

表 題 全脊椎立位正面 X 線を用いた思春期の股関節 X 線パラメーター
の基準値

論 文 の 区 分 博士課程

著 者 名 西村 貴裕

担当指導教員氏名 竹下 克志 教授

所 属 自治医科大学大学院医学研究科
専攻 地域医療学系
専攻分野 精神・神経・筋骨格疾患学分野
専攻科 整形外科学

2024年1月10日申請の学位論文

目次

	ページ
1. 背景.....	2
2. 目的.....	6
3. 対象と方法.....	6
3-1. 対象	
3-2. 股関節 X 線パラメーターの計測	
3-3. 計測項目	
3-4. 対象年齢範囲の検討（予備研究 1）	
3-5. 側弯症の影響の検討（予備研究 2）	
3-6. 全脊椎立位 X 線使用による影響の検討（予備研究 3）	
3-7. 統計学的分析	
4. 結果.....	23
5. 考察.....	36
6. 追加研究.....	42
6-1. 対象と方法	
6-2. 結果	
6-3. 考察	
7. 結論.....	42
8. 謝辞.....	48
9. 引用文献.....	49

1. 背景

股関節は球形の大腿骨頭と臼状の寛骨臼からなり、体重の支持と移動を司る骨性に安定した関節である。その股関節の疾患の中でも変形性股関節症は症状が顕著であり、進展すると疼痛や可動域制限などによる歩行障害や日常生活動作の障害が生じる重要な疾患である。変形性関節症は、関節軟骨の変性に引き続き関節の骨性的変化が起こり、非可逆的な関節の変形をきたすことが特徴で、全身の各関節に発生しうる疾患である。その変形性関節症が股関節に発生したものが変形性股関節症である。変形性股関節症の定義や診断基準は現在に至るまで定まっておらず、その原因は多岐に渡っている。明らかな原因が不明な一次性変形性股関節症と、先天的あるいは後天的疾患から続発する二次性変形性股関節症に分けられる。つまり一次性変形性股関節症は二次性の原因が該当しない場合の除外診断となる。二次性変形性股関節症は、力学的な原因（解剖学的な形態の異常）、と非力学的な原因（炎症や関節軟骨の異常）に分けて考えることができ、力学的な原因にあたる寛骨臼形成不全が主因の 1 つとなっている [1-4]。寛骨臼の頭側で荷重を主に支える部分は臼蓋と呼ばれ、臼蓋形成不全も同義で使用される。寛骨臼形成不全にも統一された定義はないが、一般的には冠状面の寛骨臼の低形成の有無で判断される。寛骨臼の頭側の低形成（しばしば前方や後方の低形成を伴う）が存在し、寛骨臼は浅く、関節面が急峻となるため、形成不全の程度が強ければ強いほど大腿骨頭が寛骨臼内に安定しにくくなり外側へ偏位する亜脱臼の傾向を呈する [5,6]。それにより大腿骨頭と臼蓋の前外側に負荷応力が集中し、軟骨損傷が誘発されることで変形性股関節症の発症に繋がると考えられている [7]。特に日本においては、変形性股関節症はほとんどが寛骨臼形成不全による二次性変形性股関節症であることが知られており [8]、全国を対象とした多施設調査によると約 8 割の原因が寛骨臼形成不全であった [9]。

寛骨臼形成不全の初期評価は、医療施設における撮影機器の普及率が高いことやその簡便さから、一般的には単純 X 線の正面像により行われる [1,10,11]。正常股関節と寛骨臼形成不全、寛骨臼形成不全による変形性股関節症の X 線の例を示す (図 1)。寛骨臼の辺縁は X 線で判別が可能であり、寛骨臼と大腿骨頭の相対的位置関係を評価することが可能である。寛骨臼形成不全の判定基準としてよく用いられる指標として、LCEA (lateral center edge angle)がある (3-2. 股関節 X 線パラメーターの計測 内で詳細を後述する)。LCEA は、骨盤の横軸に対

し大腿骨頭中心を通る垂線と大腿骨頭中心と寛骨臼外側縁を結ぶ線のなす角度で、大腿骨頭に対する寛骨臼被覆の程度を評価するための指標であり、 20° 未満を寛骨臼形成不全と判定する [12]。他の指標もある中で LCEA が診断や手術治療の指標として広く用いられる理由としては、寛骨臼側の関節軟骨に対する負荷応力の指標となり、関節症進行リスクに関連する因子として重要とされているからである [13]。

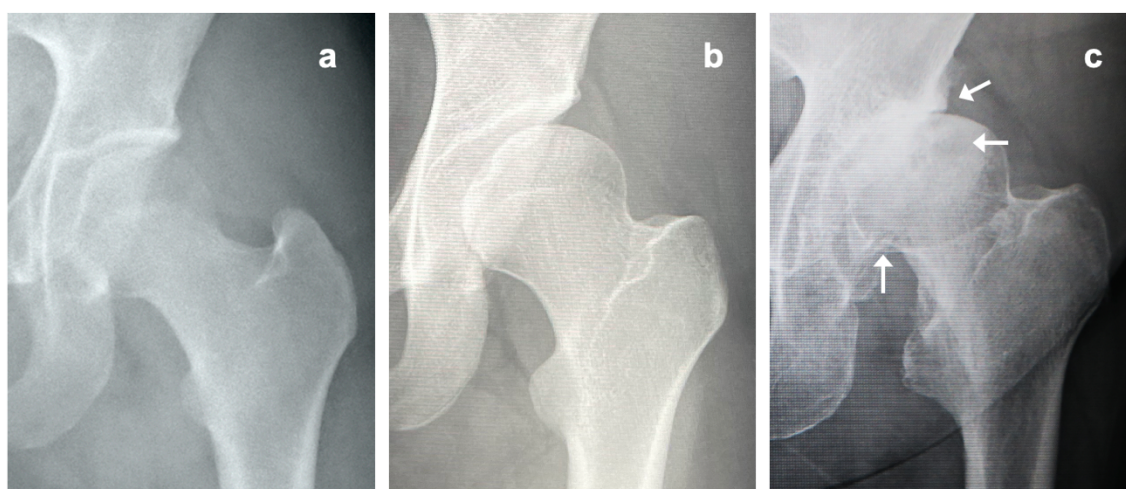


図 1. 股関節正面 X 線（左股関節）

a. 正常

b. 寛骨臼形成不全

寛骨臼の頭側の低形成があり、大腿骨頭に対する寛骨臼被覆が小さい。

c. 寛骨臼形成不全による変形性股関節症

関節裂隙が狭小化し、骨嚢胞形成や骨棘形成（矢印）がみられる。

進行した変形性股関節症の典型的な所見である。

一方で近年、寛骨臼形成不全に起因しない思春期の早期発症変形性股関節症の報告が散見されるようになった [14,15]。我々も 11 歳と 13 歳の 2 例の早期発症変形性股関節症を経験し、いずれも今日までの寛骨臼形成不全の判定基準に従うと寛骨臼形成不全ではなかった [16]。大腿骨頸部軸と大腿骨内側顆および外側顆の後縁を結ぶ線のなす角度を大腿骨頸部前捻角と呼ぶが、寛骨臼形成不全では大きいという特徴がある [17,18]。我々が経験したその 2 例は、寛骨臼形成不全ではないものの唯一大腿骨前捻角のみが患側で大きく、それが原因と考察されたため、大腿骨前捻角を減少させる手術を行った(図 2)。また、境界型寛骨臼形成不全という寛骨臼大腿骨頭被覆が正常より小さいが寛骨臼形成不全の基準までは満たさないグループがあり、正常な関節機能を持つ一方で寛骨臼の浅さによる不安定性が存在する [19,20]。境界型寛骨臼形成不全は、LCEA が 18° あるいは 20° - 24° の範囲である股関節と定義されるが [21-23]、思春期から若年者を対象とした境界型寛骨臼形成不全の手術治療成績は、failure rate が高いと報告されている [24-29]。

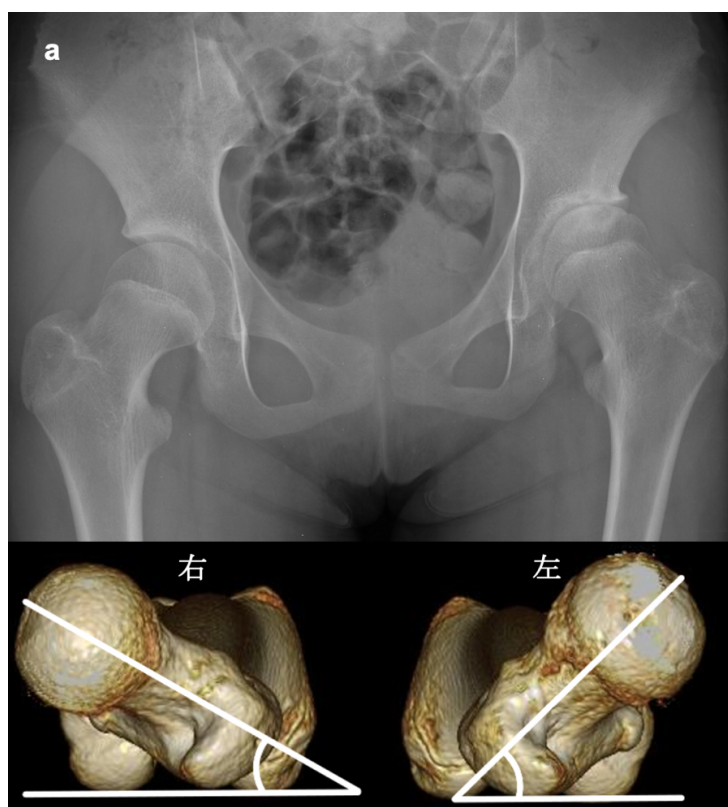


図 2a. 11 歳女性の左早期発症変形性股関節症

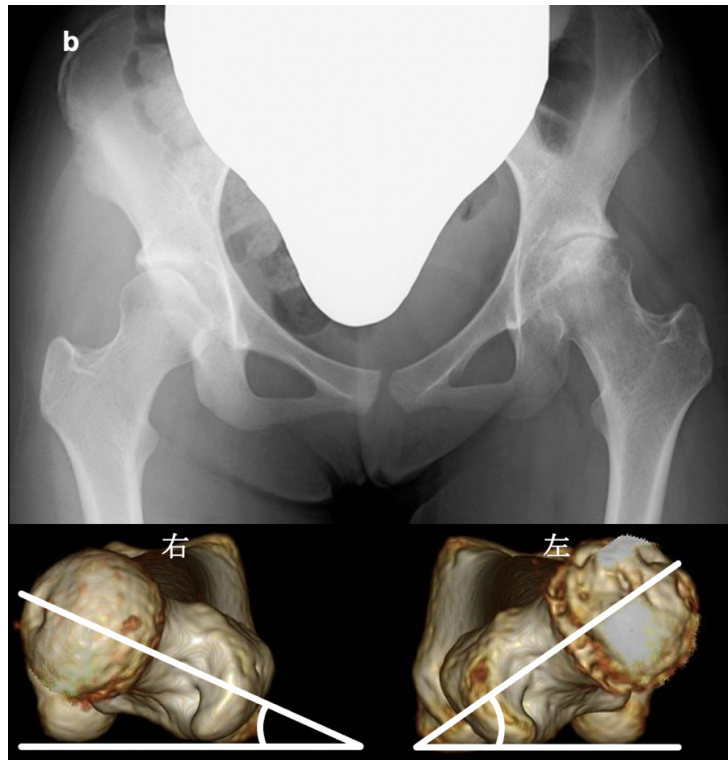


図 2b. 13 歳女性の左早期発症変形性股関節症

a と b のいずれの症例も、関節裂隙狭小化と骨嚢胞形成、骨棘形成がみられ、変形性股関節症の診断となった。LCEA は寛骨臼形成不全の判定基準を満たさなかった。大腿骨頸部前捻角は図のように大腿骨頸部軸と大腿骨内側顆および外側顆の後縁を結ぶ線のなす角度と定義される。3D-CT (computed tomography) を用いると容易に計測できる。いずれの症例も患側である左側の大腿骨頸部前捻角が大きかった。

この経験した 2 例の早期発症変形性関節症の症例から、我々は診断および手術治療の目標を定めるにあたり、その年齢層における股関節 X 線パラメーターの基準がないことが分かり、また思春期を対象とした境界型寛骨臼形成不全の手術治療の成績が悪い原因として、診断や手術治療目標が適切であるのかに疑問が生じた。現在一般的に使用されている股関節 X 線パラメーターの基準値は、過去に報告された成人以降から得られた数値が基準となっている [1, 30-36]。それらの基準値の研究の対象年齢は、成人から高齢者までが含まれていたことか

ら、加齢性変化を反映した数値であることが考えられるため、思春期の基準値とは異なる可能性があると考えられ、そのために早期発症変形性股関節症の診断に至らない、または思春期の境界型寛骨臼形成不全の手術成績が悪い結果に繋がっていると考えた。しかし、思春期の股関節 X 線パラメーターの基準値については過去に報告がない。そのために思春期の年齢層に対象を限定した、加齢の影響がない基準値の調査が必要であると考えた。

2. 目的

この研究の目的は、全脊椎立位正面 X 線を使用して、思春期の股関節 X 線パラメーターの基準値を調査し、その検者内及び検者間信頼性と妥当性を評価して、思春期の寛骨臼形成不全の診断や治療に必要な基準値を調査することである。

3. 対象と方法

3-1. 対象

本研究は、自治医科大学附属病院臨床研究倫理審査委員会によって承認された横断研究である。対象は、2006 年 2 月から 2020 年 3 月までに側弯症またはその疑いで自治医科大学とちぎ子ども医療センターを受診した 12 歳から 18 歳までの 668 人である。全例で初診時に全脊椎立位正面 X 線を統一した方法で撮影した。股関節は全例で無症状であり、股関節の治療歴もなかった。除外基準は、骨盤の回旋や側方傾斜があるもの、放射線プロテクターにより股関節が隠れて計測不能なもの、寛骨臼の Y 軟骨や臼蓋縁骨端線の閉鎖が未完了のものとした。その結果、骨盤の回旋や側方傾斜、放射線プロテクターにより股関節が隠れて計測不能なものが 78 人、寛骨臼の Y 軟骨や臼蓋縁骨端線の閉鎖が未完了のものが 38 人の計 116 人が除外され、最終的に 552 人 1101 股 (男性 156 股、女性 945 股) が計測の対象となった。図 3 に当研究の selection flowchart を示す。年齢、身長、体重、BMI (body mass index) も同時に調査した。

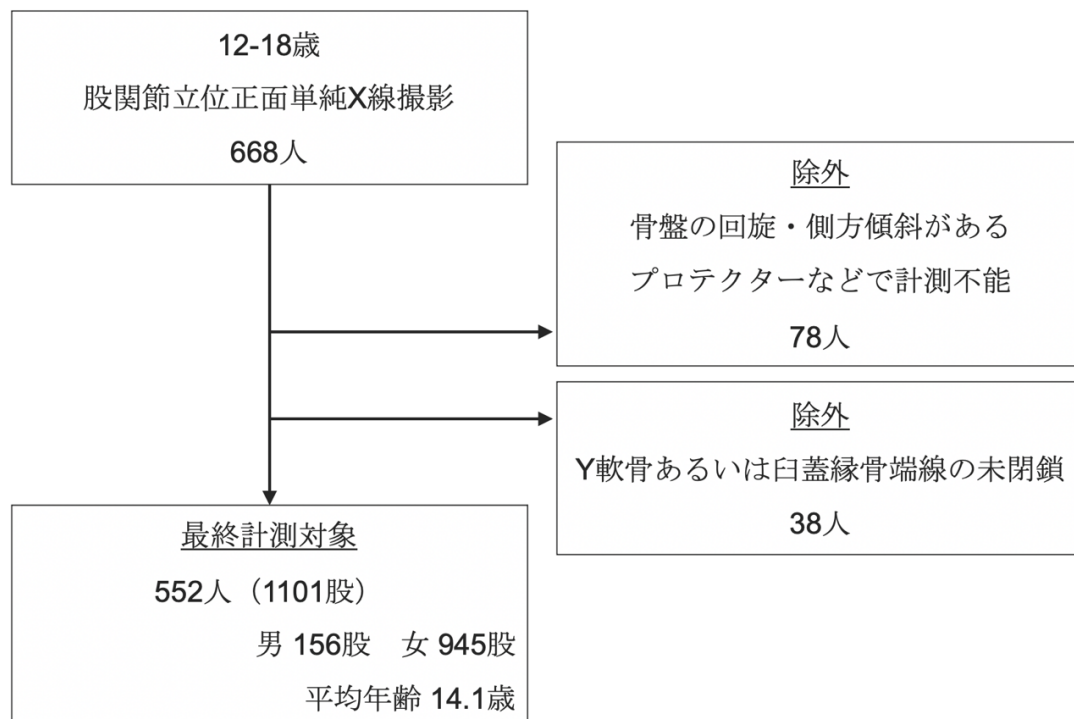


図 3. Selection flowchart

3-2. 股関節 X 線パラメーターの計測

股関節 X 線パラメーターは、全脊椎立位正面 X 線の骨盤部分を使用して計測された (図 4) [37]。2 人の整形外科専門医 (TN : 医師経験年数 12 年と NT : 医師経験年数 11 年) がデジタル計測で計測を行い、最初の計測の 6 か月後に 2 回目の計測が行われ、検者内および検者間信頼性を評価した。

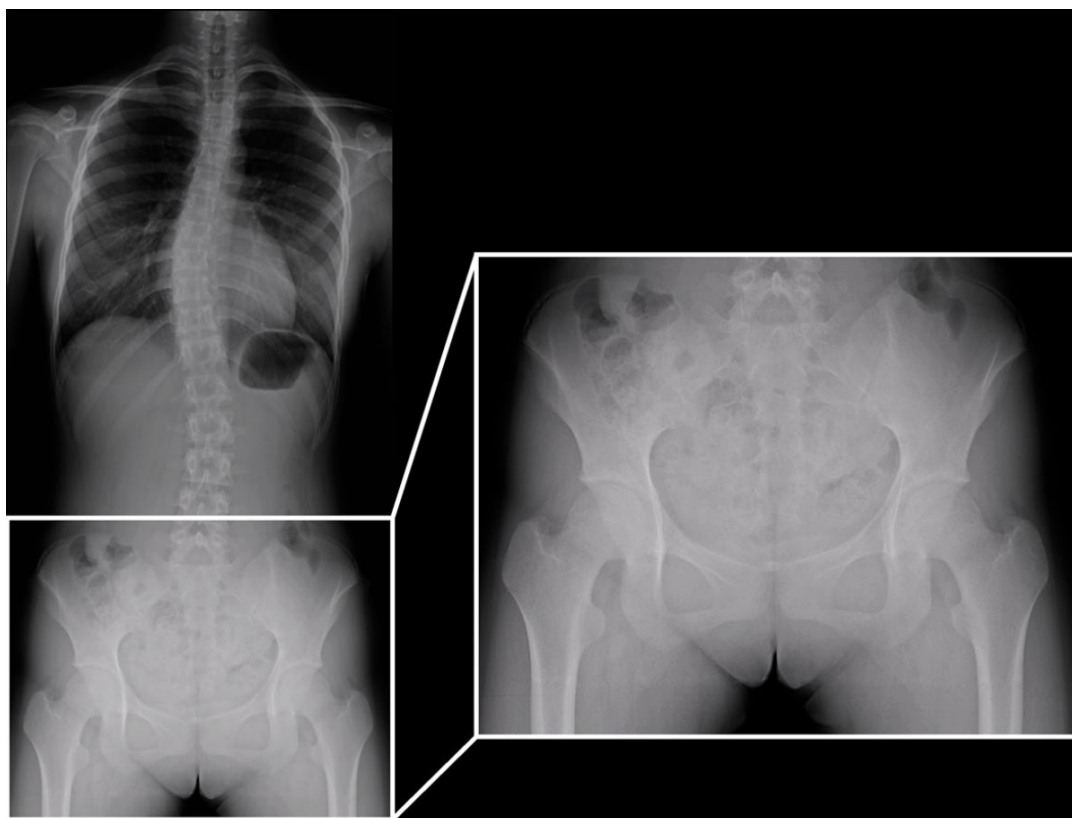


図 4. 全脊椎立位正面 X 線写真とその骨盤部分 (文献 37 より引用)

統一された撮影方法を使用することで、骨盤の回旋や側方傾斜の誤差を抑制し、安定した X 線写真を得ることができる。具体的には、患者は膝蓋骨を前方に向け、両足を肩幅に開き、肘関節を屈曲させて両側の鎖骨上にそれぞれの手の拳を載せ、まっすぐ正面を見つめた状態で撮影を行う。X 線パラメーターは、白線四角内の骨盤部分を用いて計測された。

3-3. 計測項目

LCEA(図 5) [12]、Tönnis angle(図 6) [38]、Sharp's angle(図 7) [39]、AHI (acetabular head index) (図 8) [10,40]、LS (lateral subluxations) (図 9) [11]、VS (vertical subluxations) (図 10) [1]、PED (peak to distance) (図 11) [1]を計測した。

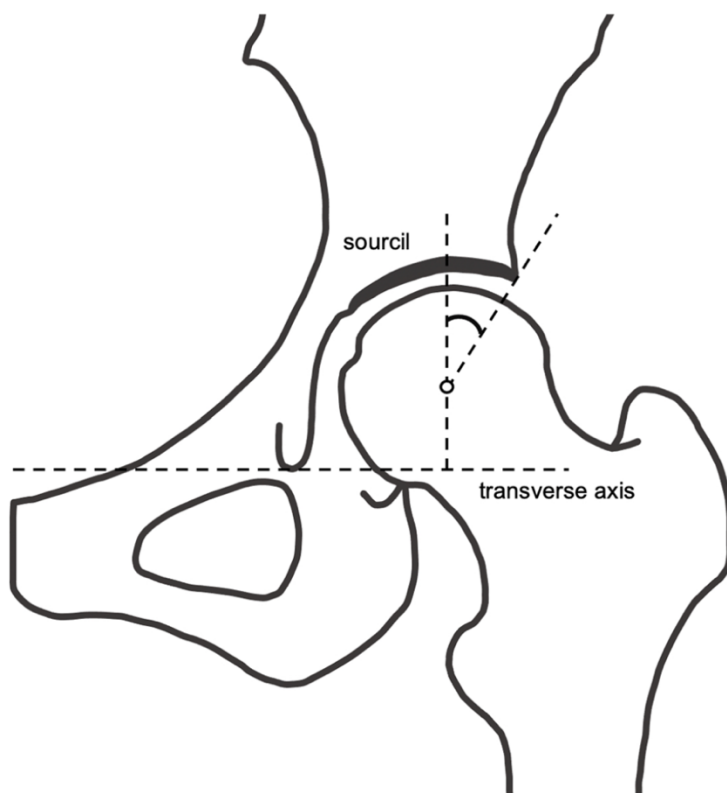


図 5. LCEA (lateral center-edge angle) (文献 37 より引用)

両側の涙痕を結ぶ骨盤の横軸 (transverse axis) に対し大腿骨頭中心を通る垂線と、大腿骨頭中心と寛骨臼外側縁を結ぶ線のなす角度と定義される。大腿骨頭中心はより正確に同定するために同心円のガイドを使用して定められ、寛骨臼外側縁は寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil) の外側縁として定められる。

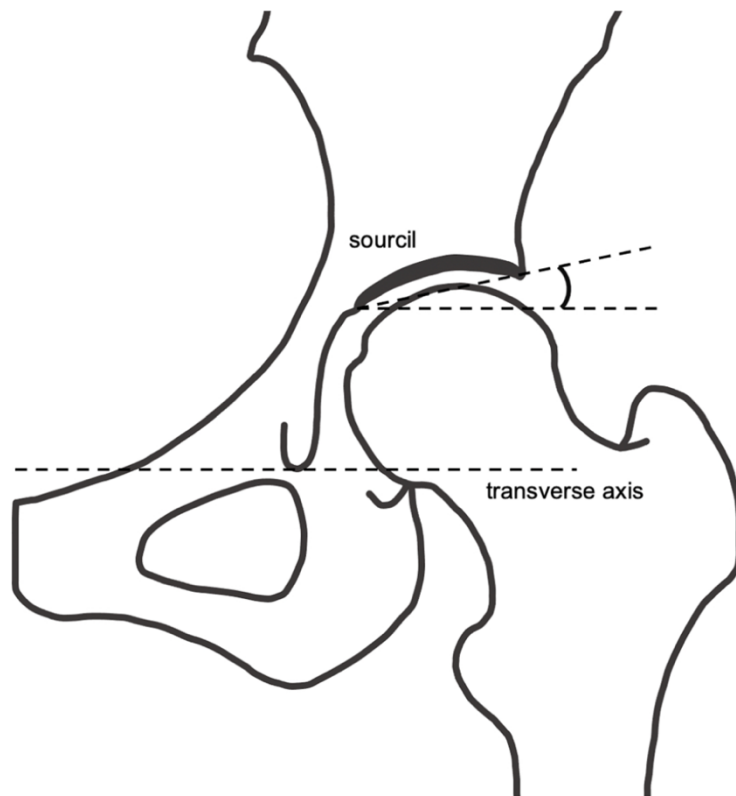


図 6. Tönnis angle (文献 37 より引用)

寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil)の内側縁と外側縁を結ぶ線と、両側の涙痕を結ぶ骨盤の横軸 (transverse axis)に並行で sourcil の内側縁を通る線のなす角度と定義される。

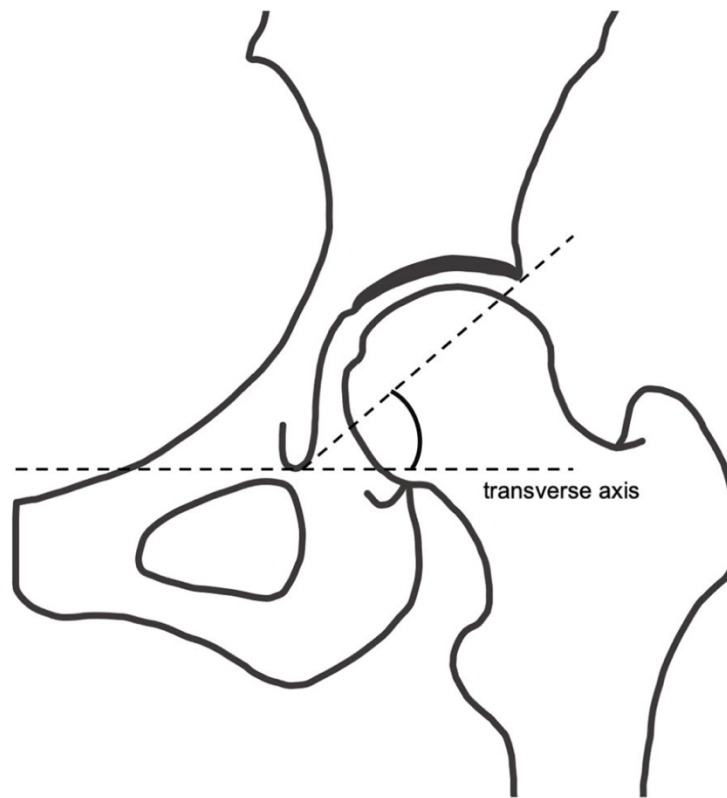


図 7. Sharp's angle (文献 37 より引用)

涙痕と寛骨臼外側縁を結ぶ線と、両側の涙痕を結ぶ骨盤の横軸 (transverse axis) に並行な線のなす角度と定義される。

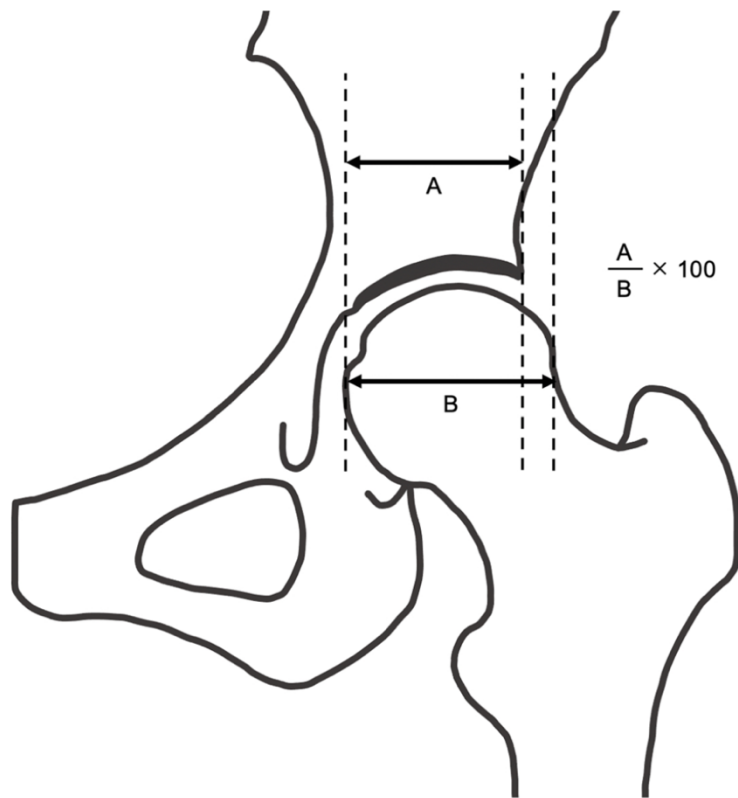


図 8. AHI (acetabular head index) (文献 37 より引用)

大腿骨頭内側縁から寛骨臼外側縁までの水平方向の距離 (A)を、大腿骨頭内側縁から大腿骨頭外側縁までの水平方向の距離 (B)で除算した割合として、 $A/B \times 100$ で定義される。

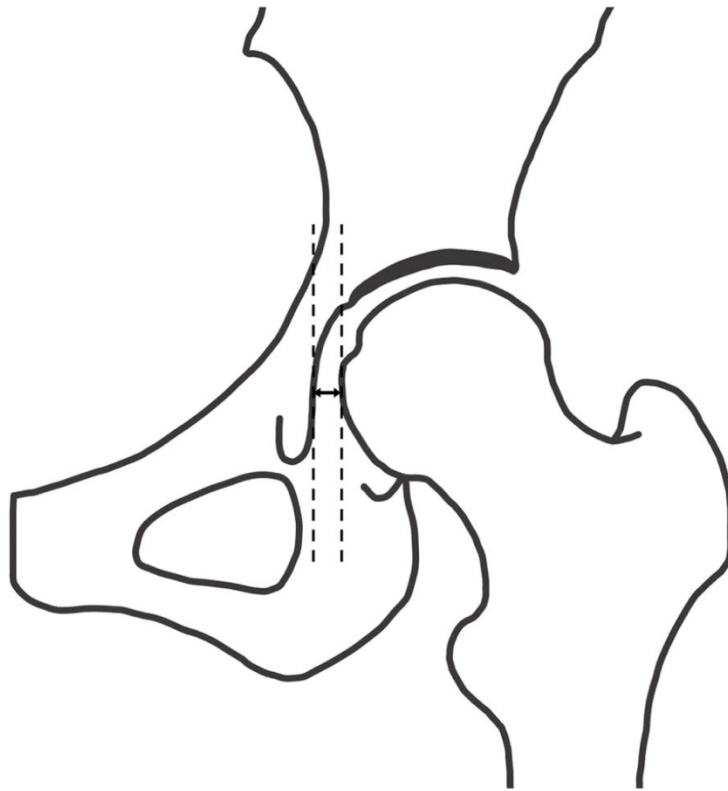


図 9. LS(lateral subluxations) (文献 37 より引用)

大腿骨頭内側縁から腸坐骨線 (ilioischial line)までの水平方向の距離として定義される。

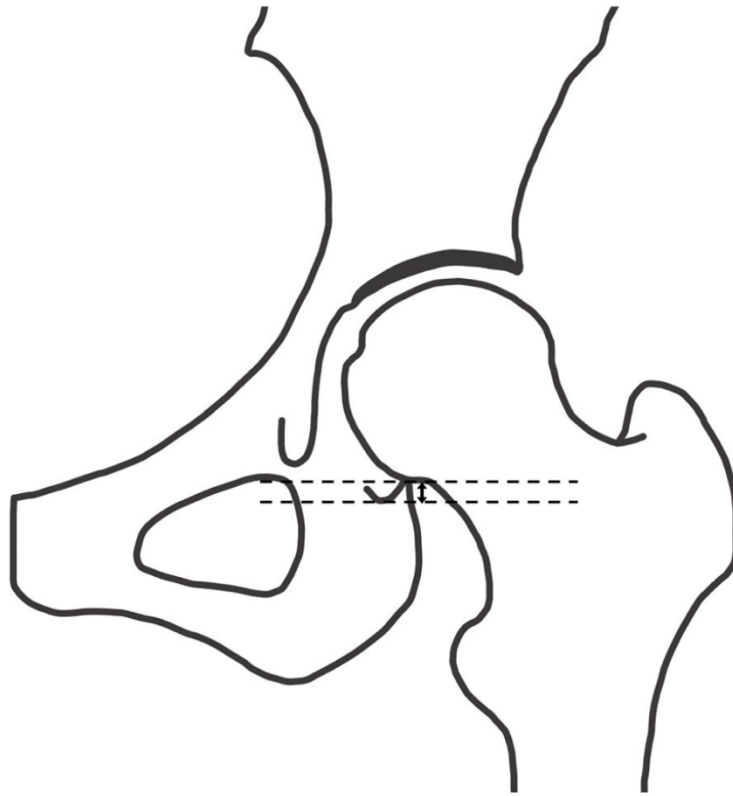


図 10. VS (vertical subluxations) (文献 37 より引用)

大腿骨頭の最下縁から寛骨臼の最下縁までの垂直方向の距離として定義される。大腿骨頭の最下縁が寛骨臼の最下縁よりも上方にある場合に計測値は負と定義される。

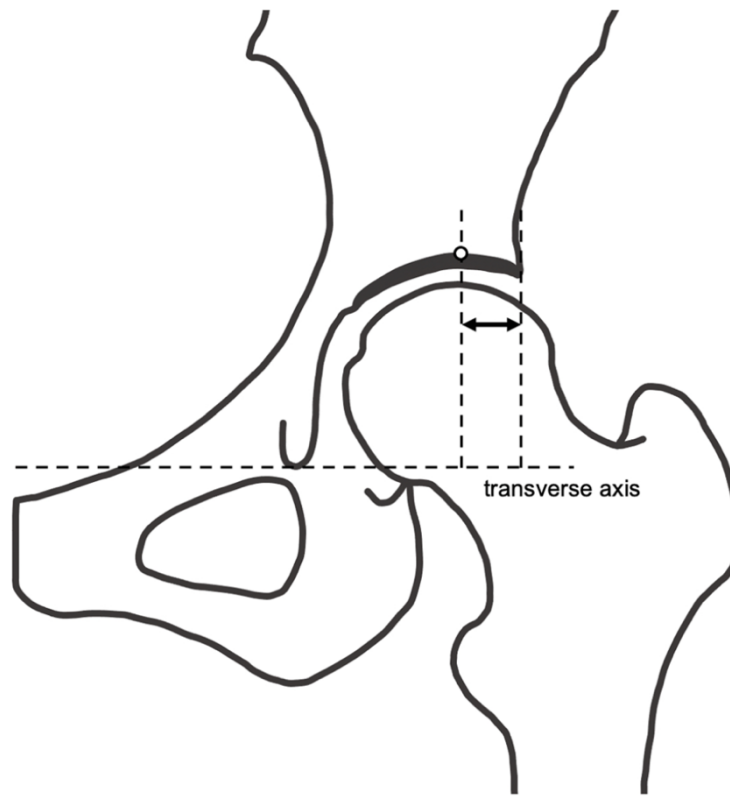


図 11. PED (peak to distance) (文献 37 より引用)

寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil)の頂点から寛骨臼外側縁までの水平方向の距離として定義される。

3-4. 対象年齢範囲の検討 (予備研究 1)

はじめに、2006 年 2 月から 2020 年 3 月までに側弯症またはその疑いで自治医科大学こども医療センターを受診した 10 歳から 18 歳の 825 人を対象に行われた。しかし、寛骨臼の成長終了は 12 歳から 14 歳頃に Y 軟骨や二次骨化中心の閉鎖が完了するとされる [41-44]。そのために、10 歳から 18 歳の年齢範囲では、骨格的な成熟に大きなばらつきがあるために、グループが均質でないと考えられた。そこで、研究対象とする年齢の範囲及び除外基準を設定するために次のような調査及び検討を行った。なお、1 歳毎の年齢層におけるデータの分布が不明であり、特に骨成熟前の年齢においては 1 歳毎の年齢層内での相関が存在していることも考えられたため、予備研究 1 においては年齢を小数点第 1 位 (10 進法) で検討した。

Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線の未閉鎖例の調査

10 歳から 18 歳の 825 人の両側の股関節を対象に、各年齢層における Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線の未閉鎖数と割合を調査した。少なくとも片側に未閉鎖が確認された場合に未閉鎖としてカウントした (表 1)。

年齢	未閉鎖数 (割合)
10.0 ~ 10.9 歳	35/47 人 (74.4%)
11.0 ~ 11.9 歳	31/79 人 (39.2%)
12.0 ~ 12.9 歳	23/157 人 (14.6%)
13.0 ~ 13.9 歳	1/162 人 (0.01%)
14.0 ~ 18.9 歳	0/380 人 (0.00%)

表 1. 各年齢層における Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線の未閉鎖数と割合

年齢と X 線パラメーターの相関の検討

それぞれの股関節 X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI) に関して、年齢との相関を検討した。年齢はいくつかのパターンで層別し、相関は Pearson の積率相関係数で評価した。

1 歳毎の層別 (10.0~10.9 歳、11.0~11.9 歳、…、18.0~18.9 歳) で X 線パラメーターとの相関を検討したところ、データの分布のばらつきが大きく、相関はみられなかった。続いて、複数の年齢毎に層別し検討した。具体的には、2 歳毎の層別 (10.0~11.9 歳、12.0~13.9 歳、…、16.0~18.9 歳)、3 歳毎の層別 (10.0~12.9 歳、13.0~15.9 歳、16.0~18.9 歳)、4 歳毎の層別 (10.0~13.9 歳、14.0~18.9 歳)、で検討した。その結果、10.0~11.9 歳の年齢層において弱い相関が見られた (図 12)。

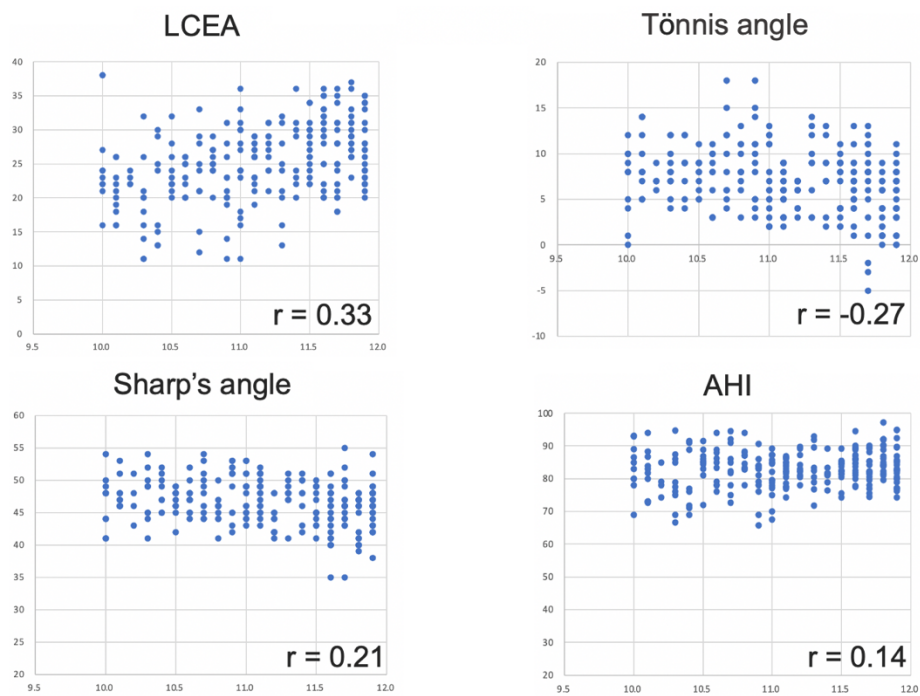


図 12. 10.0~11.9 歳の年齢層における股関節 X 線パラメーターと年齢の相関関係 (相関係数 : r)

10.0~11.9 歳と 12.0~18.9 歳の比較

Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線の未閉鎖数と割合の結果と、10.0~11.9 歳の年齢層における X 線パラメーターと年齢の弱い相関が判明した。そこで、10.0~11.9 歳と 12.0~18.9 歳で X 線パラメーターの比較を行った (表 2)。X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI)それぞれにおいて、有意差があった。

パラメーター	10.0~11.9 歳 (n=251)	12.0~18.9 歳 (n=1177)	p
LCEA (°)	25 ± 5.6	28 ± 5.0	0.01
Tönnis angle (°)	6.8 ± 3.9	5.2 ± 3.7	0.01
Sharp's angle (°)	47 ± 3.5	44 ± 3.1	0.01
AHI (%)	82 ± 5.8	83 ± 5.6	0.02

LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index

表 2. 10.0~11.9 歳と 12.0~18.9 歳の股関節 X 線パラメーターの比較

骨成熟前と骨成熟後の比較

骨成熟前 (Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線が未閉鎖)と骨成熟後 (閉鎖後)においても、X 線パラメーターの比較を行った (表 3)。X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI)それぞれにおいて、有意差があった。

パラメーター	骨成熟前 (n=179)	骨成熟後 (n=1249)	p
LCEA (°)	25 ± 5.6	28 ± 5.2	0.01
Tönnis angle (°)	6.9 ± 4.0	5.3 ± 3.8	0.01
Sharp's angle (°)	47 ± 3.6	44 ± 3.1	0.01
AHI (%)	81 ± 5.8	82 ± 5.6	0.03

LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index

表 3. 骨成熟前 (Y 軟骨あるいは臼蓋縁骨端線が未閉鎖)と骨成熟後 (閉鎖後)の股関節 X 線パラメーターの比較

予備研究 1 の結果より、研究対象のグループを均質にするために、対象年齢を 12~18 歳とし、除外項目に寛骨臼の Y 軟骨や臼蓋縁骨端線の閉鎖が未完了であるものを加えた。当研究の最終的な selection flowchart は図 1 となった。

3-5. 側弯症の影響の検討 (予備研究 2)

当研究の対象は側弯症またはその疑い患者だったため、側弯症の X 線パラメーターに対する影響を検討した。骨盤の側方傾斜を伴う側弯症では、寛骨臼前方被覆が減少するという報告がある [45]。寛骨臼前方被覆の減少は X 線パラメーターに影響を与えると考えられるが、当研究の除外基準には側方傾斜を伴う症例が既に含まれている。また、思春期特発性側弯症の 1.4%に寛骨臼形成不全が併存するという人口ベースの研究の報告がある [46]。しかし、側弯症の有無による股関節 X 線パラメーターの数値に対する影響についての報告は過去にない。

そこで、側弯症の有無における股関節 X 線パラメーターの比較を行った (表 4)。側弯症の程度は、Cobb 角 (冠状面で上位と下位それぞれで最も傾斜している椎体において、上位椎体の頭側縁と下位椎体の尾側縁がなす角度) で評価し、側弯症の基準となる Cobb 角 10° を境界とした。Cobb 角は胸椎カーブと胸腰椎/腰椎カーブを計測し、骨盤に近い胸腰椎カーブの Cobb 角が 10° 以上である場合に側弯症ありのグループとした。側弯症の有無において、X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI) それぞれに有意差は確認されなかった。

パラメーター	側弯症なし (n=294)	側弯症あり (n=807)	p
胸腰椎/腰椎 Cobb 角 ($^{\circ}$)	5.4 ± 3.0	23 ± 9.9	0.01
胸椎 Cobb 角 ($^{\circ}$)	11 ± 8.5	26 ± 13	0.01
年齢 (歳)	14	14	0.54
LCEA ($^{\circ}$)	28 ± 5.4	28 ± 4.8	0.38
Tönnis angle ($^{\circ}$)	5.1 ± 4.2	5.1 ± 3.6	0.90
Sharp's angle ($^{\circ}$)	44 ± 2.9	44 ± 3.2	0.73
AHI (%)	82 ± 6.0	82 ± 5.4	0.58

LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index

側弯症なし：胸腰椎/腰椎 Cobb 角 10° 未満

側弯症あり：胸腰椎/腰椎 Cobb 角 10° 以上

表 4. 側弯症の有無による股関節 X 線パラメーターの比較

予備研究 2 の結果より、側弯症の程度による股関節 X 線パラメーターに対する影響は少ないと考えた。そのため、側弯症の程度は除外項目に含めなかった。

3-6. 全脊椎立位正面 X 線使用による影響の検討 (予備研究 3)

当研究では、股関節 X 線パラメーターの計測において、股関節立位正面 X 線ではなく全脊椎立位正面 X 線が使用された。通常の股関節正面 X 線では、フィルムは X 線源から 1.2m 離れた位置に設置され、焦点の中心は恥骨結合部頭側に位置するが、全脊椎立位正面 X 線ではフィルムは X 線源から 2m 離れた位置に設置され、焦点の中心は上腹部から臍の中間点に位置した (水晶体に対する X 線照射を防ぐため、X 線ビームの上縁が眼球下縁より頭側にならないように位置した)。したがって、全脊椎立位正面 X 線の X 線ビームの中心は通常の股関節正面 X 線よりわずかに頭側に位置していたが、フィルムサイズは大きく、X 線源とフィルム間の距離も大きかったことになるため、X 線入射角に関して誤差は減少すると考えられる。しかし、焦点距離と X 線ビームの入射角が異なることで、画像の誤差や、股関節 X 線パラメーターの計測誤差が生じる可能性が考えられた。

そこで、当施設に古くより保管されていた全身骨格標本を実際に X 線撮影し、得られた画像を使用して検討した。全身骨格標本の人種は東アジア系民族とされ、各関節や骨が金属で固定された吊り下げ式だった。フィルムを上記の位置に設置し、全脊椎立位正面 X 線については、焦点中心を身長 150cm 想定 の位置と身長 170cm 想定 の位置の 2 種類で撮影を行った (図 13a)。それぞれの X 線画像の骨盤部分を使用して股関節 X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI、LS、VS、PED) を計測した (図 13b)。

X 線の骨盤部に描出された両側の閉鎖孔のサイズと骨盤腔の縦径/横径比がわずかに異なるため、それぞれの撮影条件において骨盤部に対しての X 線ビームの入射角が異なることが分かる。計測に影響すると考えられる部分としては、寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil) の厚さ、涙痕最下縁および寛骨臼最下縁の位置がわずかに異なっていた。しかし、各 X 線パラメーターの計測結果は各撮影条件で差がなく、検者間においても差は確認されなかった。

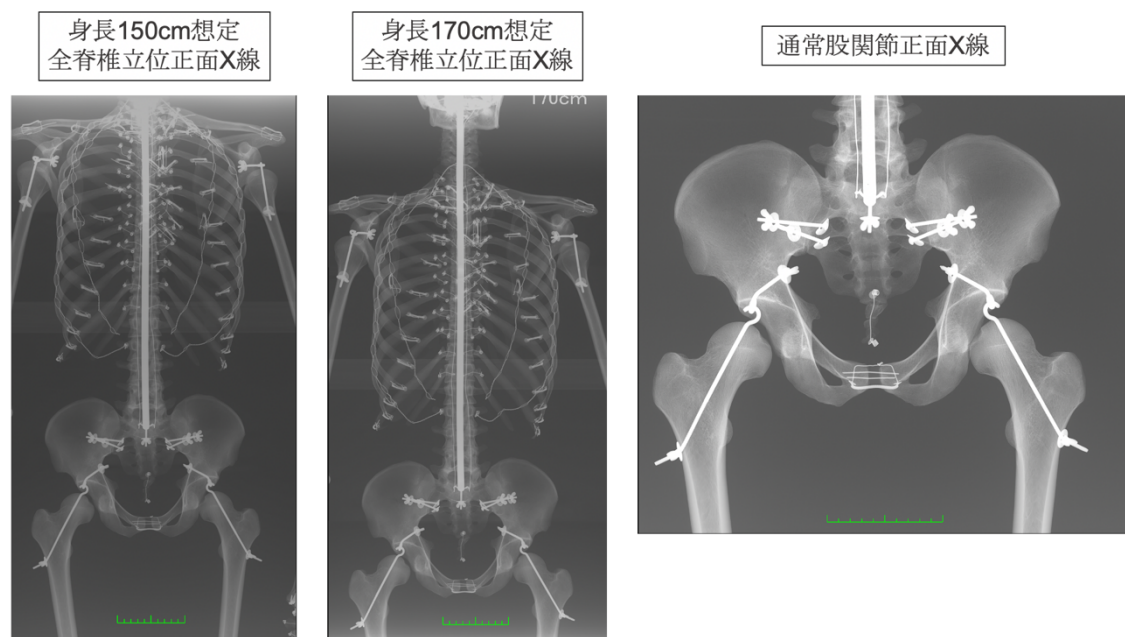


図 13a. 全身骨格標本を用いて撮影した X 線画像

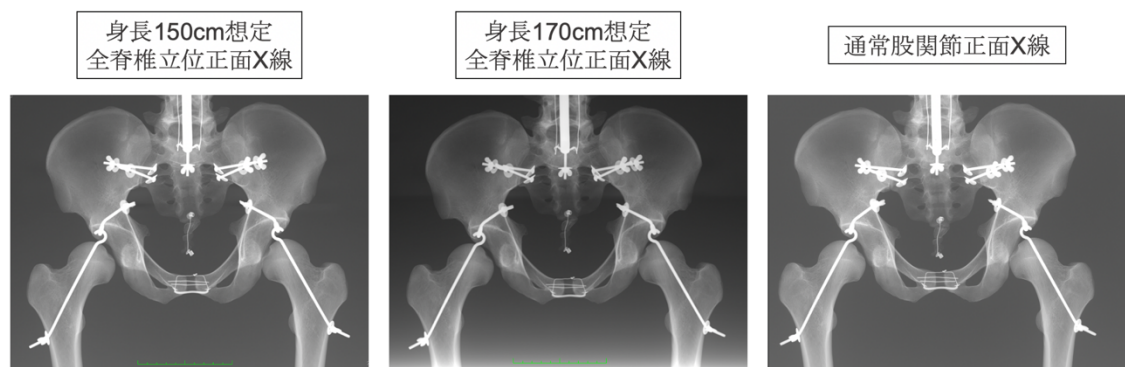


図 13b. 全身骨格標本を用いて撮影した X 線画像の骨盤部分

3-7. 統計学的分析

統計解析は、SPSS Version 25 (IBM 社、Armonk, NY, USA)を使用して行われた。各パラメーターの平均、標準偏差 (standard deviation: SD)が算出され、性別間での比較には unpaired t-test を、各パラメーターと年齢、身長、体重、BMI との相関は、Pearson の積率相関係数を使用し解析された。各パラメーターの検者内および検者間信頼性は、級内相関係数 (intraclass correlation coefficients: ICC) と 95% CI (confidence interval)を求め、その数値により <0.5 : poor、0.5-0.75 : moderate、0.75-0.9 : good、>0.9 : excellent と評価された [47]。p 値が 0.05 以下の場合、統計的に有意とみなされた。

4. 結果

最終的に計測対象となった 552 人 1101 股の平均年齢は 14.1 歳だった。表 5 に股関節 X 線の各パラメーターの数値、表 6 に各 X 線パラメーターと年齢、身長、体重および BMI との相関係数 (r)および決定係数 (r^2)、図 14 から図 20 に相関関係を示す散布図、表 7 に各パラメーターの検者内および検者間信頼性を要約した。

LCEA

LCEA の平均 \pm 標準偏差は、全体で $28^\circ \pm 4.8^\circ$ 、男性で $30^\circ \pm 4.6^\circ$ 、女性で $28^\circ \pm 5.0^\circ$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。LCEA と年齢との相関と、身長との相関には有意な差があったが (それぞれ $p = 0.03$ 、 $p < 0.01$)、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、0.87 (95% CI 0.86-0.89)、0.80 (95% CI 0.77-0.86)だった。

Tönnis angle

Tönnis angle の平均 \pm 標準偏差は、全体で $5.0^\circ \pm 3.7^\circ$ 、男性で $3.0^\circ \pm 3.1^\circ$ 、女性で $5.4^\circ \pm 3.8^\circ$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。Tönnis angle と年齢、身長、BMI との相関には有意な差があったが (いずれも $p < 0.01$)、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、0.85 (95% CI 0.84-0.86)、0.71 (95% CI 0.45-0.83) だった。

Sharp's angle

Sharp's angle の平均 \pm 標準偏差は、全体で $44^\circ \pm 3.1^\circ$ 、男性で $43^\circ \pm 3.1^\circ$ 、女性で $44^\circ \pm 3.1^\circ$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。Sharp's angle と年齢との相関には有意な差があったが ($p = 0.04$)、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、0.77 (95% CI 0.75-0.79)、0.73 (95% CI 0.55-0.83) だった。

AHI

AHI の平均 \pm 標準偏差は、全体で $82\% \pm 5.5\%$ 、男性で $83\% \pm 4.9\%$ 、女性で $82\% \pm 5.7\%$ だった。性別間には有意な差があった ($p = 0.04$)。AHI と身長との相関には有意な差があったが ($p = 0.03$)、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、0.75 (95% CI 0.73-0.77)、0.70 (95% CI 0.63-0.77) だった。

LS

LS の平均 \pm 標準偏差は、全体で $5.4 \pm 1.4\text{mm}$ 、男性で $6.0 \pm 1.2\text{mm}$ 、女性で $5.3 \pm 1.5\text{mm}$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。LS と身長および体重との相関には有意差があったが (いずれも $p < 0.01$)、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、0.66 (95% CI 0.63-0.69)、0.62 (95% CI 0.51-0.71) だった。

VS

VS の平均 \pm 標準偏差は、全体で $0.3 \pm 1.2\text{mm}$ 、男性で $0.9 \pm 1.5\text{mm}$ 、女性で $0.2 \pm 1.1\text{mm}$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。VS と年齢、身長、体重及び BMI との相関には有意な差がなかった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、 0.89 (95% CI $0.88-0.90$)、 0.57 (95% CI $0.46-0.67$) だった。

PED

PED と平均 \pm 標準偏差は、全体で $14 \pm 2.3\text{mm}$ 、男性で $16 \pm 2.4\text{mm}$ 、女性で $14 \pm 2.0\text{mm}$ だった。性別間には有意な差があった ($p < 0.01$)。PED と年齢、身長および体重との相関には有意な差があり (いずれも $p < 0.01$)、PED と身長の相関係数および決定係数が 0.4 (0.1) と弱い相関を示した以外は、相関係数および決定係数は低値だった。検者内信頼性と検者間信頼性はそれぞれ、 0.74 (95% CI $0.72-0.76$)、 0.67 (95% CI $0.25-0.83$) だった。

パラメーター	全体 (n=1101)	男性 (n=156)	女性 (n=945)	p	成人の基準値	正常範囲
LCEA (°)	28 ± 4.8	30 ± 4.6	28 ± 5.0	< 0.01	31-38	25 <
Tönnis angle (°)	5.0 ± 3.7	3.0 ± 3.1	5.4 ± 3.8	< 0.01	3-8	0-10
Sharp's angle (°)	44 ± 3.1	43 ± 3.1	44 ± 3.1	< 0.01	37-39	< 45
AHI (%)	82 ± 5.5	83 ± 4.9	82 ± 5.7	0.04	88-93	75 <
LS (mm)	5.4 ± 1.4	6.0 ± 1.2	5.3 ± 1.5	< 0.01	6	< 10
VS (mm)	0.3 ± 1.2	0.9 ± 1.5	0.2 ± 1.1	< 0.01	1	10 <
PED (mm)	14 ± 2.3	16 ± 2.4	14 ± 2.0	< 0.01	16	< 3

LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index; LS, lateral subluxation; VS, vertical subluxation; PED, peak-to-edge distance.

表 5. 思春期の日本人の股関節 X 線パラメーター (文献 37 より引用、一部改変)

パラメーター	相関係数 (r)および決定係数 (r ²)											
	年齢 (歳)			身長 (cm)			体重 (kg)			BMI (kg/m ²)		
	r (r ²)		p	r (r ²)		p	r (r ²)		p	r (r ²)		p
LCEA	0.07	(0.00)	0.03	0.1	(0.02)	< 0.01	0.02	(0.00)	0.6	-0.04	(0.00)	0.2
Tönnis angle	-0.1	(0.01)	< 0.01	-0.2	(0.03)	< 0.01	0.04	(0.00)	0.3	0.1	(0.02)	< 0.01
Sharp's angle	-0.06	(0.00)	0.04	-0.06	(0.00)	0.06	-0.05	(0.00)	0.1	-0.04	(0.00)	0.2
AHI	0.05	(0.00)	0.1	0.07	(0.00)	0.03	0.01	(0.00)	0.8	-0.02	(0.00)	0.6
LS	-0.04	(0.00)	0.3	0.2	(0.04)	< 0.01	0.2	(0.02)	< 0.01	0.06	(0.00)	0.07
VS	-0.01	(0.00)	0.9	0.06	(0.00)	0.08	-0.02	(0.00)	0.5	-0.06	(0.00)	0.07
PED	0.1	(0.01)	< 0.01	0.4	(0.1)	< 0.01	0.2	(0.02)	< 0.01	-0.07	(0.00)	0.06

BMI, body mass index; LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index; LS, lateral subluxation; VS, vertical subluxation; PED, peak-to-edge distance.

表 6. 股関節 X 線の各パラメーターと年齢、身長、体重および BMI との相関係数および決定係数 (文献 37 より引用、一部改変)

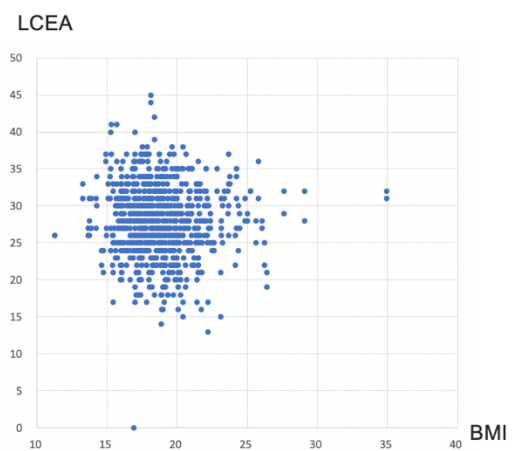
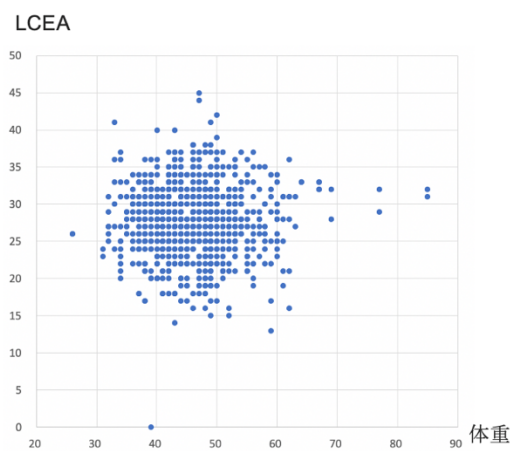
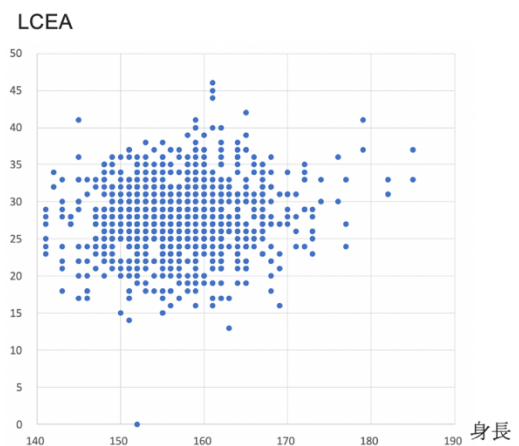
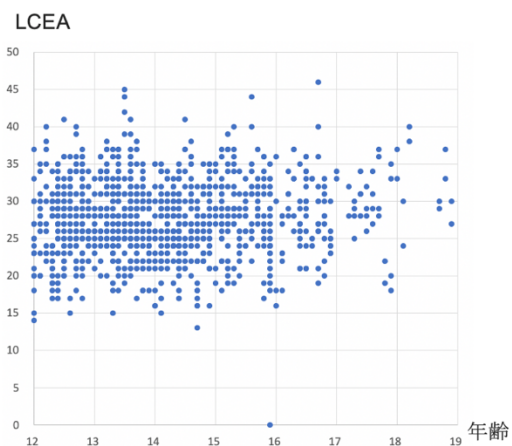
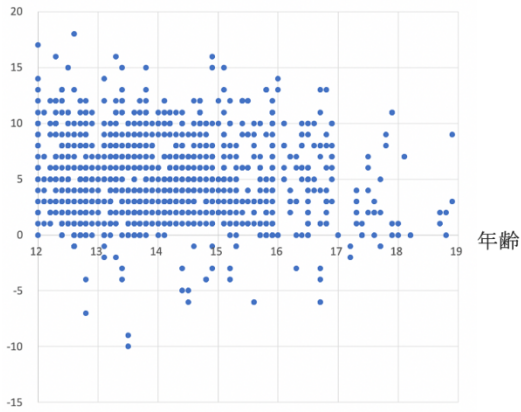
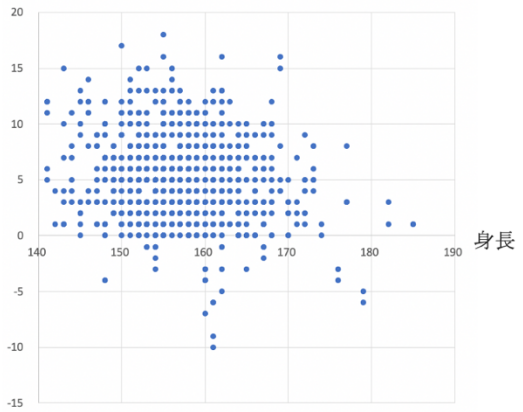


図 14. LCEA と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

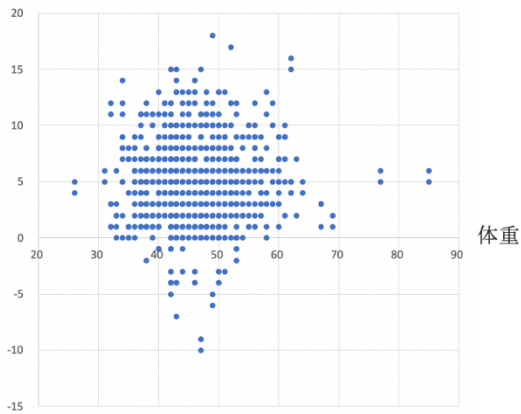
Tönnis angle



Tönnis angle



Tönnis angle



Tönnis angle

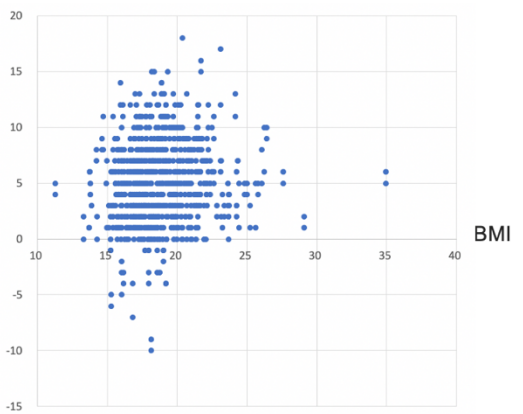


図 15. Tönnis angle と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

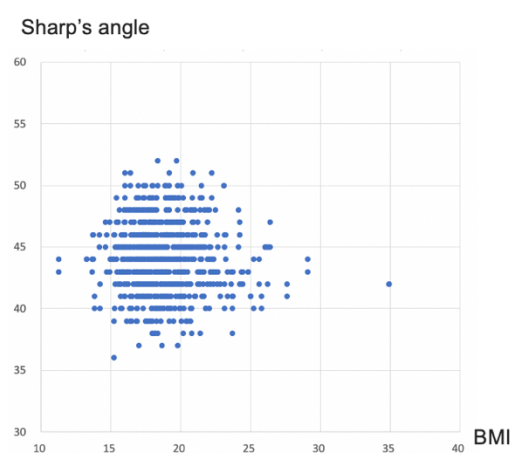
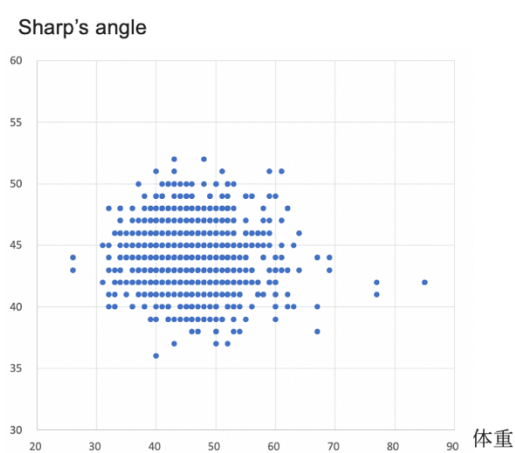
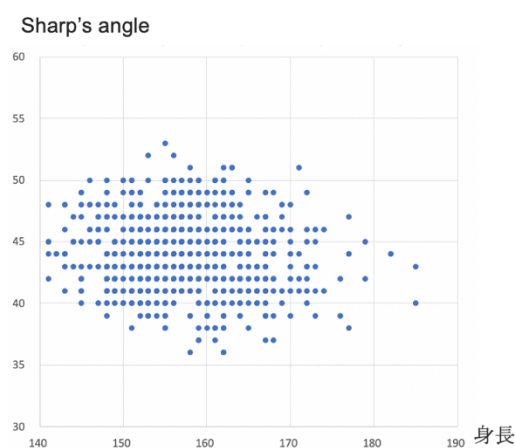
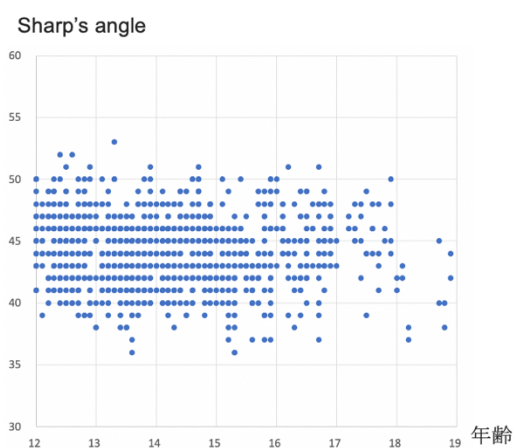


図 16. Sharp's angle と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

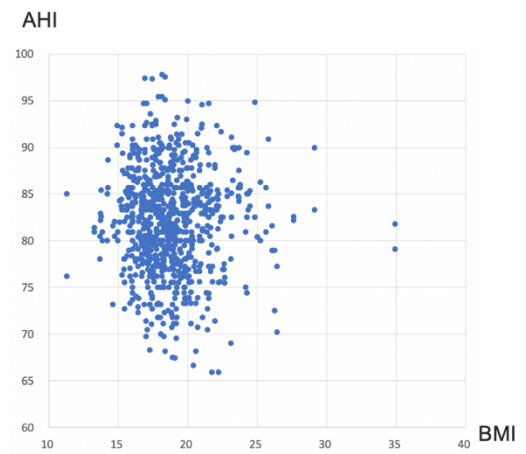
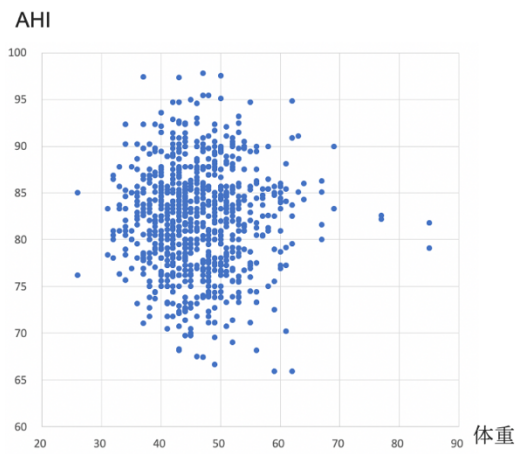
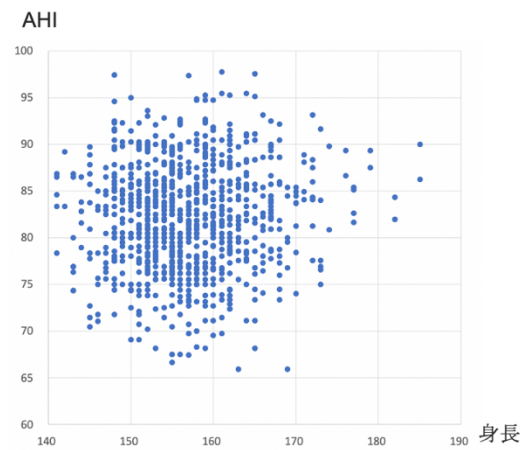
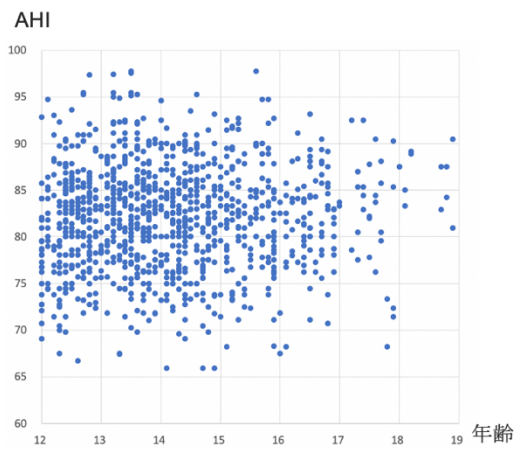
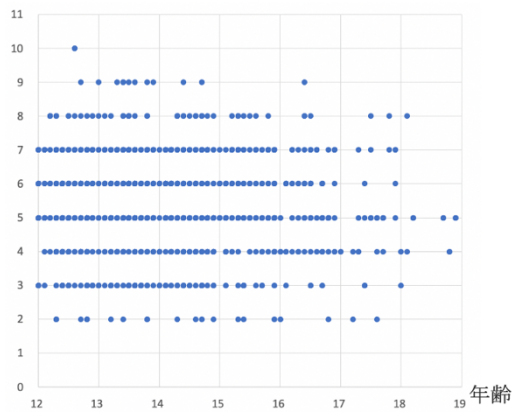
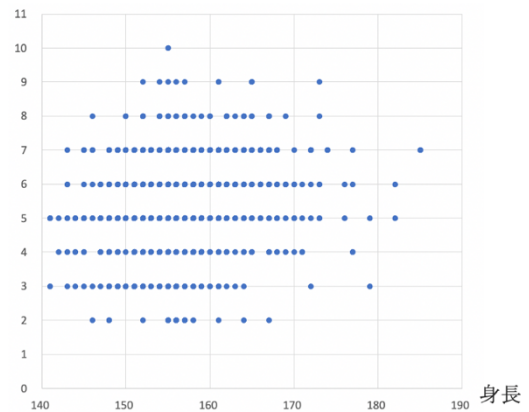


図 17. AHI と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

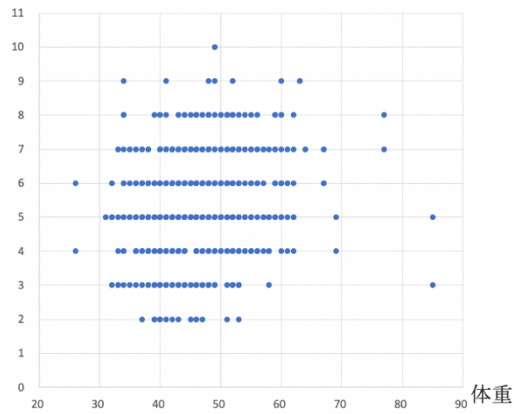
LS



LS



LS



LS

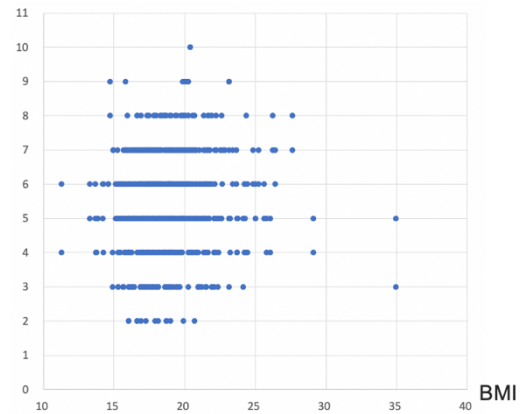


図 18. LS と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

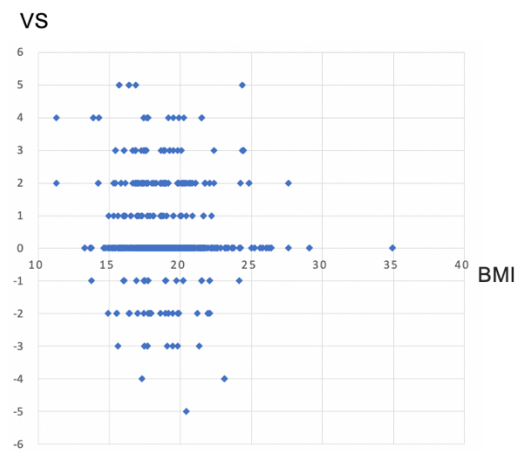
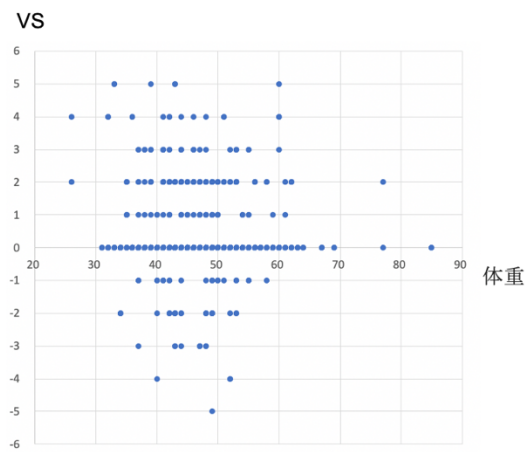
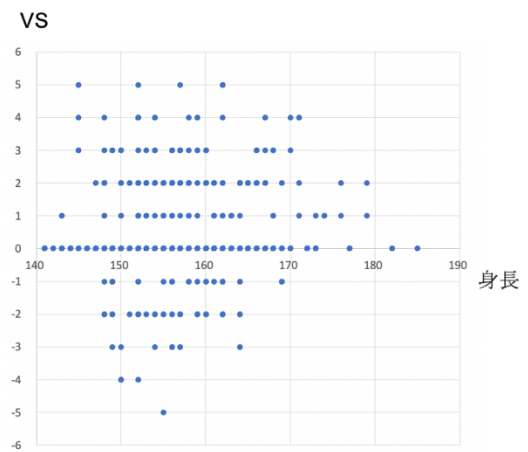
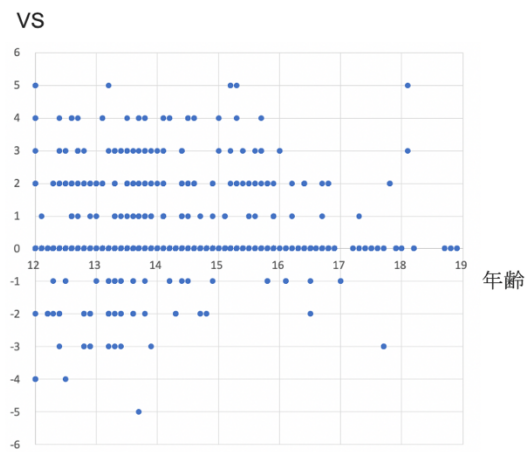


図 19. VS と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

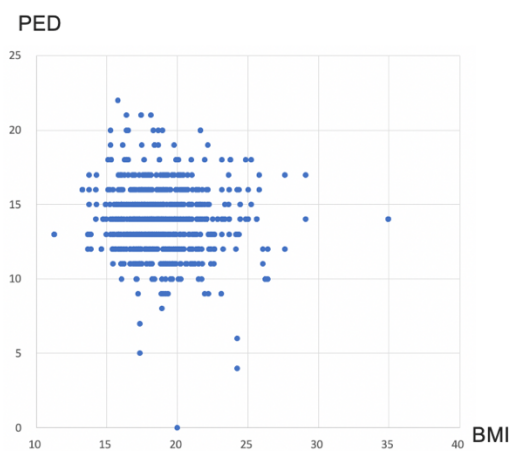
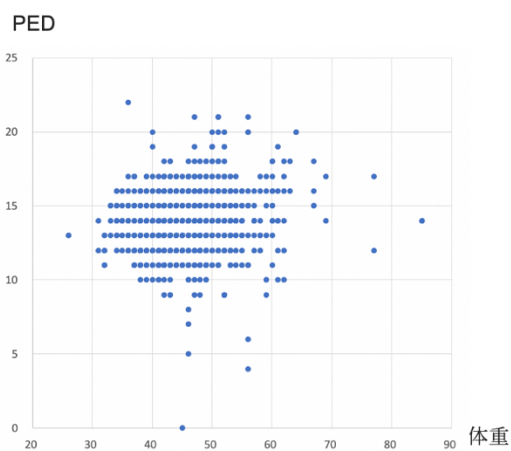
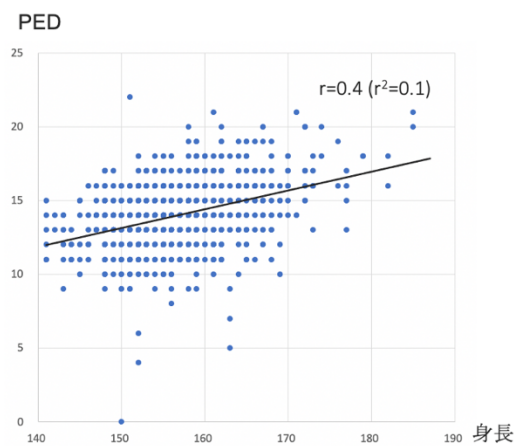
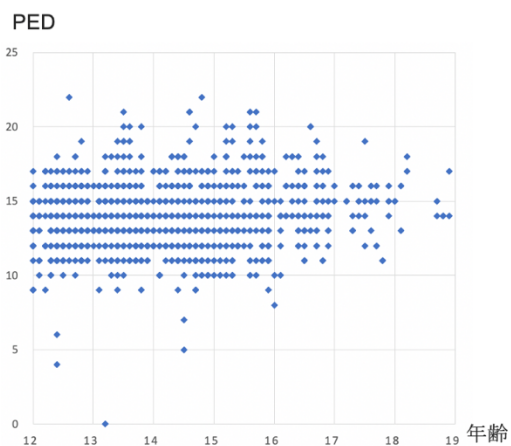


図 20. PED と年齢、身長、体重、BMI との相関関係

パラメーター	級内相関係数 (ICC)	
	検者内信頼性 (95% CI)	検者間信頼性 (95% CI)
LCEA	0.87 (0.86 to 0.89)	0.80 (0.77 to 0.86)
Tönnis angle	0.85 (0.84 to 0.86)	0.71 (0.45 to 0.83)
Sharp's angle	0.77 (0.75 to 0.79)	0.73 (0.55 to 0.83)
AHI	0.75 (0.73 to 0.77)	0.70 (0.63 to 0.77)
LS	0.66 (0.63 to 0.69)	0.62 (0.51 to 0.71)
VS	0.89 (0.88 to 0.90)	0.57 (0.46 to 0.67)
PED	0.74 (0.72 to 0.76)	0.67 (0.25 to 0.83)

ICC : <0.5 : poor、0.5-0.75 : moderate、0.75-0.9 : good、>0.9 : excellent

ICC, intraclass correlation coefficient; CI, confidence interval; LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index; LS, lateral subluxation; VS, vertical subluxation; PED, peak-to-edge distance.

表 7. 股関節 X 線の各パラメーターにおける検者内信頼性および検者間信頼性 (文献 37 より引用、一部改変)

5. 考察

股関節 X 線パラメーターにおいて、LCEA および AHI は寛骨臼大腿骨頭被覆、Sharp's angle、Tönnis angle および PED は寛骨臼の骨形態、LS および VS は大腿骨頭脱臼の程度を示す [1, 11]。変形性股関節症の主な原因とされる寛骨臼形成不全の判定基準としては、日本では LCEA、AHI、Sharp's angle、Tönnis angle が用いられることが多い。表 8 に、過去の代表的な報告における LCEA、Tönnis angle および Sharp's angle の基準値を要約した。これらの X 線パラメーターは成人または高齢者から得られた数値が基準値となっている点に留意すべきである。本研究は、母集団を日本人の 12 歳から 18 歳の側弯症あるいはその疑い患者として 1101 股を対象としたものであり、サンプル数や対象年齢の範囲において有意義であると考えられる。

報告者 (報告年)	人種	サンプル数	年齢 (平均)	対象	LCEA (°)		Tönnis angle (°)		Sharp angle (°)	
					M	F	M	F	M	F
Nakamura (1989) ³⁰	Japanese	254	40 to 69 (54)	Other diseases	32.3	32.1	4.6	5.4	37.3	38.6
Yoshimura (1998) ³¹	British	1498	66 to 67 (66)	Urography	36	37				
	Japanese	198	67 to 70 (69)	Urography	31	31				
Han (1998) ³²	Korean	591	22 to 88 (52)	Other diseases	32.6	32.2	5.2	8.0	36.5	37.5
Inoue (2000) ³³	French	401	20 to 79	Urography	37.8	36.9				
	Japanese	782	20 to 79	Urography	35.1	32.8				
Jacobsen (2005) ³⁴	Danish	4151	M: 23 to 93 (62)	City health	R: 35	R: 35			R: 37.0	R: 39.1
			F: 22 to 92 (65)	study	L: 34	L: 35			L: 37.0	L: 38.0
Umer (2006) ³⁵	Singaporean	522	16 to 99 (60)	Other diseases	30.6	33.5	7.8	7.8		
Im (2010) ³⁶	Korean	428	17 to 90 (52)	Other diseases	38.0	37.8				

M, male; F, female; R, right; L, left; LCEA, lateral center-edge angle

表 8. 過去の代表的な股関節 X 線パラメーターの報告のまとめ (文献 37 より引用、一部改変)

過去の報告では、LCEA の基準値は男性で 31° - 35° 、女性で 31° - 38° であり、日本人では男性で 31° - 35° 、女性で 31° - 33° とやや小さい [30-35,48,49]。LCEA の正常値は 25° 以上とされる。また、正常股関節においても日本人女性は形成不全傾向であると報告されているが [37]、女性で LCEA が小さいという傾向は表 8 の通り欧米人や韓国人では見られない。本研究では思春期の LCEA は、男性で 30° 、女性で 28° であり、過去の報告同様に性差があり、女性の方が小さかった。また LCEA は重要な X 線指標として多く用いられるが、寛骨臼外側縁や大腿骨頭中心の決定が困難であることが問題であり、近年の報告では LCEA だけを基にした寛骨臼形成不全の診断には限界があるとも指摘されている [20,50]。更に、LCEA が 18° あるいは 20° - 24° で定義される境界型寛骨臼形成不全に対する思春期の手術治療成績不良率 (関節鏡手術で 3-19%、骨切り手術で 9%)を考慮すると、思春期の寛骨臼に対しての判定が不適切であった可能性がある [24-29]。

Tönnis angle の基準値は 3° - 8° であり、正常範囲は 0° - 10° であると報告されている [10,21,30,35,49]。本研究では思春期の Tönnis angle は、男性で 3.0° 、女性で 5.4° だった。Tönnis angle についても、寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil)の内側縁と外側縁が明瞭でないことがあり、計測点の決定困難の問題がある。

Sharp's angle の基準値は男性で 37° - 38° 、女性で 38° - 39° であり、 $>45^{\circ}$ が寛骨臼形成不全の基準であると報告されている [30,34]。本研究では思春期の Sharp's angle は、男性で 43° 、女性で 44° だった。寛骨臼形成不全の判定基準となる 45° に近い数値であることは、思春期の Sharp's angle について慎重に判断する必要性を示唆する一方で、涙痕と寛骨臼外側縁を計測点に使用するため、予備研究 3 で検討した全脊椎立位正面 X 線使用の影響を反映した結果である可能性も考えられる。

AHI の基準値は 88%-93%であり、 $\leq 75\%$ が寛骨臼形成不全の基準であると報告されている [10, 34]。本研究では思春期の AHI は、男性で 83%、女性 82%だった。

LS の基準値は 6mm であり、正常範囲は $<10\text{mm}$ であると報告されている [1]。しかし Clohisy らは、LS は患者の身体的な寸法に影響を受ける可能性があるため、正常範囲の基準となる 10mm の距離は厳格なパラメーターとしてではなく一般的な参考値として考えるべきだと述べた [11]。本研究では思春期の LS は、男性で 6.0mm、女性で 5.3mm だった。

VS の基準値は 1mm であり、 $>10\text{mm}$ が寛骨臼形成不全の基準であると報告されている [1]。本研究では思春期の VS は、男性で 0.9mm、女性で 0.2mm だっ

た。計測点である寛骨臼最下縁の決定が困難である上に、予備研究 3 で検討した通り全脊椎立位正面 X 線では寛骨臼最下縁の位置が通常の股関節 X 線と異なることが問題であると考えられる。

PED の基準値は 16mm であり、 $<3\text{mm}$ が寛骨臼形成不全の基準であると報告されている [1]。本研究では思春期の PED は、男性で 16mm、女性で 14mm だった。股関節 X 線の各パラメーターと年齢、身長、体重および BMI との相関関係の検討において、唯一 PED と身長に弱い相関 ($r=0.4, r^2=0.1, <0.01$) があった。全脊椎立位 X 線において身長の影響を受けるのは焦点中心であり、身長の変化に合わせて寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil) の頂点が内側へ移動したことを反映したと推察される。

股関節 X 線パラメーターの過去に報告された基準値と本研究結果の比較を行うと、思春期の股関節は、LCEA、AHI、PED が小さく、Sharp's angle が大きかった。Tönnis angle、LS および VS は同等だった。本研究結果は、成人や高齢者と比較して思春期の寛骨臼大腿骨頭被覆が小さいことを示唆した。

この差異を説明する要因は主に 2 つ考えられた。第 1 は加齢に関連する変化である。過去の股関節 X 線パラメーターの基準値の報告においては、研究対象が成人および高齢者であったため、加齢による影響が考慮された。加齢による代表的な退行性変化である骨棘は、LCEA を増加させたという報告がある [51]。また、Fischer らは、成人以降の LCEA を MRI (magnetic resonance imaging) で調査し、LCEA は性別、年齢、身長、腹囲および BMI による影響を受ける可能性があるとして報告した [52]。本研究の対象は加齢に関連する変化がほとんどない年齢層であることが、パラメーターの数値に影響を与えたと考えられる。第 2 は本研究の対象の股関節が成人と比較してわずかに未熟である可能性があることである。寛骨臼の成長終了は 12-14 歳頃とされ、Y 軟骨や二次骨化中心の閉鎖が完了する [41-44]。Than らは、LCEA は 10-15 歳まではわずかに増加すると報告した [53]。しかし、これらは日本人以外を対象とした報告であり、日本人に適用可能かどうかは不明である。また、CT を用いた研究で寛骨臼の骨端線閉鎖は、後方、前方、上方の順序で完了すると報告されている [43]。寛骨臼上方は X 線では寛骨臼外側縁として確認されるため、X 線パラメーターの計測値に影響すると考えられる。そのため、本研究では予備研究 1 の結果をもとに 12 歳から 18 歳を対象とした上で、寛骨臼の Y 軟骨や二次骨化中心の閉鎖が未完了であるものを除外することで、骨の未熟による X 線パラメーターへの影響を可能な限り

減少させた。更に、各 X 線パラメーターと年齢、身長、体重および BMI との相関関係を評価し、相関が弱いことが確認された。したがって、本研究で得られた X 線パラメーターの数値は、12 歳から 18 歳の日本人の思春期の基準値に近いと考えられた。

股関節 X 線パラメーターの検者内および検者間信頼性に関しては、LCEA と Tönnis angle の優れた信頼性が報告されており、特に LCEA は検者内信頼性 ICC 0.8-0.9、検者間信頼性 ICC 0.7-0.9 程度と高い [49,51,54-59]。本研究では全てのパラメーターにおいて検者内および検者間信頼性を評価したところ、**moderate** あるいは **good** で優れていたが、LS に関してはやや低値だった。信頼性を低下させる主な要因としては、計測点である寛骨臼外側縁や大腿骨頭中心、寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil) の境界の決定の困難さがあり、計測点の決定における誤差や再現性に問題があると考えられる。一方で、各 X 線パラメーターの検者内および検者間信頼性で **moderate** 以上となった要因としては、2 人の検者がいずれも整形外科専門医を既に取得しており、医師経験年数が 12 年と 11 年で近接していたこと、同一の所属機関であるために同様の教育を受けてきたことなどが考えられる。

本研究にはいくつかの限界が存在する。第 1 は、股関節 X 線パラメーターの調査に対して、股関節立位正面 X 線ではなく全脊椎立位正面 X 線が使用された点である。予備研究 3 で検証した通り、通常の股関節正面 X 線では、フィルムは X 線源から 1.2m 離れた位置に設置し、焦点の中心は恥骨結合部頭側に位置するが、全脊椎立位正面 X 線ではフィルムは X 線源から 2m 離れた位置に設置され、焦点の中心は上腹部から臍の中間点に位置した。したがって、全脊椎立位正面 X 線の X 線ビームの中心は通常の股関節正面 X 線よりわずかに頭側に位置するが、フィルムサイズおよび X 線源とフィルム間の距離も大きくなるため、X 線入射角に関して誤差は減少すると考えられる。焦点距離と焦点中心、X 線ビームの入射角が異なることで画像の誤差が生じることは事実であったが、その画像の誤差が X 線パラメーターの計測に与える影響も小さかったことが、予備研究 3 で検証された。実際の X 線画像において計測点の決定に影響を与える可能性があるものとしては、寛骨臼荷重面硬化像 (sourcil) の厚さ、涙痕最下縁および寛骨臼最下縁の位置の違いが挙げられた。Goldman と Hoover は、X 線源からフィルムまでの距離が、LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle に影響を与えなかったと報告した [60]。Delagrammaticas らは、X 線ビームの入射

角の 5°以内の誤差と焦点の中心の 5cm 以内の誤差は、許容されると報告した [61]。骨盤の向きと傾斜を標準化することが、より正確な計測を可能にすると述べた報告もある [62,63]。また、現在一般的に使用されている股関節 X 線パラメーターの基準値を報告した過去の研究の多くは、尿路造影や他の疾患の評価目的で撮影された X 線を対象としており、必ずしも正確な股関節正面 X 線を計測して得られた数値ではなかった [30-36]。本研究では、少なくとも骨盤の回旋や側方傾斜による股関節 X 線パラメーターへの影響を最小限に抑制するために、該当する患者を除外した。ただし、骨盤の前後傾斜が X 線正面像に与える影響については、将来の研究で検討する必要があると考える。

第 2 は、股関節 X 線パラメーターの各計測点 (例えば、計測点として決定すべき大腿骨頭中心、寛骨臼外側縁、sourcil の内外側縁など)の決定の問題で、計測点の定義が過去の報告間でも一貫性がなく、本研究も完全には一致していない点である [31-33,48,64,65]。この問題点については過去の報告でも言及されている。Hanson らは、LCEA の数値は、sourcil または寛骨臼のどちらの外側縁で計測されるかに依存すると報告した [66]。股関節 X 線パラメーターの基準値においては、計測点や補助線を確認した上で慎重に解釈する必要がある。また、本研究ではデジタル計測で X 線パラメーターの計測を行ったが、あくまでも検者によるフリーハンドの計測であった。画像ソフトなどによる境界や計測点の決定などの半自動過程が含まれた場合に信頼性が向上する可能性がある。

第 3 は、対象が側弯症またはその疑い患者であった点である。側弯症と寛骨臼形成不全の関連性についての報告は乏しく、予備研究 2 で側弯症の程度による股関節 X 線パラメーターに対する影響を検討したところ、その影響は小さかった。しかし、本研究の対象は骨盤の傾斜や回旋が通常とは異なっている可能性がある。したがって本研究では、側弯症の影響を最小限に抑制するために、誤差が生じにくいように統一した方法で X 線を撮影し、更に骨盤の回旋や側方傾斜がある X 線を除外した。また、側弯症あるいはその疑い患者が対象だったため対象をランダムに選択できていないことや、女性の割合が高かったことで本研究結果に影響を与えた可能性があることも研究の限界である。

6. 追加研究

本研究を進める中で、偶発的に寛骨臼形成不全が発見されることがあった。対象が側弯症あるいはその疑い患者であることや、成長途上の年齢であるという特性上、定期的な経過観察がなされた症例も少なくなかった。寛骨臼形成不全は、変形性股関節症と人工股関節全置換術の最大の危険因子であり[67]、思春期の寛骨臼形成不全に対する治療目標はそれらを回避することであるが、診断基準や治療戦略は確立されていない。特に無症状の場合には、適切なフォローアップや外科的治療を決定する時期が困難であり、骨格的に未成熟な年齢であれば尚更である。

前述の通り、寛骨臼の成長は12歳から14歳に完了するとされており[38-41]、本研究の予備研究1の結果から、本研究対象の集団においては14歳までにX線上Y軟骨および臼蓋縁骨端線が全例で閉鎖し、10.0歳から11.9歳の年齢層で股関節X線パラメーターの変化が年齢と相関していた。過去の研究では、3歳から18歳のLCEAを経時的に観察し、最終的に正常化したグループでは9歳で71.1%、12歳で93.4%、15歳で98.7%が正常化した一方で、12歳で寛骨臼形成不全が残存していた場合にはその後も正常化しなかったという報告があるが、寛骨臼形成不全の反対側を対象に行なった研究であった[68]。

そこで、思春期に偶発的に判明した寛骨臼形成不全が、寛骨臼の成長終了までにどれくらいの割合で正常化するのかを疑問に思い、追加研究を行った[69]。

6-1. 対象と方法

対象を2006年2月から2020年3月までに側弯症またはその疑いで自治医科大学とちぎ子ども医療センターを受診した10歳から14歳の653人(1306股)とした後ろ向きコホート研究である。全例で初診時に全脊椎立位正面X線が統一した方法で撮影された。全例で股関節は無症状であり、股関節の治療歴もなかった。骨盤の回旋や側方傾斜があるもの、放射線プロテクターにより股関節が隠れて計測不能なものの計80人(160股)が除外された。最終的に573人(1146股)が計測対象となった。初診時の全脊椎立位正面X線の骨盤部分を用いてLCEAをデジタル計測し、寛骨臼形成不全の基準はLCEA 20°未満とした。Kobayashiら

の報告をもとに [68]、10 歳から 11 歳 (<12 歳)と 12 歳から 14 歳 (≥ 12 歳)の年齢層に分けて、寛骨臼形成不全の基準を満たすものを後ろ向きに選択した。その後、寛骨臼形成不全と判定した中で、<12 歳においては 12 歳と 15 歳時、 ≥ 12 歳においては 15 歳時のフォローアップ全脊椎立位正面 X 線が撮影されたものを抽出した。図 21 がその flowchart である。全ての計測は 1 人の整形外科専門医 (TN：医師経験年数 12 年)によって行われた。そして、それぞれの年齢グループで偶発的に判明した寛骨臼形成不全の 15 歳時 LCEA を計測し、寛骨臼成長終了時の正常化率 (LCEA 20° 以上)を調査した。

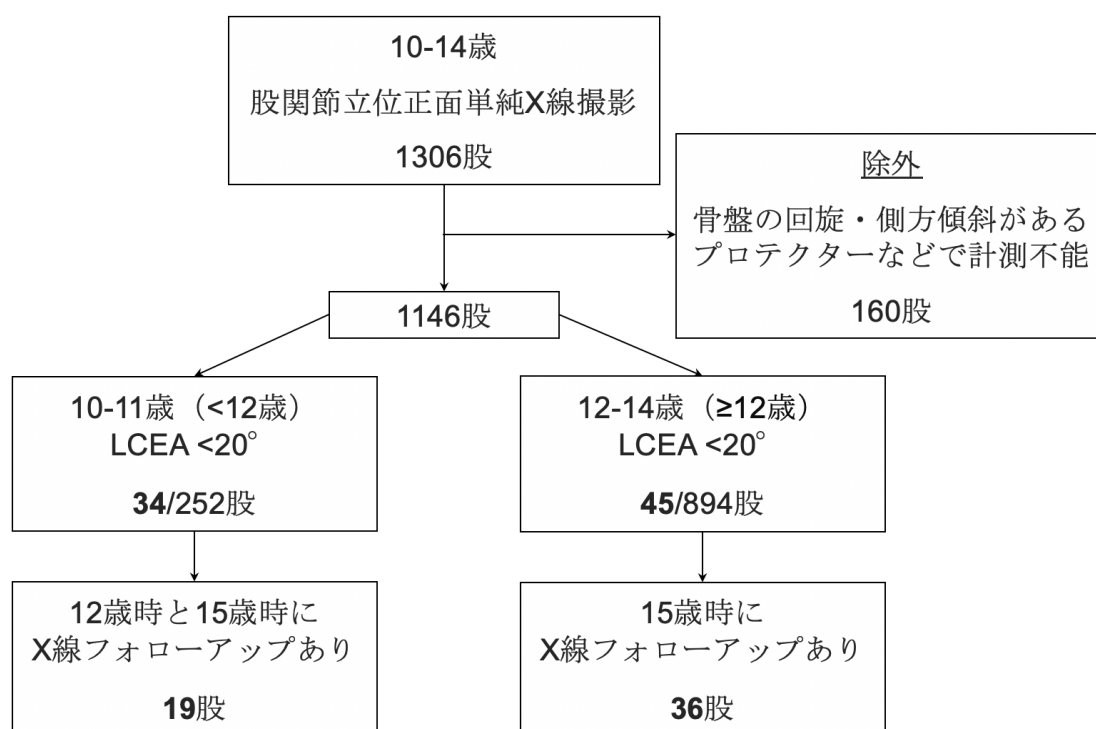


図 21. Selection and extraction flowchart (文献 69 より引用、一部改変)

6-2. 結果

12 歳未満 (10 歳から 11 歳) の 252 股中、寛骨臼形成不全は 19 股に存在した。10 歳が 8 股 (男性 3 股、女性 5 股)、11 歳が 11 股 (男性 4 股、女性 7 股) であった。12 歳以上 (12 歳から 14 歳) の 894 股中、寛骨臼形成不全は 36 股に存在した。12 歳が 14 股、13 歳が 8 股、14 歳が 14 股であり、全例女性であった。

12 歳未満で寛骨臼形成不全と判定した股関節の成長に伴う正常化率は、12 歳時点で 26.3% (5 股)、15 歳時点で 31.6% (6 股) だった (図 22)。一方で、12 歳以上で寛骨臼形成不全と判定した股関節の成長に伴う正常化率は、15 歳時点で 5.6% (2 股) だった (図 23)。

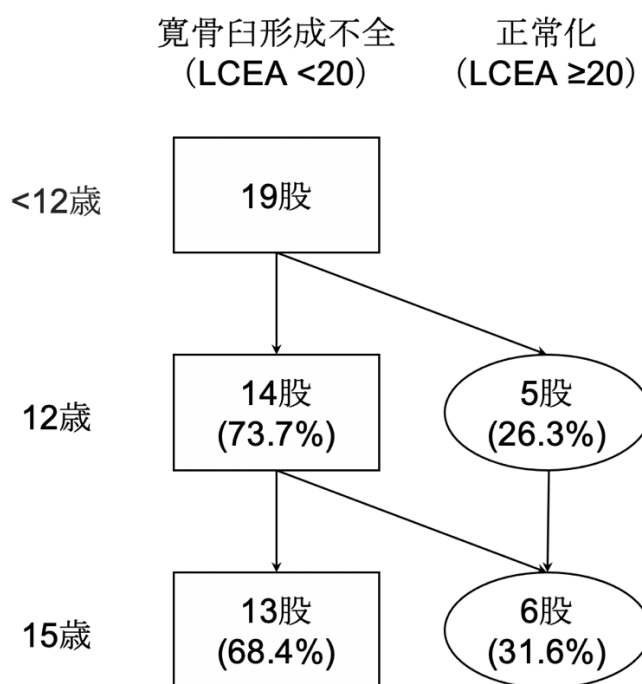


図 22. 12 歳未満で寛骨臼形成不全と判定した股関節の成長に伴う正常化率 (文献 69 より引用、一部改変)

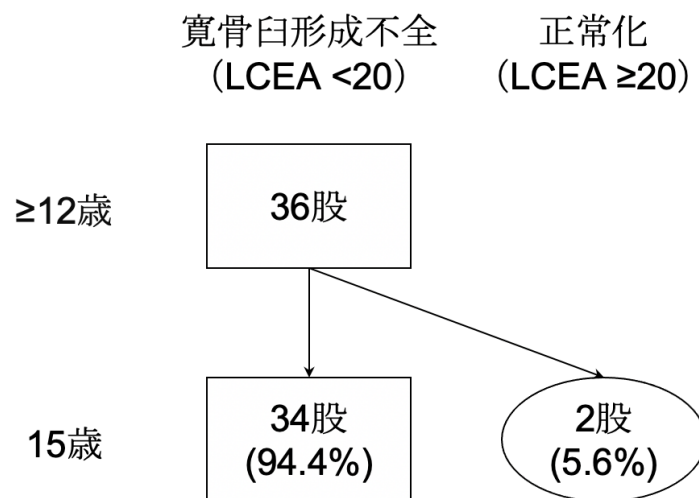


図 23. 12 歳以上で寛骨臼形成不全と判定した股関節の成長に伴う正常化率 (文献 66 より引用、一部改変)

6-3. 考察

本追加研究の結果より、寛骨臼形成不全の基準を満たす股関節の成長に伴う正常化率は、12 歳未満で判定された場合には 31.6%、12 歳以上で判定された場合には 5.6%だった。したがって言い換えると、初回に寛骨臼形成不全と判定された年齢に基づく成長終了時の寛骨臼形成不全の予測確率は、12 歳未満で約 70%、12 歳以上で約 95%であると考えられる。これは、Kobayashi らが報告した 3 歳から 18 歳の寛骨臼形成不全の反対側の LCEA を経時的に調査した研究結果が、最終的に正常化したグループでは 9 歳で 71.1%、12 歳で 93.4%、15 歳で 98.7%が正常化したというものを支持する結果であった [68]。

思春期の寛骨臼形成不全の手術治療については、有症状の場合や亜脱臼が存在する場合、LCEA<10-20°の場合などに早期の寛骨臼骨切り手術などの矯正手術を検討することが多いが、明確な基準はない。成長終了前の早期の寛骨臼骨切り手術は寛骨臼の関節軟骨の機械的負荷を変化させることで軟骨気質の組成を正常化させるという報告や [70]、14 歳未満で手術を行うことは術後の骨リモデリングに有利であり、女性においては産道の大きさに影響を与えることで帝王切開のリスクを減少させるという報告もある [71]。しかし、無症状の股関

節に対して手術を決断することは非常に困難であり、本研究の結果を考慮すると少なくとも 12 歳までは慎重に検討する必要があると考えられた。

また、12 歳未満で寛骨臼形成不全と判定された 19 股に関して、15 歳の最終的な寛骨臼形成不全のグループを D、正常化したグループを N とし、X 線パラメーター (LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle、AHI) の比較を行った。12 歳以上で判定された 36 股に関しては、N が 2 股であるため比較検討には適さないと判断した。表 9 に、12 歳未満の D (n=13) と N (n=6) の初回判定年齢、12 歳時、15 歳時における各 X 線パラメーターの比較の結果を示した。15 歳時の LCEA (D: $18^{\circ} \pm 1.4^{\circ}$ vs N: $23^{\circ} \pm 2.4^{\circ}$, $p=0.01$) と Tönnis angle (D: $11^{\circ} \pm 1.6^{\circ}$ vs N: $8.2^{\circ} \pm 2.0^{\circ}$, $p=0.01$) に有意な差があった。10 歳から 11 歳の初回判定時には、両グループ間に各 X 線パラメーターの有意差はなかった。

パラメーター	10-11 歳			12 歳			15 歳		
	D	N	p	D	N	p	D	N	p
LCEA ($^{\circ}$)	16 ± 2.2	17 ± 1.5	0.32	18 ± 2.2	21 ± 1.9	0.01	18 ± 1.4	23 ± 2.4	0.01
Sharp angle ($^{\circ}$)	51 ± 3.2	50 ± 1.3	0.74	50 ± 1.9	49 ± 0.9	0.15	50 ± 2.2	48 ± 1.9	0.08
Tönnis angle ($^{\circ}$)	12 ± 1.5	13 ± 1.9	0.30	11 ± 1.4	10 ± 1.6	0.43	11 ± 1.6	8.2 ± 2.0	0.01
AHI (%)	71 ± 4.7	74 ± 3.9	0.19	74 ± 5.1	77 ± 3.4	0.20	74 ± 5.0	79 ± 3.2	0.06

LCEA, lateral center-edge angle; AHI, acetabular head index

表 9. 12 歳未満で寛骨臼形成不全と判定された 19 股のうち、最終的な寛骨臼性不全グループ (D, n=13) と正常化グループ (N, n=6) の各年齢における股関節 X 線パラメーターの比較 (文献 66 より引用、一部改変)

Kobayashi らは、寛骨臼形成不全のグループと正常化したグループとは、LCEA と Sharp's angle に違いがあったと報告した [68]。本追加研究の結果も踏まえると、X 線を用いた寛骨臼形成不全の判定は、LCEA、Tönnis angle、Sharp's angle を組み合わせて行った方がより正確である可能性を示唆した。

7. 結論

全脊椎立位正面 X 線を用いて、日本人の思春期の股関節 X 線パラメーターを調査し、その基準値の信頼性と妥当性を評価した。本研究で得られた各パラメーターの基準値は、加齢に関連する変化の影響がない思春期の股関節 X 線パラメーターの基準値とみなすことができるが、いくつかのパラメーター (LCEA、Sharp's angle、AHI、PED) は、成人以降の基準値と異なることから慎重に評価することが必要である。

将来的に各思春期の股関節 X 線パラメーターにおいては、例えば 95%CI を超える範囲が将来変形股関節症を発症しているかを確認するなど、どの基準値の範囲が将来の変形性股関節症の発症に繋がるかを追う研究が必要であると考えられる。そして、その研究で得られた結果で、思春期の股関節 X 線パラメーターの正常値と異常値を区別することを行い、妥当性のある正常値を決定することが必要である。

また、本研究の対象は側弯症またはその疑い患者の全脊椎立位 X 線であったことを考慮すると、側弯症検診時に股関節のスクリーニングを行うことが可能である。学校検診などで側弯を指摘され受診した思春期の子どもが、側弯症だけでなく寛骨臼形成不全の早期診断で早期発症変形性股関節症の発症を防ぐことができるため、側弯症検診で受診した思春期の子どもに偶然発見された寛骨臼形成不全の発症率を調査することも検討したいと考えている。

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導ご鞭撻頂いた自治医科大学整形外科学 竹下克志教授、自治医科大学とちぎ子ども医療センター小児整形外科学 渡邊英明教授に深く感謝いたします。

また、自治医科大学整形外科学教室の皆様に、社会人大学院生としての研究生生活を支えて頂いた御礼を心より申し上げます。

9. 引用文献

1. Murphy SB, Ganz R, Müller ME. The prognosis in untreated dysplasia of the hip. A study of radiographic factors that predict the outcome. *J Bone Joint Surg Am*, 77: 985-9, 1995.
2. Clohisey JC, Dobson MA, Robison JF, Warth LC, Zheng J, Liu SS, Yehyaw TM, Callaghan JJ. Radiographic structural abnormalities associated with premature, natural hip-joint failure. *J Bone Joint Surg Am*, 93: 3-9, 2011.
3. Agricola R, Heijboer MP, Roze RH, Reijman M, Bierma-Zeinstra SM, Verhaar JA, Weinans H, Waarsing JH. Pincer deformity does not lead to osteoarthritis of the hip whereas acetabular dysplasia does: acetabular coverage and development of osteoarthritis in a nationwide prospective cohort study (CHECK). *Osteoarthritis Cartilage*, 10: 1514-21, 2013.
4. Wyles CC, Heidenreich MJ, Jeng J, Larson DR, Trousdale RT, Sierra RJ. The John Charnley Award: redefining the natural history of osteoarthritis in patients with hip dysplasia and impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 475: 336-50, 2017.
5. Ito H, Matsuno T, Hirayama T, Tanino H, Yamanaka Y, Minami A. Three-dimensional computed tomography analysis of non-osteoarthritic adult acetabular dysplasia. *Skeletal Radiol*, 38: 131-9, 2009.
6. Fujii M, Nakashima Y, Sato T, Akiyama M, Iwamoto Y. Pelvic deformity influences acetabular version and coverage in hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res*, 469: 1735-42, 2011.
7. Vukasinovic Z, Spasovski D, Kralj-Iglic V, Marinkovic-Eric J, Seslija I, Zivkovic Z, Spasovski V. Impact of triple pelvic osteotomy on contact stress pressure distribution in the hip joint. *Int Orthop*, 37: 95-8, 2013.
8. Takeyama A, Naito M, Shiramizu K, Kiyama T. Prevalence of femoroacetabular impingement in Asian patients with osteoarthritis of the hip. *Int Orthop*, 33: 1229-32, 2009.
9. Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T. Multiinstitutional epidemiological study regarding osteoarthritis of the

- hip in Japan. *J Orthop Sci*, 15: 626-31, 2010.
10. Delaunay S, Dussault RG, Kaplan PA, Alford BA. Radiographic measurements of dysplastic adult hips. *Skeletal Radiol*, 26: 75-81, 1997.
 11. Clohisy JC, Carlisle JC, Beaulé PE, Kim YJ, Trousdale RT, Sierra RJ, Leunig M, Schoenecker PL, Millis MB. A systematic approach to the plain radiographic evaluation of the young adult hip. *J Bone Joint Surg Am*, 90(Suppl): 47-66, 2008.
 12. Wiberg G. Studies on dysplastic acetabula and congenital subluxation of the hip joint. *Acta Orthop Scand*, 58(Suppl): 1-132, 1939.
 13. Chagini S, Beck M, Ferguson SJ. The effects of impingement and dysplasia on stress distributions in the hip joint during sitting and walking: a finite element analysis. *J Orthop Res*, 27: 195-201, 2009.
 14. Baba T, Shitoto K, Kaneko K, Kim S, Maruyama Y. Premature osteoarthritis of the hip in unicyclists: two case reports. *Clin J Sport Med*, 21: 362-4, 2011.
 15. Nishikino S, Hoshino H, Koyama H, Furuhashi H, Matsuyama Y. Hip arthroscopic surgery after a diagnosis of premature osteoarthritis of the hip in three unicyclists: a case series. *J Orthop Case Rep*, 8: 51-4, 2018.
 16. Nishimura T, Watanabe H, Taki N, Onuma S, Kikkawa I. Unilateral premature osteoarthritis of the hip with excessive anteversion of the femoral neck developing in the early second decade: two surgical cases. *BMC Musculoskelet Disord*, 22: 517, 2021.
 17. Argenson JN, Ryembault E, Flecher X, Brassart N, Parratte S, Aubaniac JM. Three-dimensional anatomy of the hip in osteoarthritis after developmental dysplasia. *J Bone Joint Surg Br*, 87: 1192-6, 2005.
 18. Akiyama M, Nakashima M, Fujii T, Sato T, Yamamoto T, Mawatari T, Motomura G, Matsuda S, Iwamoto Y. Femoral anteversion is correlated with acetabular version and coverage in Asian women with anterior and global deficient subgroups of hip dysplasia: a CT study. *Skeletal Radiol*, 41: 1411-8, 2012.
 19. Bixby SD, Millis MB. The borderline dysplastic hip: when how is it abnormal? *Pediatr Radiol*, 49: 1669-77, 2019.
 20. Wilkin GP, Ibrahim MM, Smit KM, Beaulé PE. A contemporary definition of hip dysplasia and structural instability: toward a comprehensive classification for acetabular dysplasia. *J Arthroplasty*, 32: 20-7, 2017.
 21. McClincy MP, Wylie JD, Yen YM, Novais EN. mild or borderline hip dysplasia: are

- we characterizing hips with a lateral center-edge angle between 18° and 25° appropriately? *Am J Sports Med*, 47: 112-22, 2019.
22. Wyatt MC, Beck M. The management of the painful borderline dysplastic hip. *J Hip Preserv Surg*, 5: 105-12, 2018.
 23. Schmitz MR, Murtha AS, Clohisy JC. Developmental dysplasia of the hip in adolescents and young adults. *J Am Acad Orthop Surg*, 28: 91-101, 2020.
 24. Chaharbakhshi EO, Perets I, Ashberg L, Mu B, Lenkeit C, Domb BG. Do ligamentum teres tears portend inferior outcomes in patients with borderline dysplasia undergoing hip arthroscopic surgery? A match-controlled study with a minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 45: 2507-16, 2017.
 25. Domb BG, Chaharbakhshi EO, Perets I, Yuen LC, Walsh JP, Ashberg L. Hip arthroscopic surgery with labral preservation and capsular plication in patients with borderline hip dysplasia: minimum 5-year patient-reported outcomes. *Am J Sports Med*, 46: 305-13, 2018.
 26. Cvetanovich GL, Levy DM, Weber AE, Kuhns BD, Mather RC, Salata MJ, Nho SJ. Do patients with borderline dysplasia have inferior outcomes after hip arthroscopic surgery for femoroacetabular impingement compared with patients with normal acetabular coverage? *Am J Sports Med*, 45: 2116-24, 2017.
 27. Fukui K, Briggs KK, Trindade CA, Philippon MJ. Outcomes after labral repair in patients with femoroacetabular impingement and borderline dysplasia. *Arthroscopy*, 31: 2371-9, 2015.
 28. Hatakeyama A, Utsunomiya H, Nishikino S, Kanezaki S, Matsuda DK, Sakai A, Uchida S. Predictors of poor clinical outcome after arthroscopic labral preservation, capsular plication, and cam osteoplasty in the setting of borderline hip dysplasia. *Am J Sports Med*, 46: 135-43, 2018.
 29. McClincy MP, Wylie JD, Kim YJ, Millis MB, Novais EN. Periacetabular osteotomy improves pain and function in patients with lateral center-edge angle between 18° and 25°, but are these hips really borderline dysplastic? *Clin Orthop Relat Res*, 477: 1145-53, 2019.
 30. Nakamura S, Ninomiya S, Nakamura T. Primary osteoarthritis of the hip joint in Japan. *Clin Orthop Relat Res*, 241: 190-6, 1989.
 31. Yoshimura N, Campbell L, Hashimoto T, Kinoshita H, Okayasu T, Wilman C, Coggon D, Croft P, Cooper C. Acetabular dysplasia and hip osteoarthritis in Britain

- and Japan. *Br J Rheumatol*, 37: 1193-7, 1998.
32. Han CD, Yoo JH, Lee WS, Choe WS. Radiographic parameters of acetabulum for dysplasia in Korean adults. *Yonsei Med J*, 39: 404-8, 1998.
 33. Inoue K, Wicart P, Kawasaki T, Huang J, Ushiyama T, Hukuda S, Courpied J. Prevalence of hip osteoarthritis and acetabular dysplasia in French and Japanese adults. *Rheumatology (Oxford)*, 39: 745-8, 2000.
 34. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Søballe K, Gebuhr P, Lund B. Hip dysplasia and osteoarthritis: a survey of 4151 subjects from the Osteoarthritis Substudy of the Copenhagen City Heart Study. *Acta Orthop*, 76: 149-58, 2005.
 35. Umer M, Thambyah A, Tan WT, Das De S. Acetabular morphometry for determining hip dysplasia in the Singaporean population. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 14: 27-31, 2006.
 36. Im GI, Kim JY. Radiological joint space width in the clinically normal hips of a Korean population. *Osteoarthritis Cartilage*, 18: 61-4, 2010.
 37. Nishimura T, Watanabe H, Taki N, Kikkawa I, Takeshita K. Standard radiographic values for the acetabulum in Japanese adolescents: A cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*, 24: 257, 2023.
 38. Tönnis D. Congenital dysplasia and dislocation of the hip in children and adults. Berlin: Springer, p. 100-42, 1987.
 39. Sharp I. Acetabular dysplasia: the acetabular angle. *J Bone Joint Surg [Br]*, 43-B: 268-72, 1961.
 40. Heyman C, Herndon C. Legg-Perthes disease: a method for the measurement of the roentgenographic result. *J Bone Joint Surg [Am]*, 32-A: 767-78, 1951.
 41. Dimeglio A. Growth in pediatric orthopaedics. *J Pediatr Orthop*, 21: 549-55, 2001.
 42. Parvaresh KC, Upasani VV, Bomar JD, Pennock AT. Secondary ossification center appearance and closure in the pelvis and proximal femur. *J Pediatr Orthop*, 38: 418-23, 2018.
 43. Parvaresh KC, Pennock AT, Bomar JD, Wenger DR, Upasani VV. Analysis of acetabular ossification from the triradiate cartilage and secondary centers. *J Pediatr Orthop*, 38: e145-50, 2018.
 44. Fabricant PD, Hirsch BP, Holmes I, Kelly BT, Lorch DG, Helfet DL, Bogner EA, Green DW. A radiographic study of the ossification of the posterior wall of the acetabulum: implications for the diagnosis of pediatric and adolescent hip disorders.

- J Bone Joint Surg Am*, 95: 230-6, 2013.
45. Karam M, Bizdikian AJ, Khalil N, Bakouny Z, Obeid I, Ghanimeh J, Labaki C, Mjaess G, Karam A, Skalli W, Kharrat K, Ghanem I, Assi A. Alterations of 3D acetabular and lower limb parameters in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*, 29: 2010-2017, 2020.
 46. Segreto FA, Vasquez-Montes D, Brown AE, Bortz C, Horn SR, Diebo BG, Zhou PL, Vira S, Baker JF, Petrizzo AM, Lafage V, Errico TJ, Passias PG. Incidence, trends, and associated risks of developmental hip dysplasia in patients with Early Onset and Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Orthop*, 15: 874-877, 2018.
 47. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*, 15: 155-63, 2016.
 48. Lane NE, Nevitt MC, Cooper C, Pressman A, Gore R, Hochberg M. Acetabular dysplasia and osteoarthritis of the hip in elderly white women. *Ann Rheum Dis*, 56: 627-30, 1997.
 49. Lequesne M, Malghem J, Dion E. The normal hip joint space: variations in width, shape, and architecture on 223 pelvic radiographs. *Ann Rheum Dis*, 63: 1145-51, 2004.
 50. Nepple JJ, Wells J, Ross JR, Bedi A, Schoenecker PL, Clohisy JC. Three patterns of acetabular deficiency are common in young adult patients with acetabular dysplasia. *Clin Orthop Relat Res*, 475: 1037-44, 2017.
 51. Lee YK, Chung CY, Koo KH, Lee KM, Kwon DG, Park MS. Measuring acetabular dysplasia in plain radiographs. *Arch Orthop Trauma Surg*, 131: 1219-26, 2011.
 52. Fischer CS, Kühn JP, Ittermann T, Schmidt CO, Gumbel D, Kasch R, Frank M, Laqua R, Hinz P, Lange J. What are the reference values and associated factors for center-edge angle and alpha angle? A population-based study. *Clin Orthop Relat Res*, 476: 2249-59, 2018.
 53. Than P, Sillinger T, Kránicz J, Bellyei A. Radiographic parameters of the hip joint from birth to adolescence. *Pediatr Radiol*, 34: 237-44, 2004.
 54. Chung CY, Park MS, Lee KM, Lee SH, Kim TK, Kim KW, Park JH, Lee JJ. Hip osteoarthritis and risk factors in elderly Korean population. *Osteoarthritis Cartilage*, 18: 312-6, 2010.
 55. Mast NH, Impellizzeri F, Keller S, Leunig M. Reliability and agreement of measures used in radiographic evaluation of the adult hip. *Clin Orthop Relat Res*, 469: 188-99,

2011.

56. Bouttier R, Morvan J, Mazieres B, Rat AC, Ziegler LE, Fardellone P, Fautrel B, Guillemin F, Pouchot J, Roux C, Coste J, Saraux A. Reproducibility of radiographic hip measurements in adults. *Joint Bone Spine*, 80: 52-6, 2013.
57. Nepple JJ, Martell JM, Kim YJ, Zaltz I, Millis MB, Podeszwa DA, Sucato DJ, Sink EL, Clohisey JC. Interobserver and intraobserver reliability of the radiographic analysis of femoroacetabular impingement and dysplasia using computer-assisted measurements. *Am J Sports Med*, 42: 2393-401, 2014.
58. Schottel PC, Park C, Chang A, Knutson Z, Ranawat AS. The role of experience level in radiographic evaluation of femoroacetabular impingement and acetabular dysplasia. *J Hip Preserv Surg*, 1: 21-6, 2014.
59. Carreira DS, Emmons BR. The reliability of commonly used radiographic parameters in the evaluation of the pre-arthritis hip: a systematic review. *JBJs Rev*, 7: e3, 2019.
60. Goldman AH, Hoover KB. Source-to-detector distance and beam center do not affect radiographic measurements of acetabular morphology. *Skeletal Radiol*, 46: 477-81, 2017.
61. Delagrammaticas DE, Alvi HM, Kaat AJ, Sullivan RR, Stover MD, Manning DW. Quantitative effect of pelvic position on radiographic assessment of acetabular component position. *J Arthroplasty*, 33: 608-14, 2018.
62. Siebenrock KA, Kalbermatten DF, Ganz R. Effect of pelvic tilt on acetabular retroversion: a study of pelvises from cadavers. *Clin Orthop Relat Res*, 407: 241-8, 2003.
63. Tannast M, Fritsch S, Zheng G, Siebenrock KA, Steppacher SD. Which radiographic hip parameters do not have to be corrected for pelvic rotation and tilt? *Clin Orthop Relat Res*, 473:1255-66, 2015.
64. Engesæter I, Laborie LB, Lehmann TG, Sera F, Fevang J, Pedersen D, Morcuende J, Lie SA, Engesæter LB, Rosendahl K. Radiological findings for hip dysplasia at skeletal maturity. Validation of digital and manual measurement techniques. *Skeletal Radiol*, 41: 775-85, 2012.
65. Kim H, Park JJ, Shin DJ, Oh SH, Jeong MY, Yoon PW. Prevalence of radiologic acetabular dysplasia in asymptomatic Asian volunteers. *J Hip Preserv Surg*, 6: 55-9, 2019.
66. Hanson JA, Kapron AL, Swenson KM, Maak TG, Peters CL, Aoki SK. Discrepancies

in measuring acetabular coverage: revisiting the anterior and lateral center edge angles. *J Hip Preserv Surg*, 2: 280-6, 2015.

67. Wyles CC, Heidenreich MJ, Jeng J, Larson DR, Trousdale RT, Sierra RJ. Redefining the natural history of osteoarthritis in patients with hip dysplasia and impingement. *Clin Orthop Relat Res*, 475: 336-350, 2017.
68. Kobayashi D, Satsuma S, Kuroda R, Kurosaka M. Acetabular development in the contralateral hip in patients with unilateral developmental dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg [Am]*, 92: 1390-1397, 2010.
69. Nishimura T, Watanabe H, Taki N, Kikkawa I. The Proportion of Normalized Hips with Growth in Japanese Adolescents Aged >10 years with Acetabular Dysplasia who Presented with Suspected Scoliosis. *Indian J Orthop*, 58: 169-175, 2023.
70. Hingsammer AM, Kalish LA, Stelzeneder D, Bixby S, Mamisch TC, Connell P, Millis MB, Kim YJ. Does periacetabular osteotomy for hip dysplasia modulate cartilage biochemistry? *J Bone joint Surg Am*, 97: 544-50, 2015.
71. Loder RT, Karol LA, Jhonson S. Influence of pelvic osteotomy on birth canal size. *Arch Orthop trauma Surg*, 112: 210-4, 1993.