

APPROCHE PRÉVENTIVE DES LÉSIONS D'ÉPAULE CHEZ LE JOUEUR DE TENNIS

PREVENTIVE APPROACH TO SHOULDER INJURIES IN TENNIS PLAYERS

C. Tooth^{a,b,c} **A. Gofflot**^{b,c} **C. Schwartz**^d **J.-L. Croisier**^{a,b,c} **J.-F. Kaux**^{a,b,c} **B. Forthomme**^{a,b,c}

^aReFORM IOC Research Centre for Prévention of Injury and Protection of Athlete Health

^bService de médecine physique, réadaptation et traumatologie du sport, SportS², FIFA Medical Centre of Excellence, FIMS Collaborative Centre of Sports Medicine, CHU de Liège, Liège, Belgique

^cDépartement des sciences de la motricité, université de Liège, LAM-Motton Lab, université de Liège, Liège, Belgique

^dLabo d'analyse du mouvement humain (LAMH), université de Liège, Liège, Belgique

Auteur correspondant. C. Tooth,

Service de médecine physique, réadaptation et traumatologie du sport, SportS², CHU de Liège, 1, avenue de l'Hôpital, 4000 Liège, Belgique.

Adresse e-mail : ctooth@uliege.be

MOTS CLÉS : Tennis, Épaule, Prévention, Lésion

KEYWORDS: Tennis, Shoulder, Prevention, Lesion

RÉSUMÉ

Le tennis est un sport extrêmement contraignant pour l'épaule ainsi que les articulations qui l'entourent en raison de la vitesse, de l'amplitude et de la répétitivité des mouvements effectués, en particulier lors du service. Ainsi, une prévalence de 25 % des lésions d'épaule a été rapportée chez des joueurs de tennis sur un suivi prospectif de 2 ans. Parmi les blessures recensées, les conflits sous-acromiaux et les tendinopathies de la coiffe constitueraient les principales atteintes observées. Afin de prévenir l'apparition de ces lésions, divers modèles et approches préventives ont été décrits dans la littérature. Différents facteurs de risque, intrinsèques et extrinsèques, ont également pu être mis en évidence au cours des dernières années. En pratique, nous retrouvons deux grands types d'approches.

D'une part, il existe une approche collective, facile à mettre en place, peu chronophage, nécessitant peu de matériel mais ne répondant pas forcément aux besoins de l'ensemble des sportifs concernés. D'autre part, une approche individualisée, reposant sur la réalisation d'un test « carte d'identité » de manière à identifier des profils à risque, peut être préférée chez certains sportifs pour des raisons de spécificité par rapport à leurs besoins. Le choix de l'une ou l'autre de ces approches sera, bien souvent, dépendante du profil du sportif (âge, expérience, niveau de pratique, sport pratiqué etc.) mais également du contexte de pratique (ressources financières, matérielles, humaines etc.).

SUMMARY

Tennis is an extremely demanding sport for the shoulder as well as the joints surrounding it due to the speed, amplitude and repetitiveness of the movements performed, especially during service. Thus, a prevalence of 25% of shoulder lesions has been reported in tennis players over a prospective follow-up of 2 years. Among the injuries identified, subacromial impingements and rotator cuff tendinopathy would be the main injuries observed. In order to prevent the appearance of these lesions, various models and preventive approaches have been described in the literature. Different risk factors, intrinsic and extrinsic, have also been highlighted in recent years. In practice, we find two main types of approaches. On the one hand, there is a collective approach, easy to set up, not very time-consuming, requiring little equipment but not necessarily meeting the needs of all the athletes concerned. On the other hand, an individualized approach, based on carrying out an "identity card" test, in order to identify risk profiles, maybe preferred in certain athletes for reasons of specificity in relation to their needs. The choice of one or other of these approaches will often depend on the profile of the athlete (age, experience, level of practice, sport practiced, etc.) but also on the context of practice (financial, material, human resources etc.).

INTRODUCTION

Le tennis est un sport populaire dans notre société. Bien que complexe dans sa gestuelle et extrêmement contraignant d'un point de vue musculaire et articulaire [1,2], le service a une importance prépondérante chez le joueur de tennis. En effet, le service est pratiqué un jeu sur deux et peut, à lui seul, influencer de façon non-négligeable le déroulement du point [2,3]. Étant donné le caractère imprévisible de ce sport, ce geste peut être répété un nombre variable de fois au cours d'un

match mais également avec une intensité plus ou moins importante en fonction du déroulement de ce match. En outre, l'adversaire, de par la nature et son niveau de jeu, modulera aussi de manière significative la durée du match et ainsi la charge appliquée sur l'épaule [4,5].

Afin de prévenir les lésions associées à la répétition de ce geste, divers modèles de prévention ont été décrits dans la littérature [6-8]. Parmi eux, le plus répandu et le plus connu reste le modèle de Van Mechelen et al. [6], organisé en 4 étapes. La première étape de ce modèle consiste à mettre en évidence les données épidémiologiques telles que l'incidence et la sévérité des blessures au sein de la population concernée. La deuxième étape a pour objectif d'identifier les facteurs de risque associés à ces lésions. La troisième étape a pour but la mise en place de mesures préventives, dont l'efficacité sera mesurée lors de la quatrième et dernière étape. Critiqué pour son manque de considération du contexte et de la nature complexe des blessures sportives, ce modèle a été adapté, en 2018, par Bolling et al. [9] de manière à proposer une approche davantage centrée sur l'athlète et ses spécificités mais également des interventions plus spécifiques au contexte concerné.

L'objectif de cet article est de réaliser un état des lieux des blessures d'épaule rencontrées chez le joueur de tennis et de synthétiser les mesures préventives pouvant être mises en place en vue de limiter ces blessures dans cette population. Tout comme pour le modèle de Van Mechelen et al. [6], nous débuterons par aborder les données épidémiologiques. Nous poursuivrons par décrire les facteurs de risque de blessure d'épaule chez ce public. Enfin, nous terminerons par évoquer les interventions qui peuvent être mises en place ainsi que leur efficacité.

ÉPIDÉMIOLOGIE DES LÉSIONS D'ÉPAULE CHEZ LE JOUEUR DE TENNIS

Le membre supérieur et l'épaule sont des localisations fréquemment concernées par des douleurs et/ou des blessures chez le joueur de tennis [10-12]. En effet, selon O'Connor et al. [12], plus de 35 % des blessures recensées chez de jeunes joueurs de tennis de niveau élite concerneraient le membre supérieur. Quant aux blessures localisées au niveau de l'épaule, une incidence de 24 % a été observée par Lehman et al. [13] chez des joueurs adolescents. Des chiffres similaires (25 %) ont pu être recensés quelques années plus tard chez de jeunes joueurs, par Hjelm et al. [11], sur un suivi prospectif de 2 ans. Là où les blessures des membres inférieurs semblent être majoritairement attribuées à des

phénomènes aigus traumatiques (ex : entorse de cheville, entorse de genou, rupture du tendon d'Achille etc...), les blessures localisées au niveau du tronc et des membres supérieurs sembleraient davantage être imputées à des phénomènes d'hypersollicitation [14,15]. En effet, qualifié de sport « *overhead* », le tennis implique la répétition de mouvements à haute intensité et dans des amplitudes extrêmes pour l'épaule (et l'ensemble du membre supérieur) dans sa pratique [16-18]. Ainsi, si nous prenons l'exemple du service, geste considéré le plus « traumatisant » pour l'épaule, des vitesses comprises entre 2000 et 5000 7s ont pu être mesurées au niveau de la rotation interne gléno-humérale, ce qui témoigne bien de l'intensité des contraintes qui sont appliquées de façon répétitive au niveau de cette articulation [18,19].

Parmi les blessures recensées au niveau de l'épaule, les principales atteintes seraient des conflits sous-acromiaux (42 %) ou des tendinopathies (26 %) au niveau de la coiffe des rotateurs. Des tensions ou lésions musculaires périscapulaires (16 %) peuvent également être retrouvées chez les pratiquants, tout comme des atteintes spécifiques au niveau de la longue portion du biceps (associées ou non à une atteinte du labrum) (11 %) ou encore des phénomènes d'instabilité antérieure (5 %) [15].

À côté des répercussions directes que ces blessures peuvent avoir sur la participation et sur la performance de l'athlète, ces lésions peuvent également avoir des répercussions socio-économiques et médicales importantes, tant sur le court terme qu'à moyen et long terme [20]. D'ailleurs, chez des sujets seniors pratiquant le tennis depuis plusieurs années, sans aucun antécédent de blessures ni de traumatisme au niveau de l'épaule, une prévalence importante (33 %) de changements dégénératifs (de type arthrose) au niveau de l'épaule dominante ont pu néanmoins être retrouvés [21]. Ces changements seraient davantage présents chez ces joueurs que chez des sujets ne pratiquant pas de sports *overhead*. Dès lors, nous pouvons aisément imaginer les contraintes supplémentaires qu'une blessure pourrait engendrer sur des articulations déjà « fragilisées ». Tout ceci renforce l'intérêt de mettre en place des mesures préventives, et ce, dès le plus jeune âge dans cette population.

ADAPTATIONS LIÉES À LA PRATIQUE ET FACTEURS DE RISQUE DE LÉSIONS

Diverses adaptations ont pu être mises en évidence chez l'athlète « *overhead* » après plusieurs années de pratique, mais également à plus court terme, c'est-à-dire sur une seule saison [22-24]. Ainsi, des

modifications au niveau de la mobilité glénohumérale, de la posture, de la force de la coiffe des rotateurs, de la cinématique scapulaire ou encore des modifications structurelles des tissus articulaires/péri-articulaires ont été démontrées dans cette population d'athlètes [2530]. Il en est de même chez le joueur de tennis.

D'un point de vue mobilité, on retrouverait une augmentation de la mobilité en rotation externe au niveau de la glénohumérale ainsi qu'une diminution de la mobilité en rotation interne (communément appelé *Glenohumeral Internai Rotation Deficit* ou GIRD dans le vocable anglophone) [23,31]. Une augmentation de l'antéprojection de l'épaule dominante, associée à une augmentation du tilt antérieur de la scapula serait également mesurée chez des joueurs de tennis suite à la pratique [25,32-35].

Au niveau de la force des rotateurs, une augmentation de la force des rotateurs internes s'observe chez ce public au niveau de l'épaule dominante, en comparaison avec l'épaule non- dominante [36-40]. Néanmoins, cette augmentation de la force des rotateurs internes du côté dominant ne serait pas associée à une augmentation de la force des rotateurs externes de ce même côté [36]. Dès lors, cela pourrait entraîner un déséquilibre entre les rotateurs internes et externes [41].

D'un point de vue musculaire, une atrophie du muscle infra- épineux serait également fréquemment observée chez le joueur de tennis. Ainsi, chez des joueurs professionnels, une prévalence d'atrophie entre 52 % et 60,1 % a pu être mise en évidence au niveau de ce muscle [42,43]. Enfin, d'un point de vue anatomique, des modifications de largeur de la section transversale des tendons de l'infra-épineux et du *teres minor* se retrouvent également dans ce même public. Ces modifications pourraient avoir une influence non négligeable sur la force développée [44].

Parmi ces différentes adaptations, certaines d'entre elles ont pu être décrites comme associées à un risque accru de blessure chez des athlètes *overhead* et/ou plus précisément chez le joueur de tennis [41]. De manière générale, les facteurs de risque de lésions peuvent être divisés en deux catégories : les facteurs intrinsèques (propres à l'individu) et les facteurs extrinsèques [45].

Concernant les facteurs de risque intrinsèques, bien qu'aucune étude prospective n'ait pu mettre en évidence ce facteur en tennis, un déséquilibre entre rotateurs internes et rotateurs externes ou encore une faiblesse au niveau des rotateurs externes seraient associés à un risque accru de blessure chez les athlètes *overhead* [41,46-48]. Quant aux modifications de la mobilité glénohumérale, même si certaines études tendent à associer une diminution de la rotation interne glénohumérale ainsi que des

modifications (hyper- ou hypomobilité) de la mobilité en rotation externe avec l'apparition de blessures d'épaule [48,49], ce facteur reste à l'heure actuelle non consensuel dans la littérature en ce qui concerne l'athlète « *overhead* » [41,50]. Une revue systématique de Pozzi et al. [51] a récemment remis en cause l'intérêt des mesures d'amplitudes articulaires au niveau de l'articulation glénohumérale dans la mise en évidence de profils à risque chez des joueurs de tennis. Néanmoins, le faible nombre d'études de qualité recensées et notre expérience clinique nous pousse à conserver ces mesures dans notre pratique. Ensuite, en ce qui concerne les modifications de la cinématique scapulaire telles que la dyskinésie scapulaire, ce facteur reste également controversé dans la littérature [41,47,52-54]. En tennis, Hjelm et al. [11] n'ont pas été en mesure de démontrer un lien significatif entre des modifications de la cinématique scapulaire et un risque accru de blessure. À nouveau, le peu d'études réalisées en tennis à ce sujet incite à la prudence quant à la non-évaluation de ce paramètre. Des expérimentations futures seront nécessaires pour préciser l'intérêt ou non de cette évaluation. Enfin, d'autres facteurs intrinsèques tels que les antécédents de blessure ou encore le nombre d'années de pratique ont pu, eux, être démontrés comme associés aux blessures d'épaule chez le joueur de tennis [5,11].

En ce qui concerne les facteurs extrinsèques, le facteur prépondérant reste la charge d'entraînement [41]. Ainsi, dans une récente étude, Johansson et al. [5] ont pu suivre pendant 1 an plus de 300 joueurs de tennis âgés entre 13 et 19 ans. L'étude a permis de démontrer que des pics additionnels de charge (en raison de matchs, d'entraînements) et qu'un ratio charge aiguë/charge chronique supérieur à 1,3 seraient associés à un risque accru de blessure dans cette population. Enfin, selon Hjelm et al. [11], le nombre de matchs joués par an influencerait également de façon importante le risque de blessure chez le joueur de tennis.

APPLICATION DU CONCEPT DE CHAÎNE CINÉTIQUE DANS LA PRÉVENTION LÉSIONNELLE

Le concept de chaîne cinétique est un concept utilisé depuis plusieurs années en ingénierie pour comprendre la biomécanique du mouvement. En effet, en 1955, Steindler [55] définit le concept de chaîne cinétique comme une combinaison de différentes articulations disposées successivement et constituant une unité motrice complexe dans laquelle chaque segment fonctionne comme un maillon

de la chaîne.

En tennis, le service fonctionne selon ce concept de chaîne cinétique [56,57]. Les forces et mouvements initiés depuis les membres inférieurs et le sol sont transférés successivement vers le tronc, le membre supérieur et enfin la balle. Dans cette chaîne complexe, la scapula joue le rôle de base stable permettant le transfert d'énergie entre le tronc et le membre supérieur [27,57,58]. Une bonne coordination des différents segments qui composent cette chaîne est essentielle tant pour la performance que d'un point de vue préventif [57,59]. Ainsi, une restriction de 15 % de la vitesse de service a pu être observée en cas de restriction de mouvements au niveau des genoux [60]. De même, une diminution de 20 % de l'énergie du tronc nécessiterait une augmentation de 34 % de la vitesse ou de 70 % de la masse pour acquérir la même énergie cinétique au niveau de l'extrémité du membre supérieur [57].

Dès lors, toute rupture de la chaîne (due à un problème de contrôle moteur, à un manque de flexibilité, d'endurance etc....) aura un impact non négligeable sur la performance et/ou induira une augmentation des contraintes appliquées sur les autres maillons de la chaîne [10,57,61,62]. De façon similaire, l'apparition de fatigue au cours de la pratique pourra également rompre la chaîne, amener à des compensations non négligeables et augmenter ainsi le risque de blessure [63,64]. D'ailleurs, une diminution de la sonnette externe de la scapula (qui a pour conséquence une diminution de l'espace sous-acromial) a pu être observée immédiatement après un protocole de fatigue spécifique par rapport à la gestuelle du service [65]. La fonction de chaque maillon ainsi que la coordination entre ces derniers devront donc être considérées dans une démarche préventive et restaurées en cas de besoin. Pour ce faire, des outils d'analyse bidimensionnelle ou tridimensionnelle permettront d'apprécier de façon très précise l'implication de chaque maillon au cours du mouvement [66].

PRÉVENTION DES LÉSIONS D'HYPER SOLLICITATION CHEZ LE JOUEUR DE TENNIS : APPROCHE COLLECTIVE ET INDIVIDUALISÉE

A l'heure actuelle, deux grandes approches sont décrites dans la littérature en ce qui concerne la prévention lésionnelle, l'une globale/collective, l'autre individualisée [67,68].

Le programme Tennis Ready, développé par l'équipe du Amsterdam Collaboration on Health and Safety in Sports (ACHSS) constitue la principale approche collective décrite dans la littérature en tennis [69,70]. Ce programme est composé d'exercices cardiovasculaires, d'exercices neuromusculaires et d'exercices spécifiques par rapport à la gestuelle tennis. Une partie d'entre eux doit être réalisée sur le terrain de tennis, l'autre en dehors. Le programme Tennis Ready a une durée approximative de 7 à 10 minutes et son intensité (charge, nombre de répétitions, etc...) est adaptée de façon régulière au cours des semaines de pratique. En 2020, une étude a testé l'efficacité de cette approche sur 579 joueurs de tennis adultes. Au terme de 12 semaines d'intervention non supervisées, aucune différence significative n'a malheureusement pu être observée concernant la prévalence lésionnelle entre les joueurs ayant effectués le programme Tennis Ready (37 %) et les joueurs appartenant au groupe contrôle (38 %) qui n'avaient été soumis à aucune intervention [69]. Des résultats qui pourraient s'expliquer notamment par la faible compliance à la réalisation du programme (8 %). Néanmoins, aucune différence significative n'a également été observée entre les sujets compliant (32 %) et les sujets non compliant (37 %) du « groupe programme » [69].

Ce manque de compliance est fréquemment retrouvé dans la littérature dans les essais contrôlés randomisés visant à déterminer l'efficacité (ou non) de certains programmes de prévention. Dans la réalité, ce constat peut être encore plus marqué, la première raison avancée par les acteurs de terrain restant le manque de temps [71]. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, il apparaît essentiel de réaliser des programmes courts ne dépassant pas 10 à 15 minutes, afin de laisser une place suffisante à la pratique sportive [70,72]. Des programmes tels que le Fifa 11 + ou Fifa 11 + Shoulder ont également été mis en place de manière à inclure ces programmes à l'échauffement afin d'optimiser le temps imparti [73,74]. Bien que non-spécifique par rapport aux besoins rencontrés en tennis, ces programmes peuvent servir de base pour la création de contenus plus en lien avec le sport considéré et les facteurs de risque qui y sont associés. En marge du temps consacré à la réalisation d'exercices préventifs, les programmes conçus pour les essais contrôlés randomisés sont bien souvent rigides, en décalage avec le contexte dynamique du sport. Ils manquent généralement de variétés et de spécificités. Dès lors, ils ne rencontrent pas toujours les attentes des acteurs de terrain. Le contexte (perceptions de l'athlète, croyances, culture, sport considéré, niveau de pratique, contexte socio-économique etc...) sera donc un élément primordial à prendre en compte dans l'approche qui sera proposée [9].

La deuxième approche qui peut être proposée repose sur une prise en charge individualisée. Une prise

en charge individualisée repose sur la réalisation d'une batterie de tests ou de tests « carte d'identité » visant à mieux appréhender le profil du sportif et à déterminer si ce profil peut amener à un risque de blessure majoré ou non. Elle repose donc sur la prise en considération des facteurs de risque, de manière à prescrire des exercices adaptés [68]. Bien que davantage centrée sur l'athlète et sur ses besoins, ce type d'approche implique, tout de même, certaines contraintes. Le choix des tests ainsi que l'interprétation de ces derniers ne sont donc pas toujours aisés en pratique et requièrent une certaine expertise. Le matériel utilisé peut également être coûteux, en fonction des évaluations choisies (ex : outils de laboratoires ou dynamomètre isocinétique). Enfin, le temps consacré à réaliser les tests peut être plus ou moins conséquent, en fonction du nombre d'évaluations considérées. Sachant que le temps est souvent considéré comme un « frein » à la mise en place d'un programme de prévention [71], nous pouvons aisément imaginer que bon nombre de sportifs et/ou entraîneurs ne soient pas prêts à consacrer le temps nécessaire à la réalisation de ces tests et préfèrent se diriger vers une approche plutôt collective. De plus, le profil de l'athlète à un temps donné peut évoluer avec la pratique, et notamment en fonction de la charge d'entraînement. Cela implique donc une certaine régularité et un suivi au niveau des évaluations, ce qui n'est pas toujours possible pour des joueurs de tous niveaux. C'est pourquoi une approche individualisée, bien qu'idéale et plus efficiente, est souvent réservée à des sportifs d'un certain niveau de pratique pour qui les besoins sont tellement spécifiques alors qu'une approche collective se révélerait insuffisante. Il est d'ailleurs important de souligner que, chez ces mêmes sportifs, une approche pluridisciplinaire et des échanges réguliers entre encadrants de terrain et experts s'avèrent indispensables [75,76].

En outre, les deux approches décrites précédemment peuvent être mises en place avec des programmes tels que le programme Get Set (d'abord connu sous le nom de Skadefri), fruit d'une collaboration entre l'Oslo Sports Trauma Research Center (OSTRC) et le Comité International Olympique (CIO), qui comprend divers exercices préventifs, classifiés par sport et illustrés au moyen de vidéos. Ce programme a l'avantage d'être gratuit, disponible en neuf langues différentes (dont le français) et d'être accessible à tous sur smartphone. En fonction de l'objectif recherché, des programmes généraux peuvent être utilisés (avec toutes les limites qu'ils impliquent en termes de spécificité et d'efficacité) mais des programmes personnalisés peuvent également être créés de façon libre sur l'application et envoyés à l'athlète en fonction de ses besoins et des facteurs de risque mis en évidence lors d'évaluations spécifiques.

CONCLUSION

Une prévalence de lésions d'épaule aux alentours de 25 % a pu être mise en évidence chez le joueur de tennis [11]. Ces blessures seraient majoritairement dues à des mécanismes d'hypersollicitation [10,77]. Différents facteurs de risque de lésions d'épaule ont pu être mis en évidence chez le sportif « overhead », bien que tous ne soient pas actuellement consensuels [41]. En revanche, peu d'études prospectives ont été conduites dans le tennis, ce qui limite les connaissances en termes de facteurs de risque, précisément dans ce sport, et ouvre la porte de futures études dans le domaine. Outre les adaptations gestuelles et biomécaniques qui devront être réalisées si la fonction d'un segment ou la coordination entre ces derniers est altérée au sein de la chaîne cinétique [10,57,61,62], le travail préventif qui pourra être appliqué reposera sur deux grandes approches : une approche globale et une approche individualisée. Là où l'approche individualisée nécessitera plus de temps, d'énergie et sera plus coûteuse, de par les tests qui devront être réalisés, l'approche globale donnera accès au sportif à un programme unique, disponible aisément, mais non adapté à ses besoins spécifiques [68].

Dans tous les cas, la prise en compte du contexte et des spécificités liées au sport considéré sera essentielle à une implémentation efficace ainsi qu'à une bonne compliance face aux mesures mises en place [9].

FINANCEMENT

Aucun.

DECLARATION DE LIENS D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Ryu RKN, McCormick J, Jobe FW, Moynes DR, Antonelli DJ. An electromyographic analysis of shoulder function in tennis players. *Am J Sports Med* 1988;16(5):481-5. doi: 10.1177/036354658801600509.

- [2] Abrams GD, Sheets AL, Andriacchi TP, Safran MR. Review of tennis serve motion analysis and the biomechanics of three serve types with implications for injury. *Sport Biomech* 2011;10(4):378- 90. doi: 10.1080/14763141.2011.629302.
- [3] Martin C. *Analyse Biomécanique Du Service Au Tennis : Lien Avec La Performance et Les Pathologies Du Membre Supérieur*. 2013.
- [4] Kovacs MS. Applied physiology of tennis performance. *Br J Sports Med* 2006;40(5):381-6. doi: 10.1136/bjism.2005.023309.
- [5] Johansson F, Cools A, Gabbett T, Fernandez-Fernandez J, Skillgate E. Association between spikes in external training load and shoulder injuries in competitive adolescent tennis players: The SMASH cohort study. *Sports Health* 2022;14(1):103-10. doi: 10.1177/19417381211051643.
- [6] Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HCG. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med* 1992;14(2):82-99. doi: 10.2165/00007256-199214020-00002.
- [7] O'Brien J, Finch CF, Pruna R, McCalla. A new model for injury prevention in team sports: the Team-sport Injury Prevention (TIP) cycle. *Sci Med Footb* 2019;3(1):77-80. doi: 10.1080/24733938.2018.1512752.
- [8] Roe M, Malone S, Blake C, et al. A six stage operational framework for individualising injury risk management in sport. *Inj Epidemiol* 2017;4(1.). doi: 10.1186/S40621-017-0123-X.
- [9] Bolling C, van Mechelen W, Pasman HR, Verhagen E. Context matters: revisiting the first step of the "sequence of prevention" of sports injuries. *Sports Med* 2018;48(10):2227. doi: 10.1007/ S40279-018-0953-X.
- [10] Kibler W, Ben, Safran M. Tennis injuries. *Individ Sport Med Sport Sci Basel* 2005;48:120-37.
- [11] Hjelm N, Werner S, Renstrom P. Injury risk factors in junior tennis players: a prospective 2-year study. doi:10.1111/j.1600- 0838.2010.01129.x
- [12] O'Connor S, Huseyin OR, Whyte EF, Lacey P. A 2-year prospective study of injuries and illness in an elite national junior tennis program. *Phys Sportsmed* 2020;48(3):342-8. doi: 10.1080/00913847.2020.1714512.
- [13] Lehman RC. Shoulder pain in the competitive tennis player. *Clin Sports Med* 1988;7(2):309-27. doi: 10.1016/s0278-5919(20) 30937-6.
- [14] Ellenbecker TS, Stroia K. Injury and illness surveillance in tennis: an evolving process. *Br J Sports Med* 2018;52(9):550. doi: 10.1136/BJSPORTS-2016-096176.

- [15] *Laudner K, Sipes R. The Incidence of shoulder injury among collegiate overhead athletes. J Intercoll Sport 2009;2:260-8.*
- [16] *Tanabe S, Ito A. A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movements to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. Sport Biomech 2007;6(3):418- 33. doi: 10.1080/14763140701491500.*
- [17] *Elliott B. Biomechanics and tennis. Br J Sports Med 2006;40 (5):392-6. doi: 10.1136/bjism.2005.023150.*
- [18] *Elliott BC, Marshall RN, Noffal GJ. Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. J Appl Biomech 1995;11:433-42.*
- [19] *Wagner H, Pfusterschmied J, Tilp M, Landlinger J, von Duvillard SP, Müller E. Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike. Scand J Med Sci Sport 2014;24 (2). doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01503.x.*
- [20] *Verhagen E. The cost of sports injuries. J Sci Med Sport 2010;13: e40. doi: 10.1016/J.JSAMS.2010.10.546.*
- [21] *Maquirriain J, Ghisi JP, Amato S, Maquirriain J. Is tennis a predisposing factor for degenerative shoulder disease? A controlled study in former elite players. Br J Sport Med 2006;40:447-50. doi: 10.1136/bjism.2005.023382.*
- [22] *Thomas SJ, Swanik KA, Swanik CB, Huxel KC, Iv JDK. Change in glenohumeral rotation and scapular position after competitive high school baseball. J Sport Rehabil 2010;19(2):125-35. doi: 10.1123/jsr.19.2.125.*
- [23] *Cools AM, Palmans T, Fredrik, Johansson R. Age-related, sport-specific adaptations of the shoulder girdle in elite adolescent tennis players. J Athl Train 2014;49(5):647-53. doi: 10.4085/1062-6050-49.3.02.*
- [24] *Forthomme B, Crielaard JM, Croisier JL. Scapular positioning in athlete's shoulder. Sport Med 2008;38(5):369-86. doi: 10.2165/00007256-200838050-00002.*
- [25] *Borstad JD, Ludewig PM. The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. J Orthop Sport Phys Ther 2005;35(4):227-38. doi: 10.2519/jospt.2005.35.4.227.*
- [26] *Burn MB, McCulloch PC, Lintner DM, Liberman SR, Harris JD. Prevalence of scapular dyskinesis in overhead and non overhead athletes: a systematic review. Orthop J Sport Med 2016;4(2). doi: 10.1177/2325967115627608 [2325967115627608].*
- [27] *Forthomme B, Crielaard JM, Croisier JL. Scapular positioning in athlete's shoulder: particularities,*

- clinical measurements and implications. Sport Med* 2008;38(5):369-86. doi: 10.2165/00007256-200838050-00002.
- [28] Osbahr DC, Canno nDL, Speer KP. Retroversion of the humerus in the throwing shoulder of college baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2002;30(3):347-53. doi: 10.1177/03635465020300030801.
- [29] Tooth C, Croisier JL, Schwartz C. The influence growth and development on shoulder rotators strength in young male and female elite tennis players. *J Sports Med Phys Fitness* 2022;13422-5. doi: 10.23736/S0022-4707.22.13422-5 [Published online February 2022].
- [30] Tonin K, Strazar K, Burger H, Vidmar G. Adaptive changes in the dominant shoulders of female professional overhead athletes. *Int J Rehabil Res* 2013;36(3):228-35. doi: 10.1097/MRR.0b013e32835d0b87.
- [31] Ellenbecker TS, Roetert EP, Piorkowski PA, Schulz DA. Glenohumeral joint internal and external rotation range of motion in elite junior tennis players. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996;24 (6):336-41. doi: 10.2519/jospt.1996.24.6.336.
- [32] Turgut E, Colakoglu FF, Baltaci G. Scapular motion adaptations in junior overhead athletes: a three-dimensional kinematic analysis in tennis players and non-overhead athletes. *Sport Biomech* 2019;18(3):308-16. doi: 10.1080/14763141.2017.1409256.
- [33] Kibler BW, Sciascia A, Wilkes T. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20 (6):364-72. doi: 10.5435/JAAOS-20-06-364.
- [34] Downar JM, Sauers EL. Clinical measures of shoulder mobility in the professional baseball player. *J Athl Train* 2005;40(1):23-9.
- [35] Ellenbecker T, Roetert EP, Petracek K, Kovacs M, Barajas N, Bailie D. Bilateral comparison of anterior shoulder position in elite tennis players. *Int J Sports Phys Ther* 2022;17(5):863-9. doi: 10.26603/001C.36629.
- [36] Chandler TJ, Kibler WB, Stracener EC, Ziegler AK, Pace B. Shoulder strength, power, and endurance in college tennis players. *Am J Sports Med* 1992;20(4):455-8. doi: 10.1177/036354659202000416.
- [37] Ellenbecker T, Roetert EP. Age specific isokinetic glenohumeral internal and external rotation strength in elite junior tennis players. *J Sci Med Sport* 2003;6(1):63-70. doi: 10.1016/S1440-2440(03)80009-9.
- [38] Gozlan G, Bensoussan L, Coudreuse JM, et al. Mesure de la force des muscles rotateurs de l'épaule chez des sportifs sains de haut niveau (natation, volley-ball, tennis) par dynamomètre isocinétique :

- comparaison entre épaule dominante et non dominante. *Ann Réadaptation Médecine Phys* 2006;49(1):8-15. doi: 10.1016/j.annrmp.2005.07.001.
- [39] Saccol MF, Gracitelli GC, da Silva RT, et al. Shoulder functional ratio in elite junior tennis players. *Phys Ther Sport* 2010;11(1):8-11. doi: 10.1016/j.ptsp.2009.11.002.
- [40] Silva RT, Gracitelli GC, Saccol MF, Frota De Souza Laurino C, Silva AC, Braga-Silva JL. Shoulder strength profile in elite junior tennis players: Horizontal adduction and abduction isokinetic evaluation. *Br J Sports Med* 2006;40(6):513-7. doi: 10.1136/bjism.2005.023408.
- [41] Tooth C, Gofflot A, Schwartz C, et al. Risk factors of overuse shoulder injuries in overhead athletes: a systematic review. *Sports Health* 2020;12(5):478-87. doi: 10.1177/1941738120931764.
- [42] Young SW, Dakic J, Stroia K, Nguyen ML, Harris AHS, Safran MR. High incidence of infraspinatus muscle atrophy in elite professional female tennis players. *Am J Sports Med* 2015;43 (8):1989-93. doi: 10.1177/0363546515588177.
- [43] Ellenbecker TS, Dines D, Renstrom P, Windler G. Visual observation of apparent infraspinatus muscle atrophy in professional male tennis players. *J Orthop Sport Phys Ther* 2018;48(1):A38.
- [44] Johansson FR, Skillgate E, Adolfsson A, et al. Asymptomatic elite adolescent tennis players' signs of tendinosis in their dominant shoulder compared with their nondominant shoulder. *J Athl Train* 2015;50(12):1299-305. doi: 10.4085/1062-6050-51.1.07.
- [45] Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med* 2007;17(3):215-9. doi: 10.1097/JSM.0b013e3180592a48.
- [46] Edouard P, Degache F, Oullion R, Plessis JY, Gleizes-Cervera S, Calmels P. Shoulder strength imbalances as injury risk in handball. *Int J Sports Med* 2013;34(7):654-60. doi: 10.1055/s-0032-1312587.
- [47] Clarsen B, Bahr R, Andersson SH, Munk R. Reduced gleno-humeral rotation, external rotation weakness and scapular dyskinesis are risk factors for shoulder injuries among elite male handball players: a prospective cohort study. *Br J Sport Med* 2014;48:1327-33. doi: 10.1136/bjsports-2014-093702.
- [48] Achenbach L, Laver L, Walter SS, Zeman F, Kuhr M, Krutsch W. Decreased external rotation strength is a risk factor for overuse shoulder injury in youth elite handball athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28(4):1202-11. doi: 10.1007/S00167-019-05493-4.

- [49] Shanley E, Thigpen CA, Clark JC, et al. Changes in passive range of motion and development of glenohumeral internal rotation deficit (GIRD) in the professional pitching shoulder between spring training in two consecutive years. *J Shoulder Elb Surg* 2012;21:1605-12. doi: 10.1016/j.jse.2011.11.035.
- [50] Asker M, Brooke HL, Waldén M, et al. Risk factors for, and prevention of, shoulder injuries in overhead sports: a systematic review with best- evidence synthesis. *Br J Sport Med* 2018;0 (10):1-9.
- [51] Pozzi F, Plummer HA, Shanley E, et al. Preseason shoulder range of motion screening and in-season risk of shoulder and elbow injuries in overhead athletes: systematic review and meta- analysis. *Br J Sports Med* 2020;54(17):1019-27. doi: 10.1136/BJSPORTS-2019-100698.
- [52] Moller M, Nielsen RO, Attermann J, et al. Handball load and shoulder injury rate: a 31-week cohort study of 679 elite youth handball players. *Br J Sports Med* 2017;51(4):231-7. doi: 10.1136/bjsports-2016-096927.
- [53] Hickey D, Solvig V, Cavalheri V, Harrold M, Mckenna L. Scapular dyskinesis increases the risk of future shoulder pain by 43 % in asymptomatic athletes: a systematic review and meta- analysis. *Br J Sports Med* 2018;52(2):102-10. doi: 10.1136/bjsports-2017-097559.
- [54] Asker M, Waldén M, Kallberg H, Holm LW, Skillgate E. Preseason clinical shoulder test results and shoulder injury rate in adolescent elite handball players: a prospective study. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020;50(2):67-74. doi: 10.2519/jospt.2020.9044.
- [55] Steindler A. *Kinesiology of the human body: under normal and pathological conditions*. Illinois: Springfield; 1955.
- [56] Kovacs M, Ellenbecker T. An 8-stage model for evaluating the tennis serve: implications for performance enhancement and injury prevention. *Sports Health* 2011;3(6):504-13. doi: 10.1177/1941738111414175.
- [57] Lintner D, Noonan TJ, Kibler Ben W. Injury patterns and biomechanics of the athlete's shoulder. *Clin Sports Med* 2008;27(4):527-51. doi: 10.1016/J.CSM.2008.07.007.
- [58] Kibler W, Ben, Ludwig PM, McClurePW, MichenerLA, BakK, Sciascia AD. Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the "ar summit". *Br J Sports Med* 2013;47(14):877-85. doi: 10.1136/bjsports-2013- 092425.
- [59] Martin C, KulpaR, Delamarche P, BideauB. Professional tennis players' serve: correlation between segmental angular momentums and ball velocity. *Sport Biomech* 2013;12(1):2-14. doi: 10.1080/14763141.2012.734321.
- [60] Girard O, Micallef JP, Millet GP. Influence of restricted knee motion during the flat first serve in tennis.

J Strength Cond Res 2007;21(3):950. doi: 10.1519/R-20876.1.

- [61] Vad VB, Gebeh A, Dines D, Altchek D, Norris B. Hip and shoulder internal rotation range of motion deficits in professional tennis players. *J Sci Med Sport* 2003;6(1):71-5. doi: 10.1016/S1440-2440(03)80010-5.
- [62] Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, Pratt N, Sennett B. Comparison of 3-Dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *J Orthop Sport Phys Ther* 1999;29(10):574-86. doi: 10.2519/JOSPT.1999.29.10.574.
- [63] Gandhi J, ElAttrache NS, Kaufman KR, Hurd WJ. Voluntary activation deficits of the infraspinatus present as a consequence of pitching-induced fatigue. *J Shoulder Elb Surg* 2012;21(5):625-30. doi: 10.1016/j.jse.2011.04.012.
- [64] Rota S, Morel B, Saboul D, Rogowski I, Hautier C. Influence of fatigue on upper limb muscle activity and performance in tennis. *J Electromyogr Kinesiol* 2014;24(1):90-7. doi: 10.1016/J.JELEKIN.2013.10.007.
- [65] Lyndsey Rich R, Struminger AH, Steven Tucker W, Munkasy BA, Barry Joyner A, Buckley TA. Scapular upward-rotation deficits after acute fatigue in tennis players. *J Athl Train* 2016;51(6):474-9. doi: 10.4085/1062-6050-51.7.05.
- [66] Tubez F, Schwartz C, Paulus J, et al. Which tool for a tennis serve evaluation? A review. *Int J Perform Anal Sport* 2017;17(6):1007-33. doi: 10.1080/24748668.2017.1419407.
- [67] Cools AM, Maenhout AG, Vanderstucken F, Declève P, Johanson FR, Borms D. The challenge of the sporting shoulder: from injury prevention through sport-specific rehabilitation toward return to play. *Ann Phys Rehabil Med* 2021;64(4):101384. doi: 10.1016/j.rehab.2020.03.009.
- [68] Verhagen E, VanDykn, Clark N, Shrier I. Do not throw the baby out with the bathwater; screening can identify meaningful risk factors for sports injuries. *Br J Sport Med* 2018;52(19). doi: 10.1136/bjsports-2017-098547.
- [69] Ivo H, Franciscus M, Pas L, et al. Effectiveness of an e-health tennis-specific injury prevention programme: randomised controlled trial in adult recreational tennis players. *Br J Sport Med* 2020;54:1036-41. doi: 10.1136/bjsports-2019-101142.
- [70] Pas HIMFL, Bodde S, Kerkhoffs GMMJ, et al. Systematic development of a tennis injury prevention programme. *BMJ open Sport Exerc Med* 2018;4(1). doi: 10.1136/BMJSEM-2018-000350.
- [71] Andersson SH, Bahr R, Olsen MJ, Myklebust G. Attitudes, beliefs, and behavior toward shoulder injury prevention in elite handball: Fertile ground for implementation. *Scand J Med Sci Sport*

2019;29(12):1996-2009. doi: 10.1111/sms.13522.

- [72] *Bolling C, Barboza SD, Van Mechelen W, Roeline Pasman H. Letting the cat out of the bag: athletes, coaches and physiotherapists share their perspectives on injury prevention in elite sports. Br J Sports Med* 2020;54(14):871-7. doi: 10.1136/BJSPORTS-2019-100773.
- [73] *Zarei M, Eshghi S, Hosseinzadeh M. The effect of a shoulder injury prevention programme on proprioception and dynamic stability of young volleyball players; a randomized controlled trial. BMC Sport Sci Med Rehabil* 2021;13(1):1-9. doi: 10.1186/S13102-021-00300-5.
- [74] *Bizzini M, Dvorak J. FIFA 11+: an effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide-a narrative review. Br J Sports Med* 2015;49(9):577. doi: 10.1136/BJSPORTS-2015-094765.
- [75] *Tooth CU de LU> D des sciences de la motricité>K générale et réadaptation. Assessing the Sporting Shoulder: A Critical Analysis of the Current Tools. 2022.*
- [76] *Schwank A, Blazey P, Asker M, et al. 2022 Bern consensus statement on shoulder injury prevention, rehabilitation, and return to sport for athletes at all participation levels. J Orthop Sports Phys Ther* 2022;52(1):11-28. doi: 10.2519/JOSPT.2022.10952.
- [77] *Fu MC, Ellenbecker TS, Renstrom PA, Windler GS, Dines DM. Epidemiology of injuries in tennis players. Curr Rev Musculoskelet Med* 2018;11(1). doi: 10.1007/S12178-018-9452-9.