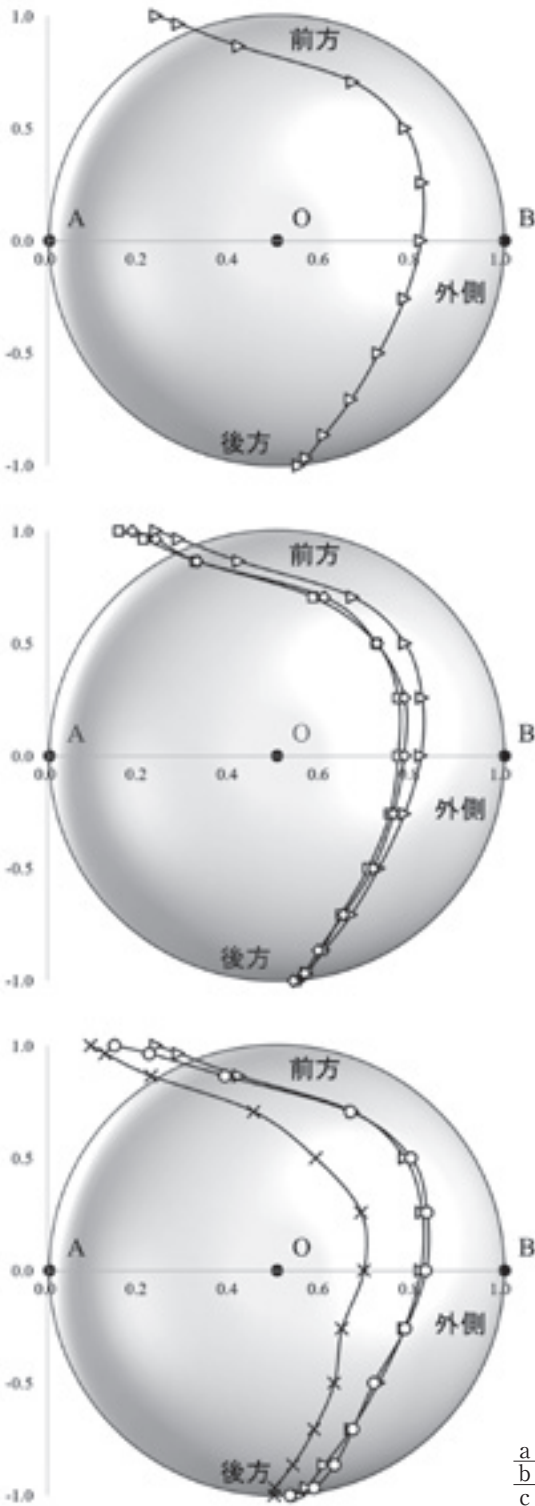


図5. 骨頭被覆率の散布図(点O: 骨頭中心 点A: 骨頭内側縁 点B: 骨頭外側縁)

- a: コントロール群(Δ)
- b: コントロール群(Δ) DDH 健側群の術前(\square) DDH 健側群の術後(\diamond)
- c: コントロール群(Δ) DDH 患側群の術前(\times) DDH 患側群の術後(\circ)

表 1. 各群の骨頭被覆率

β $\cos \beta$	骨頭被覆率：平均(標準偏差)													
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
コントロール群 (12 例 24 股)	0.24(0.05)	0.29(0.05)	0.42(0.12)	0.67(0.09)	0.79(0.09)	0.82(0.06)	0.82(0.05)	0.79(0.05)	0.73(0.06)	0.67(0.05)	0.61(0.06)	0.57(0.06)	0.55(0.06)	
DDH 健側群 (19 例 19 股)	術前 0.16(0.05)	0.21(0.05)	0.33(0.08)	0.58(0.07)	0.72(0.07)	0.77(0.06)	0.77(0.06)	0.75(0.05)	0.71(0.05)	0.65(0.06)	0.60(0.05)	0.57(0.05)	0.55(0.07)	
	術後 0.19(0.05)	0.24(0.05)	0.33(0.09)	0.61(0.08)	0.72(0.06)	0.79(0.06)	0.78(0.06)	0.76(0.05)	0.72(0.05)	0.65(0.05)	0.60(0.05)	0.57(0.05)	0.54(0.06)	
DDH 患側群 (20 例 21 股)	術前 0.10(0.07)	0.13(0.06)	0.23(0.07)	0.45(0.12)	0.59(0.08)	0.69(0.07)	0.70(0.08)	0.65(0.09)	0.63(0.09)	0.59(0.08)	0.54(0.08)	0.50(0.08)	0.50(0.08)	
	術後 0.15(0.05)	0.22(0.05)	0.39(0.12)	0.67(0.12)	0.80(0.07)	0.83(0.06)	0.83(0.06)	0.79(0.07)	0.72(0.07)	0.67(0.07)	0.63(0.06)	0.59(0.07)	0.53(0.08)	

DDH: Developmental Dysplasia of the Hip

る。MRI は骨と軟骨を含む組織間のコントラストがつけやすく、小児期股関節の評価に有用であることを本誌で報告した⁶⁾。また、単純 X 線では骨成熟後の骨盤形態を予測することは難しいが、MRI を用いて軟骨性寛骨臼を含めた股関節形態を評価することで、小児期に骨成熟後の形態が予測できることを報告した⁷⁾。

骨盤の形態は、変形性股関節症の発症に関与していることが報告されている⁹⁾。寛骨臼の骨頭被覆の異常は、被覆不足による関節軟骨への異常なストレスや、過剰な被覆による寛骨臼前方の大腸骨寛骨臼インピンジメント (Femoroacetabular Impingement : FAI) によって関節唇や関節軟骨の損傷が引き起こされると考えられている³⁾⁹⁾。特に寛骨臼後方開き (acetabular retroversion) は、変形性股関節症の発症を早める危険因子であることが報告され、白蓋形成不全における寛骨臼後方開きは 17% 前後にみられ、正常股関節よりも頻度が高い³⁾。MRI を用いた検討では、小児期の寛骨臼形態も成人と同様にさまざまで、DDH では寛骨臼後方開きを 16% の症例で認めた⁶⁾。

寛骨臼後方開きは寛骨臼の後壁欠損や前方の過剰被覆、または両者によって生じるが、骨片を前方に大きく移動させる骨盤骨切りでも生じることがある¹⁾²⁾。その中でも Salter 骨盤骨切り術は、DDH に対する補正手術として広く用いられており、恥骨結合を中心に遠位骨片を前外方へ引き出すように回転させる術式である。遠位骨片を前方へ引き出し過ぎると、前方の過剰被覆が生じて寛骨臼は後捻し後方開きとなる。また、前方の過剰被覆は術後の FAI で屈曲制限を生じる。Salter 骨盤骨切り術やペンバートン骨盤骨切り術の術後

は、寛骨臼後方開きの頻度がそれぞれ 24% と 37.5% に増加することが報告された¹⁾²⁾。一方で、Kobayashi らは Salter 骨盤骨切り術では寛骨臼後方開きは生じないと報告⁵⁾したことから、手術方法や手術操作によって術後の骨盤形態が変化する可能性が示唆される。

2012 年から当院で行っている A-SIO は、骨切り部を上方凸への字形に骨切りする Salter 骨盤骨切り術の変法である¹⁰⁾。骨切り後に遠位骨片はしっかりと前外側に引き出して K-wire で固定する。への字形に骨切りすることで、移動した骨片は 2 点で接触するために、安定性が高く矯正損失が少ない(本誌に論文投稿中)。また、術後の FAI による屈曲制限を生じないように、遠位骨片の前方への引き出し量を少なくして前方の過剰被覆を防ぐことは、結果的に寛骨臼後方開きを抑えることにつながる。

我々は小児股関節疾患に対する縦断的研究において、小児期 MRI と骨成熟後の単純 X 線を比較検討し、軟骨性寛骨臼を含めた寛骨臼形態が、骨成熟後の骨性寛骨臼を含めた形態と近似することを報告した⁷⁾。小児期の補正手術で獲得した寛骨臼形態が、成人になっても維持されることを示唆しており、手術ではなるべく正常の形態に近づける必要があると考えている。

本研究では、補正手術を行った 20 例の DDH と 12 例のコントロール群に対して、MRI を用いて軟骨性寛骨臼を含めた寛骨臼形態を調査した。軟骨の描出に優れたシーケンスを使用して薄いスライスで撮影することで、精細な再構築画像が得られた。本研究の手法を用いれば、軟骨性寛骨臼蓋縁と骨頭の接する点を前方から後方まで計測す

ることが可能である。コントロール群では前方(0~45°)で骨頭が寛骨臼から突出しており、深屈曲でインピンジしないための形態と考えられる。前外側(60~90°)で骨頭被覆が最も大きく、後方(105~180°)に向かって徐々に被覆が小さくなった。DDH 健側群はコントロール群と形態が類似していたが、前方から外側(0~90°)にかけて被覆が小さかった。また、術前と術後の撮影時期が平均1.7年の間隔があいていたが、それらの形態はほとんど一致した。DDH 患側群の術前は、前方から後方(0~180°)に至る広範な骨頭被覆不足が観察されたが、A-SIO 後は大幅に改善されて、コントロール群の骨頭被覆と同等になった。寛骨臼の後方被覆も良好で、前方の過剰被覆も認めず寛骨臼後方開きは生じていない。前述したとおり、症例によってさまざまな寛骨臼形態を示すことから、補正手術の術前には単純X線だけでなくMRIで軟骨性寛骨臼の形態を評価することで、より適切な手術法や矯正の術前計画を立てることが望ましい。また、術後のMRIによって骨成熟後の形態を予測できる可能性があり今後の検討課題としたい。

今回の研究ではいくつかの問題点が存在する。まず、コントロール群の症例が少なく、男児が多かったことが挙げられる。今後は症例数を増やして再度検討を行い報告したい。また、MRIは臥位で撮影して、骨盤傾斜の基準面を決定し標準化しており、各々の症例における立位の骨盤傾斜は考慮されていない。最後に、経過観察が短く骨成熟後の骨盤形態が評価できていないことや、変形性股関節症の発症を論じるのは難しいということである。今後は長期的な経過観察を行い、骨成熟後の骨盤形態との比較を検討して報告したい。

結 論

小児期MRIを用いてDDHに対する補正手術前後の軟骨性寛骨臼の変化を検討した。A-SIOにより寛骨臼の被覆が大きく改善され、術後の寛骨臼形態はコントロール群とほぼ一致した。

文献

- 1) Akiyama M, Nakashima Y, Oishi M et al : Risk factors for acetabular retroversion in developmental dysplasia of the hip : does the Pemberton osteotomy contribute? J Orthop Sci 19 : 90-96, 2014.
- 2) Dora C, Mascard E, Mladenov K et al : Retroversion of the acetabular dome after Salter and triple pelvic osteotomy for congenital dislocation of the hip. J Pediatr Orthop B11 : 34-40, 2002.
- 3) Fujii M, Nakashima Y, Yamamoto T et al : Acetabular retroversion in developmental dysplasia of the hip. J Bone Joint Surg 92-A : 895-903, 2010.
- 4) Iwamoto M, Fujii M, Komiyama K et al : Is lateral acetabular rotation sufficient to correct anterolateral deficiency in periacetabular reorientation osteotomy? A CT-Based simulation study. J Orthop Sci : 2020.
- 5) Kobayashi D, Satsuma S, Kinugasa M et al : Does Salter innominate osteotomy predispose the patient to acetabular retroversion in adulthood? Clin Orthop Relat Res 473 : 1755-1762, 2015.
- 6) 中村幸之, 和田晃房, 高村和幸ほか : 発育性股関節形成不全症(完全脱臼)治療後の遺残性亜脱臼におけるMRIを用いた軟骨性臼蓋の評価. 日小整会誌 24 : 106-112, 2015.
- 7) Nakamura T, Yamaguchi R, Wada A et al : A longitudinal study for the prediction of the mature acetabular morphology using childhood magnetic resonance imaging. J Orthop Sci 24 : 2020.
- 8) Ponseti IV : Morphology of the acetabulum in congenital dislocation of the hip. Gross, histological and roentgenographic studies. J Bone Joint Surg 60-A : 586-599, 1978.
- 9) Reynolds D, Lucas J, Klaue K : Retroversion of the acetabulum. A cause of hip pain. J Bone Joint Surg 81-B : 281-288, 1999.
- 10) 和田晃房 : 乳児期以降の遺残性亜脱臼に対する手術, メジカルビュー社, 2014.