



## Déclaration de consensus 2018 du Comité international olympique sur la prévention, le diagnostic et la prise en charge des blessures du ligament croisé antérieur (LCA) en pédiatrie

Clare L. Arden<sup>1</sup> · Guri Ekas<sup>3,4,5</sup> · Hege Grindem<sup>6</sup> · Havard Moksnes<sup>4</sup> · Allen Anderson · Franck Chotel<sup>7</sup> · Moises Cohen<sup>8</sup> · Magnus Forssblad<sup>9</sup> · Theodore J. Ganley<sup>10</sup> · Julian A. Feller<sup>11,12</sup> · Jon Karlsson<sup>13</sup> · Mininder S. Kocher<sup>14,15</sup> · Robert F. LaPrade<sup>16,17</sup> · Mike McNamee<sup>18</sup> · Bert Mandelbaum<sup>19</sup> · Lyle Micheli<sup>14,15,20</sup> · Nicholas Mohtadi<sup>21</sup> · Bruce Reider<sup>22</sup> · Justin Roe<sup>23</sup> · Romain Seil<sup>24,25</sup> · Rainer Siebold<sup>26,27</sup> · Holly J. Silvers-Graneli<sup>28</sup> · Torbjørn Soligard<sup>29,30</sup> · Erik Witvrouw<sup>31</sup> · Lars Engebretsen<sup>3,4,5,29</sup>

Reçue le : 16 janvier 2018 / Acceptée le : 5 février 2018 / Publiée en ligne le : 17 février 2018  
© The Author(s) 2018. Cet article est une publication en accès libre

### Résumé

En octobre 2017, le Comité international olympique a accueilli un groupe d'experts internationaux composé de kinésithérapeutes et de chirurgiens orthopédistes spécialisés dans le traitement et la recherche sur les blessures du ligament croisé antérieur (LCA) en pédiatrie. Parmi les participants figuraient des représentants de : American Orthopaedic Society for Sports Medicine, European Paediatric Orthopaedic Society, European Society for Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy, International Society of Arthroscopy Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine, Pediatric Orthopaedic Society of North America, and Sociedad Latinoamericana de Artroscopia, Rodilla y Deporte. Des kinésithérapeutes et des chirurgiens orthopédiques ayant une expérience clinique et de recherche dans le domaine, ainsi qu'un expert en éthique ayant une expérience approfondie dans le domaine des blessures sportives, y ont également participé. La prise en charge des blessures est un défi dans le contexte actuel d'incertitude clinique et de connaissances scientifiques limitées. Les décisions relatives à la prise en charge des blessures ont également pour toile de fond la complexité de la prise de décision conjointe avec les enfants et les éventuelles répercussions à long terme de la blessure. La présente déclaration de consensus aborde six questions cliniques fondamentales concernant la prévention, le diagnostic et la prise en charge des blessures du LCA en pédiatrie. Son objectif est de fournir un résumé complet, fondé sur des preuves, visant à aider les médecins et les enfants souffrant de blessures du LCA et leurs parents/tuteurs à prendre les meilleures décisions possibles.

**Mots-clés** Ligament croisé antérieur • LCA • Orthopédie • Pédiatrie • Enfant • Genou • Consensus

### Introduction

Le nombre de blessures du ligament croisé antérieur (LCA) chez les enfants ne cesse d'augmenter [112, 133]. Les blessures du LCA chez les enfants suscitent un niveau de préoccupation plus élevé que chez toute autre population atteinte de blessures du LCA. Les enfants souffrant d'une rupture du LCA atteignent-ils une maturité similaire à celle de leurs camarades non blessés ? Continuent-ils le sport ?

Privilégient-ils leurs études et leurs autres intérêts au détriment du sport ? Une blessure du LCA et son traitement changent-ils leur vie ? Ces jeunes gens doivent vivre avec leur problème de genou pour le restant de leur vie, ce qui peut compromettre leur qualité de vie et augmenter le risque de nouvelles blessures, de lésions méniscales et d'arthrose précoce [134]. Le problème est aggravé par le fait qu'il existe très peu de preuves de qualité permettant d'orienter la prise en charge des blessures du LCA en pédiatrie [90].

Les progrès sur ces questions ne peuvent être réalisés que dans le cadre d'un suivi à long terme au sein de collaborations entre plusieurs centres de recherche. En outre, pour réaliser des progrès, il faut un engagement à long terme de la part de ceux qui ont à cœur les intérêts des enfants. Par conséquent, le Comité international olympique (CIO) a accueilli en octobre 2017 un groupe d'experts internationaux composé de kinésithérapeutes et de chirurgiens orthopédistes spécialisés dans le traitement et la recherche sur les blessures du LCA en pédiatrie. Des représentants des sociétés suivantes y ont participé : American Orthopaedic Society for Sports Medicine (AOSSM), European Paediatric Orthopaedic Society (EPOS), European Society for

---

Allen Anderson : décédé.

---

**Matériel électronique supplémentaire** La version en ligne de cet article (<https://doi.org/10.1007/s00167-018-4865-y>) inclut du matériel supplémentaire, disponible pour les utilisateurs autorisés.

---

\* Clare L. Arden [clare.arden@liu.se](mailto:clare.arden@liu.se)

De plus amples informations sur l'auteur sont disponibles à la dernière page de l'article

Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy (ESSKA), International Society of Arthroscopy Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine (ISAKOS), Pediatric Orthopaedic Society of North America (POSNA) and Sociedad Latinoamericana de Artroscopia, Rodilla y Deporte (SLARD).

Les praticiens ont la responsabilité de fournir des informations précises et un traitement efficace à cette population vulnérable. La communication d'informations sur les conséquences potentielles d'une blessure du LCA et de son traitement pendant l'enfance sur la santé du genou à long terme devrait être un élément essentiel du processus de prise de décision partagée. Les patients adultes ayant souffert d'une blessure du LCA peuvent développer des symptômes et des signes d'arthrose dans les dix ans qui suivent la blessure initiale [60]. Par conséquent, la préoccupation clinique porte sur le fait qu'un enfant qui se blesse à l'âge de 10 ans pourrait présenter une arthrose symptomatique à l'âge de 20 ans. La question essentielle consiste à savoir quel est le pronostic à long terme après une blessure du LCA dans l'enfance. Une réponse définitive et fondée sur des preuves à cette question renforcerait notre confiance dans la prise de décision clinique. Il est clair que la réponse à cette question n'est pas simple et dépend de nombreux facteurs, mais il est important de souligner que les résultats à long terme après une blessure du LCA dans l'enfance, y compris le développement de l'arthrose, n'ont pas été étudiés.

La prise en charge des blessures est un défi dans le contexte actuel d'incertitude clinique et de connaissances scientifiques limitées. Les décisions relatives à la prise en charge des blessures ont également pour toile de fond la complexité de la prise de décision conjointe avec les enfants et les éventuelles répercussions à long terme de la blessure. La présente déclaration de consensus aborde six questions cliniques fondamentales concernant la prévention, le diagnostic et la prise en charge des blessures du LCA en pédiatrie (Encadré 1).

L'objectif de la présente déclaration de consensus, qui structure chaque sujet autour de questions cliniques, est de fournir un résumé complet, fondé sur des preuves, visant à aider les médecins et les enfants souffrant de blessures du LCA et leurs parents/tuteurs à prendre les meilleures décisions possibles.

## Méthodes de consensus

La technique de Delphes modifiée [32, 37, 127] a été la méthode employée pour identifier les sujets à aborder dans cette déclaration de consensus. Les experts ont été contactés par courriel en juin 2016 et invités à répondre à une enquête électronique. Nous avons utilisé une combinaison de questions ouvertes et fermées pour recueillir l'avis des experts sur les principaux problèmes en la matière. Ces réponses ont été résumées et ont constitué la base de 18 déclarations concernant la prévention des blessures, le diagnostic, le pronostic, les techniques chirurgicales, la prise de décision concernant le traitement, la prise en charge et la mesure des résultats (fichier complémentaire 1).

Nous avons mené un processus de consensus à deux tours, auquel ont participé 19 experts en contenu. Les participants interrogés ont évalué l'importance des 18 déclarations prédéfinies, sur une échelle de 11 points allant de *pas du tout important* à *extrêmement important*. Le consensus a été défini comme un classement moyen d'au minimum 8 points pour chaque déclaration. Après le premier tour de scrutin, les déclarations ayant fait l'objet d'un consensus ont été supprimées, de sorte que seules les déclarations

### Encadré 1 Les six questions cliniques fondamentales et sujet(s) correspondant(s) dans la déclaration de consensus

Partie 1 : Que peut faire le praticien pour prévenir les blessures du LCA chez les enfants ?

Sujet correspondant dans la déclaration de consensus :  
Prévention des blessures

Partie 2 : De quelle manière le praticien diagnostique-t-il les blessures du LCA chez les enfants ?

Sujet correspondant dans la déclaration de consensus :  
Examens de diagnostic et imagerie

Partie 3 : Quelles sont les options de traitement pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA ?

Sujets correspondants dans la déclaration de consensus :  
Rééducation de qualité  
Techniques chirurgicales  
Greffe de LCA en pédiatrie

Partie 4 : Quelles sont les principaux aspects à prendre en compte pour décider d'un traitement ?

Sujets correspondants dans la déclaration de consensus :  
Estimation de l'âge osseux  
Décision d'une reconstruction du LCA  
Risques liés à la reconstruction du LCA  
Prise en charge des blessures associées

Partie 5 : Comment le praticien mesure-t-il les résultats qui sont pertinents pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA ? Sujet correspondant dans la déclaration de consensus :

Mesures des résultats communiqués par les patients en pédiatrie

Partie 6 : Quels sont le rôle et les responsabilités du praticien ?

Sujet correspondant dans la déclaration de consensus :  
Considérations éthiques

n'ayant pas fait l'objet d'un consensus lors du premier tour de scrutin sont passées au second tour de scrutin. Les déclarations ayant finalement fait l'objet d'un consensus ont constitué les sujets discutés pendant la réunion de consensus.

Le Comité international olympique a convoqué une réunion de consensus de 21 experts à Lausanne, en Suisse, en octobre 2017. Les experts ont été identifiés par le CIO par le biais des sociétés membres de l'AOSM, de l'ESSKA, de l'ISAKOS et de la SLARD, et parmi les kinésithérapeutes et les chirurgiens orthopédistes ayant une expérience clinique et de recherche en la matière. La réunion a également compté sur la participation d'un expert en éthique bénéficiant d'une grande expérience dans le domaine des blessures sportives.

## Partie 1 : prévention des blessures

Cette partie aborde la question clinique fondamentale : comment le praticien peut-il prévenir les blessures du LCA chez les enfants ? La prévention des blessures du LCA est primordiale en raison des conséquences graves qu'elles peuvent avoir à long terme pour les personnes qui en sont victimes et du risque accru de nouvelle blessure de l'un ou l'autre genou [100]. Il est donc essentiel que les principes de prévention des blessures soient intégrés dans le traitement de l'enfant qui présente une blessure du LCA.

Des progrès significatifs ont été réalisés dans l'élaboration et l'application de programmes de prévention des blessures du LCA dans de nombreux sports de pivot. Certains éléments démontrent de manière irréfutable que les programmes de prévention des blessures du LCA fonctionnent chez les patients ayant atteint la maturation squelettique : le nombre d'athlètes souffrant d'une blessure primaire du LCA diminue, ainsi que le nombre de nouvelles blessures chez ceux qui reprennent le sport après une primo-lésion du LCA [86, 95, 115, 117, 120, 130].

Les modèles de mouvements biomécaniques de l'athlète constituent un facteur de risque modifiable majeur en matière de blessure. Les programmes de prévention des blessures ciblent ces mouvements en y intégrant le renforcement musculaire, la pliométrie et des exercices d'agilité spécifiques au sport [36, 80]. Il est également essentiel de former l'entraîneur et l'athlète aux techniques de changement de direction et de réception de sauts (par

exemple, position bien à plat du pied lors de l'impulsion, genou fléchi à la réception) qui évitent les positions à haut risque pour le genou. Les programmes de prévention des blessures sont simples à mettre en œuvre car ils ne demandent que peu ou pas d'équipement et sont réalisés dans le cadre de l'entraînement normal de l'équipe ou de l'éducation physique et sportive, 2 à 3 fois par semaine (Figure 1).

### Programme 11+ pour les enfants

Il convient aussi de mettre en place des programmes de prévention des blessures dès le début du processus de développement de l'athlète. Cela lui permettra de mieux adopter des stratégies de mouvement solides et favorables. Un programme de prévention des blessures solidement établi [126], le 11+, a été modifié récemment (par exemple, on y a inclus des techniques de chute et les exercices avec partenaire ont davantage été axés sur le jeu) pour mieux s'adapter à la population des enfants (FIFA 11+ for kids). La participation à ce programme peut contribuer à réduire de plus de la moitié les blessures des membres inférieurs dues à la pratique du football [107]. Les enfants l'ayant réalisé ont également amélioré leur contrôle moteur, leur équilibre et leur souplesse, par rapport à ceux qui n'ont pas suivi le programme [106].

### Facteurs pouvant avoir un impact sur l'efficacité de la prévention des blessures

Les programmes de prévention des blessures bien conçus présentent les taux de blessures et les pertes de temps dues aux blessures les plus bas [12, 126]. Or, l'effet d'un programme de prévention des blessures bien conçu est fortement influencé par la fréquence à laquelle les athlètes effectuent l'entraînement [52, 118, 119]. Par conséquent, la mise en œuvre et la pratique cohérentes, ainsi que l'adhésion à tous les niveaux du jeu de compétition, constituent l'un des principaux défis à relever pour le praticien. Les personnes engagées dans les sports pour la jeunesse et les praticiens qui traitent les jeunes athlètes souffrant d'une blessure du LCA ont la responsabilité de promouvoir activement la prévention des blessures, dans un cadre initial et auprès des enfants reprenant le sport après une blessure.



**Figure 1** Exercices de prévention des blessures intégrés à l'entraînement de l'équipe



**Figure 2** Adolescente qui montre comment maintenir l'extension terminale du genou en appui sur une seule jambe. C'est un marqueur important du contrôle du quadriceps dans la rééducation et la pré-rééducation du LCA.

## Partie 2 : diagnostic, examens cliniques et imagerie

Cette partie aborde la question clinique fondamentale : comment le praticien peut-il diagnostiquer une blessure du LCA chez les enfants ? Les programmes efficaces de prévention des blessures constituent la première ligne de défense contre les éventuelles

conséquences négatives à court et à long terme des blessures du LCA. Toutefois, si les efforts de prévention échouent, il est important de poser un diagnostic précis et en temps opportun, car c'est le point de départ d'une planification efficace de la prise en charge et d'une prise de décision partagée. Le praticien rassemble les informations issues des antécédents du patient, de l'examen et des analyses cliniques, ainsi que de l'imagerie, pour établir le tableau clinique qui servira de base au diagnostic et au traitement. En général, les antécédents et un examen clinique approfondis permettent au praticien de poser un diagnostic précis.

*Avis clinique 1* L'hémarthrose (gonflement accentué du genou dans les 24 heures suivant un traumatisme, dû à une hémorragie intra-articulaire) après une blessure aiguë du genou est un indice majeur laissant supposer une blessure structurelle du genou.

*Avis clinique 2* Le diagnostic peut s'avérer plus complexe que chez les adultes car les enfants peuvent avoir du mal à expliquer leurs antécédents, présenter une plus grande laxité articulaire physiologique (veiller à examiner les deux genoux) et l'interprétation de l'IRM est plus difficile étant donné les différences de développement chez eux [62, 124].

*Avis clinique 3* En raison de l'immaturité du squelette, les enfants peuvent subir des blessures au genou différentes de celles des adultes (par exemple, fracture en manchon de la rotule, épiphysolyse).

Envisagez de commencer l'évaluation en demandant des radiographies simples du genou pour tous les patients pédiatriques présentant une hémarthrose ou une blessure aiguë présumée au genou. En effet, les fractures de l'éminence tibiale et les déchirures du LCA peuvent présenter des antécédents et des résultats d'examen physique similaires. Il est également important d'exclure d'autres fractures pédiatriques (par exemple, fracture épiphysaire, fracture en manchon de la rotule). Effectuez une IRM pour confirmer le diagnostic de blessure du LCA et évaluez les autres structures des tissus mous [65]. Chez les enfants qui présentent une blessure du LCA, l'IRM peut fournir des informations supplémentaires permettant d'identifier les déchirures méniscales, les autres lésions ligamentaires ou les lésions ostéochondrales. Chez les enfants dont le genou est bloqué, il convient de réaliser une IRM de toute urgence pour évaluer la présence d'une déchirure méniscale en anse de seau déplacée ou d'une blessure ostéochondrale pouvant nécessiter une intervention chirurgicale rapide.

## Propriétés de mesure pour l'examen clinique et l'IRM

Aucune question, aucun examen ni aucune image ne permet d'identifier avec précision, de manière systématique, une blessure du LCA. Les outils de mesure dont dispose le praticien ne sont pas parfaits, mais ils fournissent des informations précieuses dans le cadre clinique. La connaissance des propriétés de mesure des outils cliniques aide le praticien à pondérer les informations obtenues grâce à ceux-ci. Les valeurs prédictives négatives de l'examen clinique et de l'IRM concernant la déchirure du LCA et la pathologie méniscale sont supérieures aux valeurs prédictives positives (Tableau 1). Cela signifie que, si l'examen clinique ou l'IRM ne révèle aucune blessure, le risque que le patient en ait subi une est minime. Toutefois, si les examens sont

**Tableau 1** Précision diagnostique de l'examen clinique et de l'IRM dans les troubles intra-articulaires du genou (Adapté de Kocher et al. [65])

Diagnostic	Sensibilité (%)			Spécificité (%)			Valeur prédictive positive (%)		Valeur prédictive négative (%)	
	Clinique	IRM	P	Clinique	IRM	P	Clinique	IRM	Clinique	IRM
Déchirure du ligament croisé antérieur	81,3	75	0,55	90,6	94,1	0,39	49	58,6	97,8	97,1
Déchirure du ménisque médial	62,1	79,3	0,15	80,7	92	0,03	14,5	34,3	97,6	98,8
Déchirure du ménisque latéral	50	66,7	0,24	89,2	82,8	0,21	34	30,1	94,1	95,7

L'examen clinique a porté sur les antécédents du patient, l'examen physique et les radiographies, et a été effectué par un spécialiste en médecine sportive orthopédique pédiatrique ou un interne en médecine sportive pédiatrique en post-internat.

positifs, cela ne signifie pas que le praticien peut toujours écarter le diagnostic de manière fiable.

### Partie 3 : traitement des blessures du LCA chez les enfants

Cette partie aborde la question clinique fondamentale : quelles sont les options de traitement pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA ? Lorsque le praticien est certain du diagnostic de la blessure, il doit d'abord connaître les options de traitement disponibles et en discuter avec l'enfant et ses parents/tuteurs, afin de prendre une décision commune quant à la meilleure façon de prendre en charge la blessure au genou.

Les objectifs du traitement d'un enfant souffrant d'une blessure du LCA sont les suivants :

1. Rétablir un genou stable et fonctionnel qui permette un mode de vie sain et actif tout au long de la vie.
2. Limiter les effets de la pathologie méniscale ou chondrale existante ou le risque d'aggravation de celle-ci, les modifications dégénératives de l'articulation et la nécessité d'une intervention chirurgicale ultérieure.
3. Réduire au maximum le risque d'arrêt de croissance et de déformation du fémur et du tibia.

Deux options de traitement peuvent aider l'enfant souffrant d'une blessure du LCA (avec ou sans lésions associées du genou) à atteindre ces objectifs : une rééducation de qualité seule (traitement non chirurgical), et une reconstruction du LCA associée à une rééducation de qualité. Cette partie décrit les éléments essentiels d'une rééducation de qualité pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA, ainsi que l'option de la technique chirurgicale de reconstruction du LCA. Les éventuels facteurs pouvant modifier la décision concernant le traitement sont décrits dans la « Partie 4 : facteurs pouvant modifier la décision en matière de traitement ».

#### Rééducation de qualité

Une rééducation de qualité est un élément essentiel de la prise en charge des blessures du LCA et les principes applicables sont les mêmes, que l'enfant ait subi une reconstruction du LCA ou fait l'objet d'un traitement non chirurgical. Les orientations en matière de rééducation pédiatrique sont extrapolées à partir de l'expérience clinique et de la recherche sur les adultes, bien qu'il ne soit pas

certain que l'on puisse appliquer aux enfants les mêmes principes qu'aux adultes [138]. La rééducation chez les enfants doit être réalisée en étroite collaboration avec ses parents/tuteurs. Il faut modifier les exercices et les objectifs fonctionnels, et non pas simplement les copier à partir des protocoles de rééducation destinés aux adultes, qui sont peut-être plus familiers pour de nombreux praticiens. En effet, les enfants ne sont pas des adultes en miniature et on ne peut pas leur demander de réaliser un entraînement non supervisé de manière indépendante et selon une technique parfaite. Des praticiens qualifiés en rééducation doivent superviser celle de l'enfant souffrant d'une blessure du LCA.

#### Approche axée sur la rééducation

Le contrôle neuromusculaire dynamique et multi-articulaire est le principal objectif de la rééducation du LCA chez les enfants. Chez les patients les plus jeunes (dont les physes sont nettement ouvertes, moins de 12 ans), l'accent est moins placé sur le renforcement et l'hypertrophie musculaires. Au cours de la maturation et au début de la puberté, des stratégies de rééducation plus proches de celles utilisées pour les patients adultes peuvent convenir, en raison de l'augmentation des hormones androgènes [15]. Ces stratégies doivent inclure un entraînement musculaire plus lourd et à charge externe.

Pour être couronnée de succès, la rééducation doit être complète et adaptée à la maturité physiologique et psychologique de l'enfant. Elle doit mettre l'accent sur les exercices qui facilitent l'alignement dynamique des membres inférieurs et les schémas de mouvements biomécaniques adaptés. Cette approche a été mise en œuvre avec succès dans les programmes de rééducation des adolescents et des adultes, mais n'a pas encore été documentée de manière aussi approfondie chez les enfants. Les exercices sont progressivement réalisés au cours des phases 2 et 3 du protocole de rééducation pédiatrique du LCA (Encadré 2 ; Fichier complémentaire 2) dans le cadre d'une rééducation sportive spécifique. Voir le fichier complémentaire 2 pour des exemples d'exercices à envisager lors de chaque phase de rééducation. L'anxiété liée à une nouvelle blessure et la confiance du patient vis-à-vis de son genou blessé ont une répercussion sur les résultats postérieurs à la rééducation du LCA chez l'adulte [8, 9]. Ces facteurs psychologiques sont probablement aussi importants au sein de la population pédiatrique, mais ils sont actuellement peu étudiés.

**Encadré 2** Examens fonctionnels recommandés et critères de retour au sport pour l'enfant et l'adolescent souffrant d'une blessure du LCA

**Pour les patients ayant opté pour une reconstruction du LCA**

Pré-rééducation

- Extension active complète et flexion active du genou d'au moins 120°
- Peu ou pas d'épanchement
- Aptitude à maintenir l'extension terminale du genou en position debout sur une seule jambe (Figure 2)
- Pour les adolescents : 90 % de symétrie des membres lors des tests de renforcement musculaire

**Pour les patients ayant opté pour une reconstruction du LCA OU un traitement non chirurgical**

*De la phase 1 à la phase 2*

- Extension active complète et flexion active du genou de 120°
- Peu ou pas d'épanchement
- Aptitude à maintenir l'extension terminale du genou en position debout sur une seule jambe

*De la phase 2 à la phase 3*

- Mobilité complète du genou
- 80 % de symétrie des membres lors des tests de saut sur une jambe, avec des stratégies de réception adéquates
- Aptitude à faire du jogging pendant 10 minutes en bonne forme et sans épanchement ultérieur

**Pour les adolescents : 80 % de symétrie des membres lors des tests de renforcement musculaire**

*De la phase 3 à la phase 4 : participation au sport (critères de retour au sport) et poursuite de la prévention des blessures*

- Tests de saut sur une seule jambe > 90 % du membre controlatéral (avec la stratégie et la qualité de mouvement adéquates)
- Augmentation progressive de l'entraînement spécifique au sport sans douleur ni épanchement
- Confiance en la fonction du genou
- Connaissance du positionnement du genou à haut risque de blessure et aptitude à maintenir un positionnement du genou à faible risque lors d'actions complexes spécifiques au sport
- Prêt mentalement à reprendre le sport

**Pour les adolescents : 90 % de symétrie des membres lors des tests de renforcement musculaire**

Les tests de renforcement musculaire doivent être réalisés à l'aide de la dynamométrie isocinétique ou de la dynamométrie manuelle/1 répétition maximum. Le type d'examen et l'expérience de celui qui l'effectue sont de nature à influencer sensiblement les résultats. Si vous utilisez la dynamométrie manuelle/1 répétition maximum, envisagez d'augmenter de 10 % le seuil du critère de symétrie des membres (c'est-à-dire que la symétrie des membres passe de 90 % à 100 %). Les praticiens n'ayant pas accès à un équipement adéquat d'évaluation de la force doivent envisager d'envoyer le patient ailleurs pour cette évaluation

Après une intervention chirurgicale, le type de greffe utilisé pour la reconstruction du LCA, ainsi que les blessures ou interventions chirurgicales associées à d'autres ligaments, ménisques ou cartilages articulaires, exigent des adaptations spécifiques du programme de rééducation. Les programmes de rééducation doivent être conçus de façon à permettre à l'enfant de participer aux séances d'entraînement de son équipe pour qu'il conserve les avantages sociaux liés au fait de rester au sein de l'équipe. Les parents ou tuteurs doivent participer activement à la rééducation quotidienne [101]. Il peut s'agir d'aider l'enfant à faire des exercices techniques et fonctionnels pendant l'entraînement de l'équipe (par exemple, des passes courtes au football ou football américain).

### Phases de rééducation

La rééducation de l'enfant souffrant d'une blessure du LCA se déroule en quatre phases (Encadré 2, Fichier complémentaire 2), auxquelles s'ajoute une phase de pré-rééducation pour ceux qui optent pour une reconstruction du LCA. Il faut répondre à des critères cliniques et fonctionnels spécifiques avant de passer d'une phase à l'autre [128]. Au cours des deux premières phases, l'enfant doit être mis à l'écart des activités d'impulsion et de

rotation pendant le sport, les jeux libres et les cours d'EPS à l'école.

### Progression de la rééducation

Le cadre de la progression par étapes fonctionnelles est similaire dans le cas de la reconstruction du LCA et dans celui du traitement non chirurgical. Cependant, les attentes en matière de progression et de délai de retour à la pleine participation au sport diffèrent. Pour tous les patients, la progression de la rééducation doit être déterminée par des repères cliniques et fonctionnels (Encadré 2), et le retour à la pleine participation [7] dépend de la satisfaction des critères de retour au sport (Encadré 2). Le traitement non chirurgical doit durer de 3 à 6 mois minimum [49]. La rééducation postopératoire doit durer au moins 9 mois avant le retour à la pleine participation aux activités physiques préférées. [50].

Les données des registres internationaux indiquent que les jeunes athlètes courent un risque élevé de subir une seconde blessure au LCA après une reconstruction [76], et que le risque est plus élevé dans les 12 premiers mois suivant l'opération [28, 50]. Il faut donc envisager de conseiller au jeune athlète de ne pas reprendre le sport de pivot avant au moins 12 mois après la reconstruction du LCA. La

rééducation est également une excellente occasion d'entraîner la jambe saine, ce qui est important compte tenu du risque de blessure controlatérale. [28]. Une fois que l'enfant a repris le sport, il faut intégrer à son entraînement habituel un programme complet de prévention des blessures, mettant l'accent sur l'alignement biomécanique et la technique de réception/impulsion.

### Cinq aspects à prendre en compte lors de la conception de programme de rééducation pour l'enfant prépubère

Les enfants qui sont proches de la maturité squelettique peuvent appliquer les directives de rééducation et les normes techniques réglementaires [50, 77] destinées aux adultes. Cinq aspects importants sont à prendre en compte pour l'enfant prépubère :

1. Envisagez un programme à domicile, faisant intervenir des exercices ludiques et des variations (Figure 3) pour éviter l'ennui.
2. Les tests de saut sur une seule jambe et les tests de renforcement isocinétique présentent des erreurs de mesure plus importantes pour la population prépubère et il faut donc les utiliser avec prudence [59].
3. Concentrez-vous sur l'évaluation de la qualité des mouvements lors des tests de saut sur une seule jambe, plutôt que sur les mesures de l'indice de symétrie des jambes (ISJ).
4. Les tests et les critères permettant d'évaluer la qualité du mouvement restent à valider, de sorte que le praticien responsable doit avoir des compétences et une expérience dans ce domaine.
5. Les critères de retour au sport ont été conçus et testés scientifiquement chez le patient à maturité squelettique et sont recommandés pour l'enfant proche de la maturité [50, 125]. La validité de ces critères chez l'enfant prépubère est inconnue.

### Attelle

De nombreux praticiens spécialisés dans le traitement non chirurgical des enfants présentant une immaturité squelettique recommandent



**Figure 3** Exemple d'exercice pouvant être intégré dans un programme de rééducation du LCA à domicile

le port d'une attelle de protection pendant les activités physiques intenses [92]. L'enfant qui a subi un traitement chirurgical porte généralement une attelle pendant la phase préalable à la rééducation, jusqu'au moment de la reconstruction du LCA. Après l'opération, il est recommandé que l'enfant porte une attelle de protection du genou jusqu'à ce qu'il ait réussi à franchir les étapes fonctionnelles de la phase 1 de rééducation (en général, 2 à 6 semaines après l'opération, en fonction des interventions chirurgicales parallèles). Cependant, l'efficacité de l'attelle chez les patients pédiatriques après une blessure ou une reconstruction du LCA est inconnue. Voici quelles peuvent être les autres aspects liés à l'utilisation d'une attelle : prévenir l'hyperextension du genou ou le valgus/varus du genou, renforcer la conscience de la blessure chez l'enfant et servir de signal de protection pour les autres personnes que l'enfant pourrait rencontrer (par exemple, à l'école).

### Techniques chirurgicales

Les principes de base de la reconstruction du LCA chez l'adulte s'appliquent aussi au patient pédiatrique : utiliser une autogreffe (de tissu mou) bien placée, de dimension adéquate, avec une fixation suffisante pour permettre une rééducation fonctionnelle. Il convient de limiter au maximum les dommages causés à la physe pour éviter de perturber la croissance. Les broches osseuses et les dispositifs de fixation ne doivent pas traverser la physe [41, 68, 111].

### Principales orientations pour la reconstruction du LCA

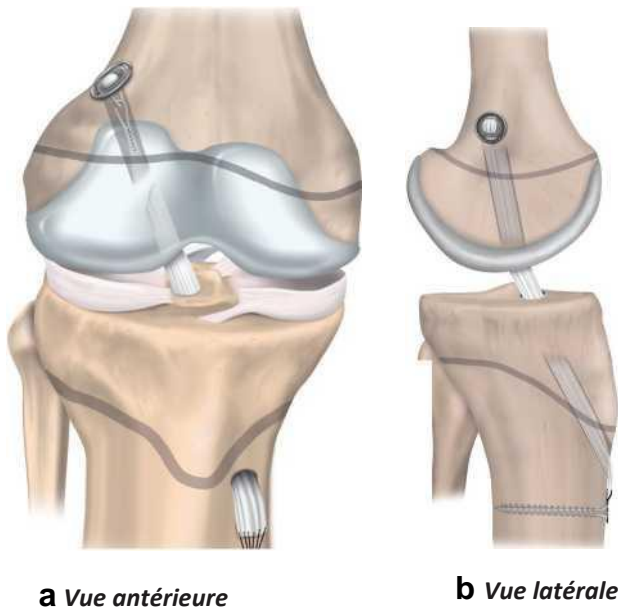
Trois orientations majeures s'appliquent pour la reconstruction du LCA en pédiatrie :

1. L'enfant présente des blessures associées récupérables qui nécessitent une intervention chirurgicale (par exemple, une déchirure du ménisque en anse de seau, une lésion méniscale récupérable ou une défaillance ostéocondrale).
2. L'enfant présente un genou récurrent et symptomatique qui cède après une rééducation de qualité
3. L'enfant subit des restrictions de participation inacceptables (par exemple, une modification inacceptable du niveau d'activité pour éviter que le genou ne cède)

Trois éventuelles techniques sont disponibles pour la reconstruction du LCA en pédiatrie :

### Reconstruction transphysaire du LCA

La technique transphysaire chez l'enfant est similaire à la technique que le chirurgien utiliserait pour la reconstruction du LCA chez l'adulte. La reconstruction transphysaire simple du LCA avec un quadruple greffon des ischio-jambiers est la plus courante (Figure 4) [21, 25, 38, 55, 71, 114]. Par conséquent, le chirurgien étant plus susceptible de connaître les éléments clés de la procédure, cela peut réduire le risque de complications opératoires. Veillez à ce que le diamètre des tunnels osseux soit le plus petit possible (< 9 mm) afin d'accueillir un greffon de taille adéquate [58]. De même, pour limiter au maximum les dommages physiques, orienter le tunnel tibial



**Figure 4** Reconstruction transphysaire du LCA (vues antérieure et latérale)

le plus verticalement et le plus centralement possible, tout en maintenant la position anatomique du greffon. Du côté fémoral, le chirurgien doit veiller à éviter l'anneau péricondral. Le forage par le portail antéro-interne peut donner lieu à un tunnel ayant une trajectoire elliptique à travers la physe. Envisagez une orientation légèrement plus verticale que celle qui pourrait être utilisée pour une reconstruction du LCA chez un patient adulte, ou optez pour une approche de forage différente.

### Reconstruction du LCA avec préservation physaire

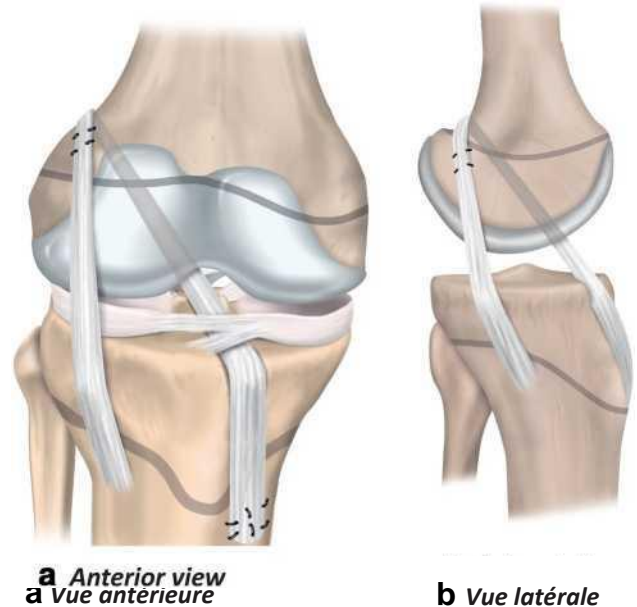
Les techniques de préservation de la physe permettent d'éviter les dommages physaires chez les patients dont la physe est nettement ouverte. Ces techniques incluent celle dite over-the-top avec un strip de la bandelette ilio-tibiale (Figure 5) [67] et une procédure entièrement épiphysaire (Figure 6) [3]. Dans les procédures entièrement épiphysaires, il est recommandé d'utiliser la visualisation fluoroscopique pour réduire le risque de dommages physaires. Lors de l'utilisation de la technique over-the-top, il faut éviter de râper le fémur pour éviter d'endommager l'anneau péricondral.

### Reconstruction transphysaire partielle du LCA

La technique transphysaire partielle (Figure 7) associe un tunnel tibial transphysaire à une technique de préservation de la physe du côté fémoral [5, 53, 82].

### Techniques et principes chirurgicaux pour réduire les risques de troubles de la croissance

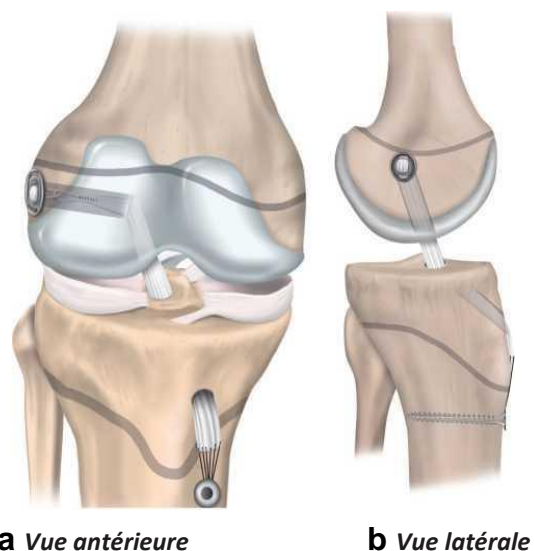
La trajectoire et l'emplacement des trous de forage ont un impact sur le niveau de risque pour les physes (Encadré 3; Figure 8). La



**Figure 5** Reconstruction du LCA avec préservation physaire recourant à une technique dite over-the-top avec bandelette ilio-tibiale (vues antérieure et latérale)

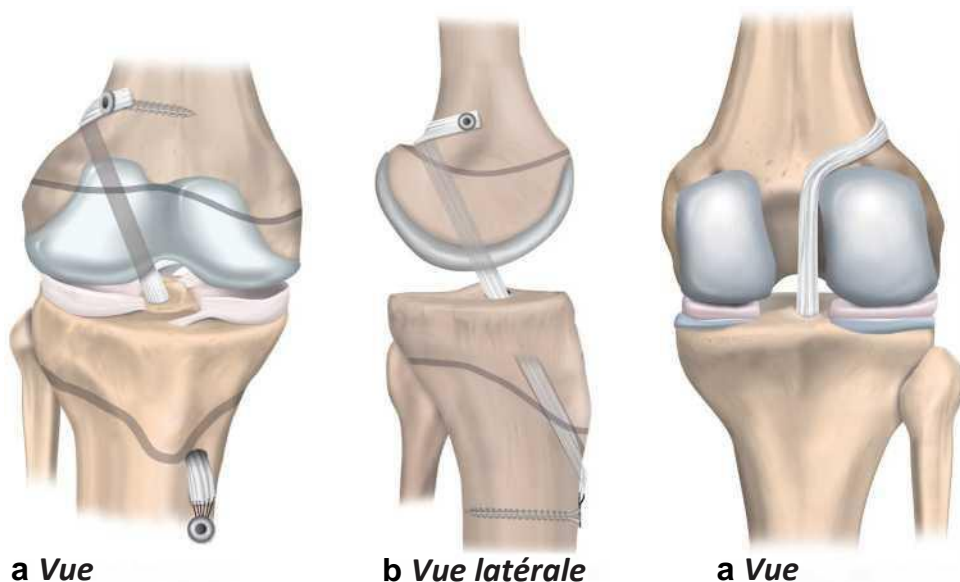
connaissance de trois principes essentiels aidera le chirurgien à limiter les risques pour les physes pendant la reconstruction transphysaire du LCA :

1. Le forage à la périphérie de la physe et de l'anneau péricondral augmente le risque de troubles de la croissance. Les trous de forage peuvent être placés de façon entièrement épiphysaire pour permettre le forage au niveau de l'empreinte native du LCA, tout en évitant la physe. Il faut positionner le tunnel avec la plus grande précision



**Figure 6** Reconstruction du LCA avec préservation de la physe en recourant à une technique entièrement épiphysaire (vues antérieure et latérale)

**Figure 7** Reconstruction partielle transphysaire du LCA (vues antérieure, latérale et postérieure)



**Encadré 3** Trois options différentes pour la trajectoire du tunnel fémoral

Tunnel option A : transphysaire vertical

Avantage : réduit au minimum le volume physaire affecté

Inconvénient : la couverture de l'empreinte du LCA est inférieure à celle qui serait idéale

Tunnel option B : transphysaire oblique

Avantage : position anatomique du greffon couvrant l'empreinte du LCA

Inconvénient : volume de physe plus important affecté négativement

Tunnel option C : horizontal tout-épiphysaire

Avantage : positionnement adéquat au niveau de l'empreinte du LCA ; pas de forage à travers la physe

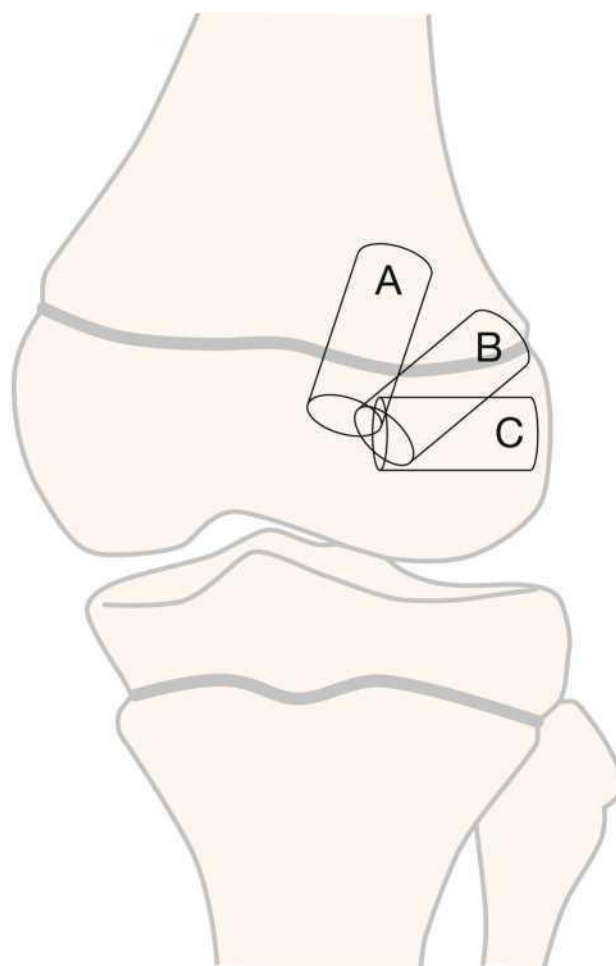
Inconvénient : exige un positionnement précis du tunnel pour réduire le risque d'atteinte physaire

lors de la réalisation de cette technique afin d'éviter d'endommager la physe fémorale distale ondulée.

2. Les trous de forage du tunnel osseux doivent être aussi verticaux (tout en maintenant la position anatomique du greffon) et centraux que possible. Ceci est particulièrement important lors du forage à travers le portail antéro-médial. Le forage d'un tunnel oblique plutôt que d'un tunnel plus vertical a pour effet d'augmenter la quantité de physe retirée et accroît le risque de trouble de la croissance.
3. Ne pas traverser l'épiphyse avec du matériel, des implants ou des blocs osseux. Remplir les tunnels osseux avec des tissus mous, plutôt que de les laisser ouverts.

### Choix du greffon et fixation

Il convient d'utiliser uniquement des greffes de tissus mous (et non des allogreffes) pour la reconstruction du LCA chez les patients pédiatriques ayant des physes ouvertes. La greffe quadruple du muscle ischio-jambier est la plus courante [25, 38, 55, 71, 114]. On peut utiliser une greffe de tendon du quadriceps [53]. Le tendon de la rotule ne doit pas être prélevé chez les



**Figure 8** Trois options pour les trajectoires du tunnel fémoral

patients pédiatriques présentant des plaques de croissance ouvertes afin d'éviter d'endommager l'apophyse tubulaire tibiale. Dans la plupart des cas, les allogreffes ne sont pas recommandées chez les patients pédiatriques car leur utilisation dans la reconstruction du LCA en pédiatrie donne de mauvais résultats cliniques [61, 108, 123]. Une nouvelle technique reposant sur l'utilisation d'une allogreffe de tendon d'ischio-jambier de donneur vivant a été décrite [47, 55], qui permet d'éviter les différentes techniques de stérilisation utilisées pour les allogreffes de tissus mous de donneurs morts et de préserver l'unité neuromusculaire du patient en cours de croissance [139, 140]. Cependant, il faut encore évaluer les résultats cliniques à long terme.

La fixation extracorticale des greffons de tissus mous peut être effectuée à l'aide d'un bouton cortical, d'une suture, d'une tige ou d'une agrafe. Il est possible de réaliser la fixation de l'ouverture avec des vis d'interférence, à condition que les vis ne traversent pas la physe.

### Insertion du greffon

Les données concernant l'insertion des greffons du LCA chez les enfants sont rares. Les tissus mous de l'enfant ont un potentiel de croissance biologique supérieur à celui des adultes [40, 94], alors que la migration cellulaire et la prolifération des fibroblastes du LCA ralentissent à mesure que la personne vieillit [83]. La pertinence clinique du potentiel de croissance pour la reconstruction du LCA en pédiatrie demeure incertaine [102], même si les modèles animaux permettent de penser que la greffe du LCA chez l'enfant peut se remodeler plus rapidement que chez l'adulte [89].

### Adaptations et remodelages chez l'enfant en croissance

La greffe du LCA doit s'adapter à mesure que l'enfant grandit. La longueur du greffon peut augmenter à mesure que l'os se développe et la taille relative des tunnels osseux peut diminuer [16, 73]. Il n'est pas certain que le diamètre de la partie intra-articulaire du greffon s'allonge et s'amincisse [11], ou non [16], à mesure que l'enfant grandit. Le diamètre du greffon n'augmente pas à mesure que l'enfant grandit, alors que sa longueur peut augmenter [10].

En raison de la croissance osseuse longitudinale après une reconstruction transphysaire du LCA, le greffon peut prendre une orientation plus verticale. Cette observation pourrait s'expliquer par le déplacement du site de fixation fémorale avec la croissance physaire ou parce que l'ouverture du tunnel tibial devient relativement plus postérieure en raison d'une plus grande croissance antérieure du tibia proximal. D'autres changements se produisent au cours de la croissance de l'enfant, comme le rétrécissement de l'échancrure intercondylienne secondaire, la migration distale du tibia et/ou la migration proximale des fixations extracorticales du fémur, et la verticalisation de la ligne de Blumensaat [110]. Cependant, l'importance clinique à long terme de ces changements liés à la croissance n'est pas claire.

## Partie 4 : facteurs pouvant modifier la décision en matière de traitement

Cette partie aborde la question clinique fondamentale : quels sont les éléments les plus importants à prendre en compte pour décider d'un traitement ? Les principales questions abordées concernent l'évaluation de la maturité osseuse, la décision d'opérer ou non, la prise en charge des blessures des autres structures du genou et les éventuels effets indésirables après le traitement. Ces questions peuvent modifier la décision de prise en charge de la blessure du LCA, en fonction de la tolérance au risque de l'équipe de décision [qui devrait inclure les praticiens, l'enfant et ses parents/tuteurs].

### Estimation de l'âge osseux

En plus de son âge chronologique, il faut déterminer et documenter l'âge osseux de l'enfant, afin d'individualiser le traitement des blessures du LCA. L'objectif principal en ce qui concerne l'estimation de l'âge osseux est de définir la croissance restante du genou. Il est essentiel de protéger la physe et l'anneau péricondral contre toute lésion pendant la reconstruction du LCA [111] car une atteinte d'une zone de croissance sur le point d'achever cette croissance peut entraîner une fermeture prématurée.

L'estimation de l'âge osseux et de la croissance restante sont des éléments majeurs pour la prise de décision thérapeutique. Ces estimations guideront le choix du traitement, le moment de l'intervention et la méthode chirurgicale. Les physes ouvertes de l'enfant sont vulnérables lors de la chirurgie et aucun des traitements chirurgicaux actuellement recommandés pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA ne peut garantir leur protection ni éviter les éventuelles complications d'une interruption de la croissance ou d'une déformation (ces risques sont décrits ci-dessous). Le praticien peut également envisager des radiographies longues des jambes (des hanches aux chevilles) après la blessure afin d'établir une base de référence permettant d'évaluer le développement potentiel de la déformation angulaire et de la différence de longueur des jambes. L'estimation de l'âge osseux est également significative pour la recherche et peut se révéler utile pour des raisons médico-légales. En cas de croissance excessive, d'arrêt de la croissance ou de déformation, la documentation pré-chirurgicale de l'âge osseux peut avoir son importance.

Cinq éléments sont à prendre en compte pour l'estimation de l'âge osseux :

1. Comprendre la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique.
2. Utiliser l'imagerie du genou pour déterminer si les physes fémorale et tibiale, et l'apophyse tubulaire tibiale, sont ouvertes. Si les zones de croissance sont fermées, alors, indépendamment de l'âge chronologique, l'enfant peut recevoir le même traitement qu'un adulte.
3. Aucune des méthodes spécifiques de détermination de l'âge osseux ne permet à elle seule de l'estimer avec précision.
4. Utiliser une approche clinique multidimensionnelle pour déterminer l'âge osseux, en tenant compte du fait que l'enfant a eu ou non une poussée de croissance à l'adolescence, de la taille

relative des parents de l'enfant et du stade de Tanner [122].

5. La méthode la plus courante d'estimation de l'âge osseux est la radiographie postéro-antérieure de la main et du poignet gauches. Ces données peuvent être comparées à un atlas du squelette (par exemple, Gilsanz et Ratib [46] ou Greulich et Pyle [48]) ou à l'aide d'une application pour smartphone (par exemple, l'application Bone Age pour iPhone).

### **Traitement de l'enfant souffrant d'une blessure du LCA : faut-il opérer ou ne pas opérer ?**

Les enfants qui présentent des blessures supplémentaires récupérables au moment du diagnostic de la blessure du LCA (par exemple, une déchirure méniscale en anse de seau déplacée) doivent être traités par une reconstruction précoce du LCA et une réparation méniscale [75]. Chez ceux qui ne présentent pas de blessures supplémentaires justifiant une intervention chirurgicale, les avis sont partagés quant à la meilleure approche thérapeutique. Ces approches vont de la reconstruction précoce du LCA, pour tous les enfants, à la prise en charge primaire non chirurgicale (rééducation de qualité uniquement) avec l'option d'une reconstruction tardive du LCA si l'enfant présente des problèmes d'instabilité récurrents malgré une bonne rééducation ou s'il souffre de blessures intra-articulaires secondaires.

Une reconstruction du LCA et une préservation du ménisque bien exécutées peuvent restaurer la stabilité du genou [66]. Toutefois, si l'enfant reçoit une rééducation inadéquate (ou inexistante), ses chances de récupérer une fonction de haut niveau lui permettant de participer en toute sécurité à tous les aspects de la vie (y compris les sports de pivot), pour le reste de sa vie, pourraient être minces. De même, une rééducation de qualité ne compensera pas un traitement chirurgical médiocre (par exemple, un mauvais positionnement du greffon).

Les enfants qui subissent une reconstruction du LCA après l'échec d'une prise en charge non chirurgicale peuvent présenter un nombre plus élevé de blessures méniscales et chondrales au moment de l'intervention, par rapport à ceux qui bénéficient d'une reconstruction précoce du LCA [4, 81, 97]. Le nombre d'épisodes d'instabilité avant la chirurgie semble être un facteur plus important que le temps écoulé entre la blessure et la chirurgie [42]. Ces éléments constituent la toile de fond des premières décisions chirurgicales. Cependant, on constate un manque d'études prospectives de qualité sur les résultats des traitements chirurgicaux et non chirurgicaux des déchirures du LCA en pédiatrie [90].

Le traitement non chirurgical est une option thérapeutique viable et sûre chez les patients au squelette immature qui ne présentent pas de blessures associées ou de problèmes d'instabilité majeurs [93]. Seule une rééducation de qualité permet de stabiliser le genou de manière dynamique sans compromettre la physe et doit constituer un programme d'entraînement ciblé supervisé par un praticien qualifié en rééducation (voir la Partie 3 : traitement des blessures du LCA chez l'enfant pour les principes clés d'une rééducation de qualité). Le traitement non chirurgical peut constituer une option de traitement permanent pour ceux ne développant pas d'instabilité fonctionnelle, ou une option à court terme pour retarder la reconstruction du LCA jusqu'à ce que l'enfant ait atteint la maturité osseuse. L'abandon du traitement non chirurgical en faveur d'une

reconstruction du LCA est une option si l'enfant présente des problèmes d'instabilité récurrents malgré une rééducation de qualité, ou si l'enfant présente une blessure intra-articulaire secondaire. Par conséquent, les praticiens doivent collaborer pour surveiller étroitement et fréquemment l'enfant en procédant à des IRM répétées et à des examens cliniques si nécessaire, et être attentifs aux épisodes d'instabilité et aux blessures secondaires qui exigent une évaluation et un traitement rapides [42].

### **Risques liés à la reconstruction du LCA**

Quelle que soit la technique utilisée, le traitement chirurgical du LCA présente des risques inhérents. Les différentes techniques de reconstruction du LCA sont assorties de différentes considérations afin d'éviter tout risque pour la physe, la surface articulaire et les structures des tissus mous du genou. Nous décrivons ici cinq risques majeurs associés au traitement chirurgical des blessures du LCA, dont les praticiens, les patients et les parents/tuteurs doivent être conscients.

#### **Risque 1 : trouble de la croissance**

Les troubles de la croissance sont un risque rare (environ 2 %) [41], mais grave, de la reconstruction du LCA. Ils peuvent être dus à la présence d'un matériel, à des bouchons osseux au niveau de la physe, à une ténodèse extra-articulaire ou à l'utilisation d'une position fémorale dite over-the-top. La majeure partie de la croissance des membres inférieurs de l'enfant se fait à partir des physes du fémur distal et du tibia proximal. Toutes les interventions chirurgicales au cours desquelles des tunnels sont percés à travers ou à proximité de la physe risquent d'entraîner une interruption de la croissance, une déformation angulaire et/ou une différence de longueur des jambes. Les techniques transphysaires présentent un taux plus élevé de rupture du greffon et un taux plus faible de déformation des membres inférieurs ou de déviation de l'axe. Les techniques transphysaires qui préservent la physe présentent un taux plus faible de rupture du greffon et un taux plus élevé de moindre déformation des membres inférieurs ou de déviation de l'axe.

Les greffes de tissus mous soumises à une forte tension et traversant les physes fémorales ont été associées à un écart de longueur des membres et à une déformation angulaire [34]. Par rapport aux autres techniques, les techniques de fixation métaphysaire peuvent présenter un risque accru d'angulation et de rotation fémorales. Les techniques épiphysaires peuvent accentuer le risque de déformation rotationnelle et réduire le risque de déformation angulaire [23]. Une croissance excessive peut également constituer un problème, notamment celle qui est symétrique et asymétrique [22].

La plupart des patients présentant une rupture du LCA qui exige un traitement chirurgical sont proches de la maturité osseuse et leur croissance restante est faible. Cela signifie que les déformations angulaires et les écarts de longueur des membres ont une importance clinique relativement faible. Par conséquent, il peut être judicieux de pratiquer des interventions transphysaires lorsque la croissance restante de l'enfant est minime.

## Suivi régulier du patient jusqu'à la maturité osseuse

Un suivi clinique et radiologique de routine au cours des 12 premiers mois postopératoires peut aider le chirurgien à détecter des signes cliniques et radiographiques précoces de différence de longueur de jambe, de déformation angulaire ou de blessure de la physe. Dans le cas d'un enfant dont la physe est sensiblement ouverte, l'évaluation de suivi adéquate de la différence de longueur de jambe peut inclure une évaluation clinique annuelle et des radiographies du genou, dont des clichés longs de l'alignement de la jambe jusqu'à la maturité osseuse et la fermeture de la physe. Il faut surveiller la taille de l'enfant et, si la croissance dépasse 6 cm en 6 mois, ou si les résultats cliniques le justifient, il convient d'avancer l'évaluation annuelle.

## Classification des troubles de la croissance

Les troubles de la croissance peuvent se présenter sous différentes formes (Figure 9). L'arrêt de la croissance peut être dû à :

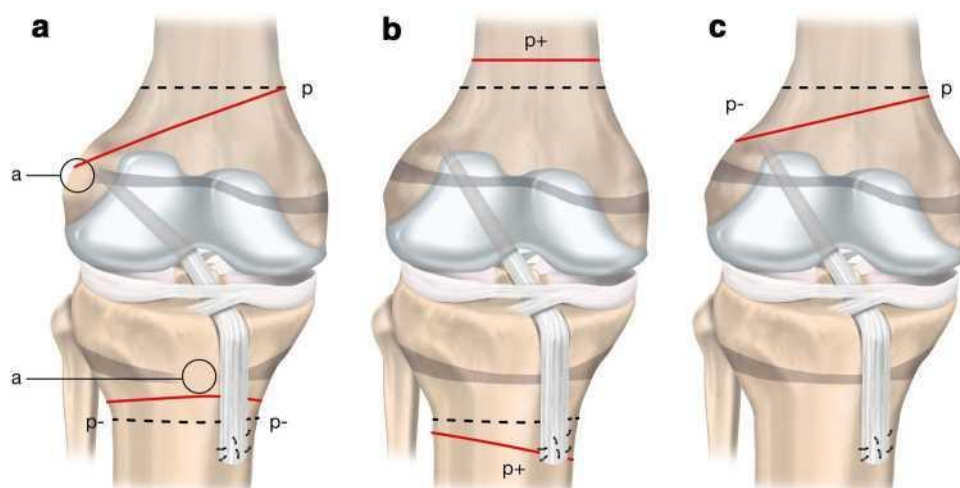
- Blessure localisée de la physe entraînant la formation d'un pont osseux, ce qui entraîne un arrêt de la croissance et un éventuel défaut d'alignement (Type A).
- Processus de croissance excessive pouvant être dû à une hypervascularisation. (Type B).
- Croissance insuffisante due à la traversée de la physe sous

tension par un greffon pendant la croissance, qui entraîne un effet d'attache (Type C).

## Risque 2 : rupture secondaire du LCA

Le jeune âge, la reprise d'un sport de rotation et le fait de recevoir une allogreffe sont des facteurs prédictifs importants de nouvelles blessures du LCA après une reconstruction du LCA d'origine [2, 61]. On peut s'attendre à ce qu'un patient sur quatre de moins de 25 ans ayant repris les sports de pivot après une reconstruction du LCA souffre d'une nouvelle blessure du LCA (le taux groupé de nouvelles blessures ipsilatérales est d'environ 10 % ; le taux groupé de nouvelles blessures controlatérales est d'environ 12 %) [135].

Les taux élevés de nouvelles blessures chez les jeunes ayant subi une reconstruction du LCA sont préoccupants, bien que les données concernant les nouvelles blessures chez ces enfants soient rares par rapport aux données sur les patients ayant atteint la maturité osseuse. Les meilleures données disponibles font état d'un taux de rupture du greffon de 13 % chez les enfants et les adolescents (tranche d'âge de 6 à 19 ans) et d'un taux de blessure du LCA controlatéral de 14 % [63]. Il est légitime de supposer qu'une rééducation de qualité comptant sur une forte adhésion constitue probablement une étape importante pour limiter le risque de nouvelle blessure. Les principes de rééducation applicables aux patients au squelette immature sont abordés dans la Partie 3 : traitement des blessures du LCA chez les enfants. La greffe du LCA est également tributaire de l'état des autres ligaments, des ménisques, des surfaces cartilagineuses, de



**Figure 9** Trois troubles de la croissance pouvant survenir après une reconstruction du LCA. La lettre « p » représente le processus de croissance physiologique ; les lignes en pointillé représentent les lignes d'arrêt de croissance physiologique ; les lignes continues représentent la ligne d'arrêt de croissance pathologique observée. Type A (Arrêt) : le processus d'arrêt de la croissance (a) se produit après une blessure localisée de la physe et se manifeste par un pont osseux traversant la physe. L'étendue de la déformation est proportionnelle à la localisation et à la taille de la blessure initiale de la physe. Type B (Boost) : le processus de croissance excessive (p+) est

probablement dû à une hypervascularisation locale, stimulant la physe ouverte (b). Ce trouble de la croissance est provisoire et devient en général visible au cours des deux années qui suivent la reconstruction du LCA. Il a pour premier effet principal une différence de longueur des jambes. Type C (déCélération) : processus de sous-croissance (indiqué par p-) dû à un effet de ténoépiphysiodèse. La déformation est due à la tension du greffon sur la physe ouverte. Adapté de [22]

l'alignement du membre, de la rotation et du contrôle musculaire dynamique de ces structures, autant de facteurs à prendre en compte lors de la prise de décision thérapeutique.

### Risque 3 : santé défailante du genou à long terme

La ménisectomie est associée à un risque accru d'arthrose [24, 103, 137]. Par conséquent, dans la mesure du possible, le traitement des blessures du LCA doit mettre l'accent sur la préservation du ménisque. Une ménisectomie antérieure au moment de la reconstruction du LCA entraîne une probabilité accrue de lésions chondrales, alors que ce n'est pas le cas d'une réparation méniscale antérieure [19]. En raison de la technicité de la réalisation d'une chirurgie du LCA et d'une chirurgie méniscale simultanée chez des patients plus petits et plus jeunes dont la physe est ouverte, les patients pour lesquels une réparation du ménisque est indiquée doivent être traités par des chirurgiens qui : (1) ont de l'expérience dans le traitement des patients dont la physe est ouverte, et (2) pratiquent un grand nombre de réparations méniscales.

### Risque 4 : raideur du genou

La raideur du genou peut provenir du degré de blessure du LCA, de la rupture de la capsule articulaire et de la blessure de structures autres que le LCA. Elle peut aussi être liée à des interventions chirurgicales ou à une rééducation inadéquate. Elle est rare chez les enfants de moins de 13 ans, ainsi que moins fréquente chez les garçons et chez ceux ayant été opérés par autogreffe de bandelette iliotibiale ou d'ischio-jambier [98]. Les patients qui présentent une raideur du genou à la suite d'une blessure au LCA devraient avoir pour objectif une extension complète du genou avant de subir une reconstruction du LCA. Si le trouble d'extension du genou persiste au-delà de 3 mois après l'opération, il peut être indiqué de procéder à une IRM pour évaluer la présence d'un conflit antérieur (lésion du cyclope), puis à une arthroscopie (si le trouble ne disparaît pas malgré une rééducation ciblée).

### Risque 5 : infection

Les données relatives aux risques d'infection chez les patients pédiatriques sont extrapolées à partir de la littérature regroupant des patients enfants et adultes. Les taux d'infection chez les patients adultes sont en général faibles pour la reconstruction du LCA. Le taux d'infection en profondeur après une reconstruction du LCA avec autogreffe est de 0,19 % [13].

### Prise en charge des blessures associées

Cette partie aborde les principales prises en charge des blessures du cartilage et du ménisque associées à une rupture du LCA, ainsi que du genou présentant des lésions multiligamentaires.

### Lésions associées du ménisque et du cartilage chez les enfants souffrant de blessure du LCA

Le degré de pénétration vasculaire des ménisques diminue avec l'âge, pour se situer dans une fourchette de 10 à 30 % des ménisques

recevant un flux vasculaire chez l'adulte [104]. La distribution vasculaire plus robuste des ménisques chez les enfants se traduit par une augmentation de l'intensité du signal intra-méniscal à l'IRM. Chez les enfants, on peut observer un signal globulaire et intra-méniscal qui peut ressembler à une déchirure méniscale intrasubstance. Cependant, ces observations sont mineures et reflètent en général l'abondante vascularisation des ménisques des enfants (Figure 10) [26].

Il est important d'évaluer les caractéristiques des ménisques à l'IRM chez les enfants pour exclure les blessures méniscales. Lorsque le diagnostic est difficile, on peut réaliser une arthroscopie pour le préciser et vérifier l'état du ménisque. Le praticien doit également rechercher une déchirure méniscocapsulaire médiane postérieure (lésion de la rampe). Les lésions de la rampe peuvent apparaître chez 1 adulte sur 6 atteint d'une blessure du LCA, la prévalence de ces lésions chez les enfants atteint d'une blessure du LCA étant similaire à celle des adultes [84]. Le chirurgien doit être vigilant afin de vérifier la présence ou l'absence d'une déchirure de la rampe méniscale médiale par la visualisation du compartiment postéromédial. Utiliser un portail arthroscopique postéromédial du genou, si nécessaire, pour sonder la jonction méniscocapsulaire postéromédiale. Les lésions de la rampe peuvent imposer plus de contraintes lors d'une reconstruction du LCA si la lésion n'est pas réparée en même temps [30].

Chez le patient pédiatrique, il faut, dans la mesure du possible, réaliser la réparation méniscale en raison des effets délétères de la ménisectomie et des résultats positifs de la réparation méniscale



**Figure 10** Aspect du ménisque très vascularisé d'un enfant à l'IRM, un garçon de 10 ans, IRM 3.0T (Signa HDxt 3.0-T; GE Medical Systems)

(c'est-à-dire, l'amélioration du potentiel de guérison du ménisque) [4, 74, 113]. Ceci est particulièrement important pour les déchirures méniscales en anse de seau, radiculaires et radiales, et les lésions de la rampe. Si le chirurgien n'a pas les compétences ou l'équipement nécessaires pour réparer la déchirure du ménisque, il doit envisager de s'adresser à un chirurgien qui en dispose. Il faut un diagnostic précoce et un traitement approprié des blessures du LCA et des déchirures du ménisque pour toutes les meilleures chances de préserver le tissu méniscal.

Les lésions du cartilage articulaire associées à une blessure du LCA sont moins fréquentes que les déchirures méniscales [4]. Cependant, le praticien doit accorder une attention particulière aux lésions du cartilage articulaire chez les patients présentant des blessures combinées du LCA et du ménisque [33]. Le condyle fémoral médial peut être particulièrement vulnérable [33]. Les facteurs que l'on peut associer à des lésions chondrales plus graves sont des épisodes d'instabilité récurrents et un délai plus long entre la blessure du LCA et la reconstruction [33, 51, 81]. On ignore si la prise en charge non chirurgicale des blessures du LCA est associée à une incidence plus élevée de nouvelles lésions chondrales et méniscales que la reconstruction du LCA [91].

### Blessures associées au ligament chez les enfants souffrant de blessure du LCA

Les recherches sur les blessures multi-ligamentaires du genou et leur traitement chez les patients pédiatriques sont peu nombreuses, et ces blessures sont moins fréquentes chez les enfants que chez les adultes [87]. Par conséquent, il faut envisager d'orienter le patient vers un centre spécialisé.

### Aspects spécifiques au traitement chirurgical

*Blessures associées du LCA et du ligament collatéral fibulaire*  
Utiliser la fluoroscopie avant de placer les ancrs de suture pour une réparation, ou pour l'alésage du tunnel en cas de reconstruction ligamentaire simultanée, afin d'évaluer la position du tunnel par rapport aux physes [136].

*Blessures associées du LCA et du ligament croisé postérieur (LCP)*  
Un traitement non chirurgical peut convenir pour les déchirures partielles du LCP ou les blessures par avulsion non déplacées. La reconstruction du LCP est une option thérapeutique relativement sûre et viable chez les patients souffrant de blessures multi-ligamentaires [69]. L'utilisation d'une technique d'incrustation tibiale et de positionnement modifié du tunnel fémoral permet d'éviter le forage transphysaire [132]. Cependant, il n'existe pas d'études de qualité de cette technique chez les enfants.

*Véritable luxation du genou*  
Effectuer une réduction en manipulant le tibia par rapport au fémur. Éviter toute hypertension ou rotation forcée, afin de limiter le risque d'endommager les structures cartilagineuses et/ou neurovasculaires. Après la réduction, mettre en place une attelle de genou dynamique (pendant au moins 12 semaines) pour éviter d'autres dommages intra-articulaires et favoriser le maintien du genou réduit [79] en attendant la suite du traitement. En fin de compte, la reconstruction du LCA et du LCP associée à la réparation/reconstruction d'autres ligaments (si nécessaire) est le traitement le plus indiqué.

## Partie 5 : Mesures des résultats rapportés par les patients en pédiatrie (Patient Related Outcomes Measures - PROM)

Cette partie aborde une question clinique essentielle : comment le praticien mesure-t-il les résultats qui sont pertinents pour l'enfant souffrant d'une blessure du LCA ? L'évaluation des PROM fournit un aperçu des aspects de la fonction du patient qui ne peuvent être évalués par des examens cliniques ou par l'imagerie [27]. Pour cette raison, l'évaluation des PROM est importante lors de la prise en charge de l'enfant souffrant d'une blessure du LCA et de la réalisation de recherches dans ce domaine.

Pour être valables, les instruments de mesure doivent posséder des propriétés de mesure adaptées, notamment de fiabilité, de validité (contenu, critère et construction) et de réactivité. Il se peut que les instruments conçus pour les adultes ne soient pas valables pour les enfants et les adolescents. Les patients pédiatriques ont des niveaux différents de compréhension (ce groupe couvre un spectre de capacités de compréhension allant des jeunes enfants aux adolescents plus âgés), et d'interprétation des instruments. En outre, les patients pédiatriques peuvent accorder de l'importance à des éléments différents que les adultes lors de l'évaluation de la fonction de leur genou. Il faut donc que les instruments reflètent les questions qui sont importantes pour les enfants et les adolescents.

Les PROM pédiatriques doivent être, soit développés, soit validés spécifiquement pour cette jeune population. Le processus de validation doit inclure une évaluation de la clarté, de la fiabilité, de la validité et de la réactivité de l'instrument. Les résultats rapportés par les enfants sont en général valables chez les enfants d'un certain âge et les adolescents (de plus de 10 ans) [116]. Chez les enfants plus jeunes (de moins de 10 ans), l'évaluation des résultats rapportés par les parents semble plus appropriée. Cependant, il existe un risque de biais lorsque les résultats sont rapportés par personne interposée [109].

Les PROM pédiatriques (Tableau 2) doivent être valables pour les enfants et les adolescents présentant une lésion du LCA. Cependant, il n'existe actuellement aucun dérivé de PROM adapté à la pédiatrie. De tels instruments permettraient toutefois de garantir que les aspects essentiels aux yeux des enfants et des adolescents soient couverts. Le Pedi-IKDC et le KOOS-Child ont été adaptés à partir de leur version adulte afin d'évaluer la fonction subjective du genou par auto-déclaration. Le Pedi-IKDC a été mis en corrélation

**Tableau 2** Résumé des PROM adéquats pour évaluer l'enfant souffrant d'une lésion du LCA

Type d'instrument	Échelle
Qualité de vie liée à la santé	Questionnaire sur la santé de l'enfant [56] PedsQL [129] PROM pédiatriques [57]
Affection ou région spécifique	Pedi-IKDC [70] KOOS-Child [99]
Estimation du niveau d'activité	Échelle résumée de l'activité fonctionnelle en pédiatrie [39]

*IKDC* International Knee Documentation Committee, *KOOS* Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

avec le formulaire subjectif du Comité international de documentation sur le genou, qui fournit des éléments préliminaires quant à sa validité conceptuelle [10, 11]. Étant donné que les patients ayant des antécédents de lésions du LCA peuvent développer des symptômes et des signes d'arthrose dans les 10 ans suivant la blessure initiale [60], et compte tenu de la relation entre l'arthrose symptomatique et une qualité de vie médiocre [134], il est également important d'évaluer la qualité de vie et la fonction du genou à long terme à l'aide de PROM fiables.

Recommandations pour l'utilisation de PROM dans la pratique clinique auprès de patients pédiatriques :

- Utiliser une mesure générique de la qualité de vie liée à la santé
- Utiliser le Pedi-IKDC ou le KOOS-Child pour évaluer la fonction du genou de manière auto-déclarée
- Utiliser la Pediatric Functional Activity Brief Scale pour évaluer le niveau d'activité auto-déclaré.

Dans la recherche, il peut s'avérer judicieux d'inclure d'autres PROM en fonction du sujet de recherche. Les chercheurs doivent prendre des décisions quant au(x) résultat(s) le(s) plus adapté(s) lors de la planification de leur étude.

## Partie 6 : Considérations éthiques

Cette partie aborde la question clinique fondamentale : quels sont les rôles et les responsabilités des praticiens ? Les décisions de traitement concernant les enfants sont parmi les plus difficiles à prendre pour le praticien, surtout lorsque les connaissances scientifiques sont limitées. Trouver un équilibre entre les principes éthiques peut se révéler particulièrement difficile lorsqu'il y a un conflit d'opinion. Dans cette partie, nous présentons les considérations éthiques pertinentes pour le praticien qui traite des enfants souffrant de blessures du LCA.

Il est impossible de fournir des conseils éthiques spécifiques applicables à toutes les blessures sportives chez les adolescents et les enfants, du fait des différentes circonstances individuelles. Cependant, il est incontestable qu'il est dans l'intérêt de tous les enfants de ne pas avoir de blessures au genou ni de blessures associées. Les programmes de prévention des blessures sont donc essentiels à l'intérêt supérieur de l'enfant. Les praticiens ont l'obligation de soutenir les politiques et les pratiques qui encouragent les entraîneurs, les équipes/clubs et les fédérations (inter)nationales à accorder la priorité à la prévention des blessures. Toutes les parties doivent s'engager à protéger à long terme le bien-être de l'enfant en cours de croissance. Néanmoins, il peut y avoir des cas exceptionnels où les parents/tuteurs peuvent, avec l'accord de leur enfant, établir une priorité rationnelle entre des objectifs à court terme. Par exemple, malgré les risques inhérents de rechute, un retour rapide au sport peut être une priorité pour un enfant qui a un talent exceptionnel dans un sport particulier.

La protection de l'intégrité du genou doit être la première

préoccupation du praticien. Les décisions concernant la manière de protéger l'intégrité du genou de l'enfant doivent être partagées entre l'enfant, le parent/tuteur (décideur de substitution) et le praticien [18]. Les parents ont l'obligation de prendre soin de leurs enfants et de les éduquer afin de leur assurer une bonne vie [17]. Néanmoins, les parents n'ont pas tous la même perception de ce qui constitue une « bonne vie » [20]. La plupart des éthiciens sont d'accord pour dire que l'influence parentale est une chose positive [14]. Cependant, dans le sport de haut niveau pratiqué par les enfants, les parents et les entraîneurs peuvent faire pression sur ce dernier et sur le praticien pour qu'ils se concentrent sur des objectifs sportifs à court terme, au détriment du bien-être à long terme [54].

## Questions liées au consentement et à l'obtention du consentement au traitement

Les enfants représentent une population vulnérable [6, 44]. Dans le contexte du traitement d'une blessure du LCA, l'enfant est doublement vulnérable étant donné ses projets de vie en cours d'élaboration, quoique incertains [78], et son stade de développement. Nous ne pouvons jamais être certains d'avoir évalué tous les risques pour le développement normal de l'enfant [85]. Il est difficile d'obtenir un consentement éclairé légalement légitime de la part des enfants dans le processus de prise de décision concernant le traitement. Le praticien doit donc agir en tant que responsable conjoint au nom de l'enfant, tandis que les parents donnent leur consentement [88].

Le praticien et/ou le(s) parent(s) sont tenus de servir l'intérêt de l'enfant avant tout autre considération [88, 121]. C'est ce que l'on entend par devoir de loyauté envers le patient. Le praticien doit parler à la fois à l'enfant et aux décideurs de substitution de manière respectueuse et compréhensible pour toutes les personnes concernées [1]. En plus d'éviter les conflits d'intérêts, le praticien doit toujours rechercher l'approbation ou l'assentiment de l'enfant, indépendamment de la volonté des parents/tuteurs, à un niveau de communication correspondant aux aptitudes de l'enfant [43]. L'enfant doit assister à toutes les discussions le concernant, afin de respecter son autonomie (naissante) [131].

## Prise d'une décision commune

Il doit y avoir un consensus entre toutes les parties lors de la prise de décision. Ce consensus doit être fondé sur une évaluation réaliste des risques et des avantages et sur une prise en compte adéquate des objectifs de l'enfant et des parents. La responsabilité du praticien est de guider cette discussion à l'aide d'informations précises issues des recherches les plus fiables. Plusieurs normes éthiques existantes peuvent aider le praticien, l'enfant et le(s) parent(s) à s'orienter dans le processus de décision et à parvenir à des décisions de traitement justifiées sur le plan éthique.

Les normes éthiques pédiatriques ne sont pas identiques : certaines visent des seuils plus élevés, tandis que d'autres acceptent un seuil de justification plus bas. Il existe six normes susceptibles d'être utiles dans différents scénarios cliniques de blessures du LCA en pédiatrie :

1. Intérêt supérieur : [72] concept largement utilisé, mais il est difficile de prévoir ce qui correspond à l'intérêt supérieur à long terme d'un enfant.
2. Principe de préjudice : [31] seuil en dessous duquel le praticien ne doit pas acquiescer à une décision prise par les parents, afin que l'enfant ne subisse aucun préjudice.
3. Discretion parentale : [45, 64] la préférence des parents est acceptée parce qu'elle n'est pas suffisamment préjudiciable à l'enfant pour que le praticien s'oppose au choix du ou des parents.
4. Coûts/avantages : [29] implique une évaluation des risques, mais son application à l'enfant signifie que le praticien peut être amené à comparer des types de scénarios futurs très différents, qui peuvent ou non se réaliser.
5. Non déraisonnable : [105] se concentre uniquement sur le caractère approprié des décisions et du ou des décideurs.
6. Choix raisonnable : [96] méthode de décision qui tente d'intégrer les cinq normes précédentes dans un seul modèle ou une seule intervention.

Le praticien joue un rôle important dans la prise de décision en matière de traitement car il a généralement une meilleure connaissance des options thérapeutiques, des risques et des avantages par rapport aux enfants et aux parents. Pour guider au mieux l'enfant et son ou ses parents, le praticien doit avoir une idée claire de l'éventail des interventions qui sont (1) optimales, (2) acceptables et (3) non souhaitables, et être capable de les justifier en se référant à la meilleure recherche de qualité et à l'expérience clinique. Dans de nombreux centres de soins de santé, le ou les parents assument la responsabilité de la décision de traitement du LCA, en fonction de l'assentiment de l'enfant. En cas d'absence de consensus dans le processus de prise de décision (par exemple, le parent fait un choix qui n'est pas recommandé par le praticien), le praticien peut aussi se demander s'il doit défendre une recommandation de traitement en se basant sur l'une des six normes éthiques.

## Partie 7 : la recherche future

La prise en charge des blessures du LCA en pédiatrie est très controversée. Le grand nombre de commentaires cliniques et d'examen descriptifs, par rapport aux articles originaux sur ce sujet, témoigne de l'inquiétude et de la controverse. Le problème pour le praticien est qu'il existe peu de preuves de qualité sur lesquelles il peut s'appuyer pour l'aider à mieux prendre en charge les blessures pédiatriques du LCA. La littérature

scientifique est incohérente et limitée par des méthodes de mauvaise qualité présentant un risque élevé de distorsion [35, 90]. Il n'existe pas d'essais randomisés comparant différentes approches thérapeutiques ou techniques chirurgicales. La plupart des publications ne reposent que sur un suivi à court terme et aucune ne prévoit un suivi de plus de 10 ans. Par conséquent, la santé du genou (y compris l'arthrose) et la qualité de vie à long terme restent inconnues.

## Considérations méthodologiques

Cinq questions primordiales doivent être abordées par les études futures :

1. La plupart des études cliniques sur les blessures du LCA en pédiatrie sont de type transversal ou rétrospectif. Les populations étudiées présentent souvent un risque élevé de biais de sélection et portent sur de petits échantillons. Cela signifie qu'il existe un risque élevé que les recherches existantes ne correspondent pas au patient pédiatrique classique souffrant d'une blessure du LCA.
2. De nombreuses études ne fournissent pas de descriptions adéquates des traitements que les patients ont reçus et l'adhésion des patients n'y est pas mentionnée. Une interprétation significative des résultats de l'étude n'est possible qu'à partir d'une description détaillée de la technique chirurgicale, de la rééducation, de l'utilisation de l'attelle, de l'autorisation de retour au sport et des recommandations de modification de l'activité.
3. De nombreuses études n'évaluent pas l'âge osseux des participants inclus et peu d'entre elles font état de la croissance restante de ceux-ci. L'âge chronologique seul n'est pas un indicateur fiable de la maturité osseuse. Pour cette raison, il est difficile de savoir à quelle tranche d'âge osseuse s'appliquent les résultats de ces recherches.
4. Des patients jusqu'à l'âge de 18 ans sont souvent inclus dans les études pédiatriques. C'est un problème car il est probable que la population de patients soit constituée d'une combinaison de patients au squelette mature et immature. Par conséquent, la littérature peut être biaisée en faveur des patients les plus âgés. Le fait d'avoir des populations mixtes complique également la mise en commun ou la comparaison des résultats des patients immatures sur le plan squelettique entre les différentes études.
5. La connaissance du niveau d'activité avant et après la blessure fournit un aperçu important du facteur essentiel de risque de blessure. Plus un enfant est exposé à des situations où il peut se blesser (par exemple, en pratiquant un sport de pivot), plus le risque de (re)blessure est élevé. Le niveau d'activité est un facteur de confusion essentiel rarement pris en compte dans les analyses statistiques. Cela signifie qu'il se peut que les estimations de l'incidence des blessures secondaires soient surestimées ou sous-estimées dans les

comparaisons entre études ou groupes de patients.

## Priorités de la recherche

Il existe quatre domaines de recherche prioritaires pour améliorer la prévention et les résultats des blessures du LCA en pédiatrie :

1. Études prospectives de surveillance des blessures visant à identifier les mécanismes de blessure et les facteurs de risque modifiables pour les blessures du LCA, les blessures combinées et les nouvelles blessures du genou.
2. Recherche prospective sur les résultats après un traitement chirurgical et non chirurgical (rééducation active seule). Un suivi à long terme (au-delà de 10 ans) est essentiel pour répondre aux questions essentielles concernant l'impact d'une blessure du LCA dans l'enfance sur l'activité physique, la santé future du genou et la qualité de vie.
3. Recherche sur l'efficacité de différentes techniques et caractéristiques chirurgicales (par exemple, le moment de l'opération, les types de greffes) et sur les programmes de rééducation active, l'utilisation d'une attelle de genou et la modification des activités après une blessure ou une opération.
4. Les études multicentriques et de recensement doivent être prioritaires. En raison du nombre moins élevé de blessures du LCA chez les patients pédiatriques que chez les patients à maturité osseuse, les centres de traitement spécialisés, les praticiens experts et les chercheurs doivent privilégier la collaboration.

## À la mémoire du Dr Allen Anderson

Excellent clinicien-scientifique et collaborateur enthousiaste de ce projet, Allen F. Anderson, MD, est décédé dans un accident agricole le dimanche 12 novembre 2017. Cette tragédie est survenue peu de temps après qu'il ait participé activement à cette réunion de consensus du CIO sur le sujet qui l'a passionné toute sa vie sur le plan clinique et de la recherche, les blessures pédiatriques du LCA. Né le 16 novembre 1949, le Dr Anderson était diplômé de la faculté de médecine de l'Université du Tennessee. Il a réalisé un internat en orthopédie à l'université Vanderbilt et a été diplômé par l'American Board of Orthopaedic Surgery en orthopédie générale, avec un certificat de qualification supplémentaire en médecine sportive.

Le Dr Anderson était un spécialiste de la médecine sportive qui s'intéressait aux blessures du genou et à la reconstruction des ligaments, et plus particulièrement aux blessures chez les enfants. Il a publié plus de cent articles dans des revues à comité de lecture et 26 chapitres de livres, et a reçu un brevet pour l'invention d'un système pédiatrique de reconstruction du LCA. Parmi ses nombreuses récompenses, on peut citer : le fait d'avoir été reconnu comme l'un des meilleurs médecins d'Amérique de 2004 à 2012 par le Consumer's Research Council, d'avoir été élu

par ses pairs comme l'un des meilleurs médecins d'Amérique de 2007 à 2008, et d'avoir été nommé meilleur médecin du Nashville Business Journal en 2016-2017.

Le Dr Anderson a occupé de nombreux postes prestigieux au cours de sa vie. Il a été président de l'American Orthopedic Society for Sports Medicine de 2015 à 2016, et rédacteur en chef adjoint de *The Orthopedic Journal of Sports Medicine* et *The American Journal of Sports Medicine*.

Il était, avant tout, un véritable ami et un collègue à qui l'on pouvait s'adresser en cas de problèmes et de difficultés, notamment pour nos plus jeunes patients. Allen nous manquera beaucoup à tous.

**Remerciements** Nous remercions sincèrement Cherine Touvet-Fahmy et Fiona Trabelsi du département médical et scientifique du Comité international olympique pour leur aide et leur soutien concernant toutes les dispositions prises avant et pendant la réunion de consensus de Lausanne. Nos remerciements à Pontus Andersson de Pontus Art Production, Göteborg, Suède pour les illustrations des techniques chirurgicales. Nous remercions vivement, pour leur contribution et leur soutien, le président médical et scientifique du Comité international olympique, le Dr Ugur Erdener, pendant la réunion de consensus, et le Comité international olympique pour avoir financé la réunion. Harvard Moksnes remercie Olympiatoppen Norway et Idrettens Helsecenter, Oslo, Norvège.

**Contributions des auteurs** CLA, GE, LE, HG et HM ont apporté des contributions substantielles à la conception, la planification, la rédaction et la révision critique globales et détaillées du manuscrit. CLA, GE et HG ont rédigé le premier projet. AA, FC, MC, MF, TG, JF, JK, MSK, RLAP, MM, BM, LM, NM, BR, JR, RS, RSi, HSG, TS et EW ont contribué de manière substantielle à la rédaction et à la révision critique du manuscrit. LE a présidé la réunion de consensus de Lausanne. CLA a coordonné et traité les enquêtes de Delphes. CLA, LE et HM ont élaboré l'enquête de Delphes.

**Financement** Le Comité international olympique a financé la réunion de consensus, mais n'a pas influencé le contenu de la présente déclaration de consensus.

## Respect des normes éthiques

**Conflit d'intérêt** MC est un consultant rémunéré pour Arthrex. LE est le responsable des activités scientifiques au sein du département médical et scientifique du Comité international olympique, a reçu des fonds de recherche de Biomet et Smith & Nephew, a reçu des fonds pour un employé d'Arthrex et Smith & Nephew, et a reçu des droits d'auteur ou des honoraires de consultation d'Arthrex. JK est le rédacteur en chef de Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy. MSK est un consultant rémunéré pour Best Doctors, OrthoPediatrics, Ossur et Smith & Nephew, reçoit des redevances, un soutien financier ou matériel de la part d'OrthoPediatrics, Ossur, Saunders/Mosby-Elsevier et Wolters Kluwer Health-Lippincott Williams & Wilkins, est un membre rémunéré du comité consultatif scientifique du Steadman Philippon Research Institute, et est membre non rémunéré du conseil ou du comité de l'American Academy of Orthopaedic Surgeons, de l'American Orthopaedic Society for Sports Medicine, de la Harvard Medical School, de la Harvard School of Public Health, de la Herodius Society, de la Pediatric Orthopaedic Society of North America et de la Pediatric Research in Sports Medicine. RLAP reçoit des droits d'auteur d'Ossur, d'Arthrex et de Smith & Nephew. BR reçoit des droits d'auteur d'Elsevier, un salaire de l'American Journal of Sports Medicine et de l'Orthopaedic Journal of Sports Medicine, et détient des actions de Merck et Johnson et Johnson. RSe est membre non rémunéré du conseil d'administration et président de la Société européenne de traumatologie sportive, de chirurgie du genou et d'arthroscopie (ES- SKA). TS travaille en tant que directeur scientifique au département médical et scientifique du Comité international olympique.

**Approbation éthique** La présente déclaration de consensus n'a pas nécessité la collecte ou l'analyse de données sur les patients. L'approbation éthique n'a pas été demandée ni requise.

**Consentement éclairé** Pour ce type d'article, le consentement formel n'est pas exigé.

Cet article a été publié dans le Journal of ISAKOS, Orthopaedic Journal of Sports Medicine et British Journal of Sports Medicine.

**Libre accès** Cet article est distribué selon les termes de la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), qui autorise l'utilisation, la distribution et la reproduction sans restriction sur tout support, à condition de citer de manière appropriée le ou les auteurs originaux et la source, de fournir un lien vers la licence Creative Commons et d'indiquer si des modifications ont été apportées.

## Références

- Alderson P (1993) Children's consent to surgery. Open University Press, Buckingham
- Andernord D, Desai N, Björnsson H, Gillén S, Karlsson J, Samuelsson K (2015) Predictors of contralateral anterior cruciate ligament reconstruction: a cohort study of 9061 patients with 5-year follow-up. *Am J Sports Med* 43:295–302
- Anderson AF (2004) Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament using quadruple hamstring grafts in skeletally immature patients. *J Bone Jt Surg Am* 86(Suppl 1 Pt 2):201–209
- Anderson AF, Anderson CN (2015) Correlation of meniscal and articular cartilage injuries in children and adolescents with timing of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 43:275–281
- Andrews M, Noyes FR, Barber-Westin SD (1994) Anterior cruciate ligament allograft reconstruction in the skeletally immature athlete. *Am J Sports Med* 22:48–54
- Archard D (2014) Children: rights and childhood. Routledge, Abingdon
- Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A et al (2016) 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in sports physical therapy, Bern. *Br J Sports Med* 50:853–864
- Ardern CL, Österberg A, Tagesson S, Gauffin H, Webster KE, Kvist J (2014) The impact of psychological readiness to return to sport and recreational activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 48:1613–1619
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA (2011) Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 45:596–606
- Astur DC, Arliani GG, Debieux P, Cohen-Kaleka C, Amaro JT, Cohen M (2016) Intraarticular hamstring graft diameter decreases with continuing knee growth after ACL reconstruction with open physes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:792–795
- Astur DC, Cachoeira CM, da Silva Vieira T, Debieux P, Cohen Kaleka C, Cohen M (2017) Increased incidence of anterior cruciate ligament revision surgery in paediatric versus adult population. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4727-z>
- Attwood MJ, Roberts SP, Trewartha G, England ME, Stokes KA (2017) Efficacy of a movement control injury prevention programme in adult men's community rugby union: a cluster randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098005>
- Bansal A, Lamplot JD, VandenBerg J, Brophy RH (2017) Meta-analysis of the risk of infections after anterior cruciate ligament reconstruction by graft type. *Am J Sports Med*. <https://doi.org/10.1177/0363546517714450>
- Beauchamp TL, Childress JF (2001) Principles of biomedical ethics. Oxford University Press, New York
- Bergeron MF, Mountjoy M, Armstrong N, Chia M, Côté J, Emery CA et al (2015) International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med* 49:843–851
- Bollen S, Pease F, Ehrenraich A et al (2008) Changes in the four-strand hamstring graft in anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally-immature knee. *J Bone Jt Surg Br* 90:455–459
- Brighouse H, Swift A (2014) Family values: the ethics of parent-child relationships. Princeton University Press, Princeton
- Brock DW (1991) The ideal of shared decision making between physicians and patients. *Kennedy Inst Ethics J* 1:28–47
- Brophy RH, Wright RW, David TS, McCormack RG, Sekiya JK, Svoboda SJ et al (2012) Association between previous meniscal surgery and the incidence of chondral lesions at revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 40:808–814
- Buchanan AE, Brock DW (1989) Deciding for others: the ethics of surrogate decision making. Cambridge University Press, Cambridge
- Calvo R, Figueroa D, Gili F, Vaisman A, Mococain P, Espinosa M et al (2015) Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study. *Am J Sports Med* 43:289–294
- Chotel F, Henry J, Seil R, Chouteau J, Moyen B, Berard J (2010) Growth disturbances without growth arrest after ACL reconstruction in children. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18:1496–1500
- Chudik S, Beasley L, Potter H, Wickiewicz T, Warren R, Rodeo S (2007) The influence of femoral technique for graft placement on anterior cruciate ligament reconstruction using a skeletally immature canine model with a rapidly growing physis. *Arthroscopy* 23:1309–1319
- Cohen M, Amaro JT, Eijnisman B, Carvalho RT, Nakano KK, Peccin MS et al (2007) Anterior cruciate ligament reconstruction after 10–15 years: association between meniscectomy and osteoarthritis. *Arthroscopy* 23:629–634
- Cohen M, Ferretti M, Quarteiro M, Marcondes FB, dH JP, Amaro JT et al (2009) Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes. *Arthroscopy* 25:831–838
- Crues JV 3rd, Mink J, Levy TL, Lotysch M, Stoller DW (1987) Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging. *Radiology* 164:445–448
- Davis JC, Bryan S (2015) Patient Reported Outcome Measures (PROMs) have arrived in sports and exercise medicine: why do they matter? *Br J Sports Med* 49:1545–1546
- Dekker TJ, Godin JA, Dale KM, Garrett WE, Taylor DC, Riboh JC (2017) Return to sport after pediatric anterior cruciate ligament reconstruction and its effect on subsequent anterior cruciate ligament injury. *J Bone Jt Surg Am* 99:897–904
- DeMarco JP, Powell DP, Stewart DO (2011) Best interest of the child: surrogate decision making and the economics of externalities. *J Bioeth Inq* 8:289–298
- DePhillipo NN, Cinque ME, Chahla J, Geeslin AG, Engbretsen L, LaPrade RF (2017) Incidence and detection of meniscal ramp lesions on magnetic resonance imaging in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 45:2233–2237
- Diekema DS (2004) Parental refusals of medical treatment: the harm principle as threshold for state intervention. *Theor Med Bioeth* 25:243–264
- Donaldson A, Cook J, Gabbe B, Lloyd DG, Young W, Finch

- CF (2015) Bridging the gap between content and context: establishing expert consensus on the content of an exercise training program to prevent lower-limb injuries. *Clin J Sport Med* 25:221–229
33. Dumont GD, Hogue GD, Padalecki JR, Okoro N, Wilson PL (2012) Meniscal and chondral injuries associated with pediatric anterior cruciate ligament tears: relationship of treatment time and patient-specific factors. *Am J Sports Med* 40:2128–2133
  34. Edwards TB, Baratta CC, Zeiske RV, Willis A RB (2001) The effect of placing a tensioned graft across open growth plates. A gross and histologic analysis. *J Bone Jt Surg Am* 83-A:7725–7734
  35. Ekås GR, Ardern CL, Grindem H, Engebretsen L (2017) New meniscal tears after ACL injury: what is the risk? A systematic review protocol. *Br J Sports Med*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097728>
  36. Emery CA, Roy T-O, Whittaker JL, Nettel-Aguirre A, van Mechelen W (2015) Neuromuscular training injury prevention strategies in youth sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 49:865–870
  37. Eubank BH, Mohtadi NG, Lafave MR, Wiley JP, Bois AJ, Boorman RS et al (2016) Using the modified Delphi method to establish clinical consensus for the diagnosis and treatment of patients with rotator cuff pathology. *BMC Med Res Methodol* 16:56
  38. Fabricant PD, Kocher MS (2017) Management of ACL injuries in children and adolescents. *J Bone Jt Surg Am* 99:600–612
  39. Fabricant PD, Robles A, Downey-Zayas T, Do HT, Marx RG, Widmann RF et al (2013) Development and validation of a pediatric sports activity rating scale: the Hospital for Special Surgery Pediatric Functional Activity Brief Scale (HSS Pediatric FABS). *Am J Sports Med* 41:2421–2429
  40. Fleming BC, Spindler KP, Palmer MP, Magarian EM, Murray MM (2009) Collagen-platelet composites improve the biomechanical properties of healing anterior cruciate ligament grafts in a porcine model. *Am J Sports Med* 37:1554–1564
  41. Frosch KH, Stengel D et al (2010) Outcomes and risks of operative treatment of rupture of the anterior cruciate ligament in children and adolescents. *Arthroscopy* 26:1539–1550
  42. Funahashi KM, Moksnes H, Maletis GB, Csintalan RP, Inacio MC, Funahashi TT (2014) Anterior cruciate ligament injuries in adolescents with open physis: effect of recurrent injury and surgical delay on meniscal and cartilage injuries. *Am J Sports Med* 42:1068–1073
  43. Gert B, Clouser KD, Culver C (1997) Bioethics: a return to fundamentals. Oxford University Press, New York
  44. Gheaus A (2017) Children's vulnerability and legitimate authority over children. *J Appl Philos*. <https://doi.org/10.1111/japp.12262>
  45. Gillam L (2016) The zone of parental discretion: an ethical tool for dealing with disagreement between parents and doctors about medical treatment for a child. *Clin Ethics* 11:1–8
  46. Gilsanz V, Ratib O (2011) Hand bone age: a digital atlas of skeletal maturity. Springer, Heidelberg
  47. Goddard M, Bowman N, Salmon LJ, Waller A, Roe JP, Pinczewski LA (2013) Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction in children using living donor hamstring tendon allografts. *Am J Sports Med* 41:567–574
  48. Greulich W, Pyle SI (1959) Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford University Press, Stanford
  49. Grindem H, Eitzen I, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Risberg MA (2014) Nonsurgical or surgical treatment of ACL injuries: knee function, sports participation, and knee reinjury: the Delaware-Oslo ACL Cohort Study. *J Bone Jt Surg Am* 96:1233–1241
  50. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2016) Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* 50:804–808
  51. Guenther ZD, Swami V, Dhillon SS, Jaremko JL (2014) Meniscal injury after adolescent anterior cruciate ligament injury: how long are patients at risk? *Clin Orthop Relat Res* 472:990–997
  52. Häggglund M, Atroshi I, Wagner P, Waldén M (2013) Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *Br J Sports Med* 47:974–979
  53. Henry J, Chotel F, Chouteau J, Fessy MH, Bérard J, Moyon B (2009) Rupture of the anterior cruciate ligament in children: early reconstruction with open physes or delayed reconstruction to skeletal maturity? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:748–755
  54. Holt NL, Knight CJ (2014) Parenting in youth sport: from research to practice. Routledge, Abingdon
  55. Hui C, Roe J, Ferguson D, Waller A, Salmon LJ, Pinczewski LA (2012) Outcome of anatomic transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in Tanner stage 1 and 2 patients with open physes. *Am J Sports Med* 40:1093–1098
  56. Hullmann SE, Ryan JL, Ramsey RR, Chaney JM, Mullins LL (2011) Measures of general pediatric quality of life: Child Health Questionnaire (CHQ), DISABKIDS Chronic Generic Measure (DCGM), KINDL-R, Pediatric Quality of Life Inventory (Ped-sQL) 4.0 Generic Core Scales, and Quality of My Life Questionnaire (QoML). *Arthritis Care Res (Hoboken)* 63:S420–S430
  57. Irwin DE, Varni JW, Yeatts K, DeWalt DA (2009) Cognitive interviewing methodology in the development of a pediatric item bank: a patient reported outcomes measurement information system (PROMIS) study. *Health Qual Life Outcomes* 23:3
  58. Janarv PM, Wikstrom B, Hirsch G (1998) The influence of transphyseal drilling and tendon grafting on bone growth: an experiment study in the rabbit. *J Pediatr Orthop* 18:149–154
  59. Johnsen MB, Eitzen I, Moksnes H, Risberg MA (2015) Inter- and intrarater reliability of four single-legged hop tests and isokinetic muscle torque measurements in children. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23:1907–1916
  60. Johnson VL, Roe JP, Salmon LJ, Pinczewski LA, Hunter DJ (2016) Does age influence the risk of incident knee osteoarthritis after a traumatic anterior cruciate ligament injury? *Am J Sports Med* 44:2399–2405
  61. Kaeding CC, Pedroza ED, Reinke EK, Huston LJ, Consortium MOON., Spindler KP (2015) Risk factors and predictors of subsequent ACL injury in either knee after ACL reconstruction: prospective analysis of 2488 primary ACL reconstructions from the MOON cohort. *Am J Sports Med* 43:1583–1590
  62. Kaplan PA, Nelson NL, Garvin KL, Brown DE (1991) MR of the knee: the significance of high signal in the meniscus that does not clearly extend to the surface. *AJR Am J Roentgenol* 156:333–336
  63. Kay J, Marx RG, Peterson D, Simunovic N, Ayeni OR (2018) Over 90% of children and adolescents return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-4830-9>
  64. Kilham H, Isaacs D, Kerridge I (2016) When refusal is only distantly or unpredictably life-threatening. In: McDougall R, Delaney C, Gillam L (eds) When doctors and parents disagree: ethics, paediatrics and the zone of parental discretion. Federation Press, Sydney
  65. Kocher MS, DiCanzio J, Zurakowski D, Micheli L (2001) Diagnostic performance of clinical examination and selective

- magnetic resonance imaging in the evaluation of intraarticular knee disorders in children and adolescents. *Am J Sports Med* 29:292–296
66. Kocher MS, Garg S, Micheli LJ (2005) Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. *J Bone Jt Surg Am* 87:2371–2379
  67. Kocher MS, Garg S, Micheli LJ (2006) Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents. Surgical technique. *J Bone Jt Surg Am* 88(Suppl 1 Pt 2):283–293
  68. Kocher MS, Saxon HS, Hovis WD, Hawkins RJ (2002) Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: survey of the Herodicus Society and The ACL Study Group. *J Pediatr Orthop* 22:452–457
  69. Kocher MS, Shore B, Nasreddine AY, Heyworth BE (2012) Treatment of posterior cruciate ligament injuries in pediatric and adolescent patients. *J Pediatr Orthop* 32:553–560
  70. Kocher MS, Smith JT, Iversen MD, Brustowicz K, Ogunwole O, Andersen J et al (2001) Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders. *Am J Sports Med* 29:933–939
  71. Kocher MS, Smith JT, Zoric BJ, Lee B, Micheli LJ (2007) Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature pubescent adolescents. *J Bone Jt Surg Am* 89:2632–2639
  72. Kopelman LM (1997) The best-interests standard as threshold, ideal, and standard of reasonableness. *J Med Philos* 22:271–289
  73. Kopf S, Schenkengal JP, Wieners G, Stärke C, Becker R (2010) No bone tunnel enlargement in patients with open growth plates after transphyseal ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18:1445–1451
  74. Krych AJ, McIntosh AL, Voll AE, Stuart MJ, Dahm DL (2008) Arthroscopic repair of isolated meniscal tears in patients 18 years and younger. *Am J Sports Med* 39:1283–1289
  75. Krych AJ, Pitts RT, Dajani KA, Stuart MJ, Levy BA, Dahm DL (2010) Surgical repair of meniscal tears with concomitant anterior cruciate ligament reconstruction in patients 18 years and younger. *Am J Sports Med* 38:976–982
  76. Kvist J, Kartus J, Karlsson J et al (2014) Results from the Swedish national anterior cruciate ligament register. *Arthroscopy* 30:803–810
  77. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E (2016) Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med* 50:946–951
  78. Langford G (1985) Education, persons and society. Macmillan, London
  79. LaPrade RF, Smith SD, Wilson KJ, Wijdicks CA (2015) Quantification of functional brace forces for posterior cruciate ligament injuries on the knee joint: an in vivo investigation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23:3070–3076
  80. Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB (2014) The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 48:871–877
  81. Lawrence JT, Argawal N, Ganley TJ (2011) Degeneration of the knee joint in skeletally immature patients with a diagnosis of an anterior cruciate ligament tear: is there harm in delay of treatment? *Am J Sports Med* 39:2582–2587
  82. Lo IK, Kirkley A, Fowler PJ, Miniaci A (1997) The outcome of operatively treated anterior cruciate ligament disruptions in the skeletally immature child. *Arthroscopy* 13:627–634
  83. Magarian EM, Vavken P, Murray MM (2011) Human anterior cruciate ligament fibroblasts from immature patients have a stronger in vitro response to platelet concentrates than those from mature individuals. *Knee* 18:247–251
  84. Malatray M, Raux S, Peltier A, Pfirrmann SR, Chotel F (2017) Ramp lesions in ACL deficient knees in children and adolescent population: a high prevalence confirmed in intercondylar and posteromedial exploration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4471-4>
  85. Malina RM (2012) Growth. In: Mooren FC (ed) *Encyclopedia of exercise medicine in health and disease*. Springer, Heidelberg, pp 376–378
  86. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe D, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY et al (2005) Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 33:1003–1010
  87. Mayer S, Albright JC, Stoneback JW (2015) Pediatric knee dislocations and physeal fractures about the knee. *J Am Acad Orthop Surg* 23:571–580
  88. McCullough LB (2009) Contributions of ethical theory to pediatric ethics: pediatricians and parents as co-fiduciaries of pediatric patients. In: Miller G (ed) *Pediatric bioethics*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 11–24
  89. Meller R, Willbold E, Hesse E, Dreymann B, Fehr M, Haasper C et al (2008) Histologic and biomechanical analysis of anterior cruciate ligament graft to bone healing in skeletally immature sheep. *Arthroscopy* 24:1221–1231
  90. Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2012) The current evidence for treatment of ACL injuries in children is low: a systematic review. *J Bone Jt Surg Am* 94:1112–1119
  91. Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2013) Prevalence and incidence of new meniscus and cartilage injuries after a nonoperative treatment algorithm for ACL tears in skeletally immature children. *Am J Sports Med* 41:1771–1779
  92. Moksnes H, Engebretsen L, Seil R (2016) The ESSKA paediatric anterior cruciate ligament monitoring initiative. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:680–687
  93. Moksnes H, Engebretsen L, Eitzen I et al (2013) Functional outcomes following a non-operative treatment algorithm for anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature children 12 years and younger. A prospective cohort with 2 years follow-up. *Br J Sports Med* 47:488–494
  94. Murray MM (2009) Current status and potential of primary ACL repair. *Clin Sports Med* 28:51–61
  95. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R (2003) Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* 13:71–78
  96. Nair T, Savulescu J, Everett J, Tonkens R, Wilkinson D (2017) Settling for second best: when should doctors agree to parental demands for suboptimal medical treatment? *J Med Ethics* 43:831–840
  97. Newman JT, Carry PM, Terhune EB et al (2015) Factors predictive of concomitant injuries among children and adolescents undergoing anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med* 43:282–288
  98. Nwachukwu BU, McFeely ED, Nasreddine A et al (2011) Arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 31:811–817
  99. Örtqvist M, Roos EM, Broström EW, Janarv PM, Iversen MD (2012) Development of the Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score for children (KOOS-Child): comprehensibility and content validity. *Acta Orthop* 83:666–673
  100. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE (2014) Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med* 42:1567–1573

101. Podlog L, Dimmock J, Miller J (2011) A review of return to sport concerns following injury rehabilitation: practitioner strategies for enhancing recovery outcomes. *Phys Ther Sport* 12:36–42
102. Proffen BL, Fleming BC, Murray MM (2013) Histologic predictors of maximum failure loads differ between the healing ACL and ACL grafts after 6 and 12 months in vivo. *Orthop J Sports Med* 1:6
103. Pujol N, Beaufils P (2009) Healing results of meniscal tears left in situ during anterior cruciate ligament reconstruction: a review of clinical studies. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:396–401
104. Renström P, Johnson RJ (1990) Anatomy and biomechanics of the menisci. *Clin Sports Med* 9:523–538
105. Rhodes R, Holzman IR (2004) The not unreasonable standard for assessment of surrogates and surrogate decisions. *Theor Med Bioeth* 25:367–386
106. Rössler R, Donath L, Bizzini M, Faude O (2016) A new injury prevention programme for children's football-FIFA 11+ Kids-can improve motor performance: a cluster-randomised controlled trial. *J Sports Sci* 34:549–556
107. Rössler R, Junge A, Bizzini M, Verhagen E, Chomiak J, aus der Fünten K et al. (2017) A multinational cluster randomised controlled trial to assess the efficacy of '11+ Kids': a warm-up programme to prevent injuries in children's football. *Sports Med*. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0834-8>
108. Scheffler SU, Schmidt T, Gangéy I, Dustmann M, Unterhauser F, Weiler A (2008) Fresh-frozen free-tendon allografts versus autografts in anterior cruciate ligament reconstruction: delayed remodeling and inferior mechanical function during long-term healing in sheep. *Arthroscopy* 24:448–458
109. Schmidt LJ, Garratt AM, Fitzpatrick R (2002) Child/parent-assessed population health outcome measures: a structured review. *Child Care Health Dev* 28:227–237
110. Seil R, Weitz F, Menetrey J, Chotel F (2017) Anatomical and technical considerations for pediatric ACL reconstruction. In: Nakamura N et al (eds) *Controversies in the technical aspects of ACL reconstruction*. Springer, Heidelberg, pp 61–72
111. Seil R, Weitz FK, Pape D (2015) Surgical-experimental principles of anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction with open growth plates. *J Exp Orthop* 2:11
112. Shaw L, Finch CF (2017) Trends in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament injuries in Victoria, Australia 2005–2015. *Int J Environ Res Public Health* 14:599
113. Shieh AK, Edmonds EW, Pennock AT (2016) Revision meniscal surgery in children and adolescents: risk factors and mechanisms for failure and subsequent management. *Am J Sports Med* 44:838–843
114. Siebold R, Takada T, Feil S, Dietrich C, Stinton SK, Branch TP (2016) Anatomical "C"-shaped double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction in pre-adolescent children with open growth plates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:796–806
115. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, Pöhlig R et al (2015) Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med* 43:2628–2637
116. Solans M, Pane S, Estrada MD, Serra-Sutton V, Berra S, Herdman M et al (2008) Health-related quality of life measurement in children and adolescents: a systematic review of generic and disease-specific instruments. *Value Health* 11:742–764
117. Soligard T, Myklebust G, Steffen K, Holme I, Silvers H, Bizzini M et al (2008) Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 337:a2469
118. Soligard T, Nilstad A, Steffen K, Myklebust G, Holme I, Dvorak J et al (2010) Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. *Br J Sports Med* 44:787–793
119. Steffen K, Emery CA, Romiti M, Kang J, Bizzini M, Dvorak J et al (2013) High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: a cluster randomised trial. *Br J Sports Med* 47:794–802
120. Sugimoto D, Myer GD, McKeon JM, Hewett TE (2012) Evaluation of the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a critical review of relative risk reduction and numbers-needed-to-treat analyses. *Br J Sports Med* 46:979–988
121. Tamin J (2013) Models of occupational medicine practice: an approach to understanding moral conflict in "dual obligation" doctors. *Med Health Care Philos* 16:499–506
122. Tanner JM (1962) *Growth at adolescence*. Thomas, Springfield
123. Tejwani SG, Chen J, Funahashi TT, Love R, Maletis GB (2015) Revision risk after allograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 42:2696–2705
124. Thapa MM, Chaturvedi A, Iyer RS, Darling SE, Khanna PC, Ishak G et al (2012) MRI of pediatric patients: part 2, normal variants and abnormalities of the knee. *AJR Am J Roentgenol* 198:W456–W465
125. Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D et al (2011) Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19:1798–1805
126. Thorborg K, Krommes KK, Esteve E, Clausen MK, Bartels EM, Rathleff MS (2017) Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes. *Br J Sports Med* 51:562–571
127. van der Horst N, Backx FJG, Goedhart EA, Huisstede BMA (2017) Return to play after hamstring injuries in football (soccer): a worldwide Delphi procedure regarding definition, medical criteria and decision-making. *Br J Sports Med* 51:1583–1591
128. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hulleger W et al (2016) Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 50:1506–1515
129. Varni JW, Seid M, Rode CA (1999) The PedsQL: measurement model for the pediatric quality of life inventory. *Med Care* 37:126–139
130. Waldén M, Atroshi I, Magnusson H, Wagner P, Häggglund M (2012) Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 344:e3042
131. Wall J (2010) *Ethics in light of childhood*. Georgetown University Press, Washington, DC
132. Warme WJ, Mickelson D (2010) All-epiphyseal semitendinosus PCL reconstruction in a 10-year-old child. *J Pediatric Orthop* 30:465–468
133. Werner BC, Yang S, Looney AM, Gwathmey FW Jr (2015) Trends in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Pediatric Orthop* 36:447–452
134. Whittaker JL (2015) Outcomes associated with early post-traumatic osteoarthritis and other negative health consequences 3–10 years following knee joint injury in youth sport. *Osteoarthr Cartil* 23:1122–1129
135. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD (2016) Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med* 44:1861–1876
136. Williams BT, James EW, LaPrade RF (2016) A physio-

- sparing fibular collateral ligament and proximal tibiofibular joint reconstruction in a skeletally immature athlete. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24:661–665
137. Wyatt RW, Inacio MC, Liddle KD, Maletis GB (2013) Factors associated with meniscus repair in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 41:2766–2771
  138. Yellin JL, Fabricant PD, Gornitzky A, Greenberg EM, Conrad S, Dyke JA et al (2016) Rehabilitation following anterior cruciate ligament tears in children: a systematic review. *JBJS Rev* 4:01874474-201601000-00004. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.O.00001>
  139. Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P (2009) Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med* 37:1967–1973
  140. Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Døssing S, Alkjaer T, Magnusson SP et al (2008) The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidcutting in female elite soccer and handball players. *Clin J Sport Med* 18:329–337

## Affiliations

Clare L. Ardern · Guri Ekas<sup>3,4,5</sup> · Hege Grindem<sup>6</sup> · Havard Moksnes<sup>4</sup> · Allen Anderson · Franck Chotel<sup>7</sup> · Moises Cohen<sup>8</sup> · Magnus Forssblad<sup>9</sup> · Theodore J. Ganley<sup>10</sup> · Julian A. Feller<sup>11,12</sup> · Jon Karlsson<sup>13</sup> · Mininder S. Kocher<sup>14,15</sup> · Robert F. LaPrade<sup>16,17</sup> · Mike McNamee<sup>18</sup> · Bert Mandelbaum<sup>19</sup> · Lyle Micheli<sup>14,15,20</sup> · Nicholas Mohtadi<sup>21</sup> · Bruce Reider<sup>22</sup> · Justin Roe<sup>23</sup> · Romain Seil<sup>24,25</sup> · Rainer Siebold<sup>26,27</sup> · Holly J. Silvers-Granelli<sup>28</sup> · Torbjørn Soligard<sup>29,30</sup> · Erik Witvrouw<sup>31</sup> · Lars Engebretsen<sup>3,4,5,29</sup>

<sup>1</sup> Division of Physiotherapy, Linköping University, Linköping, Sweden

<sup>2</sup> School of Allied Health, La Trobe University, Melbourne, Australia

<sup>3</sup> Division of Orthopaedic Surgery, Oslo University Hospital, Oslo, Norway

<sup>4</sup> Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC), Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway

<sup>5</sup> Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Norway

<sup>6</sup> Department of Sports Medicine, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway

<sup>7</sup> Department of Pediatric Orthopaedic Surgery, Hopital Femme Mere Enfant, Lyon, France

<sup>8</sup> Orthopedic Department, Universidade Federal de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil

<sup>9</sup> Stockholm Sports Trauma Research Center, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden

<sup>10</sup> Department of Orthopaedics, Children's Hospital of Philadelphia, Philadelphia, USA

<sup>11</sup> OrthoSport Victoria Research Unit, Epworth Healthcare, Melbourne, Australia

<sup>12</sup> College of Science, Health and Engineering, La Trobe University, Melbourne, Australia

<sup>13</sup> Department of Orthopaedics, Sahlgrenska Academy, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden

<sup>14</sup> Division of Sports Medicine, Boston Children's Hospital, Boston, USA

<sup>15</sup> Harvard Medical School, Boston, USA

<sup>16</sup> Steadman Philippon Research Institute, Vail, USA

<sup>17</sup> The Steadman Clinic, Vail, USA

<sup>18</sup> College of Engineering, Swansea University, Swansea, UK

<sup>19</sup> Santa Monica Orthopaedic and Sports Medicine Group, Los Angeles, USA

<sup>20</sup> The Micheli Center for Sports Injury Prevention, Waltham, USA

<sup>21</sup> University of Calgary Sports Medicine Centre, Calgary, Canada

<sup>22</sup> Department of Orthopaedics and Rehabilitation Medicine, University of Chicago, Chicago, USA

<sup>23</sup> North Sydney Orthopaedic and Sports Medicine Centre, Sydney, Australia

<sup>24</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Centre Hospitalier Luxembourg, Luxembourg City, Luxembourg

<sup>25</sup> Sports Medicine Research Laboratory, Luxembourg Institute of Health, Luxembourg City, Luxembourg

<sup>26</sup> Institute for Anatomy and Cell Biology, Ruprecht-Karls-University, Heidelberg, Germany

<sup>27</sup> HKF International Center for Hip, Knee, Foot Surgery and Sportstraumatology, ATOS Klinik, Heidelberg, Germany

<sup>28</sup> FIFA Medical Center of Excellence, Velocity Physical Therapy, Los Angeles, USA

<sup>29</sup> Medical and Scientific Department, International Olympic Committee, Chateau de Vidy, Lausanne, Switzerland

<sup>30</sup> Faculty of Kinesiology, Sports Injury Prevention Centre, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada

<sup>31</sup> Department of Rehabilitation Sciences and Physiotherapy, Faculty of Medicine and Healthscience, Ghent University, Ghent, Belgium