

กลไกที่ทำให้นักกีฬาเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า

Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in athletes

เพชร ชินสีห์¹ และ ลักณา พิมพ์จันทร์²

¹ สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ; potchara.chin@gmail.com

² สำนักศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ; pluckhan@wvu.ac.th

บทคัดย่อ

การบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับนักกีฬาเป็นปัญหาสำคัญที่นักกีฬา ผู้ฝึกสอน ผู้จัดการทีม ควรจะให้ความสำคัญเพราะการบาดเจ็บแต่ละครั้งนอกจากนักกีฬาจะต้องใช้เวลาในการรักษา บำบัด ฟันฟูให้กลับสู่สภาพเดิมเพื่อกลับมาฝึกซ้อมและแข่งขันได้เหมือนเดิมนั้นต้องใช้เวลา ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การบาดเจ็บของนักกีฬาโดยเฉพาะอย่างยิ่งนักกีฬาที่อาศัยทักษะการกระโดด การวิ่งเปลี่ยนทิศทางแบบทันทีทันใด เป็นทักษะที่พบว่าเกิดการบาดเจ็บมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า ซึ่งการบาดเจ็บบริเวณดังกล่าวมีปัจจัยเชิงกลที่ทำให้เกิดบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าคือเกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง การงอเข่าน้อยขณะทำสัมผัสพื้นก่อนเปลี่ยนทิศทางหรือลงสู่พื้น ร่วมกับเกิดโมเมนต์การกางและหมุนเข้าด้านในของข้อเข่าทำให้เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าฉีกขาด ดังนั้นเมื่อเราทราบกลไกการบาดเจ็บดังกล่าว ผู้ที่เกี่ยวข้องกับนักกีฬาไม่ว่าจะเป็นผู้ฝึกสอน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา รวมไปถึงตัวนักกีฬาสามารถวางแผนการฝึกซ้อมรวมถึงการปรับปรุงทักษะ เทคนิคการเคลื่อนไหวเพื่อลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บ

คำสำคัญ: ความเสี่ยงของการบาดเจ็บ, เอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า, การลงสู่พื้น, การวิ่งเปลี่ยนทิศทาง

ABSTRACT

Sport injury is the main problem that athletes, coach, and team manager must be concerned of. It takes an injured athlete time for treatment rehabilitation and recovery to come back for training or competition. Moreover, it costs highly to solve this problem. The injured of anterior cruciate ligament (ACL) in knee joint is more common in jumper or unplanned side step cutting. The investigated result shows that elite female athletes are highly at risk of anterior ligament tear. The main mechanisms that cause ACL injuries are the anterior tibial translation, knee valgus at weight acceptance phase, and side step cutting. The motions of peak knee valgus and internal rotation are also the main factors of ACL injuries. Therefore, coaches, sport scientists, and athletes should be aware of planning the training program to improve the sport skills and movement technique to reduce the sport injury risks.

KEYWORDS: Injury risks, Anterior cruciate ligament (ACL), Landing, Side step cutting

1. บทนำ

การฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬาหลายชนิดอาศัยทักษะการกระโดดและการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง เช่น วอลเลย์บอล ฟุตบอล ฟุตซอล รักบี้ฟุตบอล บาสเกตบอล และฮอกกี้ เป็นต้น แต่ละประเภทกีฬาที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น พบว่านักกีฬาจะต้องมีการเคลื่อนไหวในลักษณะลงสู่พื้นหรือเปลี่ยนทิศทาง ทั้งนี้ นักกีฬาจะต้องออกแรงต้านกับน้ำหนักของร่างกายที่เคลื่อนที่ทั้งในทิศทางแนวตั้งและแนวระนาบ เพื่อเป็นการลดความเร่ง (Deceleration) ของร่างกาย การเคลื่อนไหวทั้งสองลักษณะพบมากทั้งระหว่างการฝึกซ้อมและการแข่งขันจากการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่านักกีฬาเกิดการบาดเจ็บบ่อยที่สุดในช่วงดังกล่าว [2]

การลงสู่พื้นและการวิ่งเปลี่ยนทิศทางเป็นทักษะที่ทำให้นักกีฬามีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บมาก ในช่วงแรกร้อยละ 30 ถึง 40 ของระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase หรือ Landing phase) ซึ่งเรียกว่าช่วง Weight acceptance phase; WA ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ศึกษาถึงกลไกการบาดเจ็บของนักกีฬาขณะวิ่งเปลี่ยนทิศทาง [3], [4] และขณะลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียว [26] โดยพบว่าข้อเข่าจะมีการเหยียด (Knee extension) ร่วมกับการเกิดโมเมนต์สูงสุดของการกางข้อเข่า (Peak knee valgus moment) และการหมุนเข้าด้านในของข้อเข่า (Peak knee internal rotation moment) [25] ส่วนใหญ่นักกีฬาเกิดการบาดเจ็บบริเวณข้อเข่า โดยการบาดเจ็บเกิดจากกลไกการเคลื่อนไหวของนักกีฬาที่ไม่มีการปะทะจากภายนอก (Non - contact Injury) เป็นจำนวนมากถึงร้อยละ 80 ซึ่งกลุ่มนักกีฬาที่กล่าวมาข้างต้นเกิดการบาดเจ็บมากบริเวณเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า (Anterior cruciate ligament หรือ ACL) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่านักกีฬาหญิงเกิดการบาดเจ็บบริเวณเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า (ACL injury) มากกว่านักกีฬา [2] และนักกีฬาหญิงที่มีทักษะสูง (Elite female athletes) มีโอกาสเกิดการบาดเจ็บมากกว่านักกีฬาหญิงที่มีทักษะน้อยกว่า [32] จากรายงานผลการศึกษาดังกล่าวจึงเป็นข้อมูลบ่งชี้ที่แสดงให้เห็นว่าทักษะการลงสู่พื้นและทักษะการวิ่งเปลี่ยนทิศทางมีความสำคัญอย่างมากกับนักกีฬา โดยเฉพาะกลุ่มนักกีฬาหญิงที่มีทักษะสูง จะเกิดโอกาสและปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่ามาก

กลไกการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าอันนั้นเกิดจากมีแรงที่กระทำต่อเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าปริมาณมากจึงมีผลทำให้เอ็นฉีก [13] จากการทดลองเพื่อศึกษากลไกที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าด้วยวิธีการทดลองจากชิ้นส่วนของศพ (*In Vitro*) พบว่า การเคลื่อนไหวของข้อเข่าในลักษณะการกางของข้อเข่า (Knee valgus) ร่วมกับโมเมนต์การหมุนเข้าด้านในของข้อเข่า (Internal rotation

moment) และการเคลื่อนของกระดูกหน้าแข้งไปทางด้านหน้า (Anterior tibial translation) มีผลทำให้แรงเครียดของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า (ACL strain) เพิ่มมากขึ้น [23] ขณะที่วิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (*In Silico*) พบว่าการเคลื่อนของกระดูกหน้าแข้งไปด้านหน้าร่วมกับโมเมนต์การกางของข้อเข่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการฉีกขาดของเอ็น [25], [30] นอกจากนี้ตัวแปรทางคิเนเมติกส์ เช่น พิสัย (Range of motion) การงอของข้อเข่า มุมการงอข้อเข่า พิสัยการหมุนเข้าด้านในของข้อเข่า มุมในการหมุนเข้าด้านในโมเมนต์สูงสุดของการงอข้อเข่า โมเมนต์สูงสุดของการกางข้อเข่าและโมเมนต์สูงสุดของการหมุนเข้าด้านในข้อเข่า ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า ดังรูปภาพที่ 1 [15]

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าการวิ่งเปลี่ยนทิศทาง (Side step cutting) ทำให้เกิดโมเมนต์การหมุนเข้าด้านในกับโมเมนต์การกางของข้อเข่ามากกว่าที่เกิดขึ้นจากการวิ่งทางตรงถึงสองเท่า [3] นอกจากนี้การวิ่งเปลี่ยนทิศทางแบบทันทีทันใด (Unplanned side step cutting) ยังทำให้เกิดโมเมนต์สูงสุดของการกางข้อเข่า [4] มากกว่าที่เกิดขึ้นกับการวิ่งเปลี่ยนทิศทางแบบทราบทิศทางล่วงหน้าถึงสองเท่า ขณะที่การลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียวก็เป็นกิจกรรมที่ทำให้เอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าเสี่ยงต่อการฉีกขาดมากกว่าการลงสู่พื้นด้วยขาทั้งสองข้าง [34] นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียว 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วย การลงสู่พื้นจากการกระโดด (Jump landing) [18] การลงสู่พื้นจากการลงจากกล่อง (Drop landing) [1] และการลงสู่พื้นจากการวิ่งกระโดด (Stop jump landing) [6], [35] จากความพยายามศึกษาถึงรูปแบบทักษะที่มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บทำให้เป็นที่แน่ชัดแล้วว่าการลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียวและการวิ่งเปลี่ยนทิศทางนั้นเป็นกิจกรรมที่จะทำให้นักกีฬาเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่ามากที่สุด

จากการศึกษาของ Louw and Grimmer (2006) ได้รวบรวมรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยเสี่ยงเชิงกลที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณข้อเข่า ขณะลงสู่พื้นจากการกระโดด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 ถึง ค.ศ. 2003 พบว่ามีงานวิจัยทั้งหมด 26 เรื่องที่เกี่ยวข้องกับคำสำคัญ ผลของการศึกษาพบว่าปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของข้อเข่าระหว่างการลงสู่พื้นนั้นมีสาเหตุมาจากการงอข้อเข่าโดยการงอข้อเข่าน้อยกว่า 45 องศา ซึ่งอาจจะมีแนวโน้มทำให้เกิดการบาดเจ็บของข้อเข่าได้ รวมทั้งอัตราหดตัวของของกล้ามเนื้อเหยียดข้อเข่า (Knee extensors) และกล้ามเนื้องอข้อเข่า (Knee flexors) ที่จะทำให้เกิดโมเมนต์รอบข้อต่อด้วยเช่นกันและที่สำคัญ ปริมาณของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่มาส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บของข้อเข่าด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความ

สูงที่สุดขึ้น ขณะที่การเคลื่อนของกระดูกหน้าแข้งไปทางด้านหน้า (Anterior tibial translation) อันจะส่งผลต่อแรงดึงโดยตรงต่อเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าก็มีความสัมพันธ์กับปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของข้อเข่าด้วยเช่นกัน

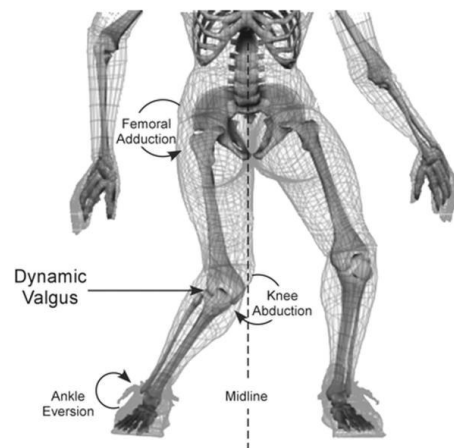
2. กลไกที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า (Anterior cruciate ligament injury risk mechanisms)

อัตราการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าของนักกีฬาเพิ่มสูงขึ้น [17] ซึ่งกลไกการบาดเจ็บนั้นเกิดจากแรงดึง (Tension) ที่มีมากกว่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า [20] จากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ การทดลองในศพ รวมไปถึงการทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้มีการรายงานผลที่ทำให้รู้กลไกการบาดเจ็บดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อและช่วงของการเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์กับการเพิ่มความเสียหายที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บ [23], [31] โดยการกางของข้อเข่า (Knee valgus) โมเมนต์การหมุนเข้าด้านใน (Internal rotation knee moments) และการเคลื่อนตัวไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Anterior tibial translations) ขณะเดียวกันการผสมผสานระหว่างแรงและโมเมนต์บริเวณข้อเข่าจะทำให้เกิดแรงเครียดและความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นในเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่ามากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น แรงกดบริเวณข้อเข่า (Tibiofemoral compression) และโมเมนต์การหมุนเข้าด้านใน (Internal rotation moment) (Meyer and Haut, 2008) โมเมนต์การกางและหมุนเข้าด้านใน (Valgus and internal rotation moments) [31] และการเคลื่อนไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Anterior tibial translation) ร่วมกับโมเมนต์การกางและการหมุนเข้าด้านใน [23] ก็เป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดแรงเครียดบริเวณเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าได้มากกว่าการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Anterior drawer) เพียงอย่างเดียว

การทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (*In-Silico*) ช่วยยืนยันว่าการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Anterior drawer) เพียงอย่างเดียวไม่ได้เป็นกลไกทำให้เกิดการบาดเจ็บแต่การเกิดโมเมนต์การกางของข้อเข่า (Valgus knee moments) เป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บมากกว่า [25], [27] นอกจากนี้การทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการให้นักกีฬาปฏิบัติทักษะวิ่งเปลี่ยนทิศทาง (Side stepping) แบบทันทีทันใดกับการวิ่งทางตรง (Straight line running) ยังพบว่าโมเมนต์การเหยียดของข้อเข่าสูงสุด (Peak knee extension moment) มีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่โมเมนต์การหมุนเข้าด้านในและ

โมเมนต์การกางของข้อเข่า (Internal rotation and valgus knee moments) มีค่ามากกว่าถึงสองเท่าของการวิ่งทางตรง [3], [9], [12] นอกจากนี้ตัวแปรดังกล่าวยังมีค่ามากในกิจกรรมการลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียว เช่นกัน (Single leg landing) [24], [26] นอกจากนี้การทดลองในมนุษย์ (*In-Vivo*) เพศชายจำนวน 1 คนที่มีสุขภาพดีพบว่าแรงเครียดสูงสุดของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าเกิดขึ้นในช่วงรับน้ำหนัก (Weight acceptance phase; WA) เช่นเดียวกับที่รายงานไว้ข้างต้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Cochrane *et al.*, (2007) ยังได้รายงานว่าโมเมนต์การหมุนเข้าด้านในและโมเมนต์การกางของข้อเข่าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วง WA ขณะวิ่งเปลี่ยนทิศทางและการลงสู่พื้นด้วยขาข้างเดียว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าขณะลงสู่พื้นและการวิ่งเปลี่ยนทิศทางมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงรับน้ำหนัก (WA)

การทำงานของกล้ามเนื้อก็เป็นปัจจัยที่เชื่อมโยงกับกลไกข้างต้น เช่น กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) สามารถช่วยยับยั้งการเคลื่อนไปทางด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Anterior tibial translation) ขณะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังมัดที่อยู่ด้านข้าง (Lateral hamstrings) ช่วยยับยั้งการเกิดโมเมนต์การหมุนเข้าด้านใน [7] โดยกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังทางด้านใน (Medial hamstrings) และกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) มีบทบาทน้อยที่จะช่วยลดโมเมนต์การกางของข้อเข่า (Valgus knee moments) [20]



ภาพที่ 1 กลไกการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า
ที่มา: Hewett *et al.*, 2005)

ข้อมูลการวิจัยที่ยืนยันว่ากล้ามเนื้อกลุ่มดังกล่าวมีผลต่อแรงดึงของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าคือการศึกษาของ Hashemi *et al.*, (2007) ที่ทำการศึกษากลไกการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า ขณะลงสู่พื้นจากการกระโดดด้วยการจำลองการเคลื่อนไหวขึ้นส่วนข้อเข่าของผู้ที่เสียชีวิต (*In vitro* simulation) โดยให้จำลองการเคลื่อนไหวที่ใกล้เคียงกับ

ลักษณะของการลงสู่พื้นโดยใส่แรงปฏิกิริยาจากพื้น จำลองแรงหดตัวจากกล้ามเนื้อ Quadriceps และกล้ามเนื้อ Hamstrings ด้วย High speed servo – electric actuators ร่วมกับการวัดความเครียด (Strain) ในเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า ผลการศึกษาพบว่าเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าฝึกขาดขณะที่มีการออกแรงจากกล้ามเนื้อ Quadriceps ประมาณ 165 นิวตัน เข่างอ 20 องศาและแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ 1,120 นิวตัน ร่วมกับการจำกัดการเคลื่อนไหวของสะโพกสามารถบันทึกค่าความเครียดสูงสุดของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าได้ 11.6% นอกจากนี้ยังพบว่าเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าฝึกขาดบริเวณจุดเกาะที่กระดูก Tibia ขณะที่กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) หดตัวด้วยแรง 40 นิวตัน ด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถบันทึกค่าความเครียดสูงสุดของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าได้ 10.7% อย่างไรก็ตามในการทดสอบโดยให้ออกแรงจากกล้ามเนื้อ Quadriceps ประมาณ 1500 นิวตัน ร่วมกับมุมของเข่าในลักษณะการกางเข่าออกด้านนอก (Knee valgus) ประมาณ 10 องศาและแรงปฏิกิริยาจากพื้นประมาณ 1400 นิวตัน ไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า ซึ่งทำให้สรุปผลได้ว่าการออกแรงจากกล้ามเนื้อ Quadriceps และกล้ามเนื้อ Hamstrings ในระดับต่ำระหว่างการลงสู่พื้นจากการกระโดดร่วมกับการจำกัดการเคลื่อนไหวของสะโพก จะสามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่าได้

3. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาทำให้เราทราบกลไกที่จะส่งผลทำให้นักกีฬาเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า (ACL injury) ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัญหาใหญ่ของนักกีฬา ทีมกีฬา รวมไปถึงผู้จัดการทีม ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการแข่งขัน นักกีฬาหลายคนประสบปัญหาดังกล่าวต้องเสียเวลา ค่าใช้จ่ายในการรักษา ฟันฟูให้สามารถกลับมาเล่นกีฬาได้เหมือนเดิม ขณะที่นักกีฬาหลายคนไม่สามารถรักษาและ ฟันฟูจากการบาดเจ็บให้กลับมาเหมือนเดิมได้จนทำให้นักกีฬาหลายคนเลิกเล่นกีฬา ดังนั้นการที่เราทราบกลไกที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บดังกล่าว ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นตัวนักกีฬาเอง ผู้ฝึกสอน ผู้จัดการทีม รวมไปถึงสโมสรต้นสังกัด ต้องหาวิธีการป้องกันไม่ให้นักกีฬาเกิดความเสียหายที่จะทำให้มี กลไกทำให้เกิดการบาดเจ็บดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปรับรูปแบบการฝึกซ้อม โดยเฉพาะเทคนิค ทักษะการเคลื่อนไหวที่ช่วยลดปัจจัยเชิงกลดังที่ได้กล่าวมา จะทำให้นักกีฬามีความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บของเอ็นไขว้หน้าในข้อเข่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arai, T. and H. Miaki. 2013. Influence of Static Alignment of the Knee, Range of Tibial Rotation and Tibial Plateau Geometry on the Dynamic Alignment of “Knee-in” and Tibial Rotation During Single Limb Drop Landing. *Clinical Biomechanics* 28 (6): 642-648.
- [2] Arendt, E. and R. Dick. 1995. Knee Injury Patterns among Men and Women in Collegiate Basketball and Soccer. *Ncaa Data and Review of Literature. The American Journal of Sports Medicine* 23 (6): 694-701.
- [3] Besier, T.F., D.G. Lloyd, J.L. Cochrane and T.R. Ackland. 2001a. External Loading of the Knee Joint During Running and Cutting Maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (7): 1168-1175.
- [4] Besier, T.F., D.G. Lloyd, T.R. Ackland and J.L. Cochrane. 2001b. Anticipatory Effects on Knee Joint Loading During Running and Cutting Maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (7): 1176-1181
- [5] Briner, W., Jr. and L. Kacmar. 1997. Common Injuries in Volleyball. *Sports Medicine* 24 (1): 65-71.
- [6] Brown, C.N., D.A. Padua, S.W. Marshall and K.M. Guskiewicz. 2009. Variability of Motion in Individuals with Mechanical or Functional Ankle Instability During a Stop Jump Maneuver. *Clinical Biomechanics* 24(9): 762-768.
- [7] Buford, W.L., Jr., F.M. Ivey, Jr., T. Nakamura, R.M. Patterson and D.K. Nguyen. 2001. Internal/ External Rotation Moment Arms of Muscles at the Knee: Moment Arms for the Normal Knee and the Acl-Deficient Knee. *Knee* 8 (4): 293-303.
- [8] Cochrane, J.L., D.G. Lloyd, A. Buttfield, H. Seward and J. McGivern. 2007. Characteristics of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport* 10 (2): 96-104.
- [9] Cochrane, J.L., D.G. Lloyd, T.F. Besier, B.C. Elliott, T.L. Doyle and T.R. Ackland. 2010. Training Affects Knee Kinematics and Kinetics in

- Cutting Maneuvers in Sport. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42 (8): 1535-1544.
- [10] Coventry, E., K.M. O'Connor, B.A. Hart, J.E. Earl and K.T. Ebersole. 2006. The Effect of Lower Extremity Fatigue on Shock Attenuation During Single-Leg Landing. *Clinical Biomechanics* 21 (10): 1090-1097.
- [11] Dempsey, A.R., D.G. Lloyd, B.C. Elliott, J.R. Steele and B.J. Munro. 2009. Changing Sidestep Cutting Technique Reduces Knee Valgus Loading. *The American Journal of Sports Medicine* 37 (11): 2194-2200.
- [12] Dempsey, A.R., D.G. Lloyd, B.C. Elliott, J.R. Steele, B.J. Munro and K.A. Russo. 2007. The Effect of Technique Change on Knee Loads During Sidestep Cutting. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (10): 1765-1773.
- [13] Fu, F.H., C.D. Harner, D.L. Johnson, M.D. Miller and S.L. Woo. 1994. Biomechanics of Knee Ligaments: Basic Concepts and Clinical Application. *Instr Course Lect* 43 137-148.
- [14] Hashemi, J., N. Chandrashekar, T. Jang, F. Karpat, M. Oseto and S. Ekwaro-Osire. 2007. An alternative mechanism of non-contact anterior cruciate ligament injury during jump-landing: In-vitro simulation. *Experimental Mechanics* 47: 347-354.
- [15] Hewett, T.E., G.D. Myer and K.R. Ford. 2006. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *The American Journal of Sports Medicine* 34 (2): 299-311.
- [16] Ireland, M.L. 1999. Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes: Epi-demiology. *Journal of Athletic Training* 34 (2): 150-154.
- [17] Janssen, K.W., J.W. Orchard, T.R. Driscoll and W. van Mechelen. 2012. High Incidence and Costs for Anterior Cruciate Ligament Reconstructions Performed in Australia from 2003-2004 to 2007-2008: Time for an Anterior Cruciate Ligament Register by Scandinavian Model? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 22 (4): 495-501.
- [18] Kipp, K., S.G. McLean and R.M. Palmieri-Smith. 2011. Patterns of Hip Flexion Motion Predict Frontal and Transverse Plane Knee Torques During a Single-Leg Land-and-Cut Maneuver. *Clinical Biomechanics* 26 (5): 504-508.
- [19] Lloyd, D.G. 2001. Rationale for Training Programs to Reduce Anterior Cruciate Ligament Injuries in Australian Football. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy* 31 (11): 645-654; discussion 661.
- [20] Lloyd, D.G. and T.S. Buchanan. 2001. Strategies of Muscular Support of Varus and Valgus Isometric Loads at the Human Knee. *Journal of Biomechanics* 34 (10): 1257-1267.
- [21] Louw, Q. and K. Grimmer. 2006. Biomechanical factors associated with the risk of knee injury when landing from a jump. *South African Journal of Sports Medicine* 18 (1): 18-23.
- [22] Lyman, S., P. Koulouvaris, S. Sherman, H. Do, L.A. Mandl and R.G. Marx. 2009. Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Trends, Readmissions, and Subsequent Knee Surgery. *Journal of Bone Joint Surgery American* 91 (10): 2321-2328.
- [23] Markolf, K.L., D.M. Burchfield, M.M. Shapiro, M.F. Shepard, G.A. Finerman and J.L. Slaughterbeck. 1995. Combined Knee Loading States That Generate High Anterior Cruciate Ligament Forces. *Journal of Orthopaedic Research* 13 (6): 930-935.
- [24] McLean, S.G. and J.E. Samorezov. 2009. Fatigue-Induced Acl Injury Risk Stems from a Degradation in Central Control. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (8): 1661-1672.
- [25] McLean, S.G., X. Huang and A.J. van den Bogert. 2008. Investigating Isolated Neuromuscular Control Contributions to Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Via Computer Simulation Methods. *Clinical Biomechanics* 23 (7): 926-936.
- [26] McLean, S.G., B. Borotikar and S.M. Lucey. 2010. Lower Limb Muscle Pre-Motor Time Measures During a Choice Reaction Task

- Associate with Knee Abduction Loads During Dynamic Single Leg Landings. *Clinical Biomechanics* 25 (6): 563-569.
- [27] McLean, S.G., X. Huang, A. Su and A.J. Van Den Bogert. 2004. Sagittal Plane Biomechanics Cannot Injure the Acl During Sidestep Cutting. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon) 19 (8): 828-838.
- [28] Meyer, E.G. and R.C. Haut. 2008. Anterior Cruciate Ligament Injury Induced by Internal Tibial Torsion or Tibiofemoral Compression. *Journal of Biomechanics* 41 (16): 3377-3383.
- [29] Shimokochi, Y. and S.J. Shultz. 2008. Mechanisms of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of Athletic Training* 43 (4): 396-408.
- [30] Shin, C.S., A.M. Chaudhari and T.P. Andriacchi. 2009. The Effect of Isolated Valgus Moments on Acl Strain During Single-Leg Landing: A Simulation Study. *Journal of Biomechanics* 42 (3): 280-285.
- [31] Shin, C.S., A.M. Chaudhari and T.P. Andriacchi. 2011. Valgus Plus Internal Rotation Moments Increase Anterior Cruciate Ligament Strain More Than Either Alone. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43 (8): 1484-1491.