

Article

# Prevención de la Lesión de LCA, ¿Es Más Efectiva Una Forma Diferente de Aprendizaje Motor?

Anne Benjaminse<sup>1,2</sup> y Egbert Otten<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University Medical Center Groningen, Center for Human Movement Sciences. University of Groningen, Antonius Deusinglaan 1, 9713 AV Groningen, The Netherlands.

<sup>2</sup>SportsFieldLab Groningen, School of Sports Studies, Hanze University Groningen. University of Applied Sciences, Groningen, The Netherlands.

## RESUMEN

**Propósito:** Que sucede con la transferencia de los aprendizajes en forma aislada de la técnica correcta de caída de un salto, cuando se espera que el deportista intente mantener esta técnica correcta en un nivel competitivo?. Esta es la pregunta clave para investigadores, fisioterapeutas, entrenadores y preparadores físicos involucrados en la prevención de lesiones de LCA en deportistas. La necesidad de prevención de la lesión de LCA es clara, sin embargo, a pesar de actuales iniciativas y éxitos tempranos reportados, las tasas de lesiones de LCA y la asociada disparidad entre géneros no han disminuido. Un problema podría ser las dificultades con las mediciones de las tasas de lesiones y las dificultadas con la implementación de un exhaustivo programa preventivo a gran escala. Un segundo tópico podría ser la transición desde aprendizajes conscientes de la técnica durante las sesiones de entrenamiento o en el laboratorio a movimientos automáticos inesperados durante un entrenamiento o juego que involucran complejas adaptaciones de control motor. El propósito de este trabajo es destacar el tema de los aprendizajes motores en relación a la prevención de lesiones de LCA y generar sugerencias para futuras investigaciones.

**Conclusión:** Son reportados en la literatura programas de prevención de lesiones de LCA que incorporan reglas explícitas con respecto a una técnica de caída de un salto, con énfasis en el óptimo alineamiento de las caderas, rodillas y tobillos. Estos podrían ser una forma de prevención sensible, pero el uso de estrategias explícitas podría ser menos apropiado para la adquisición de habilidades de control motor más complejas ((Maxwell et al. J Sports Sci 18:111-120, 2000). Actualmente suficiente literatura sobre el aprendizaje motor y sus variaciones, apuntan en dicha dirección.

**Palabras Clave:** Control motor, aprendizaje explícito, aprendizaje implícito, lesiones de rodilla, prevención de LCA

## INTRODUCCIÓN

Las estrategias de entrenamiento preventivo para la lesión de LCA, mayormente focalizadas en calentamientos, ejercicios de técnica de movimiento, estabilidad, fortalecimiento, y agilidad han seguido evolucionando y representan un foco de investigación cada vez mayor e importante (12, 14, 21-23, 29,30,40,42,43,48,53,65). Sin embargo, Estudios epidemiológicos recientes sugieren que a pesar de estas iniciativas en marcha y sus reportes de éxitos preliminares, las tasas de lesiones de LCA y la disparidad de las mismas entre género no ha disminuido (2). La disparidad entre los resultados positivos hallados en el laboratorio y los resultados actuales sobre las lesiones, sugieren que existe un eslabón

perdido entre los resultados de las actuales investigaciones y las aplicaciones clínicas de estas intervenciones de entrenamiento neuromuscular. Algunos problemas podría ser las dificultades que existen con las mediciones de las tasas de lesiones y las dificultades con la implementación de un exhaustivo programa preventivo a gran escala. Es difícil evaluar si la medida preventiva ha tenido algún efecto en general, cuando sabemos muy poco sobre si las personas activas han implementado o adoptado la información del entrenamiento preventivo o no. Otro tópico podría ser el hecho de que pueda ser aplicada la transición de conocimientos aprendidos conscientemente durante las sesiones de entrenamiento, durante los movimientos inesperados y automáticos presentes en los entrenamientos y juegos, que involucran adaptaciones complicadas de control motor. Los datos obtenidos en el laboratorio sobre las posiciones de los miembros inferiores y la carga sobre las articulaciones post-intervención no necesariamente reflejan aquellos realizados en el campo. El propósito de este trabajo por lo tanto es destacar el tema de los aprendizajes motores en relación a la prevención de lesiones de LCA y generar sugerencias para futuras investigaciones.

### **Aprendizaje motor implícito vs Aprendizaje motor explícito.**

Las instrucciones verbales pueden ser efectivas llevando información relacionada a los objetivos de una tarea y los educadores comúnmente las usan para enseñar y refinar el desempeño en todos los niveles de las habilidades (25). Existen programas preventivos de lesiones de LCA que utilizan instrucciones y reglas específicas relacionadas al posicionamiento deseado en las amortiguaciones de los saltos, enfatizando el alineamiento óptimo de cadera, rodilla y tobillo (22,23,26,28,30,40,41,43,46,48,51-53). Por ejemplo el objetivo principal del programa de entrenamiento neuromuscular propuesto por Holm y col; fue mejorar la conciencia del control de la rodilla durante la posición de parado, cambio de dirección, saltos y caídas. Los jugadores fueron animados a poner foco sobre la calidad de dichos movimientos con énfasis en la posición de "rodilla sobre la punta del pie" (26).

Este podría ser un camino muy bueno y sensible, pero el uso de estrategias explícitas podría ser menos deseables para la adquisición de habilidades motoras complejas (34). Ha sido demostrado que las instrucciones que direccionan la atención del entrenado hacia su propio movimiento pueden, en realidad tener un efecto perjudicial en el desempeño y aprendizaje de habilidades automáticas hasta incluso interrumpirlas, particularmente en comparación con las intrusiones que direccionan el foco atencional externamente (33,37,67-69). Queremos enfatizar que necesitamos estar seguros que una técnica de aterrizaje luego de un salto ocurra automáticamente. Por lo tanto, lo más importante es que estas habilidades logren ser transferidas del laboratorio al campo, probablemente una manera de lograr esto sea pre-programando con automatizaciones.

Las razones exactas de los efectos beneficios del foco de atención puesto en el exterior son relativamente poco claras. Por lo tanto, el tratar de controlar conscientemente los propios movimientos podría interferir con el normal, y automático proceso de control motor, conduciendo a un quiebre en la coordinación natural del movimiento (32,37).

El rendimiento y aprendizaje de las habilidades motoras han mostrado ser mejoradas si el ejecutante adopta un foco externo de atención (foco en el efecto de la acción) comparado con un foco interno (foco en el movimiento en sí mismo)(68). En otras palabras, el aprendizaje motor implícito hace referencia a la adquisición de habilidades motoras sin la adquisición concurrente de conocimientos explícitos sobre el desempeño de la habilidad, este aprendizaje implícito es normalmente procesado en una vía automática, Por otro lado el aprendizaje motor explícito hace referencia a la adquisición de la habilidad motora con foco intrínseco y conocimiento específico sobre el desempeño de la habilidad. (34). Las habilidades motoras que son adquiridas explícitamente tienden a ser menos resilientes bajo fatiga psicológica (7,18,19,32,39) y fisiológica (31,54), tienden a interferir con el procesamiento normal automático del esquema motor (20,32), tienden a ser menos durables (5) y menos robustas (66) cuando se requiere un respuesta rápida y el aprendizaje explícito podría ser afectado en mayor medida por la inteligencia individual que el aprendizaje implícito (17, 45, 57).

Considerando los beneficios del aprendizaje motor implícito, sentimos que en la prevención de lesiones de LCA, necesitamos ahondar en las posibilidades de este método ya que podría producir soluciones más estables bajo stress, condiciones que provoquen ansiedad y estados de fatiga. El grupo de investigación de Mc Nair, Onate y Prappavessis establecieron una serie de interesantes proyectos de investigación en donde examinaron los efectos de diferentes tipos de feedback en la técnica de caída de un salto y las subsecuentes fuerzas de amortiguación (36, 49, 50, 55, 56). Los patrones observados en sus resultados confirman la teoría mencionada anteriormente. Compararon instrucciones verbales, feedback visual, avisos auditivos, y imágenes metafóricas con controles. Primero encontraron que los sujetos pueden asimilar instrucciones precisas relacionadas con las modificaciones sobre la cinemática del miembro inferior y bajaron inmediata y efectivamente sus fuerzas de reacción vertical (GRF). (36,50,55) Sin embargo, en 2003, Prappavessis y col. Encontraron que la retención de esas instrucciones técnicas es pobre cuando el follow up es mayor de una semana. Continuando con esta investigación, Onate y col. Concluyeron en 2005, que revisando el propio desempeño o el propio desempeño más un modelo de ejecución experto, es más útil que utilizar un modelo de ejecución experto exclusivamente para incrementar el desplazamiento angular de flexión de la rodilla y reducir la fuerza de reacción vertical durante la amortiguación (Ej., observar a un entrenado experto realizar la técnica de caída de un salto correcta). Estos autores, por lo tanto, sugirieron

que la retroalimentación visual o feedback visual de la propia ejecución o de la propia ejecución más un modelo de ejecución experto, podría ser usado en la implementación de las instrucciones de los programas de entrenamiento que se realicen con ánimo de reducir el riesgo de lesión de LCA en las caídas de los saltos. (49)

Actualmente, no sabemos todavía a que edad el programa preventivo debería ser implementado para reducir factores de riesgo potenciales, tanto neuromusculares como biomecánicos (64). Desde un punto de vista del aprendizaje motor, es deseable que niños en edades tempranas (6-12 años) desarrollen correctas técnicas de juego desde el comienzo. Esto también otorga suficiente tiempo para que se transformen en automatismos. De todas maneras, los niños presentan un riesgo relativo bajo de sufrir lesiones, por ejemplo se ha establecido que el fútbol es un deporte seguro para niños (16). Se ha visto, por lo tanto, que gastar esfuerzo, tiempo, y dinero en implementar métodos preventivos podría no ser deseable hasta los 12 a 14 años (44). Pero sin llamarlos prevención de lesiones en los grupos de edades más tempranas, las mejoras en la conciencia corporal probablemente podrían comenzar y esto resultara en una más completa y precisa percepción del cuerpo cuando se aprendan ciertas habilidades motrices (por ejemplo ejercicios para la mejora del rendimiento de ciertas habilidades motrices básicas, 44).

### **Transferencia desde el laboratorio al campo**

El uso de un proceso explícito es menos eficiente, demandante atencionalmente y lento (34). Teniendo que prestar atención a los miembros inferiores es imposible estar atento al juego, jugadores, pelota y las acciones rápidas requeridas. Una habilidad de alta demanda cognitiva será menos robusta durante el juego.

En el enigma de la lesión de LCA, la presión psicológica y fisiológica o fatiga son importantes factores. Myklebust y col. Reportaron que los deportistas están en mayor riesgo de sufrir una lesión de LCA durante un juego que durante un entrenamiento (43). La fatiga ha sido a veces propuesta como contribuyente a la lesión por no contacto de LCA (24,47,61). Por razones obvias, un juego presenta mayores presiones psicológicas y fisiológicas que una sesión de entrenamiento. Especialmente en las etapas finales de un juego, donde la fatiga puede presentar un efecto acumulativo y desfavorable para el control neuromuscular y podría resultar en estrategias azarosas de movimiento (35). La disminución de la capacidad de controlar los movimientos corporales luego de la aparición de la fatiga será potencialmente más prominente cuando las técnicas apropiadas de caída de los saltos han sido enseñadas de una manera explícita. También, no debería pasarse por alto, la posibilidad de que los aprendizajes implícitos podrían inmunizar al deportista contra las frecuentes influencias de debilitamiento sobre el output motor del stress psicológico.

En resumen, la repetición extendida del movimiento ideal que se ha explicado y demostrado, podría ser demasiado "cognitiva". Los aprendizajes implícitos han probado ser efectivos en establecer un cierto objetivo u efecto del movimiento (37,62,67-69), nosotros asumimos y proponemos que los aprendizajes implícitos también podrían ser potencialmente beneficiosos para la prevención de lesiones. La reducción de las posibilidades de lesión durante una tarea de alto rendimiento es una parte integrada de la tarea en sí misma. Esto implica que no solo la interacción con el ambiente sino que también las condiciones dentro del cuerpo, en términos de estabilidad de las fuerzas articulares en cada instante, pueden ser optimizados. Esta optimización podría ser conseguida asistiendo al atleta a encontrar su propio patrón óptimo de rendimiento en esta habilidad y para cada habilidad motora compleja y encontrar una forma individual, incluyendo sus variaciones efectivas, para controlar las fuerzas que pertenecen a aquellas habilidades complejas. En este trabajo, nos gustaría proponer que el aprendizaje implícito bien podría resultar en un camino efectivo para que el cerebro y el cuerpo del atleta alcancen una condición en donde el rendimiento sea alto, mientras que las chances de lesión permanezcan bajas.

### **Sistema de neuronas espejo**

Los aprendizajes implícitos, observacionales, donde la imitación de los que muestra juega un rol importante, podría ser una buena alternativa en el intento de reducir la incidencia de lesiones de LCA. La imitación es la copia del movimiento corporal que es observado (8). Una pregunta fundamental con la imitación es: "Como el sistema motor del observador "sabe" cuales activaciones musculares dará lugar al movimiento observado si el observador no puede ver las activaciones musculares subyacentes en el ejecutante?" (8). Se ha sugerido que las neuronas espejo resuelven este problema mediante un mapeo automático del movimiento observado dentro del programa motor, lo que conduce a la opinión generalizada de que el sistema de neuronas en espejo es crucial para los aprendizajes por imitación y observación (9,13,27,38,58-60). Las neuronas en espejo son neuronas visomotoras que disparan impulsos nerviosos tanto cuando la acción es realizada, como cuando una acción similar o idéntica es observada pasivamente (59). Una plantilla o "template" del movimiento se activa a través de las neuronas espejo en el que el movimiento en sí mismo se vuelve claro en términos de acciones motoras, sin altas reflexiones cognitivas (60). Las neuronas espejo median el entendimiento de la acción ya que las neuronas que representan una acción se activan en la corteza premotora del observador. Esta representación motora de la acción observada, automáticamente inducida, corresponde a aquella generada espontáneamente por el observador durante el movimiento activo y cuyo resultado es conocido por el individuo que la realiza. Un aspecto funcional importante de las neuronas espejo es, por lo tanto, su habilidad para unir propiedades visuales y motoras. Es interesante notar que la

cantidad de neuronas espejo activadas correlaciona positivamente con nivel de eficiencia del deportista en la realización de esa habilidad (10). También, se ha encontrado una fuerte actividad de las neuronas espejo cuando se observa el mismo género (11). Un estudio prospectivo mostro que, las bailarinas quienes eran inicialmente principiantes en cierto paso, incrementaron la activación de las neuronas espejo, luego de que recibieran entretenimiento motor, en donde se volvieron más habilidosas en realizar el mismo paso (15).

### **Implicancias para la prevención de la lesión de LCA y futuras investigaciones.**

Los estudios previamente mencionados (36,49,50,55,56) ofrecen una dirección para el desarrollo de un método de prevención de la lesión de LCA basado en el aprendizaje implícito. Estos indican que la solución en la prevención de lesiones esta oculta en el cerebro de los mismos sujetos. Esta solución necesita ser despertada mediante una intervención óptima, basada en aprendizajes implícitos. Debido a que cada cerebro y cada cuerpo son diferentes, la solución óptima es también diferente para cada sujeto. Investigaciones futuras deberían proveer más información detallada en el sentido de que estas soluciones están relacionadas con ciertos tipos de capacidades de control motor y la arquitectura corporal. Se necesita explorar los efectos a largo plazo del feedback visual. También los resultados de estos trabajos, respaldan la necesidad de la utilización de feedback visual individualizado, utilizando modelos propios para mejorar las instrucciones de caída de un salto, y también el hecho de que estos modelos trabajan mejor en el proceso de aprendizaje motor (36). Es de mayor valor para los individuos la habilidad de verse ellos mismos realizando correctamente la tarea motriz o realizarla incorrectamente y responder a las correcciones que si solo observan un modelo experto realizando la tarea correctamente. Un acercamiento teórico a este proceso, es que el aprendizaje es un proceso de problema-solución; mientras más involucrado este el individuo en analizar su propio rendimiento, mayor será el valor del aprendizaje (1,63). Con el aprendizaje implícito la posición de la rodilla será parte de la posición del cuerpo entero. El sujeto explorara y luego seleccionará la solución que mejor encaje en su cuerpo.

Los artículos sobre prevención que hemos hecho referencia en este artículo contienen ejercicios que mejoran el rendimiento y reducen las lesiones mediante la mejora de la fuerza y el rendimiento general. Desde estas investigaciones, hemos aprendido que la lesión de LCA puede ser prevenida mediante una combinación de ejercicios de estabilidad, coordinación, fuerza, saltabilidad y agilidad (3,4). La retroalimentación inmediata sobre el propio rendimiento estas acciones es un área que está todavía relativamente inexplorada y puede aportar en la consecución de resultados de largo plazo. De los estudios de laboratorio, el propio rendimiento en estas acciones puede ser grabado en cámaras de alta velocidad desde una vista posterior (en el sentido de darle al atleta la correcta perspectiva). Cuando se usa cámaras infrarrojas y placas de fuerza, pueden ser calculadas las cargas sobre la rodilla en 3D, a través de dinámica inversa y el mejor rendimiento puede ser presentado al sujeto sin ninguna instrucción explícita sobre la posición del miembro inferior en la acción. Para el trabajo en el campo, una simple cámara podría ser usada y con un software intuitivo y amigable, el propio atleta podría revisar su propia acción y mejorarla.

### **Conclusión**

La transición desde los conocimientos consientes durante las sesiones de entrenamiento técnico hacia los movimientos inesperados y automáticos durante un entrenamiento o juego involucran elementos complejos del control motor, que podrían no encajar en las estrategias de aprendizajes explícitas (6). Es por ello que recomendamos explorar el uso de aprendizajes implícitos en la prevención de lesiones de LCA. Programas futuros de intervención en prevención de lesiones de LCA tendrían que proporcionar instrucciones visuales individualizadas, revisando la técnica de caída de los saltos, que permita a los individuos verse como ellos realizan el movimiento y solucionen en forma activa el problema de desarrollar nuevas técnicas, y encuentren formas individuales para conseguir dichas técnicas, obteniendo su propia estrategia segura de caída de un salto ( mediante la evaluación de los errores y correcciones de sus propios ensayos). Existe también una necesidad de futuros desarrollos en el aprendizaje de modelos de demostración visual para feedback o retroalimentación en tiempo real. En cualquier caso, los efectos de poner el foco atencional sobre el rendimiento motor no solo provee información interesante sobre la efectividad de las capacidades automáticas del sistema de control motor, sino que también tienen importantes implicaciones para la mejora del rendimiento en los ajustes aplicados.

## **REFERENCIAS**

1. Agel J, Arendt EA, Bershadsky B (2005). Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med* 33:524-530
2. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, Cugat R (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:705-729

3. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, Cugat R (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:859-879
4. Allen R, Reber A (1980). Very long-term memory for tacit knowledge. *Cognition* 8:175-185
5. Beek PJ (2000). Toward a theory of implicit learning in the perceptual- motor domain. *Int J Sport Psychol* 31:547-554
6. Beilock SL, Carr TH (2001). On the fragility of skilled performance: what governs choking under pressure? *J Exp Psychol Gen* 130:701-725
7. Brass M, Heyes C (2005). Imitation: is cognitive neuroscience solving the correspondence problem?. *Trends Cogn Sci* 9:489-495
8. Buccino G, Binkofski F, Riggio L (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain Lang* 89:370-376
9. Calvo-Merino B, Glaser D, Gre`zes J, Passingham R, Haggard P (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cereb Cortex* 15:1243-1249
10. Calvo-Merino B, Grezes J, Glaser D, Passingham R, Haggard P (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Curr Biol* 16:1905-1910
11. Caraffa A, Cerulli G, Proietti M, Aisa G, Rizzo A (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 4:19-21
12. Cattaneo L, Rizzolatti G (2009). The mirror neuron system. *Arch Neurol* 66:557-560
13. Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, Straub SJ (2004). Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. *J Athl Train* 39:24-31
14. Cross E, Hamilton A, Grafton S (2006). Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers. *Neuroimage* 31:1257-1267
15. Froholdt A, Olsen O, Bahr R (2009). Low risk of injuries among children playing organized soccer: a prospective cohort study. *Am J Sports Med* 37:1155-1160
16. Gebauer GF, Nicholas JM (2007). Psychometric intelligence dissociates implicit and explicit learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 33:34-54
17. Gray R (2004). Attending to the execution of a complex sensorimotor skill: expertise differences, choking, and slumps. *J Exp Psychol Appl* 10:42-54
18. Hardy L, Mullen R, Jones G (1996). Knowledge and conscious control of motor actions under stress. *Br J Psychol* 87:621-636
19. Hardy L, Mullen R, Martin N (2001). Effect of task-relevant cues and state anxiety on motor performance. *Percept Mot Skills* 92:943-946
20. Heidt RS Jr, Sweeterman LM, Carlonas RL, Traub JA, Tekulve FX (2000). Avoidance of soccer injuries with preseason conditioning. *Am J Sports Med* 28:659-662
21. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med* 27:699-706
22. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR (1996). Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med* 24:765-773
23. Hiemstra L, Lo I, Fowler P (2001). Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. *J Orthop Sports Phys Ther* 31:598-605
24. Hodges N, Franks I (2002). Modelling coaching practice: the role of instruction and demonstration. *J Sports Sci* 20:793-811
25. Holm I, Fosdahl MA, Friis A, Risberg MA, Myklebust G, Steen H (2004). Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med* 14:88-94
26. Iacoboni M (2005). Neural mechanisms of imitation. *Curr Opin Neurobiol* 15:632-637
27. Irmischer B, Harris C, Pfeiffer R, DeBeliso M, Adams K, Shea K (2004). Effects of a knee ligament injury prevention exercise program on impact forces in women. *J Strength Cond Res* 18:703-707
28. Lephart SM, Abt JP, Ferris CM, Sell TC, Nagai T, Myers JB, Irrgang JJ (2005). Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *Br J Sports Med* 39:932-938
29. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY, Kirkendall DT, Garrett WJr (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
30. Masters R, Poolton J, Maxwell J (2008). Stable implicit motor processes despite aerobic locomotor fatigue. *Conscious Cogn* 17:335-338
31. Masters RSW (1992). Knowledge, "knerves" and know-how: the role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *Br J Psych* 83:343- 358
32. Masters RSW, Poolton JM, Maxwell JP, Raab M (2008). Implicit motor learning and complex decision making in time-constrained environments. *J Mot Behav* 40:71-79
33. Maxwell JP, Masters RSW, Eves F (2000). From novice to no know-how: a longitudinal study of implicit motor learning. *J Sports Sci* 18:111-120
34. McLean SG, Fellin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S (2007). Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Med Sci Sports Exerc* 39:502-514
35. McNair P, Prapavessis H, Callender K (2000). Decreasing landing forces: effects of instruction. *Br J Sports Med* 34:293-296
36. McNevin NH, Wulf HG, Carlson C (2000). Effects of attentional focus, self-control, and dyad training on motor learning: implications for physical rehabilitation. *Phys Ther* 80:373-385
37. Molenberghs P, Cunnington R, Mattingley J (2009). Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and metaanalysis. *Neurosci Biobehav Rev* 33:975-980
38. Mullen R, Hardy L, Oldham A (2007). Implicit and explicit control of motor actions: revisiting some early evidence. *Br J Psychol* 98:141-156
39. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE (2006). The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power,

- balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res* 20:345-353
40. Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE (2006). The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med* 34:445-455
  41. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res* 19:51-60
  42. 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
  43. Myklebust G, Steffen K (2009). Prevention of ACL injuries: how, when and who? . *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17:857-858
  44. Nemeth D, Janacek K, Balogh V, Londe Z, Mingesz R, Fazekas M, Jambori S, Danyi I, Vetro A (2010). Learning in autism: implicitly superb. *PLoS One* 5:e11731
  45. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J (2005). The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med* 33:197-207
  46. Nyland JA, Shapiro R, Caborn DN, Nitz AJ, Malone TR (1997). The effect of quadriceps femoris, hamstring, and placebo eccentric fatigue on knee and ankle dynamics during crossover cutting. *J Orthop Sports Phys Ther* 25:171-184
  47. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 330:449
  48. Onate JA, Guskiewicz KM, Marshall SW, Giuliani C, Yu B, Garrett WE (2005). Instruction of jump-landing technique using videotape feedback: altering lower extremity motion patterns. *Am J Sports Med* 33:831-842
  49. Onate JA, Guskiewicz KM, Sullivan RJ (2001). Augmented feedback reduces jump-landing forces. *J Orthop Sports Phys Ther* 31:511-517
  50. Petersen W, Braun C, Bock W, Schmidt K, Weimann A, Drescher W, Eiling E, Stange R, Fuchs T, Hedderich J, Zantop T (2005). A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg* 125:614-621
  51. Pfeiffer RP, Shea KG, Roberts D, Grandstrand S, Bond L (2006). Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Bone Joint Surg Am* 88:1769-1774
  52. Pollard CD, Sigward SM, Ota S, Langford K, Powers CM (2006). The influence of in-season injury prevention training on lower extremity kinematics during landing in female soccer players. *Clin J Sport Med* 16:223-227
  53. Poolton J, Masters R, Maxwell J (2007). Passing thoughts on the evolutionary stability of implicit motor behaviour: performance retention under physiological fatigue. *Conscious Cogn* 16:456-468
  54. Prapavessis H, McNair P (1999). Effects of instruction in jumping technique and experience jumping on ground reaction forces. *J Orthop Sports Phys Ther* 29:352-356
  55. Prapavessis H, McNair PJ, Anderson K, Hohepa M (2003). Decreasing landing forces in children: the effect of instructions. *J Orthop Sports Phys Ther* 33:204-207
  56. Reber AS, Walkenfeld FF, Hernstadt R (1991). Implicit and explicit learning: individual differences and IQ. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 17:888-896
  57. Rizzolatti G (2005). The mirror neuron system and its function in humans. *Anat Embryol* 210:419-421
  58. Rizzolatti G, Craighero L (2004). The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 27:169-192
  59. Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci* 2:661-670
  60. Rodacki AL, Fowler NE, Bennett SJ (2001). Multi-segment coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc* 33:1157-1167
  61. Scho'llhorn WI, Beckmann H, Michelbrink M, Sechelmann M, Trockel M, Davids K (2006). Does noise provide a basis for the unification of motor learning theories? . *Int J Sports Psychol* 37:186-206
  62. Shea CH, Wulf G (2005). Schema theory: a critical appraisal and reevaluation. *J Mot Behav* 37:85-101
  63. Shultz S, Schmitz RJ, Nguyen AD, Chaudhari AM, Padua DA, McLean SG, Sigward S (2010). ACL research retreat V: an update on ACL injury risk and prevention, March 25-27, 2010, Greensboro, NC. *J Athl Train* 45:499-508
  64. Silvers HJ, Mandelbaum BR (2007). Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Br J Sports Med* 41(Suppl 1):i52-i59
  65. Turner CW, Fischler IS (1993). Speeded tests of implicit knowledge. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 19:1165-1177
  66. Wulf G, Lauterbach B, Toole T (1999). The learning advantages of an external focus of attention in golf. *Res Q Exerc Sport* 70:120-126
  67. Wulf G, Prinz W (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychon Bull Rev* 8:648-660
  68. Wulf G, Weigelt C (1997). Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: to tell or not to tell. *Res Q Exerc Sport* 68:362-367

## Cita Original

Anne Benjaminse , Egbert Otten. ACL injury prevention, more effective with a different way of motor learning? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2011) 19:622-627 DOI10.1007/s00167-010-1313-z