

Pierre-Etienne Fournier

Clinique Romande de Réadaptation, Swiss Olympic Medical Center, Suva-care, Sion

Prise en charge des Lésions musculaires: en prenant pour exemple les ischio-jambiers et le football

Résumé

Le football est un sport caractérisé par une succession de sprints d'une vingtaine de mètres en moyenne. Les atteintes des ischio-jambiers sont les lésions les plus fréquemment rencontrées sur les terrains, représentant environ un blessé sur six. La déchirure survient en fin de phase d'oscillation lors du passage de la contraction excentrique à la contraction concentrique. Une réaction inflammatoire initie la guérison musculaire. Tout un cortège de cytokines et de facteurs de croissance seront sécrétés avec à la clé formation du tissu cicatriciel. Les cellules satellites seront activées, pénétrant ce dernier. Si des études sont en cours pour tenter d'accélérer et de moduler ce processus de réparation au profit d'un tissu le plus proche possible du tissu musculaire initial, aucune substance n'est actuellement validée pour une utilisation clinique. La prise en charge passe par les phases habituelles de repos, d'antalgie, puis de mobilisation douce, avec contractions isométriques puis concentriques pour aboutir enfin au travail excentrique avant de préparer l'athlète au retour sur le terrain. Il existe de nombreux facteurs de risque de survenue de ces lésions. Un manque de souplesse, un déséquilibre musculaire en particulier en force excentrique doivent être corrigés. La prévention de ces lésions passe par ce travail excentrique.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 59 (1), 18–21, 2011

Les lésions musculaires constituent un lot non négligeable de la consultation liée à la pratique du sport. Le football est le sport le plus pratiqué sur l'ensemble de la planète avec, en 2006, 264 millions de joueurs répertoriés par la FIFA, soit plus de 4% de la population mondiale. La dangerosité du football a été évaluée par plusieurs auteurs. L'incidence des blessures, définie par une lésion qui empêche le sportif de participer au match ou à l'entraînement suivant, est de 27,5 à 30,5 pour 1000 heures de matchs, 4,1 à 5,8 pour 1000 heures d'entraînement [1, 2], ce qui sous-entend une victime sur les 22 acteurs lors d'une partie. Lors de la dernière coupe du monde en Afrique du Sud, en compétition, l'incidence des blessures était plus importante 40,1 pour 1000 heures de match en diminution toutefois par rapport aux coupes du monde précédentes, 50,7/1000 en 2002. La proportion de blessures sans contact est en augmentation [3]. Dans le championnat anglais, sur une saison, chaque joueur se blesse plus d'une fois, en moyenne 1,3 fois et va de la sorte manquer en moyenne 24,2 sessions d'entraînement et 4 matches [4]. L'incidence des blessures sévères, ainsi que celle des lésions musculaires ou ligamentaires est restée stable lors de ces 10 dernières années. Les lésions musculaires de la cuisse sont les atteintes les plus fréquemment rencontrées lors de la pratique de ce sport, près du quart de celles-ci, bien plus fréquentes que les

Summary

Soccer is characterized by a succession of sprints of about 20 meters. One of 6 injured players will suffer from an hamstring lesion. It happens at the end of the swing phase, when the muscle contraction ends up from an eccentric mode to a concentric one. The healing process begins with an inflammatory phase. Cytokines and growth factor are secreted; the formation of scar tissue begins. Satellite cells are activated, and pierce through the scar. Drugs are tested to limit the fibrosis and to promote the muscle regeneration. No one is validated in clinical practice yet. RICE protocol is still applicable, then gentle mobilization, isometric contraction, followed by concentric and finally eccentric work prepare the patient to the last rehabilitation phase back on the field. Numerous risk factors have been described. Muscle stiffness, muscle imbalance with eccentric insufficiency must be corrected. Eccentric work plays a key role in the prevention.

entorses de chevilles (7%) ou celles du LLI du genou (5%). 17% d'entre elles concerne l'arrière de la cuisse, incidence similaire à celle que l'on rencontre en athlétisme [1, 5]. L'incapacité de pratique sportive est à l'origine de coûts et pertes financières non négligeables: primes d'assurances accident et perte de gain plus élevées, revenus des clubs diminués par une attractivité moindre liée aux blessures de joueurs vedettes, diminution du nombre de spectateurs, des contrats de sponsoring ou de droits télévisés [6]. En Suisse, en 2008, près de 45000 accidents de football ont été répertoriés par la SUVA, à l'origine d'un coût d'environ 161 millions de francs. En 2003, cela représentait 500000 journées de travail perdues (www.unfallstatistik.ch).

Type de lésion

Le football est un sport intermittent, caractérisé par une succession de sprints d'environ 20 mètres, en moyenne 17,3 par match. La distance de course varie selon les postes, entre 20 et 22 mètres pour les joueurs de couloir, entre 11 et 13 mètres pour les axiaux [7]. L'incidence des lésions musculaires est de 8,4/1000 heures de jeux, 0,8 lors de l'entraînement [8] constituant comme on l'a vu, environ

le quart des lésions liées à la pratique de ce sport. Les muscles les plus fréquemment atteints sont des muscles bi-articulaires: biceps femoris, rectus femoris, chef interne du gastrocnemius ou adductor longus. Au contraire des danseuses, chez qui les lésions sont très proximales et concernent principalement le demi-membraneux, chez les sprinters elles sont plus distales, à 12 cm en moyenne de la tubérosité ischiatique et intéressent le biceps fémoral. Plus la lésion est proximale, plus sombre est le pronostic [9, 10, 11, 12]. Les lésions surviennent en fin de phase d'oscillation lors de la transition entre la contraction excentrique et concentrique. Lors de cette phase, l'allongement du biceps est plus marqué que celui des autres muscles ischio-jambiers ce qui explique la survenue préférentielle de lésions sur ce muscle. La position du bassin et, de la sorte l'activité d'autres groupes musculaires, fléchisseurs de hanche, stabilisateurs du bassin, jouent également un rôle au contraire de la vitesse de course [13].

De nombreux auteurs ont recherché des facteurs de risque de survenue de ces lésions. Un manque de souplesse, des déséquilibres musculaires, des antécédents de lésions au même site, un âge plus avancé ont été évoqués. Il est probable que ces différents éléments contribuent tous à des degrés divers à la survenue d'une lésion [8, 14, 15, 16]. Des antécédents de lésions bénignes pourraient être un facteur de risque plus important qu'une anamnèse de lésion plus grave [17].

Biologie de la lésion musculaire [18, 19, 20]

La lésion musculaire est caractérisée par une rupture de la cohésion entre le tissu contractile et le tissu de soutien. Lorsque survient une lésion musculaire, la zone centrale sera remplie par un hématome. Des cellules inflammatoires et des plaquettes envahissent la zone lésée, elles vont relâcher des cytokines qui amplifient cette réaction inflammatoire. Les myofibres lésées vont se nécroser. Cette nécrose impliquerait toute la myofibre si des bandes de contraction n'interrompaient leur propagation. Ces dernières sont visibles dès le 2^{ème} jour après la lésion. A cette date on observe également que le processus de régénération a commencé avec transformation des cellules satellites. En fonction du milieu dans lequel elles se trouvent, et en particulier, de la concentration d'IGF-1, favorisant leur transformation en myoblaste ou de TGF β favorisant la formation de fibrose, l'importance du tissu cicatriciel sera modifiée. Des macrophages vont phagocyter le matériel nécrotique, ils produisent des cytokines et des facteurs de croissance nécessaires à la guérison musculaire. A partir du 3^{ème} jour, un tissu de granulation sera produit, des protéoglycans et du collagène seront synthétisés pour former le tissu cicatriciel. Par la suite, à partir du 5^{ème} jour, les myoblastes vont fusionner en myotubes, les cellules musculaires en régénération vont pénétrer par invagination dans le tissu cicatriciel, des molécules d'adhésion (intégrines) seront exprimées sur les bords de chaque myofibre ancrant ainsi les bords du tissu cicatriciel au tissu avoisinant. La production de collagène de type I, la maturation du tissu cicatriciel, l'ancrage via les molécules d'adhésion vont lui conférer une certaine compétence mécanique qui fera qu'à partir du 10^{ème} jour ce dernier ne sera plus le point le plus faible du muscle lésé.

Du 14^{ème} au 21^{ème} jour le tissu cicatriciel se condense, diminue de taille, les myofibres nouvellement formées continuent de pénétrer la zone cicatricielle.

Si, initialement, le métabolisme du myotube est anaérobie, par la suite la régénération implique l'utilisation de métabolismes aérobie. La restauration de l'apport vasculaire est l'un des premiers signes de régénération. La mobilisation d'un muscle lésé (cicatrice et muscles avoisinants) favorise cette régénération vasculaire.

Au contraire de l'os qui, une fois lésé peut se régénérer avec à la clé l'obtention d'un tissu identique au tissu originel, le muscle, tout comme la plupart des tissus de l'organisme, va guérir avec la constitution d'une cicatrice. La prise en charge en rééducation aura pour but privilégié de diminuer la taille de cette réaction cicatricielle.

Classification clinique et diagnostic

Celle-ci décrit habituellement 5 stades [21]. Les 3 premiers sont relativement bénins ne s'accompagnant que d'une symptomatologie modérée et, le plus souvent, d'un arrêt de sport de courte durée. La gravité de la lésion musculaire est objectivée par la désinsertion entre le tissu conjonctif de soutien et le tissu contractile et ceci peut être affirmé par la présence d'un hématome.

Le diagnostic d'une lésion musculaire est évoqué par l'anamnèse chez un sportif signalant une douleur en coup de couteau survenant lors d'un effort intense. A l'examen clinique on pourra retrouver une contracture, une éventuelle déhiscence. La symptomatologie douloureuse peut être renforcée par la palpation, par des tests isométriques, ou par un étirement doux. Lors d'une lésion importante, un hématome peut apparaître dans les jours qui suivent l'accident.

Un bilan complémentaire radiologique n'est pas strictement indispensable. Chez l'adolescent il faut toutefois se méfier de la possibilité d'arrachement apophysaire, des radiographies standards sont, dans cette condition, indiquées. Dans les autres situations, l'échographie constitue l'examen de choix, elle montre avec élégance une éventuelle désinsertion myo-aponévrotique ou une collection liquidienne signalant un hématome. L'IRM est utile lors de lésion profonde. Il n'existe pas de faux négatif lors de cet examen qui a toutefois tendance à surestimer, en particulier au stade initial, l'importance des lésions.

Dans l'évaluation de la durée prévisible d'une incapacité de sport, elle semble toutefois être moins intéressante que l'examen clinique. 58 joueurs ont été examinés dans les 3 jours qui suivaient leur accident, soit par un physiothérapeute, soit par un radiologue avec imagerie IRM à la clé. Dans 2/3 des cas leurs diagnostics sont en concordance. Dans 31% des cas l'examen clinique parle en faveur d'une lésion musculaire qui n'est pas retrouvée à l'imagerie, dans 2 cas seulement l'examen clinique est négatif alors que l'IRM est positive. L'examen clinique pourrait donc avoir tendance à surestimer les lésions. La prédiction de la durée d'arrêt de sport émise, à la fois par les radiologues et par les physiothérapeutes, est correcte par rapport à la durée réelle d'arrêt. Les physiothérapeutes se montrent toutefois plus performants, en particulier dans des lésions de moindre importance [22].

L'intérêt de l'examen clinique est confirmé dans une étude récente sur des sportifs pratiquant de l'athlétisme victimes de lésions des ischio-jambiers. La limitation de l'extension du genou, 48 heures après l'accident, est un facteur prédictif de l'étendue de la lésion mesurée par échographie et de la durée de l'incapacité de sport. Une différence de plus de 20 degrés par rapport au côté sain est un facteur de mauvais pronostic [23].

Prise en charge

Les mesures habituelles préconisées lors de blessures musculaires, à savoir: repos, application de glace, compression et élévation, restent d'actualité même si aucune étude randomisée n'a démontré l'utilité de ces mesures appliquées les unes après les autres. Une phase initiale courte (1-2 jours) de repos reste utile, elle peut passer par l'utilisation de cannes anglaises.

On a vu qu'une mobilisation précoce de la zone lésée s'accompagnait d'une meilleure régénération des fibres et des capillaires. L'orientation des myofibres s'effectue de façon plus ordonnée. L'atrophie des muscles voisins est limitée. On a, de la sorte, une restauration plus rapide des propriétés biomécaniques du muscle. A contrario, pour certains, une mobilisation trop rapide pourrait s'accompagner d'un tissu cicatriciel de plus grande taille, d'une moins bonne pénétration des fibres musculaires à travers la zone cicatricielle et, de la sorte, d'une restauration retardée des propriétés mécaniques. Actuellement on propose une immobilisation relative de courte durée, jour 0 à 3, voire 5 j., permettant à la cicatrice d'obtenir des propriétés mécaniques suffisantes pour une rééducation dans de bonnes conditions [18]. Cette immobilisation peut se faire à l'aide d'une orthèse, d'un Tape, voire par le simple fait de

marcher avec des cannes. Une mobilisation prudente est nécessaire durant la première semaine.

Par la suite, un travail plus actif pourra être réalisé, impliquant, dans un premier temps des contractions contre faible résistance en concentrique puis, progressivement, d'intensité plus importante pour, en fin de traitement, introduire un travail excentrique puis pliométrique. Le travail de renforcement ne doit pas être ciblé uniquement sur le groupe musculaire considéré mais, également, sur un travail plus général de stabilisation du bassin. Cette prise en charge plus globale a montré son efficacité lors de lésions des adducteurs [24].

Il n'existe pas de consensus actuel sur l'intérêt de l'utilisation des AINS lors de lésions musculaires. Ceux-ci ont un rôle probablement utile dans 2 conditions: la prévention de courbatures lors de travail excentrique ou lors de contusions profondes, cette dernière indication étant retenue afin de lutter contre d'éventuelles ossifications hétérotopiques [25, 26]. Une diminution de la production de cellules satellites induite par l'effort lors de la prise d'Indométacine a été décrite. Cette étude s'appuyait sur des biopsies musculaires prélevées chez des marathoniens ayant pris 100 mg d'Indométacine pendant les 4 jours précédant une course de 36 km ainsi que dans les 8 jours suivants [27]. Lors d'une lésion musculaire, il existe initialement une réaction inflammatoire qui constitue la première étape du processus de guérison: décapiter cette réaction peut paraître discutable. Une approche plus ciblée, visant à favoriser certains facteurs de croissance, à en inhiber d'autres, en particulier, ceux favorisant la fibrose, semblerait plus utile, elle reste actuellement encore au stade expérimental.

Certains ont proposé l'instillation de produits anti-fibrosants tels la Decorin ou le Suramin. Des études animales mettent en évidence un effet favorable avec, toutefois, quelques doutes quant à la résistance mécanique du muscle réparé.

Des facteurs de croissance ont été utilisés par injections, soit de plasma enrichi en plaquettes (PRP), de sang autologue ou de sérum conditionné. Ces préparations ont une courte demi-vie, étant rapidement éliminés par le lavage systémique et ont un effet le plus souvent localisé sur le site de libération [28]. Il existe un nombre insuffisant d'études humaines de bonne qualité et disposant d'un nombre adéquat de sujets pour juger de leur intérêt. Le processus de guérison musculaire est coordonné dans le temps. La concentration des différents facteurs de croissance, leur intérêt en des moments précis après une lésion doivent être définis afin de disposer de protocoles validés [20]. Le mode de préparation des PRP peut varier, et donc de la sorte la nature du produit final, avec plus ou moins de globules blancs, de plasma ce qui modifie la concentration des différents facteurs de croissance et peut influencer la réponse thérapeutique [29, 30]. Par ailleurs dans des modèles animaux, le bénéfice d'infiltrations de facteurs de croissance n'est présent que s'il est accompagné d'une réhabilitation active.

La chirurgie peut avoir sa place en cas de lésions de stade 4 ou en cas de désinsertion musculaire. Elle permet de drainer un hématome, d'enlever du matériel nécrotique et de suturer les berges. L'utilisation de techniques de microchirurgie limite la taille du tissu cicatriciel.

Les différentes phases de physiothérapie ont été décrites avec précision par Chanussot [31]. Elles impliquent des techniques d'antalgie, de contention puis de drainage. Dans un second temps, des étirements progressifs seront utilisés avec introduction d'un travail plus actif sous forme isométrique, d'abord sans résistance, puis avec une résistance progressivement augmentée, pour aboutir enfin au travail excentrique. Dans les phases ultimes, le patient reprend son activité sur le terrain sous contrôle du physiothérapeute. Durant toute cette phase, une attention particulière doit être portée sur le maintien de la condition physique. Très rapidement, après l'accident, le patient peut effectuer des exercices en piscine ou sur bicyclette ergométrique.

Une évolution insatisfaisante doit faire rechercher une complication telle la persistance de l'hématome, la formation d'une lésion kystique, un éventuel sérome, une cicatrice hypertrophique ou une myosite ossifiante.

Réentraînement

Il n'existe pas de critères précis de reprise de l'entraînement. Face à toute situation il convient de peser le risque de récurrence de blessure et une attitude trop attentiste sécuritaire qui prolongerait trop un arrêt de sport. Le taux de récurrence est élevé: 12,1% dans la première semaine après la reprise du sport pour les lésions des ischio-jambiers, 34% durant la vingtaine de semaine que constitue une saison de football [32].

Intuitivement, on peut proposer, lors de lésions bénignes, un arrêt de sport de 3 semaines, lors de blessures plus importantes, au minimum de 6 semaines. Le sujet reprend le chemin du terrain dès la 2^{ème} semaine en cas de blessure légère, dès la 4^{ème} en cas de blessure plus grave. On lui demandera d'effectuer des efforts à 60% de son maximum en terme de vitesse, de force et de durée. Tous les 2-3 jours une progression de 5 à 10% sera possible pour autant que le sujet ne présente pas de douleur ni au repos, ni à l'effort, ni lors d'étirements, de contractions isométriques ou enfin à la palpation [33].

L'échographie ne donne pas d'informations suffisantes sur la résistance du tissu cicatriciel. Elle peut être utile pour le suivi, particulièrement lorsque l'évolution est longue, permettant de mettre en évidence d'éventuelles complications. La résonance magnétique n'a pas d'utilité dans le contrôle d'une lésion musculaire, d'autant plus qu'il existe un retard entre l'évolution clinique et l'imagerie par résonance magnétique.

Un programme de reprise sous conduite de l'entraîneur a été évalué dans une étude contrôlée randomisée en Suède [34]. Il comprenait une progression en 10 étapes. La course était possible, dans un premier temps en ligne droite vers l'avant puis dans un 2^{ème} temps en faisant des 8, puis des zig-zag, puis en tournant à 90°, puis à 180°, puis à 360°. Ces 6 premières étapes étaient réalisées sans ballon. La charge était augmentée progressivement. Le passage à l'étape suivante était possible si l'étape du jour était réalisée sans douleur ou tuméfaction. En cas de douleurs, le sujet revenait à une étape indolore. Le ballon était introduit lors des 4 dernières étapes, elles comportaient de la conduite du ballon, des shoots, des sauts, des sprints et enfin un entraînement avec l'équipe. Un nombre, proportionnel à la durée d'incapacité de sport, de séances d'entraînement était nécessaire avant de permettre le retour en compétition. Dans cette étude, le taux de récurrence de blessures a été de 2,3 pour mille heures contre 8 pour mille dans un groupe contrôle. Les lésions ont été diminuées globalement de 66%, celles qui concernaient les MI de 75%.

Prévention

Durant les saisons 1999 et 2000, en Islande et en Norvège, l'incidence des blessures des ischio-jambiers a été relevée puis, en 2001 un programme comportant des exercices d'échauffement, de souplesse et de force introduit. Cette prise en charge a permis une diminution de 65% des blessures des ischio-jambiers, il n'a toutefois pas eu d'incidence sur le taux de récurrence [35]. Le travail de renforcement excentrique comportait des «Nordic Hamstring Lowers». Lors de cet exercice le sujet actif est maintenu solidement au niveau de ses chevilles par un partenaire. Il est sur les genoux et se laisse tomber sur l'avant en freinant sa chute à l'aide de ses ischio-jambiers. Il peut utiliser ses mains pour amortir son atterrissage. Progressivement l'exercice devient possible sans aide des mains puis en augmentant la vitesse de chute avant le freinage final. Dans une étude plus ancienne, Brockett avait fait effectuer le même type d'exercices à des sujets en mesurant leur force isocinétique excentrique. Cet auteur s'était rendu compte que le travail excentrique déplaçait de quelques degrés le peak torque, les ischio-jambiers pouvaient produire plus de force à un degré d'allongement supérieur ce qui, de la sorte, pouvait leur conférer une meilleure résistance à l'étirement et éviter la survenue de lésions [36].

Dans le football australien précédemment cité, un programme d'intervention a été réalisé sur 2 ans. Celui-ci tentait de s'approcher le plus possible de situations de matchs par un entraînement anaérobie à haute intensité par intervalles, comportant de nombreuses accélérations. La course et les changements de vitesse

s'effectuaient en flexion du tronc. Différents exercices de stretching passif des ischio-jambiers étaient également réalisés [37]. L'incidence de blessures et le nombre de matchs manqués ont été diminués de façon hautement significative.

Sous l'impulsion de la FIFA et de la SUVA, plus de 5000 entraîneurs de clubs amateurs de l'Association Suisse de Football ont été instruits à un programme de prévention «Le 11» comportant des exercices de renforcement du tronc, des membres inférieurs, d'équilibre et de coordination. La promotion du Fair-play faisait également partie de ce programme. Au stade initial de l'étude et, 4 ans plus tard, 1000 entraîneurs ont répondu à un questionnaire répertoriant les accidents survenus durant les 4 semaines précédentes. 57% des entraîneurs ont introduit ce programme dans leurs sessions effectuant en moyenne 3,7 exercices sur les 10 proposés. Dans les équipes appliquant le programme, une diminution de 11,5% des blessures survenues lors des matchs et de 25,3% de celles survenant lors des entraînements a été observée [38].

Les lésions des ischio-jambiers sont fréquemment rencontrées sur les pelouses. Elles sont à l'origine d'un absentéisme important impliquant souvent, chaque saison, plusieurs joueurs d'une même équipe. Un programme de prévention et de rééducation ciblé, insistant sur le travail excentrique, permet d'en diminuer l'incidence et le taux de récurrence.

Adresse pour la correspondance:

Dr Pierre-Etienne Fournier, Clinique Romande de Réadaptation, Suva-care, Swiss Olympic Medical Center, Avenue de Grand-Champsec 90, 1951 Sion, pierre-etienne.fournier@crr-suva.ch

Bibliographie

- Ekstrand J., Hägglund M., Walden M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br. J. Sports Med.* DOI:10.1136/bjism.2009.060582
- Walden et al. UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001–2002 season. *Br. J. Sports Med.* 2005; 39: 542–546.
- Dvorak J., Junge A., Derman W., Schweltnus M. *Br. J. Sports Med.* 2011 on line 10.1136/bjism.2010.079905
- Hawkins et al. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br. J. Sports Med.* 2001; 35: 43–47.
- Alonso J.M., Junge A., Renström P., Engebretsen L., Mountjoy M., Dvorak J. Sports Injuries Surveillance During the 2007 IAAF World Athletics Championships. *Clin. J. Sport Med.* 2009; 19: 26–32.
- Woods et al. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football – analysis of preseason injuries. *Br. J. Sports Med.* 2002; 36: 436–441.
- Di Salvo V., Baron R., Tschann H., Calderon Montero F.J., Bachl N., Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int. J. Sports Med.* 2007; 28(3): 222–7.
- Arnason A., Sigurdsson S.B., Gudmundsson A., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. Risk Factors for Injuries in Football. *Am. J. Sports Med.* 2004; 32: 5S–16S.
- Askling C.M., Tengvar M., Saartok T., Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am. J. Sports Med.* 2007; 35: 1716–1724.
- Askling C., Saartok T., Thorstensson A. Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *Br. J. Sports Med.* 2006; 40: 40–44.
- Askling C., Tengvar M., Saartok T., Thorstensson A. Case Report Sports related hamstring strains – two cases with different etiologies and injury sites. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2000; 10: 304–307.
- Askling C.M., Tengvar M., Saartok T., Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am. J. Sports Med.* 2007 Feb; 35(2): 197–206.
- Thelen D.G., Chumanov E.S., Sherry M.A., Heiderscheit B.C. Neuro-musculoskeletal models provide insights into the mechanisms and rehabilitation of hamstring strains. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2006; 34: 135–141.
- Witvrouw E., D'Anneels L., Asselman P., D'Have T., Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players: a prospective study. *Am. J. Sports Med.* 2003; 31: 41.
- Croisier J.L., Ganteaume S., Binet J., Genty M., Ferret J.M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am. J. Sports Med.* 2008 Aug; 36(8): 1469–75.
- Foreman T.K., Addy T., Baker S., Burns J., Hill N., Madden T. Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: A systematic review. *Physical Therapy in Sport* 2006; 7: 101–109.
- Malliaropoulos N., Isinkaye T., Tsitas K., Maffulli N. Reinjury after acute posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am. J. Sports Med.* 2011; 39: 304–310.
- Järvinen T.A.H., Järvinen T.L., Kääriäinen M., Kalimo H., Järvinen M. Muscle Injuries Biology and Treatment. *Am. J. Sports Med.* 2005; 33: 745–764.
- Huard J., Li Y., Fu F.H. Muscle injuries and repair: current trends in research. *J. Bone Joint. Surg. Am.* 2002; 84: 822–832.
- Harmon K.G. Muscle injuries and PRP: what does the science say? *Br. J. Sports Med.* 2010; 44: 616–617.
- Rodineau J., Besch S. Classifications des lésions musculaires récentes in Muscle traumatique et mécanique. Masson 2005.
- Schneider-Kolsky M.E., Hoving J.L., Warren P., Connell D.A. A comparison between clinical assessment and magnetic resonance imaging of acute hamstring injuries. *Am. J. Sports Med.* 2006; 34: 1008–1015.
- Malliaropoulos N., Papacostas E., Kiristi O., Papalada A., Gougoulis N., Maffulli N. Posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am. J. Sports Med.* 2010; 38: 1813–1819.
- Hölmich P., Uhrskou P., Ulnits L., Kanstrup I.L., Bachmann Nielsen M., Munch Bjerg A., Kroegsgaard K. Effectiveness of active physical training as treatment for longstanding adductor-related groin pain in athletes: randomised trial. *Lancet* 1999; 353: 439–443.
- Mehallo C.J., Drezner J.A., Bytomski J.R. Practical management: nonsteroidal antiinflammatory drug (nsaid) use in athletic injuries. *Clin. J. Sport Med.* 2006; 16: 170–174.
- Ziltener J.L., Leal S., Fournier P-E. Non-steroidal anti-inflammatory drugs for athletes: an update. *Ann. Phys. Rehab. Med.* 2010; 53: 278–288.
- Mackey A.L., Kjaer M., Dandanell S., Mikkelsen K.H., Holm L., Døssing S., Kadi F., Koskinen S.O., Jensen C.H., Schröder H.D., Langberg H. The influence of anti-inflammatory medication on exercise-induced myogenic precursor cell responses in humans. *J. Appl. Physiol.* 2007; 103: 425–431.
- Creaney L., Hamilton B. Growth factor delivery methods in the management of sports injuries: the state of play. *Br. J. Sports Med.* 2008; 42(5): 314–20.
- Mei-Dan O., Mann G., Maffulli N. Platelet-rich plasma: any substance into it? *Br. J. Sports Med.* 2010; 44: 618–619.
- Hamilton B.H., Thomas M.B. Platelet-enriched plasma and muscle strain injuries: challenges imposed by burden of proof. *Clin. J. Sport Med.* 2011; 21: 31–36.
- Chanussot J.C., Danowski R.G. Rééducation en médecine du sport. Masson 2005.
- Orchard J., Seward H. Epidemiology of injuries in the Australian football league, season 1997–2000. *Br. J. Sports Med.* 2002; 36: 39–45.
- Labareyre H., Rodineau J., Brasseur J.L., Roger B., Bouvat E. Critères de reprise après un accident musculaire. *J. Traumatol. Sport* 2005; 22: 232–235.
- Hägglund M., Walden M., Ekstrand J. Lower reinjury rate with a coach-controlled rehabilitation program in amateur male soccer – a randomized controlled trial. *Am. J. Sports Med.* 2007; 35: 1433–1442.
- Arnason A., Andersen T.E., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2008; 18: 40–48.
- Brockett C.L., Morgan D.L., Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001 May; 33(5): 783–90.
- Verrall G.M., Slavotinek J.P., Barnes P.G. The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br. J. Sports Med.* 2005; 39: 63–68.
- Junge A., Lamprecht M., Stamm H.P., Hasler H.R., et al. Countrywide campaign to prevent soccer injuries in Swiss amateurs players. *Am. J. Sports Med.* 2011; 39: 57–63.