

L'épiphyse fémorale supérieure – devenir à l'âge adulte

XAVIER FLECHER¹ (Marseille), ANNE-LAURE SIMON² (Paris)

1 : Service d'orthopédie APHM, Marseille, France

2 : Chirurgie orthopédique pédiatrique, CHU Robert Debré, Paris, France

INTRODUCTION

L'épiphyse fémorale supérieure (EFS) est la pathologie de hanche la plus fréquente de l'enfant prépubère. Son incidence est de 0,2 à 17,5 pour 100 000 personnes avec une tendance à l'augmentation et elle est bilatérale dans 20 à 80% des cas (1,2). Habituellement décrite comme une bascule de l'épiphyse en postérieure et en dedans, il s'agit en réalité d'un déplacement plus complexe, tridimensionnel, associant une translation de la métaphyse proximale en antérieur avec une rotation externe de l'épiphyse (3). Les conséquences sont une déformation en coxa retorsa et en coxa vara responsable d'une altération de la biomécanique de la hanche. À terme, si elle n'est pas traitée, un risque de conflit entre l'acétabulum et la métaphyse proximale du fémur existe, conflit pouvant être la source de lésions cartilagineuses et de développement d'une coxarthrose (4).

Plusieurs facteurs de risques d'EFS sont rapportés dans la littérature (endocriniens et mécaniques), dont le principal est le surpoids/obésité mais d'autres causes doivent être recherchées chez les enfants <10 ans et >16 ans, ainsi que chez ceux ayant un indice de poids corporel <50ème percentile (4,5). Lors du diagnostic initial, la stabilité et la sévérité du déplacement sont les 2 éléments pronostiques déterminants pour la prise en charge aiguë ainsi que du devenir à l'âge adulte (4,6).

Trois complications sont à craindre : la nécrose, la chondrolyse (coxite laminaire) et les conséquences du cal vicieux (conflit fémoro-acétabulaire et lésions labrales) (7).

La question à nous poser en tant qu'orthopédiste pédiatre est : que faire pour limiter ces complications ?

1. Diagnostic initial

1.1. Tableaux cliniques

Loder et al en 1993, ont décrit des critères de stabilité de l'EFS, qui fait l'objet de la classification la plus utilisée dans la littérature (6).

1.1.1. Les formes instables

Il s'agira d'un patient arrivant aux urgences avec une impossibilité de prendre appui sur son membre inférieur, avec ou sans canne. C'est la forme la moins fréquente mais la plus pourvoyeuse d'ostéonécrose. Dans sa méta-analyse de 2013, Loder retrouve 21%

d'ostéonécrose dans les formes instables quel que soit le traitement (7). L'examen de la hanche est alors difficile, car le patient présente un décollement épiphysaire douloureux. L'attitude spontanée sera en rotation externe et adduction avec ou sans raccourcissement en fonction du déplacement.

1.1.2. Les formes stables

Il s'agira plutôt des patients adressés en consultation pour boiterie mécanique persistante avec douleurs inguinales, de cuisse ou de genou. Dans ces cas, l'appui est possible. Il aura, en général, une marche en rotation externe et un déficit de rotation interne à l'examen clinique sur table. Dans ces formes stables, le signe de Drehmann, correspond à une rotation externe automatique lors de la flexion de hanche. Il est la conséquence de l'altération de la biomécanique de la hanche (8).

1.2. Sévérité du déplacement

La mesure de la sévérité du déplacement s'effectue sur le cliché de Lauenstein (frog leg en anglais) ou le profil de Dunn. Cette incidence peut être difficile à réaliser dans les formes instables (douleurs) et à grand déplacement (Drehmann).

Deux angles peuvent être mesurés : l'angle de Southwick et l'angle de Carlzioz (9,10). L'angle de Southwick correspond à l'angle entre la perpendiculaire à la physe et l'axe de la diaphyse fémorale (Figure 1A).

Cette mesure est dépendante de l'antéversion fémorale et donc de l'orientation du côté controlatéral (9). L'angle de Carlzioz correspond à l'angle entre la perpendiculaire à l'axe du col et l'axe de la physe proximale (Figure 1B). Cette mesure peut être difficile à réaliser dans les formes avec un col très remodelé et dystrophique (10).

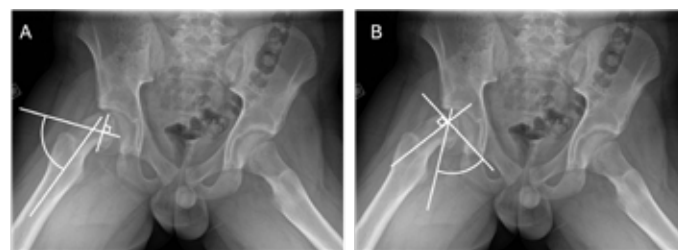


Figure 1 – Cliché de Lauenstein en abduction et rotation latérale maximale dans une épiphysiolyse stable à déplacement sévère (61°). (A) mesure de l'angle de Southwick et (B) mesure de l'angle de Carlzioz.

Dans tous les cas, selon la sévérité du déplacement, 3 stades sont décrits :

- Stade 1 : Bascule $< 30^\circ$ qui correspond à une EFS à faible déplacement
- Stade 2 : Bascule $\geq 30^\circ$ et $< 60^\circ$ qui correspond à une EFS à déplacement modéré
- Stade 3 : Bascule $\geq 60^\circ$ qui correspond à une EFS à déplacement sévère.

Plus le déplacement est important, plus il y aura une inégalité de longueur des membres inférieurs (11). Le signe de Drehmann sera également d'autant plus important que la bascule est importante et sera associé à une limitation d'autant plus importante de la rotation interne de hanche.

2. Prise en charge

Outre, la mise en décharge immédiate, quelle que soit la forme de l'EFS, la prise en charge chirurgicale s'impose pour arrêter la progression ou pour rétablir une anatomie correcte de la hanche. Elle dépend de la stabilité et de la sévérité du déplacement. La prise en charge est plus urgente dans les formes instables (4,12).

2.1. Vissage in situ (FIS)

Il s'agit d'une fixation cervico-céphalique à travers la physe visant à freiner le glissement. Cette procédure est réalisée sous guidage scopique par une technique percutanée. Compte tenu de la position postérieure de la tête par rapport au col du fémur dans les EFS, le point d'entrée de la vis est d'autant plus antérieur que le déplacement est important, ce qui peut rendre le vissage complexe et source de conflit à terme (13–15). Une seule vis canulée est nécessaire, avec une préférence pour les vis à filetage complet (15–17). Il est également recommandé d'avoir quatre filetages dans la physe pour éviter un risque de progression en postopératoire.

2.2. Ostéotomies sous capitales

Plusieurs techniques sont décrites, avec comme objectif commun de rétablir l'anatomie par une résection à base antérieure du col fémoral et une résection des ostéophytes postérieurs dans les formes chroniques, pour éviter toute contrainte sur le retinaculum postérieur de Weitbrecht, qui contient la vascularisation principale de l'épiphyse. L'intervention peut être effectuée par un abord antérieur (voie de Hueter) selon la technique de Compère, un abord postéro-latéral avec trochantérotomie (technique de Dunn), associée à une luxation chirurgicale de la hanche selon la méthode de Ganz (Dunn modifié) (4,18,19). Entre les mains de chirurgiens expérimentés, le risque de nécrose avasculaire secondaire à la chirurgie est estimé à un niveau similaire à celui associé au déplacement initial, soit environ 25% (20).

2.3. Décision thérapeutique

Un consensus d'expert écrit par Chervonski et al., a conclu en 2023 qu'il n'existait pas de consensus sur

la prise en charge des EFS (21). Cependant, certaines indications sont reconnues par ce panel d'expert et la littérature.

Dans les formes à faible déplacement ($< 30^\circ$), quel que soit la stabilité et la durée des symptômes, seul le vissage in situ est recommandé (22,23).

Dans les formes modérées ($< 50^\circ$) :

- Stables (aiguës ou chroniques), la fixation in situ (FIS) est recommandée (22).
- Instables (aiguës ou aiguës sur chronique), la réduction douce est recommandée.

Dans les formes sévères ($> 50^\circ$), le seul consensus retenu est pour les formes instables aiguës et aiguës sur chronique avec une indication d'une réduction douce.

Bien que les réductions à ciel ouvert et fermé soient mentionnées dans l'article de Chervonski et al, la technique à foyer fermé (sur table orthopédique ou traction), ne nous semble pas recommandée en raison du risque important d'ostéonécrose (jusqu'à 80%) (7,17,24).

Pour la réduction douce, la technique de Parsch (arthrotomie, évacuation hémarthrose, réduction douce au doigt et fixation) est la technique qui rapporte le plus faible taux de nécrose (4,7 %), sans que l'objectif de correction anatomique (10° à 28° de bascule résiduelle) soit nécessaire (25).

Dans les formes chroniques, la présence d'un cal postérieur impose sa résection en cas de réduction ou d'ostéotomie de réorientation pour éviter la mise en tension et/ou la compression de la lame porte-vaissaux (retinaculum de Weitbrecht), risquant de compromettre la vascularisation épiphysaire (4,20,23). Enfin, aux USA, il est recommandé de transférer les cas d'EFS instables avec grand déplacement dans des centres spécialisés afin de maximiser les résultats cliniques, ce qui pourrait se résumer à une prise en charge en CHU en France (4,26).

Les zones d'ombres qui persistent pour la prise en charge sont :

- Existe-t-il la supériorité d'une ostéotomie de réduction, Dunn modifié versus ostéotomie sous capitale par voie antérieure ?
- Faut-il réduire les formes sévères stables ?

Pour tenter de répondre à ces questions, l'analyse des complications est nécessaire.

3. Analyse des complications

3.1. Ostéonécrose aseptique (ONA)

La nécrose avasculaire de la tête fémorale est la complication la plus redoutée dans l'EFS, avec une incidence allant jusqu'à 60% (Figure 2) (24).

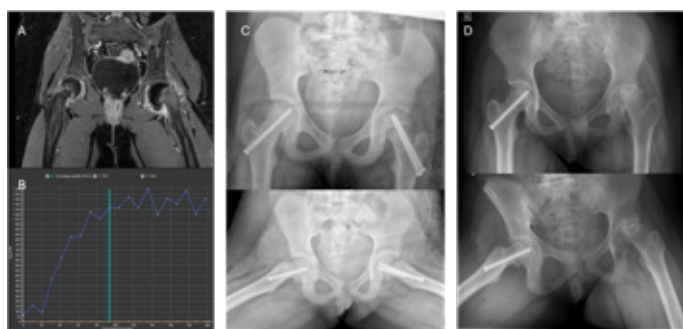


Figure 2 – Patiente de 11, 5 ans présentant une épiphysiolyse aiguë instable gauche avec absence complète de perfusion en préopératoire (A). Une réduction anatomique à ciel ouvert avec émondage du col a été réalisée (B) par voie antérieure. Évolution à 8 mois postopératoire vers une ostéonécrose nécessitant le retrait du matériel pour saillie des têtes de vis dans l'articulation (C).

Elle se développe dans les 6 à 12 mois suivant la prise en charge. Elle se manifeste cliniquement par des douleurs, associées ou non à une limitation des mobilités articulaires, et une déformation de l'épiphyse. Le diagnostic peut être réalisé précocement par les techniques d'imagerie (IRM et scintigraphie), mais la présence du matériel peut gêner l'interprétation de l'IRM (Figure 3) (27).

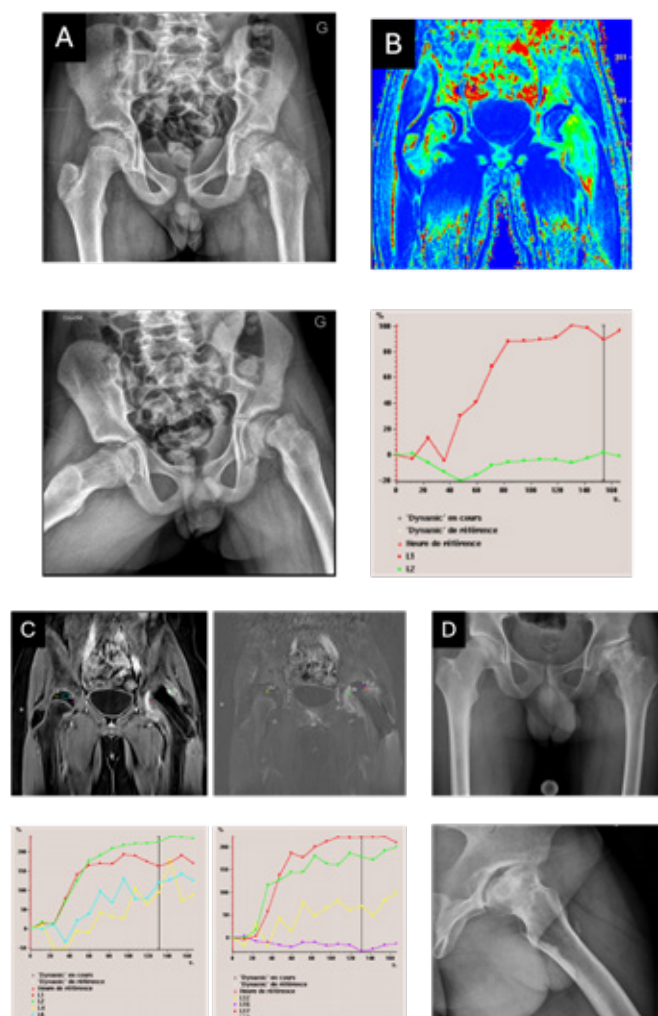


Figure 3 – Patient de 13 ans opéré présentant une épiphysiolyse instable gauche, aiguë sur chronique (A).

L'IRM de perfusion préopératoire (B) montre absence de perfusion de l'épiphyse. Une ostéotomie de réduction douce à ciel ouvert a été réalisée. L'IRM postopératoire à 6 semaines avec des séquences de perfusion avec et sans soustraction (C) est difficile d'interprétation, en raison de l'artefact lié au matériel. Le patient a rapidement évolué vers une ostéonécrose aseptique (D).

La scintigraphie osseuse semble être plus sensible et spécifique pour diagnostiquer cette complication.

Les facteurs de risque identifiés inhérents à la pathologie sont l'instabilité et la sévérité du déplacement. Les facteurs de risque iatrogènes sont la réduction à foyer fermé et le positionnement postérieur des broches ou des vis (20,23,28). Les conséquences du délai de prise en charge ne sont pas claires. Une prise en charge dans les 24 heures des formes instables à grand déplacement, a démontré une diminution du risque d'ONA, sans que cela puisse être imputé à la réalisation d'une arthrotomie de décompression (12,24). Lorsque le délai est dépassé, certains auteurs recommandent d'attendre 7 jours avant d'intervenir chirurgicalement, afin de permettre une réduction de l'inflammation, d'après le concept de « fenêtre d'opportunité » (12,29).

3.2. Chondrolyse ou coxite laminaire

La chondrolyse correspond à une résorption progressive du cartilage articulaire de la hanche. Le tableau typique est celui de douleurs postopératoire persistantes et s'aggravant, ou la réapparition de douleurs après une période d'indolence (« lune de miel »). Ces douleurs cèdent entre 10 et 18 mois après l'apparition des symptômes. Son incidence varie entre 5 et 7 % (30). On retrouve associé à la douleur, une limitation importante des mobilités articulaires. La radiographie typique montre un pincement global de l'articulation sans déformation de l'épiphyse (Figure 4).

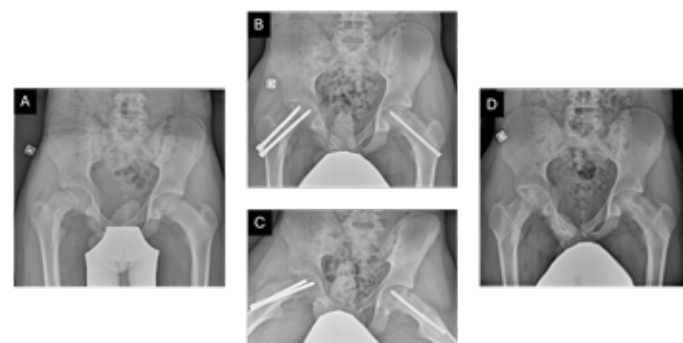


Figure 4 – Patient de 14 ans opéré d'une épiphysiolyse bilatérale instable, à déplacement modéré, aiguë sur chronique à droite associée à une protrusion acétabulaire, et stable à faible déplacement à gauche (A). Une ostéotomie de réduction à ciel par voie antérieure a été réalisée à droite et une fixation in situ à gauche. A 10 mois postopératoires, l'enfant présentait une recrudescence de douleurs à gauche. Les radiographies B et C montrent un pincement global de l'interligne en bilatéral, prédominant à droite et associé à des signes de CFA à gauche. À 24 mois de recul, il existe des signes de remodelage du bord supérieur du col fémoral.

Les facteurs de risques non iatrogéniques sont l'obésité, la durée d'évolution des symptômes (formes chroniques), les déplacements sévères, les facteurs mécaniques associés (protrusion acétabulaire) et les facteurs auto-immuns (mal compris) (31). Les facteurs iatrogéniques retrouvés sont les vis intra-articulaires, l'immobilisation postopératoire et les ostéotomies de réorientation réalisées avant la fin de croissance (30,32). La protrusion temporaire, peropératoire des broches, n'est pas un facteur de risque (32).

3.3. Les conséquences du cal vicieux

Les principales conséquences sont les lésions labrales et le conflit fémoro-acétabulaire (CFA) (femoroacetabular impingement (FAI) en anglais), qui correspond à un contact anormal entre le bassin et le col du fémur lors des mouvements de hanche (Figure 5).

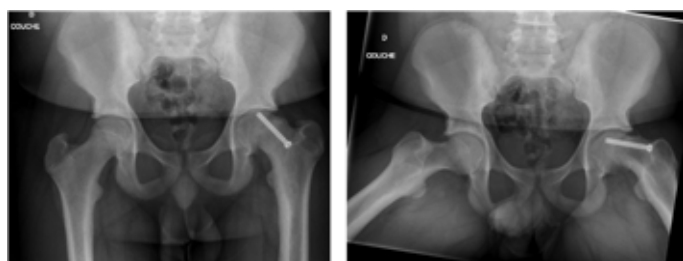


Figure 5 – Illustration d'un CFA chez un enfant de 15 ans avec limitation d'abduction et rotation latérale opéré d'une épiphysiolyse chronique à déplacement modéré (47°) à l'âge de 13 ans par fixation in situ à gauche.

Deux types de CFA, décrits par Rab et al. existent (33). Le CFA par effet came, qui correspond à l'entrée du col déformé dans l'articulation, abîmant le cartilage articulaire et le labrum (en inclusion ; lésion de dedans en dehors) pour les déplacements faibles et modérés. Le CFA par effet pince pour les déplacements sévères, le col déformé restant en dehors de l'articulation et vient en butée (en impaction, lésion de dehors en dedans) lors de la flexion-rotation de hanche (30,34,35).

Cliniquement, le CFA est suspecté devant une limitation de la rotation interne de hanche ($<10^\circ$) lorsque la hanche est fléchie à 90° et l'incapacité à fléchir la hanche à plus de 90° (35). La flexion, l'adduction et la rotation interne de la hanche (signe FADRI) provoquent des douleurs à la hanche. La flexion de la hanche passive ou active entraîne une rotation externe progressive de la cuisse (signe de Drehmann), car le patient tente, involontairement, d'éviter l'impaction du col fémoral antérosupérieur sur l'acétabulum antéro-supérieur, ou bien par ce qu'il existe une réelle rétroversion fémorale (36).

D'après Samelis et al, on retrouve le CFA chez tous les patients non traités ou traités par FIS, quel que soit la sévérité du déplacement. Des signes radiologiques, sur le cliché de profil de Dunn (glissement résiduel, angle $\alpha > 55^\circ$, offset tête-col $< 0,15$) existent dans 80 à 90% des patients, indépendamment de la sévérité du déplacement et sont asymptomatiques cliniquement

(Figure 5) (30,37). Cependant, 31% à 36% deviennent symptomatiques avec 40% de risque de chirurgie reconstructive de hanche précoce, c'est-à-dire avant 50 ans (38-40).

Les facteurs de risques du CFA sont la sévérité du déplacement (100%, 50% et 33% respectivement dans les déplacements sévères, modérés et faibles) et les formes chroniques (32,40). Les facteurs iatrogéniques seraient le défaut de réduction chirurgicale et le vissage antérieur avec vis trop longues (effet pince de la vis) (41).

À la vue de ces complications, comment les prendre en charge à l'âge adulte ?

4. Traitements chirurgicaux conservateurs

des conséquences de l'épiphysiolyse de hanche chez l'adulte

4.1. Rôle de l'arthroscopie de la hanche

Afin d'éviter le CFA, de nombreux chirurgiens suggèrent que la stabilisation in situ soit associée à une ostéochondroplastie arthroscopique de la déformation antérosupérieure du col fémoral, soit simultanément à la procédure primaire, soit plus tard, après la fusion de la physe et la fin du remodelage du col fémoral (30).

L'ostéochondroplastie arthroscopique réduit efficacement l'angle α de 20° à 40° et augmente l'offset tête-col (42,43). Une intervention arthroscopique précoce donne de meilleurs résultats concernant la douleur et la mobilité de la hanche et protège la hanche des défauts permanents du labrum et du cartilage (43).

L'ostéochondroplastie arthroscopique ne traite que la déformation du col fémoral après le glissement. Elle ne restaure pas l'orientation de la tête fémorale, par rapport à la zone portante de l'acétabulum. Par conséquent, après l'EFS, la surface portante de l'acétabulum s'articule avec une autre partie de la tête fémorale au lieu de la surface portante d'origine, qui est recouverte d'un cartilage articulaire plus épais. Ainsi, même sans CFA, le cartilage de la tête fémorale est soumis à des charges anormales, ce qui pourrait endommager le cartilage à long terme (44,45). De ce fait, une ostéotomie de réduction serait indiquée dans les formes modérées et sévères d'après certains auteurs (46).

4.2. Ostéotomies de réduction de l'épiphyse fémorale supérieure

L'ostéotomie sous-capitale du col fémoral avec raccourcissement du col fémoral pour le traitement des épiphysiolyse stables a été décrite pour la première fois par Green (1945). Des modifications

ont été apportées secondairement par Compère (1950), Dunn (1964) et Ganz (2001) (4,47–49). Ces ostéotomies sont réalisées lorsque la physe proximale du fémur est encore ouverte, dans les formes stables à déplacement sévère (50). Ces ostéotomies, réalisées dans l'enfance, permettent, en l'absence d'ostéonécrose, d'éviter de manière efficace le CFA et l'arthrose précoce, à condition que la réduction soit anatomique (51). Cependant, ces ostéotomies doivent être réalisées par des chirurgiens expérimentés, en centres spécialisés (4,23,52).

4.3. Ostéotomies de réorientation avec ostéochondroplastie

Les ostéotomies de réorientation, ne permettent pas de corriger la déformation de manière anatomique. Elles ont été développées dans les formes stables, à déplacements modérés et sévères, pour éviter les ostéonécroses liées aux techniques de réduction anatomiques et diminuer le risque de CFA des FIS.

Ces ostéotomies, réalisées par voie latérale ou antéro-latérale, plus sûre en terme d'ONA que les ostéotomies de réduction, ont montré un recul du risque d'arthrose à long terme (53,54). Le principe repose sur une ostéotomie inter-trochantérienne tridimensionnelle permettant une déflexion, une dérotation et une valgisation du col fémoral (55–57). La technique originelle est celle de Imhäuser, mais elle a été modifiée avec le temps et inclue maintenant une ostéochondroplastie pour le CFA, ainsi qu'une planification avec guide de coupe pour une correction patient-spécifique de ces déformations complexes (55–58).

Cependant, en cas d'arthrose secondaire, la pose de la prothèse totale de hanche peut s'avérer plus difficile en raison de la forme en « S » du fémur proximal.

5. Traitement chirurgical non conservateur :

la prothèse totale de hanche

5.1. Arthrose et EFS

La fréquence de l'EFS dans le nombre total de prothèses totales de hanche (PTH) est relativement faible. Parmi les 370 630 PTH rapportées par l'Association nordique des registres d'arthroplastie pour la période s'écoulant de 1995 à 2009, les pathologies de la hanche pédiatrique (EFS et ostéochondrite primitive de hanche) étaient responsables de seulement 0,6 % des PTH pour arthrose primaires (59). Cependant, ces patients étaient significativement plus jeunes (âge moyen, 49,7 ans) par rapport aux autres patients atteints d'arthrose primaire de la hanche (69,3 ans). Dans l'ensemble, le conflit fémoro-acétabulaire post-glissement entraîne une arthrose précoce de la hanche et une prothèse totale de hanche à un âge plus jeune. Il semble que les patients atteints d'EFS, subiront

une PTH environ 10 à 12 ans plus tôt que les patients atteints d'arthrose primaire de la hanche. Des signes radiologiques indiquant un antécédent d'EFS sont observés chez 35,7 % des patients atteints d'arthrose de la hanche de moins de 60 ans (40). D'autres études soutiennent que l'EFS est la cause sous-jacente jusqu'à dans 6,5 % des cas d'arthrose de la hanche et dans 9,3 % des PTH chez les patients de moins de 50 ans (60,61).

5.2. PTH sur EFS

Peu d'informations sont disponibles concernant les résultats de la PTH pour coxarthrose secondaire à une EFS. Une méta analyse de Sarraf et al., publiée en 2021, a retrouvé six études répondant aux critères d'inclusion (62). Parmi celles-ci, 5 étaient des études rétrospectives non-comparative et une était une étude rétrospective comparative basée sur les données de registres. Toutes les études ont rapporté une amélioration significative de la fonction et de la qualité de vie. Au total, il y avait 268 patients âgés en moyenne de 43,8 ans et suivis pendant 7,6 ans en moyenne. Sur les 268 patients, il y a eu 226 PTH (84,3 %), 40 resurfaçages (14,9 %) et deux (0,8 %) hémiarthroplasties. Il y avait 148 PTH sans ciment (65,5 %), 50 PTH hybrides (22,1 %) et 28 PTH cimentées (12,4 %). Seules trois études (n=94) précisaient le couple de frottement utilisé. Il y avait 28 métal sur polyéthylène, 23 céramique sur céramique, neuf céramique sur polyéthylène et 35 métal sur métal.

L'ablation du matériel de fixation utilisé pour fixer l'EFS peut être réalisée dans le même temps que la PTH. En cas de difficulté d'ablation, la vis peut être extraite après section du col et fragmentation de la tête fémorale.

Un taux de révision global de 11,9 % a été rapporté, survenant en moyenne à 6,5 ans (0,75 à 18,7 ans). La PTH chez les patients après EFS entraîne une amélioration des résultats fonctionnels comparables à ceux des patients recevant une PTH pour arthrose primitive. Le taux de révision semble cependant plus élevé. Des études prospectives comparatives sont nécessaires pour évaluer plus en détail l'efficacité des PTH modernes dans cette situation.

CONCLUSION

En conclusion, l'épiphyse de hanche chez l'adulte peut entraîner des conséquences débilantes en termes d'arthrose, de douleurs et de limitation de la mobilité. Il est important de prendre en compte ces facteurs lors de la prise en charge initiale de ces patients et d'en informer les parents et les patients. Les traitements chirurgicaux conservateurs tels que les ostéotomies (réduction et réorientation) et l'arthroscopie peuvent être efficaces pour améliorer les symptômes et la qualité de vie des patients atteints d'épiphyse de hanche. Les résultats à long terme des traitements non conservateurs doivent encore être évalués, notamment avec les techniques modernes

(prothèses sur mesure, chirurgie avec navigation et assistée par robot). Il est donc essentiel de poursuivre la recherche dans ce domaine pour améliorer les options de traitement disponibles et améliorer les résultats à long terme pour les patients.

RÉFÉRENCES

1. Loder RT, Skopelja EN. The epidemiology and demographics of slipped capital femoral epiphysis. *ISRN Orthop*. 2011;2011:486512.
2. Witbreuk MM, van Royen BJ, Van Kemenade FJ, Witte BI, van der Sluijs JA. Incidence and gender differences of slipped capital femoral epiphysis in the Netherlands from 1998-2010 combined with a review of the literature on the epidemiology of SCFE. *J Child Orthop*. 2013;7(2):99–105.
3. Novais EN, Hosseinzadeh S, Emami SA, Maranhão DA, Kim YJ, Kiapour AM. What Is the Association Among Epiphyseal Rotation, Translation, and the Morphology of the Epiphysis and Metaphysis in Slipped Capital Femoral Epiphysis? *Clin Orthop*. 2021;479(5):935–44.
4. Wylie JD, Novais EN. Evolving Understanding of and Treatment Approaches to Slipped Capital Femoral Epiphysis. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2019; 12(2): 213-9
5. Manoff EM, Banffy MB, Winell JJ. Relationship between Body Mass Index and slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop*. 2005;25(6):744–6.
6. Loder RT, Richards BS, Shapiro PS, Reznick LR, Aronson DD. Acute slipped capital femoral epiphysis: the importance of physeal stability. *J Bone Jt Surg*. 1993;75(8):1134–40.
7. Loder RT. What is the cause of avascular necrosis in unstable slipped capital femoral epiphysis and what can be done to lower the rate? *J Pediatr Orthop*. 2013;33 Suppl 1:S88-91.
8. Kamegaya M, Saisu T, Nakamura J, Murakami R, Segawa Y, Wakou M. Drehmann sign and femoro-acetabular impingement in SCFE. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(8):853–7.
9. Jones CE, Cooper AP, Doucette J, Buchan LL, Wilson DR, Mulpuri K, et al. Southwick angle measurements and SCFE slip severity classifications are affected by frog-lateral positioning. *Skeletal Radiol*. 2018;47(1):79–84.
10. Carlloz H, Pous JG, Rey JC. [Upper femoral epiphysiolysis]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1968;54(5):387–491.
11. Kim S, Park KB, Kim HW, Kim JE, Park H. Leg length discrepancy after in situ fixation with screw for slipped capital femoral epiphysis. *Sci Rep*. 2022;12(1):2256.
12. Kohno Y, Nakashima Y, Kitano T, Irie T, Kita A, Nakamura T, et al. Is the timing of surgery associated with avascular necrosis after unstable slipped capital femoral epiphysis? A multicenter study. *J Orthop Sci*. 2017;22(1):112–5.
13. Merz MK, Amirouche F, Solitro GF, Silverstein JA, Surma T, Gourineni PV. Biomechanical Comparison of Perpendicular Versus Oblique In Situ Screw Fixation of Slipped Capital Femoral Epiphysis. *J Pediatr Orthop*. 2015;35(8):816–20.
14. Häggglund G. Pinning the slipped and contralateral hips in the treatment of slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop*. 2017;11(2):110–3.
15. Miyanji F, Mahar A, Oka R, Pring M, Wenger D. Biomechanical comparison of fully and partially threaded screws for fixation of slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(1):49–52.
16. Dragoni M, Heiner AD, Costa S, Gabrielli A, Weinstein SL. Biomechanical study of 16-mm threaded, 32-mm threaded, and fully threaded SCFE screw fixation. *J Pediatr Orthop*. 2012;32(1):70–4.
17. Chervonski E, Wingo T, Pargas-Colina C, Castañeda P. Temporal trends in surgical implants for in situ fixation of stable slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop Part B*. 2024;33(5):437–42.
18. Compere CL. Correction of deformity and prevention of aseptic necrosis in late cases of slipped femoral epiphysis. *J Bone Joint Surg Am*. 1950;32A(2):351–62.
19. Mallet C, Ilharreborde B. Traitement des épiphysiolyses fémorales supérieures. *EMC - Tech Chir - Orthopédie - Traumatol*. 2016;36(3):1–11.
20. Veramuthu V, Munajat I, Islam MA, Mohd EF, Sulaiman AR. Prevalence of Avascular Necrosis Following Surgical Treatments in Unstable Slipped Capital Femoral Epiphysis (SCFE): A Systematic Review and Meta-Analysis. *Child*. 2022;9(9):1374.
21. Karagüven D, Demir P, Yüksel S, Ömeroğlu H. A Delphi consensus study on the treatment of slipped capital femoral epiphysis: Considerable consensus in mild and moderate slips and limited consensus in severe slips. *J Child Orthop*. 2023;17(4):299–305.
22. Naseem H, Chatterji S, Tsang K, Hakimi M, Chytas A, Alshryda S. Treatment of stable slipped capital femoral epiphysis: systematic review and exploratory patient level analysis. *J Orthop Traumatol*. 2017;18(4):379–94.
23. Lang P, Panchal H, Delfosse EM, Silva M. The outcome of in-situ fixation of unstable slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop Part B*. 2019;28(5):452–7.

24. Kaushal N, Chen C, Agarwal KN, Schrader T, Kelly D, Dodwell ER. Capsulotomy in Unstable Slipped Capital Femoral Epiphysis and the Odds of AVN: A Meta-analysis of Retrospective Studies. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(6):e406–11.
25. Parsch K, Weller S, Parsch D. Open Reduction and Smooth Kirschner Wire Fixation for Unstable Slipped Capital Femoral Epiphysis. *J Pediatr Orthop.* 2009;29(1):1–8.
26. Lang P, Panchal H, Delfosse EM, Silva M. The outcome of in-situ fixation of unstable slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop B.* 2019;28(5):452–7.
27. Hesper T, Zilkens C, Bittersohl B, Krauspe R. Imaging modalities in patients with slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop.* 2017;11(2):99–106.
28. Lewis DC, Metz AK, Froerer DL, Klatt JB, Aoki SK. Hardware Impingement Is Associated With Shorter Screw Length in Patients Treated With In Situ Screw Fixation for Slipped Capital Femoral Epiphysis: An In Vivo Arthroscopic Evaluation. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022;4(5):e1623–8.
29. Kalogrianitis S, Tan CK, Kemp GJ, Bass A, Bruce C. Does unstable slipped capital femoral epiphysis require urgent stabilization? *J Pediatr Orthop Part B.* 2007;16(1):6–9.
30. Samelis PV, Papagrigorakis E, Konstantinou AL, Lalos H, Koulouvaris P. Factors Affecting Outcomes of Slipped Capital Femoral Epiphysis. *Cureus.* 2020;12(2):e6883.
31. Lubicky JP. Chondrolysis and avascular necrosis: complications of slipped capital femoral epiphysis. *J Pediatr Orthop Part B.* 1996;5(3):162–7.
32. Roaten J, Spence DD. Complications Related to the Treatment of Slipped Capital Femoral Epiphysis. *Orthop Clin North Am.* 2016;47(2):405–13.
33. Rab GT. The geometry of slipped capital femoral epiphysis: implications for movement, impingement, and corrective osteotomy. *J Pediatr Orthop.* 1999;19(4):419–24.
34. Lerch TD, Novais EN, Schmaranzer F, Ziebarth K, Steppacher SD, Tannast M, et al. What Is the Prevalence of Cam Deformity After Prophylactic Pinning of the Contralateral Asymptomatic Hip in Unilateral Slipped Capital Femoral Epiphysis? A 10-year Minimum Followup Study. *Clin Orthop.* 2019; 477(5):1111–22.
35. Lerch TD, Kim YJ, Kiapour A, Boschung A, Steppacher SD, Tannast M, et al. Hip Impingement of severe SCFE patients after in situ pinning causes decreased flexion and forced external rotation in flexion on 3D-CT. *J Child Orthop.* 2023;17(5):411–9.
36. Lerch TD, Kaim T, Hanke MS, Schmaranzer F, Steppacher SD, Busch JD, et al. Assessment of femoral retroversion on preoperative hip magnetic resonance imaging in patients with slipped capital femoral epiphysis: Theoretical implications for hip impingement risk estimation. *J Child Orthop.* 2023;17(2):116–25.
37. O'Brien T, Weisman DS, Ronchetti P, Piller CP, Maloney M. Flexible titanium nailing for the treatment of the unstable pediatric tibial fracture. *J Pediatr Orthop.* 2004;24(6):601–9.
38. Allen MM, Ghanta RB, Lahey M, Rosenfeld SB. Risk factors for early symptomatic femoroacetabular impingement following in situ fixation of slipped capital femoral epiphysis. *J Clin Orthop Trauma.* 2022 ;28:101851.
39. Schlenzka T, Serlo J, Viljakka T, Tallroth K, Helenius I. In situ fixation of slipped capital femoral epiphysis carries a greater than 40% risk of later total hip arthroplasty during a long-term follow-up. *Bone Jt J.* 2023;105-B(12):1321–6.
40. Murgier J, Espié A, Bayle-Iniguez X, Cavaignac E, Chiron P. Frequency of radiographic signs of slipped capital femoral epiphysiolysis sequelae in hip arthroplasty candidates for coxarthrosis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(7):791–7.
41. DeVries CA, Badrinath R, Baird SG, Bomar JD, Upasani VV. Prospective evaluation of in situ screw fixation for stable slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop.* 2022 ;16(5):385–92.
42. Basheer SZ, Cooper AP, Maheshwari R, Balakumar B, Madan S. Arthroscopic treatment of femoroacetabular impingement following slipped capital femoral epiphysis. *Bone Jt J.* 2016; 98-B(1):21–7.
43. Leunig M, Manner HM, Turchetto L, Ganz R. Femoral and acetabular re-alignment in slipped capital femoral epiphysis. *J Child Orthop.* 2017 ;11(2):131–7.
44. Ghijssels S, Touquet J, Himpe N, Simon JP, Corten K, Moens P. Degenerative changes of the hip following in situ fixation for slipped capital femoral epiphysis: a minimum 18-year follow-up study. *Hip Int.* 2021;31(2):264–71.
45. Maranhão DA, Davila-Parrilla A, Miller PE, Kim YJ, Novais EN, Millis MB. Acetabular morphology in slipped capital femoral epiphysis: comparison at treatment onset and skeletal maturity. *J Child Orthop.* 2018;12(5):444–53.
46. Peck K, Herrera-Soto J. Slipped capital femoral epiphysis: what's new? *Orthop Clin North Am.* 2014;45(1):77–86.

47. Gorgolini G, Caterini A, Efremov K, Petrungaro L, De Maio F, Ippolito E, et al. Surgical treatment of slipped capital femoral epiphysis (SCFE) by Dunn procedure modified by Ganz: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;22(Suppl 2):1064.
48. Ilharreborde B, Cunin V, Abu-Amara S, French Society of Pediatric Orthopaedics (SOPOP). Subcapital Shortening Osteotomy for Severe Slipped Capital Femoral Epiphysis: Preliminary Results of the French Multicenter Study. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(9):471–7.
49. Novais EN, Hill MK, Carry PM, Heare TC, Sink EL. Modified Dunn Procedure is Superior to In Situ Pinning for Short-term Clinical and Radiographic Improvement in Severe Stable SCFE. *Clin Orthop.* 2015;473(6):2108–17.
50. Wiemann JM, Herrera-Soto JA. Can we alter the natural history of osteoarthritis after SCFE with early realignment? *J Pediatr Orthop.* 2013;33 Suppl 1:S83–87.
51. Ziebarth K, Milosevic M, Lerch TD, Steppacher SD, Slongo T, Siebenrock KA. High Survivorship and Little Osteoarthritis at 10-year Followup in SCFE Patients Treated With a Modified Dunn Procedure. *Clin Orthop.* 2017;475(4):1212–28.
52. Mallet C, Campana M, Mas V, Simon AL, Ilharreborde B. Is anterior subcapital shortening osteotomy a reliable and reproducible technique in the treatment of severe slipped capital femoral epiphysis? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2022;108(1):103132.
53. Trisolino G, Pagliuzzi G, Di Gennaro GL, Stilli S. Long-term Results of Combined Epiphysiodesis and Imhäuser Intertrochanteric Osteotomy in SCFE: A Retrospective Study on 53 Hips. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(6):409–15.
54. Sikora-Klak J, Bomar JD, Paik CN, Wenger DR, Upasani V. Comparison of Surgical Outcomes Between a Triplane Proximal Femoral Osteotomy and the Modified Dunn Procedure for Stable, Moderate to Severe Slipped Capital Femoral Epiphysis. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(7):339–46.
55. Abdelaziz TH, Elbeshry SS, Goda AH, Fayyad TA, Aly AS, Mahmoud SA. Intertrochanteric Imhäuser osteotomy combined with osteochondroplasty in treatment of moderate-severe stable slipped capital femoral epiphysis: a case series study. *J Pediatr Orthop Part B.* 2020;29(3):283–91.
56. Baraka MM, Hefny HM, Thakeb MF, Fayyad TA, Abdelazim H, Hefny MH, et al. Combined Imhäuser osteotomy and osteochondroplasty in slipped capital femoral epiphysis through surgical hip dislocation approach. *J Child Orthop.* 2020;14(3):190–200.
57. Gopinathan NR, Ghosh AK, Sudesh P, Rangasamy K. Modified trochanteric triplane osteotomy for chronic moderate to severe slipped capital femoral epiphysis - a preliminary report. *Int Orthop.* 2024;48(12):3185–95.
58. Bali NS, Harrison JO, Bache CE. A modified Imhäuser osteotomy: an assessment of the addition of an open femoral neck osteoplasty. *Bone Jt J.* 2014;96-B(8):1119–23.
59. Engesæter LB, Engesæter IØ, Fenstad AM, Havelin LI, Kärrholm J, Garellick G, et al. Low revision rate after total hip arthroplasty in patients with pediatric hip diseases. *Acta Orthop.* 2012;83(5):436–41.
60. Murray RO. The aetiology of primary osteoarthritis of the hip. *Br J Radiol.* 1965;38(455):810–24.
61. Clohisy JC, Dobson MA, Robison JF, Warth LC, Zheng J, Liu SS, et al. Radiographic structural abnormalities associated with premature, natural hip-joint failure. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93 Suppl 2:3–9.
62. Sarraf KM, Popat R, Kneale KL, Bhattacharya R, Ramachandran M, Achan P, et al. Functional outcomes, complications and revision rate of hip arthroplasty in patients with sequelae of slipped capital femoral epiphysis: a systematic review. *EFORT Open Rev.* 2021;6(7):539–44.

DOI : 10.34814/sofop-2025-12