

Evaluation du statut hydrique et du sommeil des athlètes durant le mois de Ramadan

Assessment of hydration Status and sleep in athletes during Ramadan month

Khaled Trabelsi^{1,2}, Mohamed Romdhani^{3,4}, Juan-Jose Morillas Pedreno⁵, Capucine Bertrand⁵, Haitham Jahrami^{6,7}, Karim Chamari⁸

1. Research laboratory Education, Motricité, Sport et Santé, EM2S, LR19JS01, High Institute of Sport and Physical Education of Sfax, University of Sfax, Tunisia
2. Department of Movement Sciences and Sports Training, School of Sport Science, The University of Jordan, Amman, Jordan
3. Activité Physique, Sport et Santé, UR18JS01, Observatoire National des Sports, Tunis, Tunisie
4. Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et Psychologie : Activité Physique, Santé et Apprentissage (LINP2), UFR STAPS, Université Paris Nanterre, Nanterre, France
5. Paris Saint-Germain Football Club
6. Government Hospitals, Manama, Bahrain
7. Department of Psychiatry, College of Medicine and Medical Sciences, Arabian Gulf University, Manama, Bahrain
8. Naufar, Wellness and Recovery Center, Doha, Qatar

RÉSUMÉ

Introduction: Le jeûne du Ramadan (JdR) peut induire une hypohydratation chez les athlètes, en raison de l'abstention d'eau durant la journée, ainsi qu'une perturbation du sommeil liée aux horaires d'entraînement modifiés et à l'augmentation des activités sociales nocturnes. Ces changements peuvent altérer la performance sportive, rendant nécessaire une évaluation régulière de l'hydratation et du sommeil.

Méthodes: Cette fiche technique s'appuie sur des données issues de revues systématiques, méta-analyses, revues parapluies, revues narratives et consensus d'experts pour proposer des recommandations pratiques adaptées au contexte du Ramadan.

Résultats: La masse corporelle seule n'est pas un indicateur fiable pour un suivi quotidien du statut hydrique, en raison des variations de composition corporelle durant le JdR. L'analyse de la densité et de la couleur de la première urine du matin est simple, rapide et efficace. La double pesée avant et après l'effort reste la méthode la plus précise pour estimer les pertes hydriques aiguës. Pour le sommeil, les montres intelligentes et l'actigraphie sont recommandées. En l'absence de ces outils, les agendas de sommeil peuvent être utilisés avec rigueur. Les questionnaires classiques sont peu sensibles aux spécificités du Ramadan et donc à éviter. Par ailleurs, un état d'hyperhydratation peut perturber le sommeil nocturne par une augmentation de la diurèse, ce qui souligne l'intérêt d'une évaluation combinée du statut hydrique et du sommeil.

Conclusion: Un suivi rigoureux du statut hydrique et du sommeil durant le Ramadan est essentiel pour préserver la santé globale, limiter les effets physiologiques négatifs et optimiser les performances des athlètes.

Mots clés: Équilibre hydro-électrolytique, Eau, Jeûne intermittent, Qualité du sommeil, Sommeil nocturne, Sport

ABSTRACT

Introduction: Ramadan fasting (RF) can induce hypohydration in athletes due to the abstention from water during daylight hours, as well as sleep disturbances related to modified training schedules and increased nighttime social activities. These changes may negatively affect athletic performance, making regular assessment of hydration and sleep essential.

Methods: This review is based on data from systematic reviews, meta-analyses, umbrella reviews, narrative reviews, and expert consensus to provide practical recommendations tailored to the context of Ramadan.

Results: Body mass alone is not a reliable indicator for daily monitoring of hydration status due to changes in body composition during RF. Monitoring the specific gravity and color of the first morning urine sample is a simple, quick, and effective method. Pre- and post-exercise body mass measurement remains the most accurate approach for estimating acute fluid loss. For sleep monitoring, smartwatches and actigraphy are recommended. In the absence of these tools, sleep diaries may be used with caution. Standardized sleep questionnaires are not well-suited to the specific characteristics of Ramadan and should be avoided. Moreover, a state of hyperhydration may disrupt nighttime sleep by increasing nocturnal urination, highlighting the importance of simultaneously monitoring hydration status and sleep.

Conclusion: Hydration status and sleep must be rigorously monitored throughout Ramadan to preserve overall health, reduce physiological strain, and optimize athletic performance.

Keywords: Intermittent fasting, Sleep duration, Sleep quality, Sport, Water, Water-electrolyte balance

Correspondance

Khaled Trabelsi

Research laboratory Education, Motricité, Sport et Santé, EM2S, LR19JS01, High Institute of Sport and Physical Education of Sfax, University of Sfax, Tunisia

Email: trabelsikhaled@gmail.com

INTRODUCTION

L'eau corporelle totale (ECT) est le principal composant chimique du corps humain. Elle représente environ 60% du poids corporel total chez un homme moyen de 70 kg, soit approximativement 42 L (1). Cette eau constitue le milieu essentiel où se déroulent des processus physiologiques et biochimiques fondamentaux, tant au niveau intracellulaire qu'extracellulaire (2). Des déficits mineurs en eau corporelle, principalement saline (hypohydratation, ou déshydratation, de seulement 2 à 3% du poids du corps), peuvent entraîner des perturbations significatives telles qu'une diminution des fonctions cognitives, une thermorégulation altérée, une fonction cardiovasculaire compromise et une réduction de la performance physique (3, 4). Lorsque ces déficits dépassent 3%, les risques deviennent nettement plus graves, avec une probabilité accrue de souffrir de troubles, tels que des crampes, un épuisement par la chaleur ou carrément un coup de chaleur quand les conditions environnementales sont propices à cet accident (3). Pour atténuer ces risques, il est essentiel d'évaluer le statut hydrique des individus engagés dans la pratique des activités physiques ou sportives (5). Ce suivi permettrait de mettre en place des interventions appropriées pour prévenir les effets néfastes de l'hypohydratation (6). Dans ce contexte, plusieurs marqueurs et outils ont été validés pour évaluer le statut hydrique tels que la gravité spécifique de l'urine et l'osmolalité/osmolarité plasmatique ou urinaire (7). De nouveaux indicateurs, tels que l'osmolalité des larmes, sont également en cours de validation dans le domaine de la médecine du sport (8). Il convient de souligner qu'aucune méthode ne peut être considérée comme plus pertinente, car le choix de l'outil dépend du contexte et des objectifs spécifiques de l'évaluation (9).

Le sommeil joue un rôle crucial dans la réalisation des performances sportives optimales, car il constitue un facteur essentiel à la récupération physique et cognitive (10). Il contribue également à la régulation de l'humeur et à l'efficacité du système immunitaire (11-13). Cependant, les athlètes rencontrent souvent des difficultés à maintenir une quantité et une qualité de sommeil adéquates en raison de plusieurs facteurs liés à la pratique sportive (par exemple jet-lag, charge d'entraînement et fréquence de compétition) et d'autres non liés à la pratique sportive tels que le jeûne du Ramadan (JdR) (10). En fait, la privation ou la perturbation (chronique ou aiguë) du sommeil altère les performances physiques et cognitives (14), affaiblit le système immunitaire, et nuit au bien-être général des athlètes (15), tout en augmentant le risque de blessures (16, 17). Par conséquent, l'évaluation et l'optimisation des habitudes de sommeil chez les athlètes sont essentielles (18). Une variété de méthodes objectives et subjectives, telles que les montres intelligentes, l'actigraphie et les questionnaires du sommeil sont disponibles à cet effet (18). Ainsi, à la lumière des effets bien documentés d'une hydratation insuffisante et d'un sommeil perturbé sur la performance et la santé des athlètes, certaines périodes de l'année, telles que le mois de Ramadan, peuvent représenter un défi physiologique supplémentaire (19-21).

Pendant cette période de jeûne de 29 ou 30 jours pratiquée par les Musulmans du monde entier, l'abstention de manger et de boire entre l'aube (El Fajr) et le coucher du soleil (El Maghreb), associée aux exigences de l'entraînement et de la compétition, complique fortement le maintien d'une hydratation optimale (22). En effet, plusieurs études ont montré une altération du statut hydrique des sportifs durant le Ramadan (23-25), suscitant des préoccupations quant aux effets négatifs potentiels sur la performance physique et la santé globale.

Le sommeil peut également être perturbé durant le Ramadan (26). Cette perturbation se manifeste souvent par une réduction de la durée totale du sommeil, en raison de facteurs tels que les changements des horaires de repas, les modifications des heures d'entraînement et l'augmentation des activités sociales nocturnes (26-28). La combinaison d'un sommeil non optimal et d'un statut hydrique altéré peut avoir des effets particulièrement néfastes sur l'athlète (22). Il est donc important de surveiller le statut hydrique et les habitudes de sommeil des athlètes pendant le mois de Ramadan en utilisant des outils et des méthodes fiables, valides et adaptés au contexte sportif. En outre, les entraîneurs, les nutritionnistes et le personnel médical doivent être bien formés sur ces méthodes. Cela permettra de mettre en place des stratégies efficaces, garantissant ainsi une hydratation et un sommeil optimaux tout en prévenant les impacts négatifs potentiels sur la performance et la santé des athlètes.

Cette fiche technique avait trois objectifs principaux: (i) Identifier et évaluer les outils et méthodes les plus adaptés pour surveiller le statut hydrique et le sommeil des athlètes pendant le Ramadan, (ii) Explorer les relations potentielles entre ces deux facteurs durant cette période et (iii) Présenter des recommandations pratiques pour les athlètes, les entraîneurs et le personnel médical.

ÉVALUATION DU STATUT HYDRIQUE

Le statut hydrique peut être évalué à l'aide de différents marqueurs, notamment l'ECT, les indicateurs sanguins et les indicateurs urinaires, chacun ayant ses méthodologies, avantages et limites spécifiques (7, 9, 29-31).

Eau corporelle totale

Les techniques de dilution de traceur

Les techniques de dilution de traceur, telles que l'eau marquée au deutérium ou à l'oxygène-18, sont considérées comme des méthodes de référence pour mesurer l'ECT et sont souvent utilisées pour valider d'autres outils ou techniques évaluant l'ECT (5, 23-25). Elles impliquent l'administration d'une dose connue de traceur, suivie de prélèvements urinaires, salivaires ou plasmatiques après 3 à 5 heures. La concentration du traceur dans l'échantillon prélevé permet d'estimer le volume de dilution: Une faible concentration indique un volume liquidien élevé, et vice-versa (26). Bien que ces méthodes offrent une grande précision (1-2%)

pour détecter de petits changements dans les liquides corporels (26), elles sont peu utilisées dans les sciences du sport en raison de leur manque de portabilité, de leur coût élevé, de la complexité des procédures et de l'expertise technique requise (23).

L'analyse par activation neutronique

L'analyse par activation neutronique est également considérée comme une technique de référence pour la mesure de l'ECT (9, 30). Le principe de cette technique consiste à produire par irradiation des radio-isotopes qui seront ensuite identifiés grâce à leurs propriétés nucléaires (nature et énergie du rayonnement, demi-vie) (32). Cependant, son utilisation en médecine du sport est limitée en raison de sa faible portabilité, de son coût élevé, de l'expertise technique requise et de la durée des analyses (9).

L'impédancemétrie bioélectrique

L'impédancemétrie bioélectrique (IBE), méthode de prédiction, est utilisée pour estimer l'ECT (31). En bref, cette technique mesure l'opposition du corps (impédance) au passage d'un courant électrique continu de basse tension et de faible ampérage. L'eau et les électrolytes sont de bons conducteurs. Cependant, la graisse, la peau et l'os possèdent une résistance beaucoup plus grande au passage du courant électrique. Les algorithmes spécifiques utilisent cette mesure de résistance, ainsi que d'autres variables comme l'âge, le sexe, la taille et le poids, pour estimer l'ECT (33).

Cependant, il est à noter que l'IBE n'est pas assez sensible pour détecter un état d'hypohydratation après une période de perte de poids volontaire chez des sportifs pratiquant différents sports de combat (34) ou après un exercice provoquant un état d'hypohydratation (35, 36). En outre, l'IBE présente une faible résolution de mesure de l'ECT l'empêchant par conséquent de mesurer précisément les pertes hydriques inférieures à 800-1000 mL (9). Ainsi, cet outil reste inapproprié pour mesurer de petites variations dans l'ECT (37, 38).

L'impédancemétrie est une méthode simple, rapide, non invasive et relativement coûteuse (31, 39-41). Cependant, la précision et la fiabilité des mesures de l'IBE nécessitent des conditions strictement standardisées et contrôlées, en particulier la position du sujet (42), le placement des électrodes (43), l'exercice physique (44), l'apport hydrique et alimentaire (41), la température de la peau (43) et la tonicité du plasma (45). En résumé, bien que l'IBE, l'analyse par activation neutronique, et les techniques de dilution de traceur soient des méthodes reconnues, leur utilité pour surveiller le statut hydrique des athlètes reste limitée en raison des contraintes pratiques associées.

Les indicateurs sanguins

L'hématocrite, la concentration sanguine en hémoglobine, l'osmolalité plasmatique/sérique et la concentration sérique/plasmatique en sodium sont généralement utilisés comme des indicateurs sanguins du statut hydrique des sujets pratiquant une activité physique (5).

Hématocrite et hémoglobine

L'hématocrite est le volume occupé par les globules rouges circulant dans le sang exprimé en pourcentage par rapport au volume total du sang, et l'hémoglobine est la protéine transportant l'oxygène dans les globules rouges (46). Une détermination de l'hématocrite et de l'hémoglobine permet d'estimer la variation du volume plasmatique (47). La micro-hématocrite est la méthode standard pour la détermination de l'hématocrite (48). Après une étape de centrifugation permettant d'isoler le plasma des globules rouges, l'hématocrite est calculé suite à une comparaison entre la hauteur de la couche formée par les globules rouges et la hauteur de l'échantillon entier dans le tube. Les automates d'hématologie peuvent fournir une mesure précise de l'hémoglobine et de l'hématocrite (49). La mesure de l'hématocrite et de l'hémoglobine, pour une comparaison ultérieure des valeurs, nécessite une posture standardisée (un repos d'environ 15-20 minutes) à fin de neutraliser l'influence de la posture sur les déplacements des liquides corporels entre les divers compartiments (50). Cependant, la prise du sang peut entraîner des risques d'hémorragie, d'hématome, d'évanouissement et d'infection, ce qui limite l'utilisation des marqueurs hématologiques pour évaluer le statut hydrique dans le domaine sportif.

L'osmolalité plasmatique/sérique

L'osmolalité d'une solution dépend du nombre total de particules dans la solution chimique (51). L'osmolalité plasmatique est généralement déterminée par la méthode de cryoscopie sur un osmomètre. Les valeurs de référence de l'osmolalité plasmatique sont d'environ 275-300 mOsm•kg⁻¹ (52). L'osmolalité plasmatique est positivement corrélée avec le statut hydrique. En effet, elle augmente lorsque le sujet est hypohydraté et diminue lorsqu'il est hyperhydraté (53). Les études antérieures ont rapporté que l'osmolalité plasmatique pouvait être considérée comme un marqueur de référence pour l'évaluation du statut hydrique de l'humain (31, 53). Cependant, l'osmolalité plasmatique ne constitue pas un bon indicateur du statut hydrique pendant la phase de réhydratation suite à un exercice provoquant une hypohydratation (54). En outre, les changements de posture peuvent influencer les mesures de l'osmolalité plasmatique (41). Par ailleurs, tout comme la mesure de l'hématocrite, la mesure de l'osmolalité plasmatique est invasive (risque d'infection, des ecchymoses) et est de surcroît coûteuse, ce qui limite son application dans le domaine sportif pour surveiller régulièrement le statut hydrique des athlètes (31).

Les concentrations sériques/plasmatiques en sodium

Après une prise de sang suivie par l'étape de centrifugation, la concentration plasmatique/sérique en sodium peut être déterminée en utilisant des automates de biochimie ou des appareils portables (ex. i-STAT) (55). Généralement, les concentrations sériques/plasmatiques en sodium sont utilisées pour l'évaluation du statut hydrique des athlètes participant à des événements prolongés (ex. marathon) (56). Les courses de longue distance peuvent induire une hyponatrémie (concentration de sodium inférieure à

130 mmol·L⁻¹) (57, 58) et des valeurs supérieures à 145 mmol·L⁻¹ peuvent indiquer un état d'hypohydratation (31, 59). Tout comme les deux mesures précédentes, cette mesure est invasive, limitant son utilisation dans le domaine du suivi de l'athlète.

Les indicateurs urinaires

Plusieurs indicateurs urinaires du statut hydrique peuvent être utilisés, notamment l'osmolalité urinaire, la densité urinaire, la conductivité électrique de l'urine et la couleur de l'urine (29, 60). Ces indicateurs pourraient être utilisés comme des marqueurs du statut hydrique chez des sujets sportifs (5).

L'osmolalité urinaire

Les échantillons d'urine peuvent être obtenus de manière non invasive et leur osmolalité peut être déterminée à l'aide d'un osmomètre (61). Une osmolalité urinaire inférieure à 600 mOsm·kg⁻¹ indique un état d'euhydratation (c'est-à-dire un équilibre hydrique corporel optimal), tandis qu'une osmolalité supérieure ou égale à 900 mOsm·kg⁻¹ suggère un état d'hypohydratation (60). Il est important de noter que la première miction du matin reflète le mieux le statut hydrique (62, 63). En effet, les facteurs parasites (comme l'apport hydrique et alimentaire) sont neutralisés et les compartiments liquidiens sont équilibrés en fin de la nuit (60, 64). Physiologiquement, l'osmolalité urinaire est considérée comme la mesure la plus précise de la concentration de l'urine (65). Toutefois, elle est moins efficace pour évaluer le statut hydrique pendant la phase de réhydratation après un exercice provoquant une hypohydratation (66). De plus, la nécessité d'un osmomètre et d'un technicien qualifié pour la mesure de l'osmolalité urinaire limite, quelque peu, son utilisation régulière pour le suivi du statut hydrique des sportifs (30).

La densité urinaire

La densité urinaire (ou la gravité spécifique de l'urine) est une mesure de la densité d'un échantillon d'urine par rapport à la masse volumique (1,000) de l'eau pure (30). Une densité urinaire supérieure à 1,020 indique un état d'hypohydratation tandis qu'une valeur inférieure ou égale à 1,020 témoigne d'un état d'euhydratation (67). La densité urinaire peut être déterminée au laboratoire ou en utilisant un réfractomètre portable. En outre, les bandelettes réactives peuvent être utilisées pour une détermination de la densité urinaire (68). La mesure de la densité urinaire est simple et non-invasive (31). De ce fait, elle représente la méthode préférée par les préparateurs physiques/membres de l'équipe médicale pour contrôler le statut hydrique des sportifs (22).

La conductivité électrique de l'urine

La conductivité électrique de l'urine peut être mesurée au laboratoire ou à l'aide d'un conductimètre portable. Kutlu et Guler (69) ont montré que la conductivité électrique de l'urine est corrélée (coefficient de corrélation = 0,672) avec l'osmolalité urinaire chez des sportifs pratiquant le Taekwondo durant la période préparatoire à une compétition. Encore une fois, l'aspect pratique peut

limiter son utilisation dans le milieu sportif.

La couleur de l'urine

En raison de l'impraticabilité de plusieurs marqueurs du statut hydrique, Armstrong et al. (29) ont développé la charte de la couleur de l'urine. Après la collecte de l'échantillon urinaire dans un récipient transparent, la couleur de l'urine peut être évaluée en se référant à la charte de la couleur de l'urine (29, 70). Une couleur «jaune», «jaune pâle» ou «jaune paille» est indicative d'un état d'euhydratation, alors qu'une couleur «sombre» est indicative d'un état d'hypohydratation (29, 70). La relation entre la couleur de l'urine et d'autres indicateurs urinaires (c'est-à-dire la densité urinaire, l'osmolalité urinaire et la conductivité électrique de l'urine) a été étudiée par Armstrong et al. (7). Ces derniers ont montré une corrélation positive entre la couleur de l'urine, la densité et l'osmolalité urinaire, et ont conclu que la couleur de l'urine peut être utilisée dans le milieu sportif pour évaluer le statut hydrique quand une précision élevée n'est pas nécessaire (7). Cependant, le contenu du régime alimentaire ou certains traitements médicaux sont susceptibles d'influencer la couleur de l'urine (71). En effet, une couleur jaune-orange peut être causée par la consommation d'une grande quantité de carottes et l'utilisation de l'ibuprofène peut causer une couleur brune-rouge (71). De même, la couleur de l'urine peut changer si l'évaluation n'est pas effectuée immédiatement après le prélèvement de l'échantillon d'urine (72).

La variation de la masse corporelle

La masse corporelle, déterminée à l'aide d'une pesée personne, est souvent utilisée comme un outil pour évaluer le statut hydrique des sportifs en laboratoire (38) et sur terrain (73). Pour évaluer régulièrement le statut hydrique des sportifs, les mesures de la masse corporelle doivent être effectuées dans des conditions standardisées (c'est-à-dire nus ou portant le minimum de vêtements, à la même heure de la journée, et sur une base stable et dure sur laquelle repose la balance), de préférence à jeun le matin après la miction et la défécation (63, 74). La variation de la masse corporelle d'un jour à l'autre est de ~1% (75). Cette information est utile car une réduction excessive de la masse corporelle indiquerait un état d'hypohydratation (41). La détermination d'une masse corporelle de base (lorsque le sujet est normo-hydraté) est nécessaire, mais elle ne devrait pas être utilisée comme une référence pendant plus de deux semaines (75). La détermination de la masse corporelle avant et après l'exercice physique peut être utilisée pour évaluer le statut hydrique du sportif. Il est bien admis qu'un mL d'eau a une masse d'un g (76). En outre, toute variation de la masse corporelle est supposée être due essentiellement à des changements au niveau du contenu hydrique total (77). De ce fait, la différence entre la masse corporelle déterminée avant et après l'exercice peut indiquer des changements dans le statut hydrique (73). Cet outil est pratique, précis et ne nécessite pas une expertise technique spécifique (73). Il pourrait ainsi être utilisé pour une évaluation régulière et aigüe du statut hydrique du sportif (73).

La salive

Le débit salivaire, l'osmolalité salivaire ainsi que sa composition en protéines sont considérés comme des marqueurs potentiels du statut hydrique, mais ils semblent être influencés par l'apport hydrique au cours de l'effort (78-81). A notre connaissance, aucune étude n'a évalué l'effet du JdR sur les marqueurs salivaires chez les athlètes durant le Ramadan; toutefois, des travaux ont été menés chez des sujets sédentaires (82, 83).

La soif

Lorsqu'un sujet est hypohydraté, les osmorécepteurs sont stimulés provoquant ainsi une réponse de soif par le cerveau (84). Cependant, une véritable sensation de soif n'est perçue qu'après une diminution de 1-2% de la masse corporelle et elle est atténuée avant l'atteinte d'un état d'euhydratation (30, 85). Pour l'évaluation du statut hydrique, plusieurs échelles de soif ont été développées (2, 86). La sensation de soif est un bon moyen pour rappeler l'athlète qu'il a besoin de boire plus régulièrement avant, pendant et après l'exercice (75). Cependant, la sensation de soif peut être influencée par plusieurs facteurs tels que l'âge, le sexe et l'acclimatement à la chaleur (30).

L'osmolalité des larmes

L'eau et les électrolytes sont les principaux composants du liquide lacrymal sécrété par la glande lacrymale (87). Le liquide lacrymal est iso-osmotique par rapport au plasma (87, 88). Par conséquent, Tiffany (87) a émis l'hypothèse que l'osmolalité des larmes pourrait constituer un indicateur du statut hydrique. L'osmolalité des larmes est mesurée à l'aide d'un osmomètre portable TearLab® (8). Cet appareil permet une mesure rapide n'exigeant pas une compétence technique spécifique (8). Certaines études ont montré que l'osmolalité des larmes est un bon indicateur du statut hydrique suite à un exercice réalisé en ambiance thermique chaude (8). Toutefois, il convient de noter que certains facteurs parasites sont susceptibles d'affecter les mesures d'osmolalité des larmes tels que l'exercice réalisé en plein air (mouvement de convection) et l'environnement (vent, soleil, pluie), ce qui peut limiter l'utilisation de l'osmolalité des larmes dans le milieu sportif et encore plus durant le Ramadan (77).

Evaluation du statut hydrique en milieu sportif

Déterminer le meilleur marqueur pour évaluer le statut hydrique des individus physiquement actifs et des athlètes est une tâche complexe (9). En effet, aucune méthode ne répond à toutes les exigences, en particulier en dehors des laboratoires (9). Les différents biomarqueurs offrent des niveaux de précision variables en fonction du contexte (9). Dans les milieux sportifs, où un suivi quotidien est nécessaire, la combinaison de la masse corporelle avec l'osmolalité, la densité ou la conductivité de l'urine est préférable (31).

Cheuvront et Sawka (75) suggèrent que (i) La couleur de

l'urine du premier matin, (ii) Les changements de masse corporelle dépassant 1 % et (iii) La perception de la soif peuvent indiquer une hypohydratation. La présence de deux marqueurs quelconques sur les trois, suggère une hypohydratation probable, et la présence des trois marqueurs la rend très probable (75). Cependant, une étude récente a montré que le score obtenu avec cette méthode n'est pas prédictif de la densité urinaire chez des athlètes (89). En outre, Cheuvront et Sawka (75) ont suggéré que pour surveiller les changements aigus de l'eau corporelle d'une heure à l'autre, comme avant et après l'entraînement, les mesures de la masse corporelle était la méthode la plus simple et la plus précise disponible.

Effet du jeûne de Ramadan sur le statut hydrique des athlètes

Les indicateurs sanguins

Les rares études ayant examiné les effets du JdR sur les indicateurs sanguins du statut hydrique, notamment l'hématocrite et la natrémie, ont rapporté des résultats contradictoires. Par exemple, Chaouachi et al. (19) ont observé une augmentation de l'hématocrite chez des judokas de haut niveau, tandis que Maughan et al. (2008) ont noté une diminution de ce paramètre chez des footballeurs. A l'inverse, d'autres études ont rapporté une élévation de l'hématocrite chez des rugbymen (23, 24), ce qui pourrait être lié à une réduction des apports hydriques durant le mois de Ramadan.

Concernant la natrémie, Maughan et al. (90) n'ont observé aucun changement significatif chez des footballeurs entre le début et la fin du Ramadan. En revanche, Trabelsi et al. (25) ont montré une augmentation significative de la natrémie chez des rugbymen durant le Ramadan comparativement aux valeurs enregistrées avant le début du mois.

Toutefois, les variations observées pour ces indicateurs sanguins demeuraient généralement dans les limites physiologiques, sans indiquer un état de déshydratation cliniquement avéré (25, 91).

Les indicateurs urinaires

L'effet du jeûne sur les indicateurs urinaires du statut hydrique, tels que la densité urinaire et l'osmolalité urinaire, a également été étudié. Une augmentation des valeurs de densité urinaire au repos a été rapportée à la fin du Ramadan chez des athlètes pratiquant des sports de puissance (92) et chez des coureurs de fond (93). En revanche, aucune variation significative n'a été observée chez des footballeurs (94) ni chez des pratiquants d'arts martiaux (95).

En ce qui concerne l'osmolalité urinaire, Wilson et al. (96) ont rapporté une augmentation significative de ce paramètre chez des footballeurs pendant le Ramadan. Les divergences observées dans la littérature peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment les différences dans les apports hydriques, les conditions climatiques, ainsi que l'intensité et la durée des séances d'entraînement.

Néanmoins, ces valeurs urinaires, bien qu'indicatives

de variations du statut hydrique, ne dépassaient généralement pas les seuils cliniques définissant une déshydratation (92, 93).

Recommandations pratiques pour l'évaluation du statut hydrique pendant le Ramadan

Plusieurs études menées par notre équipe de recherche ont utilisé des marqueurs urinaires et sanguins pour évaluer le statut hydrique, tels que la densité urinaire, le sodium sérique et l'osmolarité plasmatique (24, 25, 97). Toutefois, en pratique, l'utilisation de marqueurs sanguins pose des défis logistiques. Ainsi, nous préconisons l'adoption des méthodes non invasives qui ont prouvé leur efficacité dans l'évaluation du statut hydrique.

Sur le terrain, se limiter à la masse corporelle pour le suivi quotidien du statut hydrique des sportifs pendant le Ramadan peut s'avérer inapproprié en raison des modifications potentielles de la composition corporelle résultant des restrictions hydriques et énergétiques quotidiennes (22). Cependant, la masse corporelle reste un outil utile pour évaluer l'état d'hydratation aiguë en réponse à l'exercice (pré- et post-séance d'entraînement) pendant cette période. La densité urinaire et la couleur de l'urine (de la première urine recueillie) constituent une méthode pratique pour évaluer le statut hydrique pendant la période de Ramadan.

EVALUATION DU SOMMEIL DU SPORTIF PENDANT LE RAMADAN

L'effet du Ramadan sur le sommeil

Le JdR est accompagné par plusieurs changements comportementaux affectant à la fois la qualité et la quantité du sommeil (26-28, 98). Ces changements incluent, et ne sont pas limités à: La prise alimentaire nocturne, la consommation tardive des psychostimulants (principalement la caféine), et le sommeil diurne.

Prise alimentaire nocturne

Il a été rapporté que la consommation nocturne de la nourriture, pratiquée couramment observée durant le Ramadan, change l'architecture et diminue la qualité du sommeil (latence de sommeil plus longue, nombre de réveils plus important et réduction de l'efficacité du sommeil) (99). Par ailleurs, l'ingestion d'aliments en fin de soirée élève la température corporelle centrale, ce qui favorise l'éveil et retarde davantage l'endormissement (100). De plus, une consommation excessive de liquides autour du Suhoor peut entraîner une fragmentation du sommeil, en obligeant les athlètes à se réveiller plusieurs fois durant la nuit pour uriner (22). Il s'avère donc préférable de consommer, une heure avant l'heure du coucher, un petit repas de Suhoor tout en favorisant des nutriments qui contiennent du tryptophane (ex. les viandes, les poissons, les produits laitiers, les amandes et les noix de cajou). D'autre part, l'augmentation des activités sociales nocturnes durant le Ramadan est accompagnée par un sommeil retardé (26, 27).

En fait, la prise alimentaire à la rupture du jeûne est accompagnée par une amélioration d'humeur (sécrétion de la dopamine via le circuit de la récompense), ce qui explique pourquoi les athlètes musulmans préfèrent être actifs après la rupture du jeûne durant le Ramadan (101). De plus, le chronotype de l'athlète influence sa capacité à s'adapter aux horaires nocturnes du Ramadan; les sujets à chronotype vespéral (ou du soir) y étant généralement mieux adaptés (102).

La consommation des psychostimulants

La consommation des boissons est interdite entre l'aube et le coucher du soleil (26). De nombreux athlètes consomment des psychostimulants, notamment des boissons caféinées telles que le café ou le thé, après la rupture du jeûne (103). Cependant, la caféine présente une demi-vie relativement longue (environ 5 à 7 heures), ce qui peut interférer avec le sommeil nocturne en prolongeant la latence d'endormissement et en réduisant la proportion de sommeil lent profond (104). Il est donc conseillé de contrôler la consommation de caféine durant le mois de Ramadan.

Le sommeil diurne

Le JdR diminue la durée totale du sommeil des athlètes et des personnes actives qui continuent à s'entraîner durant le Ramadan (27, 28). Les athlètes sont notamment plus affectés par le JdR que les personnes physiquement actives (27). Pour compenser cette baisse de qualité et de quantité du sommeil nocturne, les athlètes font de longues siestes diurnes plus fréquemment qu'hors Ramadan (105). En effet, une sieste de 45 minutes s'est avérée avoir un meilleur effet sur les performances sportives qu'une sieste de seulement 25 minutes (106). Après une privation partielle de sommeil (4 heures 30 minutes au lit), ce qui est souvent le cas des athlètes musulmans durant le Ramadan, nous avons trouvé qu'une sieste de 90 minutes améliorait les performances sportives de façon plus prononcée qu'une sieste de seulement 20 minutes (107). Cependant, après une nuit de sommeil normal (8 heures au lit), nous avons trouvé qu'une sieste de 20 minutes améliorait les performances sportives alors que la sieste de 90 minutes les diminuait (108). L'efficacité des siestes dépend donc de l'état de l'athlète, avec un besoin de siestes plus longues si la nuit précédente était caractérisée par une privation de sommeil. Les siestes longues pourraient perturber le sommeil nocturne de la nuit qui suit (latence de sommeil plus longue), puisqu'elles contiennent du sommeil lent profond. De ce fait, le sommeil diurne peut être une arme à double tranchant durant le Ramadan. Il est donc recommandé de privilégier une sieste courte (20-30 minutes) si l'athlète a eu une nuit de sommeil normal et une sieste longue (60-90 minutes) si l'athlète a eu une nuit de privation partielle de sommeil.

Un autre aspect à ne pas négliger après une sieste longue (au-delà de 30 minutes), c'est que cette durée de sieste contient normalement du sommeil lent profond, et l'éveil va être accompagné par une inertie de sommeil (109). L'inertie de sommeil se manifeste par une sensation de désorientation qui suit le réveil d'un stade de sommeil

profond et qui peut perturber les performances sportives (110). Il faudrait donc planifier le réveil de sa sieste, au moins, une heure avant l'entraînement ou la compétition.

Evaluation du sommeil

Les facteurs clés du sommeil à prendre en considération sont la durée totale du sommeil, le moment de la phase du sommeil, et la quantité du sommeil lent profond (indicative de la qualité de sommeil). La surveillance de ces facteurs peut aider à identifier rapidement les mauvaises habitudes de sommeil, ce qui permet d'intervenir avant que des baisses significatives de performance et des effets négatifs sur la santé ne se produisent (111).

Mesure objective du sommeil

La polysomnographie

La polysomnographie (PSG) est considérée comme l'étalon-or pour l'évaluation de la quantité et de la qualité de sommeil au laboratoire (112). Elle mesure une série de paramètres physiologiques, tels que l'activité électrique du cerveau, des yeux et des muscles, ce qui permet de recueillir des informations complètes sur la qualité et la quantité du sommeil. Cependant, la complexité, le coût et la nécessité d'un équipement et d'une expertise spécialisés rendent la PSG moins pratique pour une utilisation de routine en milieu sportif (113).

Actigraphie

L'actigraphie offre une alternative pratique dans la quantification du sommeil sur de longues périodes, ce qui la rend mieux adaptée aux athlètes pendant le Ramadan (114). L'actigraphe est un petit gadget, généralement porté au poignet de la main non-dominante (comme une montre), est doté d'un accéléromètre très sensible aux mouvements (115). Une période d'activité correspond à une période d'éveil, et une période d'inactivité prolongée correspond à la phase de sommeil (116). L'actigraphie a montré une bonne corrélation avec la PSG pour la durée totale du sommeil, avec un coefficient de corrélation intraclasse de 0,76 (117).

Les montres intelligentes

Les montres intelligentes sont devenues des outils pratiques pour évaluer les habitudes de sommeil, combinant la fonctionnalité de l'actigraphie avec des fonctions supplémentaires de surveillance de la santé (18). Ces dispositifs peuvent suivre la durée, la qualité et les stades du sommeil avec une précision raisonnable. Certaines montres intelligentes (ex. Fitbit) nécessitent un abonnement pour accéder à des analyses détaillées des stades de sommeil. Bien que ces outils soient prometteurs, des améliorations restent nécessaires pour affiner ces mesures (118). De plus, il est important de noter que l'utilisation excessive des montres intelligentes peut entraîner un phénomène appelé orthosomnie, où l'individu recherche un sommeil parfait de manière obsessionnelle (119). Cette quête de perfection pourrait engendrer de l'anxiété chez les athlètes et perturber leur sommeil (119).

Autres outils

Les méthodes d'évaluation du sommeil basées sur les vêtements (ex. pyjamas), les dispositifs portables (ex. EarlySense, EmFit, Withings Aura), les capteurs portés sur la tête (ex. Somfit) et les dispositifs portables portés au doigt (ex. Oura, THIM, Motiv, GO2SLEEP) nécessitent des études de validation supplémentaires pour garantir leur fiabilité dans le domaine sportif (18).

Mesure subjective du sommeil

Agendas de sommeil

Les agendas de sommeil contiennent des données autodéclarées sur les habitudes de sommeil, y compris la durée totale et la qualité du sommeil (114). Bien qu'ils soient faciles à utiliser, les agendas de sommeil présentent souvent une faible corrélation avec les mesures objectives obtenues par PSG et ne devraient pas exclusivement être utilisés pour l'évaluation quantitative du sommeil chez les athlètes (120).

Questionnaires de sommeil

Les questionnaires de sommeil, tels que le Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), l'Athlete Sleep Behavior Questionnaire et l'Athlete Sleep Screening Questionnaire, fournissent des informations précieuses sur la qualité du sommeil (121-123). Ces outils peuvent aider à identifier les athlètes présentant un risque de troubles du sommeil (122, 123). Cependant, sur le plan pratique, les questionnaires validés sur des athlètes ne sont pas spécifiquement conçus pour le mois de Ramadan. En ce qui concerne le PSQI (121), qui évalue la qualité du sommeil sur une période de 30 jours, il peut être moins adapté pour détecter les troubles du sommeil qui surviennent au cours du mois de Ramadan et pour mettre en place des interventions ciblées pendant cette période. Cet outil ne prévoit notamment pas d'évaluer les siestes qui sont très présentes chez les athlètes pendant le Ramadan (27).

Recommandations pour la surveillance du sommeil des athlètes durant le Ramadan

Notre expérience dans le domaine montre que certains sportifs ont du mal à dormir avec des capteurs sur le cuir chevelu, et il arrive même qu'ils enlèvent ces capteurs involontairement pendant leur sommeil (124). Cependant, aucune difficulté liée à l'utilisation des actigraphes n'a été constatée chez les étudiants-athlètes pendant le Ramadan (103). Dans le milieu sportif, les montres intelligentes (ex. Fitbit Charge 5 ou 6) et les actigraphes constituent des alternatives pratiques pour une surveillance continue du sommeil pendant le Ramadan. En l'absence de ces dispositifs, les agendas de sommeil peuvent être utilisés avec prudence. Cependant, les questionnaires doivent être évités en raison de leur manque d'adaptabilité aux spécificités du Ramadan et de leur capacité limitée à permettre des interventions précoces.

SURVEILLANCE DU SOMMEIL ET DU STATUT HYDRIQUE PENDANT RAMADAN: UN LIEN POTENTIEL

Il est bien établi qu'un état d'hypohydratation léger peut nuire aux performances cognitives (125) et physiques (126). De même, un nombre croissant de travaux scientifiques confirme que la privation de sommeil ou un sommeil de mauvaise qualité affecte négativement la performance cognitive, en particulier les fonctions exécutives telles que l'attention, la concentration et la mémoire de travail, et peut également nuire directement à la performance physique et sportive (127). Pendant le Ramadan, les modifications du rythme de vie et les contraintes liées au jeûne entraînent une augmentation du risque d'hypohydratation (23, 24, 97) et de troubles du sommeil (124, 128). Cette combinaison de facteurs peut provoquer une baisse des performances cognitives (124) et physiques (128).

Pour atténuer les effets potentiellement délétères du JdR, la planification des séances d'entraînement est souvent adaptée dans les pays à majorité musulmane (96). Dans la majorité des cas, l'entraînement est déplacé en soirée, après la rupture du jeûne (96). Cette stratégie permet aux athlètes de s'entraîner dans un état physiologique plus stable, c'est-à-dire après une première prise alimentaire et hydrique, ce qui contribue à réduire les risques d'hypoglycémie, d'hypohydratation, ainsi que de fatigue excessive pouvant résulter d'un exercice intense effectué en plein jeûne. (96).

La programmation de ces séances en soirée offre également une fenêtre optimale pour réhydrater l'organisme après l'effort (22). En effet, les athlètes peuvent alors consommer des liquides et des électrolytes en quantité suffisante pour compenser les pertes liées à la transpiration et à l'activité physique. Toutefois, cette phase de réhydratation doit être soigneusement contrôlée (22). En l'absence d'un suivi individualisé des apports hydriques, deux risques opposés peuvent survenir: d'un côté, l'hypohydratation si la réhydratation est insuffisante; de l'autre, l'hyperhydratation si la consommation d'eau est excessive, ce qui peut entraîner une diurèse nocturne perturbant le sommeil (22).

Il est donc essentiel de recommander des stratégies de réhydratation ciblées, prenant en compte non seulement la quantité de liquide à consommer, mais aussi sa composition (notamment la teneur en sodium), le moment de l'ingestion, ainsi que les besoins individuels liés aux pertes sudorales, à la durée de l'effort et aux conditions environnementales (20, 22, 129). Les recommandations proposées par Trabelsi et al. (130) constituent un cadre de référence, permettant d'orienter les pratiques de réhydratation de manière fondée, en proposant des directives spécifiques visant à assurer un équilibre hydrique optimal tout en préservant la qualité du sommeil durant le mois de Ramadan.

CONCLUSION

Plusieurs outils et marqueurs du statut hydrique, dont la précision est variable, peuvent être utilisés

avec les athlètes. Sur le terrain, les variations aiguës du statut hydrique, causées par l'exercice durant le Ramadan, peuvent être efficacement quantifiées en mesurant la masse corporelle avant et après les séances d'entraînement. Cette méthode permet également de déterminer les apports hydriques nécessaires pour atteindre un état d'euhydratation. Dans ce cadre, pour une surveillance quotidienne du statut hydrique, la couleur de l'urine et/ou la densité urinaire sont des indicateurs utiles. Pour le suivi du sommeil pendant le Ramadan, les dispositifs recommandés sont l'actigraphie et les montres intelligentes. Si ces outils ne sont pas disponibles, les agendas de sommeil peuvent servir, mais leur utilisation doit être effectuée avec précaution.

REFERENCES

1. Bedogni G, Borghi A, Battistini N. Body water distribution and disease. *Acta Diabetol.* 2003;40:S200-2.
2. Armstrong L, Johnson E, McKenzie A, Muñoz C. Interpreting common hydration biomarkers on the basis of solute and water excretion. *Eur J Clin Nutr.* 2013;67(3):249-53.
3. Casa DJ, Armstrong LE, Ganio MS, Kavouras SA, Wingo JE. Hydration for High-Level Athletes. *Nutr Elite Athl.* 2015;249.
4. Shirreffs SM. The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutr Rev.* 2005;63(Suppl 1):S14-21.
5. Barley OR, Chapman DW, Abbiss CR. Reviewing the current methods of assessing hydration in athletes. *J Int Soc Sports Nutr.* 2020;17:1-13.
6. Zubac D, Marusic U, Karninčič H. Hydration status assessment techniques and their applicability among Olympic combat sports athletes: literature review. *Strength Cond J.* 2016;38(4):80-9.
7. Armstrong LE, Soto JAH, Hacker FT, Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM. Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1998;8(4):345-55.
8. Ungaro CT, Reimel AJ, Nuccio RP, Barnes KA, Pahnke MD, Baker LB. Non-invasive estimation of hydration status changes through tear fluid osmolarity during exercise and post-exercise rehydration. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115:1165-75.
9. Armstrong LE. Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J Am Coll Nutr.* 2007;26(Suppl 5):S75S-84S.
10. Walsh NP, Halson SL, Sargent C, Roach GD, Nédélec M, Gupta L, et al. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *Br J Sports Med.* 2021;55(7):356-68.
11. Romdhani M, Hammouda O, Chaabouni Y, Mahdouani K, Driss T, Chamari K, et al. Sleep deprivation affects post-lunch dip performances, biomarkers of muscle damage and antioxidant status. *Biol Sport.* 2019;36(1):55.
12. Fullagar HH, Vincent GE, McCullough M, Halson S, Fowler P. Sleep and sport performance. *J Clin Neurophysiol.* 2023;40(5):408-16.
13. Bender AM, Lambing KA. A practical guide to improve sleep and performance in athletes. *Int J Sports Sci Coach.* 2024;19(1):476-87.
14. Cook JD, Charest J. Sleep and performance in professional athletes. *Curr Sleep Med Rep.* 2023;9(1):56-81.
15. Singh M, Bird SP, Charest J, Workings M. Sleep and athletes. *Oper Tech Sports Med.* 2022;30(1):150897.
16. Mason L, Connolly J, Devenney LE, Lacey K, O'Donovan J, Doherty R. Sleep, Nutrition, and Injury Risk in Adolescent Athletes: A Narrative Review. *Nutrients.* 2023;15(24).
17. Charest J, Grandner MA. Sleep and Athletic Performance: Impacts on Physical Performance, Mental Performance, Injury Risk and Recovery, and Mental Health: An Update. *Sleep Med Clin.* 2022;17(2):263-82.
18. Driller MW, Dunican IC, Omond SE, Boukhris O, Stevenson S, Lambing K, et al. Pyjamas, polysomnography and professional athletes: The role of sleep tracking Technology in Sport. *Sports.*

- 2023;11(1):14.
19. Chaouachi A, Leiper JB, Chtourou H, Aziz AR, Chamari K. The effects of Ramadan intermittent fasting on athletic performance: recommendations for the maintenance of physical fitness. *J Sports Sci.* 2012;30(S1):S53-73.
 20. Chamari K, Roussi M, Bragazzi NL, Chaouachi A, Abdul RA. Optimizing training and competition during the month of Ramadan: Recommendations for a holistic and personalized approach for the fasting athletes. *Tunis Med.* 2019;97(10):1095-103.
 21. Washif JA, Aziz AR, Chamari K. The impact of Ramadan intermittent fasting on muslim and non-muslim athletes: A global perspective. *Tunis Med.* 2024;102(6):321-3.
 22. Trabelsi K, Stannard SR, Chtourou H, Moalla W, Ghozzi H, Jamoussi K, et al. Monitoring athletes' hydration status and sleep patterns during Ramadan observance: methodological and practical considerations. *Biol Rhythm Res.* 2018;49(3):337-65.
 23. Bouhlel E, Salhi Z, Bouhlel H, Mdella S, Amamou A, Zaouali M, et al. Effect of Ramadan fasting on fuel oxidation during exercise in trained male rugby players. *Diabetes Metab.* 2006;32(6):617-24.
 24. Trabelsi K, Rebai H, El-Abed K, Stannard SR, Khannous H, Masmoudi L, et al. Effect of Ramadan fasting on body water status markers after a rugby sevens match. *Asian J Sports Med.* 2011;2(3):186.
 25. Trabelsi K, Rebai H, el Abed K, Stannard S, Kallel C, Sahnoun Z, et al. Effect of Ramadan fasting on renal function markers and serum electrolytes after a rugby sevens match. *IOSR J Pharm.* 2012;2(5):42-50.
 26. Trabelsi K, Ammar A, Boukhris O, Boujelbane MA, Clark C, Romdhani M, et al. Ramadan intermittent fasting and its association with health-related indices and exercise test performance in athletes and physically active individuals: an overview of systematic reviews. *Br J Sports Med.* 2024;58(3):136-43.
 27. Trabelsi K, Ammar A, Glenn JM, Boukhris O, Khacharem A, Bouaziz B, et al. Does observance of Ramadan affect sleep in athletes and physically active individuals? A systematic review and meta-analysis. *J Sleep Res.* 2022;31(3):e13503.
 28. Trabelsi K, Bragazzi N, Zlitni S, Khacharem A, Boukhris O, El-Abed K, et al. Observing Ramadan and sleep-wake patterns in athletes: a systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Br J Sports Med.* 2020;54(11):674-80.
 29. Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, Bergeron MF, Kenefick RW, LaGasse KE, et al. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1994;4(3):265-79.
 30. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev.* 2005;63(Suppl 1):S40-54.
 31. Oppliger RA, Bartok C. Hydration testing of athletes. *Sports Med.* 2002;32:959-71.
 32. Albert P. L'analyse par radioactivation. Gauthier-Villars, Paris. 1964;1(1).
 33. Ward L, Isenring E, Dyer J, Kagawa M, Essex T. Resistivity coefficients for body composition analysis using bioimpedance spectroscopy: effects of body dominance and mixture theory algorithm. *Physiol Meas.* 2015;36(7):1529.
 34. Fernández-Eliás VE, Martínez-Abellán A, López-Gullón JM, Morán-Navarro R, Pallarés JG, De la Cruz-Sánchez E, et al. Validity of hydration non-invasive indices during the weightcutting and official weigh-in for Olympic combat sports. *PLoS One.* 2014;9(4):e95336.
 35. Saunders MJ, Blevins JE, Broeder CE. Effects of hydration changes on bioelectrical impedance in endurance trained individuals. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(6):885-92.
 36. Koulmann N, Jimenez C, Regal D, Bolliet P, Launay J-C, Savourey G, et al. Use of bioelectrical impedance analysis to estimate body fluid compartments after acute variations of the body hydration level. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(4):857-64.
 37. Ellis KJ, Wong WW. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with 2H₂O and bromine dilution. *J Appl Physiol.* 1998.
 38. Gudivaka R, Schoeller D, Kushner R, Bolt M. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol.* 1999;87(3):1087-96.
 39. Segal KR, Burastero S, Chun A, Coronel P, Pierson Jr RN, Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am J Clin Nutr.* 1991;54(1):26-9.
 40. Gualdi-Russo E, Toselli S. Influence of various factors on the measurement of multifrequency bioimpedance. *Homo.* 2002;53(1):1-16.
 41. Pelly FE, Slater GJ, King TM. Assessment of hydration of athletes. *Nutritional Assessment of Athletes: CRC Press; 2016.* p. 357-90.
 42. Shirreffs S, Maughan R. The effect of posture change on blood volume, serum potassium and whole body electrical impedance. *Eur J Appl Physiol.* 1994;69:461-3.
 43. Kushner RF, Gudivaka R, Schoeller DA. Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr.* 1996;64(3):423S-7S.
 44. Oppliger R, Bartok C, Hyder D, Gaffney S. Using bioelectrical impedance to estimate hydration status. *J Strength Cond Res.* 2005;19.
 45. O'Brien C, Baker-Fulco CJ, Young AJ, Sawka MN. Bioimpedance assessment of hypohydration. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:1466-71.
 46. Bouhlel E, Shephard RJ. Optimizing physical performance during fasting and dietary restriction: implications for athletes and sports medicine: CRC Press; 2015.
 47. Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol.* 1974;37(2):247-8.
 48. Strauchen JA, Alston W, Anderson J, Gustafson Z, Fajardo LF. Inaccuracy in automated measurement of hematocrit and corpuscular indices in the presence of severe hyperglycemia. *Blood.* 1981.
 49. Olatunya OS, Olu-Taiwo A, Ogundare EO, Oluwayemi IO, Olaleye AO, Fadare JO, et al. Evaluation of a portable haemoglobin metre performance in children with sickle cell disease and implications for healthcare in resource-poor settings. *J Trop Pediatr.* 2016;62(4):316-23.
 50. Francesconi R, Hubbard R, Szlyk P, Schnakenberg D, Carlson D, Leva N, et al. Urinary and hematologic indexes of hypohydration. *J Appl Physiol.* 1987;62(3):1271-6.
 51. Bhagat C, Garcia-Webb P, Fletcher E, Beilby J. Calculated vs measured plasma osmolalities revisited. *Clin Chem.* 1984;30(10):1703-5.
 52. Nirmalani A, Stock SL, Catalano G. Syndrome of inappropriate antidiuretic hormone associated with escitalopram therapy. *CNS Spectr.* 2006;11(6):429-32.
 53. Minton DM, Eberman LE. Best Practice for Clinical Hydration Measurement. *Athl Ther Today.* 2009;14(1).
 54. LA P. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:747-53.
 55. Mock T, Morrison D, Yatscove R. Evaluation of the i-STAT™ system: A portable chemistry analyzer for the measurement of sodium, potassium, chloride, urea, glucose, and hematocrit. *Clin Biochem.* 1995;28(2):187-92.
 56. Schenk K, Rauch S, Procter E, Grassegger K, Mrakic-Spota S, Gatterer H. Changes in Factors Regulating Serum Sodium Homeostasis During Two Ultra-Endurance Mountain Races of Different Distances: 69km vs. 121km. *Front Physiol.* 2021;12:764694.
 57. Hew-Butler T, Ayus JC, Kipps C, Maughan RJ, Mettler S, Meeuwisse WH, et al. Statement of the second international exercise-associated hyponatremia consensus development conference, New Zealand, 2007. *Clin J Sport Med.* 2008;18(2):111-21.
 58. Kenefick RW, Cheuvront SN. Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutr Rev.* 2012;70(Suppl 2):S137-42.
 59. Parrish CR, Rosner MH. Clinical observations correcting hypernatremia: Enteral or intravenous hydration. *Pract Gastroenterol.* 2014;137:68-72.
 60. Shirreffs SM, Maughan RJ. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(11):1598-602.
 61. Kamel KS, Ethier JH, Richardson RM, Bear RA, Halperin ML. Urine electrolytes and osmolality: when and how to use them. *Am J*

- Nephrol. 1990;10(2):89-102.
62. Maughan RJ, Shirreffs SM. Development of Individual Hydration Strategies for Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(5):457-72.
 63. Maughan R, Shirreffs S. Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20:40-7.
 64. Hamouti N, Coso JD, Ávila A, Mora-Rodriguez R. Effects of athletes' muscle mass on urinary markers of hydration status. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109(2):213-9.
 65. Chadha V, Garg U, Alon US. Measurement of urinary concentration: a critical appraisal of methodologies. *Pediatr Nephrol.* 2001;16:374-82.
 66. Kovacs E, Senden J, Brouns F. Urine color, osmolality and specific electrical conductance are not accurate measures of hydration status during postexercise rehydration. *J Sports Med Phys Fitness.* 1999;39(1):47.
 67. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BS, et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train.* 2000;35(2):212.
 68. Ersoy N, Ersoy G, Kutlu M. Assessment of hydration status of elite young male soccer players with different methods and new approach method of substitute urine strip. *J Int Soc Sports Nutr.* 2016;13:1-6.
 69. Kutlu M, Guler G. Assessment of hydration status by urinary analysis of elite junior taekwon-do athletes in preparing for competition. *J Sports Sci.* 2006;24(8):869-73.
 70. McKenzie AL, Munoz CX, Armstrong LE. Accuracy of urine color to detect equal to or greater than 2% body mass loss in men. *J Athl Train.* 2015;50(12):1306-9.
 71. Raymond J, Yarger W. Abnormal urine color: differential diagnosis. *South Med J.* 1988;81(7):837-41.
 72. Adams J, Kavouras SA, Johnson EC, Jansen LT, Capitan-Jimenez C, Robillard JI, et al. The effect of storing temperature and duration on urinary hydration markers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2017;27(1):18-24.
 73. Harvey G, Meir R, Brooks L, Holloway K. The use of body mass changes as a practical measure of dehydration in team sports. *J Sci Med Sport.* 2008;11(6):600-3.
 74. Jéquier E, Constant F. Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *Eur J Clin Nutr.* 2010;64(2):115-23.
 75. Cheuvront SN, Sawka MN. Hydration assessment of athletes. *Sports Sci Exchange.* 2005;18(2):1-6.
 76. Lentner C. Geigy scientific tables. 1981.
 77. Cheuvront SN, Kenefick RW. Dehydration: physiology, assessment, and performance effects. *Compr Physiol.* 2011;4(1):257-85.
 78. Walsh NP, Laing SJ, Oliver SJ, Montague JC, Walters R, Bilzon JL. Saliva parameters as potential indices of hydration status during acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(9):1535-42.
 79. Walsh NP, Montague JC, Callow N, Rowlands AV. Saliva flow rate, total protein concentration and osmolality as potential markers of whole body hydration status during progressive acute dehydration in humans. *Arch Oral Biol.* 2004;49(2):149-54.
 80. Oliver SJ, Laing SJ, Wilson S, Bilzon JL, Walsh NP. Saliva indices track hypohydration during 48 h of fluid restriction or combined fluid and energy restriction. *Arch Oral Biol.* 2008;53(10):975-80.
 81. Ely BR, Cheuvront SN, Kenefick RW, Sawka MN. Limitations of salivary osmolality as a marker of hydration status. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(6):1080-4.
 82. Besbes A, Khemiss M, Bragazzi N, Ben Saad H. The Impacts of Ramadan intermittent fasting on saliva flow-rate and metabolic data: a systematic review. *Front Nutr.* 2022;9:873502.
 83. Yacoub S, Khemiss M, Besbes A, Ben Saad H. Impact of Ramadan Intermittent Fasting on Salivary pH, Flow Rate, and Electrolyte Levels in Healthy Adult Men. *Am J Mens Health.* 2025;19(1):15579883241312396.
 84. Obika L, Idu F, George G, Ajayi O, Mowoe R. Thirst perception and drinking in euhydrate and dehydrate human subjects. *Niger J Physiol Sci.* 2009;24(1).
 85. Greenleaf JE. Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(6):645-56.
 86. Millard-Stafford M, Wendland DM, O'dea NK, Norman TL. Thirst and hydration status in everyday life. *Nutr Rev.* 2012;70(Suppl 2):S147-51.
 87. Tiffany J. Tears in health and disease. *Eye.* 2003;17(8):923-6.
 88. Rolando M, Zierhut M. The ocular surface and tear film and their dysfunction in dry eye disease. *Surv Ophthalmol.* 2001;45:S203-10.
 89. Wardenaar FC, Whitenack L, Vento KA, Seltzer RG, Siegler J, Kavouras SA. Validity of combined hydration self-assessment measurements to estimate a low vs. high urine concentration in a small sample of (tactical) athletes. *Eur J Nutr.* 2024;63(1):185-93.
 90. Maughan RJ, Leiper JB, Bartagi Z, Zrifi R, Zerguini Y, Dvorak J. Effect of Ramadan fasting on some biochemical and haematological parameters in Tunisian youth soccer players undertaking their usual training and competition schedule. *J Sports Sci.* 2008;26(S3):S39-46.
 91. KT KT, Shephard RJ, Boukhris O, Ammar A, Khanfir S, AH AH, et al. Effects of Ramadan fasting on athletes' hematological indices: a systematic review. *Tunis Med.* 2019;97(10).
 92. Karli U, Guvenc A, Aslan A, Hazir T, Acikada C. Influence of Ramadan fasting on anaerobic performance and recovery following short time high intensity exercise. *J Sports Sci Med.* 2007;6(4):490.
 93. Aziz AR, Wahid MF, Png W, Jesuvadian CV. Effects of Ramadan fasting on 60 min of endurance running performance in moderately trained men. *Br J Sports Med.* 2010;44(7):516-21.
 94. Güvenç A. Effects of Ramadan fasting on body composition, aerobic performance and lactate, heart rate and perceptual responses in young soccer players. *J Hum Kinet.* 2011;29:79.
 95. Tian H-H, Aziz A-R, Png W, Wahid MF, Yeo D, Png A-LC. Effects of fasting during Ramadan month on cognitive function in Muslim athletes. *Asian J Sports Med.* 2011;2(3):145.
 96. Wilson D, Drust B, Reilly T. Is diurnal lifestyle altered during Ramadan in professional Muslim athletes? *Biol Rhythm Res.* 2009;40(5):385-97.
 97. Trabelsi K, Stannard SR, Ghilisi Z, Maughan RJ, Kallel C, Jamoussi K, et al. Effect of fed- versus fasted state resistance training during Ramadan on body composition and selected metabolic parameters in bodybuilders. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10.
 98. Trabelsi K, Ammar A, Zlitni S, Boukhris O, Khacharem A, El-Abed K, et al. Practical recommendations to improve sleep during Ramadan observance in healthy practitioners of physical activity. *Tunis Med.* 2019;97(10).
 99. Crispim CA, Zimberg IZ, dos Reis BG, Diniz RM, Tufik S, de Mello MT. Relationship between food intake and sleep pattern in healthy individuals. *J Clin Sleep Med.* 2011;7(6):659-64.
 100. Brown RF, Thorsteinsson EB, Smithson M, Birmingham CL, Aljarallah H, Nolan C. Can body temperature dysregulation explain the co-occurrence between overweight/obesity, sleep impairment, late-night eating, and a sedentary lifestyle? *Eat Weight Disord.* 2017;22:599-608.
 101. Reilly T, Waterhouse J. Altered sleep-wake cycles and food intake: the Ramadan model. *Physiol Behav.* 2007;90(2-3):219-28.
 102. Chtourou H, Briki W, Hammouda O, Aloui A, Souissi N, Chaouachi A. The effect of the time-of-day of training during Ramadan on soccer players' chronotype and mood states. *Sport Sci Health.* 2014;10(2):143-7.
 103. Kerkeni M, Trabelsi K, Kerkeni M, Boukhris O, Ammar A, Salem A, et al. Ramadan fasting observance is associated with decreased sleep duration, increased daytime sleepiness and insomnia symptoms among student-athletes. *Sleep Med.* 2024.
 104. Gardiner C, Weakley J, Burke LM, Roach GD, Sargent C, Maniar N, et al. The effect of caffeine on subsequent sleep: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2023;69:101764.
 105. Romdhani M, Ammar A, Trabelsi K, Chtourou H, Vitale JA, Masmoudi L, et al. Ramadan observance exacerbated the negative effects of COVID-19 lockdown on sleep and training behaviors: a international survey on 1,681 Muslim athletes. *Front Nutr.* 2022;9:925092.
 106. Boukhris O, Hill DW, Ammar A, Trabelsi K, Hsouna H, Abdessalem R, et al. Longer nap duration during Ramadan observance positively impacts 5-m shuttle run test performance performed in the afternoon. *Front Physiol.* 2022;13:811435.

107. Romdhani M, Souissi N, Chaabouni Y, Mahdouani K, Driss T, Chamari K, et al. Improved physical performance and decreased muscular and oxidative damage with postlunch napping after partial sleep deprivation in athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020;15(6):874-83.
108. Romdhani M, Dergaa I, Moussa-Chamari I, Souissi N, Chaabouni Y, Mahdouani K, et al. The effect of post-lunch napping on mood, reaction time, and antioxidant defense during repeated sprint exercise. *Biol Sport.* 2021;38(4):629.
109. Tassi P, Muzet A. Sleep inertia. *Sleep Med Rev.* 2000;4(4):341-53.
110. Romyn G, Roach GD, Lastella M, Miller DJ, Versey NG, Sargent C. The impact of sleep inertia on physical, cognitive, and subjective performance following a 1-or 2-hour afternoon nap in semiprofessional athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2022;17(7):1140-50.
111. Halson SL. Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):13-23.
112. Marshall GJ, Turner AN. The importance of sleep for athletic performance. *Strength Cond J.* 2016;38(1):61-7.
113. Kushida CA, Littner MR, Morgenthaler T, Alessi CA, Bailey D, Coleman Jr J, et al. Practice parameters for the indications for polysomnography and related procedures: an update for 2005. *Sleep.* 2005;28(4):499-523.
114. Roky R, Herrera CP, Ahmed Q. Sleep in athletes and the effects of Ramadan. *J Sports Sci.* 2012;30(S1):S75-84.
115. Ancoli-Israel S, Cole R, Alessi C, Chambers M, Moorcroft W, Pollak CP. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep.* 2003;26(3):342-92.
116. Ancoli-Israel S, Martin JL, Blackwell T, Buenaver L, Liu L, Meltzer LJ, et al. The SBSM guide to actigraphy monitoring: clinical and research applications. *Behav Sleep Med.* 2015;13(S1):S4-38.
117. Meltzer LJ, Walsh CM, Traylor J, Westin AM. Direct comparison of two new actigraphs and polysomnography in children and adolescents. *Sleep.* 2012;35(1):159-66.
118. Doherty C, Baldwin M, Keogh A, Caulfield B, Argent R. Keeping Pace with Wearables: A Living Umbrella Review of Systematic Reviews Evaluating the Accuracy of Consumer Wearable Technologies in Health Measurement. *Sports Med.* 2024:1-20.
119. Trabelsi K, BaHammam AS, Chtourou H, Jahrami H, Vitiello MV. The good, the bad, and the ugly of consumer sleep technologies use among athletes: a call for action. *J Sport Health Sci.* 2023;12(4):486-8.
120. Lehrer HM, Yao Z, Krafty RT, Evans MA, Buysse DJ, Kravitz HM, et al. Comparing polysomnography, actigraphy, and sleep diary in the home environment: The Study of Women's Health Across the Nation (SWAN) Sleep Study. *Sleep Adv.* 2022;3(1).
121. Buysse DJ, Reynolds III CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res.* 1989;28(2):193-213.
122. Samuels C, James L, Lawson D, Meeuwisse W. The athlete sleep screening questionnaire: a new tool for assessing and managing sleep in elite athletes. *Br J Sports Med.* 2016;50(7):418-22.
123. Driller MW, Mah CD, Halson SL. Development of the athlete sleep behavior questionnaire: a tool for identifying maladaptive sleep practices in elite athletes. *Sleep Sci.* 2018;11(1):37-44.
124. Chamari K, Briki W, Farooq A, Patrick T, Belfekih T, Herrera CP. Impact of Ramadan intermittent fasting on cognitive function in trained cyclists: a pilot study. *Biol Sport.* 2016;33(1):49.
125. Adan A. Cognitive performance and dehydration. *J Am Coll Nutr.* 2012;31(2):71-8.
126. Bardis CN, Kavouras SA, Kosti L, Markousi M, Sidossis LS. Mild hypohydration decreases cycling performance in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(9):1782-9.
127. Simpson N, Gibbs E, Matheson G. Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27(3):266-74.
128. Zerguini Y, Kirkendall D, Junge A, Dvorak J. Impact of Ramadan on physical performance in professional soccer players. *Br J Sports Med.* 2007;41(6):398-400.
129. Chamari K, Guezguez F, Khalladi K, Chtourou H, Chaouachi A, Al Sayrafi O, et al. Aspetar clinical guidelines: Ramadan fasting and exercise for healthy individuals. *Tunis Med.* 2023;101(1):1-14.
130. Trabelsi K, Morillas Pedreno JJ, Bertrand C, Chalabi H, Chamari K. Nutritional strategies for fasting athletes during Ramadan. *Tunis Med.* 2025; 103(7):907-916. DOI: 10.62438/tunismed.v103i7.5826