

Treff G, Steinacker JM

Monitoring des Flüssigkeitshaushalts im Sport

Sektion Sport- und Rehabilitationsmedizin, Universitätsklinikum Ulm

ZUSAMMENFASSUNG

Die Überwachung des Flüssigkeitshaushalts ist im Sport gesundheits- und leistungsrelevant. Im Mittelpunkt dieses Artikels stehen Methoden, die valide, günstig und in Feldtestlabors umsetzbar sind. Die spezifische Urindichte bildet den Hydrationsstatus unter den meisten Bedingungen gut ab und lässt sich mit einem Refraktometer exakt bestimmen. Änderungen der Körpermasse sind ein idealer Marker kurzfristiger Flüssigkeitsverluste, sie verlieren bei längeren Zeitintervallen jedoch an Validität. Hämatokritmessungen ermöglichen die Detektion iso- und hypotoner Hypovolämien, die bei Nahrungs- und Flüssigkeitsrestriktion in körperrgewichtslimitierten Sportarten auftreten. Alle Messgrößen verlangen eine gute Standardisierung. Es empfiehlt sich, mindestens zwei Größen zu kombinieren, um verschiedene Kompartimente des äußerst dynamischen Flüssigkeitshaushalts darzustellen.

Schlüsselwörter: Urindichte, Hämatokrit, Flüssigkeitsbilanz, Urinfarbe, Osmolalität

EINLEITUNG

Der gesamte Wasserbestand (total body water, TBW) macht ca. 66% des menschlichen Körpergewichts aus. Das TBW verteilt sich mit ca. 37% der Körpermasse auf das intrazelluläre Volumen (IZV) und mit ca. 29% auf das extrazelluläre Volumen (EZV). Das EZV beinhaltet das gesamte Wasser außerhalb der Zellen, inklusive Interstitium (ca. 24%) und Plasmavolumen (ca. 5%). Zwischen diesen Kompartimenten findet ein kontinuierlicher Austausch statt. Durch Belastung, Schwitzen oder Hitze ändern sich das Gesamtvolumen und die Verteilung sehr dynamisch. Der Hydrationsstatus ist deshalb nicht statisch, sondern fluktuiert um den sich laufend ändernden Mittelwert des TBW (13).

Die Begriffe Hypo-, Eu- und Hyperhydratation beschreiben eine negative, ausgeglichene bzw. positive Flüssigkeitsbilanz. Dehydratation und Rehydratation kennzeichnen Vorgänge, die zu Flüssigkeitsverlust bzw. Ausgleich des Flüssigkeitshaushalts führen.

Flüssigkeitsmangel entsteht, wenn der Wasserverbrauch des Organismus die Summe aus Aufnahme und metabolischer Produktion überschreitet, die sich auf ca. 110g Wasser pro 100g Fett bzw. 55g Wasser pro 100g verbrannter Kohlenhydrate beläuft. Die Flüssigkeitsverluste von Sportlern durch Schweiß und Atmung liegen demgegenüber deutlich höher.

Hypohydratation ist mit verminderter sportlicher Leistungsfähigkeit assoziiert, insbesondere im Ausdauerbereich. Dennoch können einer Metaanalyse zufolge Flüssigkeitsverluste bis zu 4% ohne Ausdauerleistungseinbußen toleriert werden (9). Kommen Hitzebedingungen hinzu, treten gesundheitliche Aspekte der Hypohydratation in den Vordergrund, denn ein verringertes Plasma-

SUMMARY

Assessing athletes' hydration is relevant in regard to health and performance. The review focuses on valid markers of hydration status that are inexpensive and feasible in field test settings. Urine specific gravity is a valid marker of hydration status in most cases, easily and exactly measured with a refractometer. Changes of body mass accurately represent short-time changes of hydration, however they become invalid if the interval between measurements is too long. Haematocrit measurements allow the detection of iso- and hypotonic hypovolemia, which might occur during food- and/or fluid restriction especially in body mass-limited disciplines. Monitoring of hydration status requires a high level of standardization. Furthermore, the combination of at least two different parameters is recommended to monitor the very complex and dynamic regulation of total body water and its compartments.

Key Words: urine specific density, haematocrit, fluid balance, urine color, osmolality

volumen reduziert die Hitzetoleranz. Dadurch steigt die Gefahr hitzebedingter Symptome vom Hitzeschock bis hin zu Multiorganversagen und Tod (13).

Flüssigkeitsmangel entsteht häufig durch „unfreiwillige“ Dehydratation aufgrund von verspätetem Durstempfinden oder kumulierten Flüssigkeitsdefiziten. Gezielte Dehydratation findet sich üblicherweise in gewichtslimitierten Sportarten (z.B. Ringen, Boxen, Leichtgewichtsrudern). In diesen Fällen reduzieren Sportler kurzfristig ihre Körpermasse durch Dehydrationsmaßnahmen bis auf das Zielgewicht (Flüssigkeitsrestriktion, Saunagänge, heiße Bäder, Training in warmer Kleidung, Diuretika etc.). Es sind Reduktionen bis zu 15% der Körpergewichts dokumentiert, die mit erheblichen gesundheitlichen Gefahren bis hin zum Tod verbunden sein können (13).

Für Sportler, Sportmediziner und -wissenschaftler ist die Überwachung des Flüssigkeitshaushalts somit (i) ein Beitrag zur Wahrung der Gesundheit, (ii) eine Möglichkeit der differenzierten Beurteilung des Körpergewichts z.B. bei gewichtslimitierten Sportarten und (iii) ein Beitrag zur Wahrung von Leistungsfähigkeit und Regeneration.

Im Vordergrund dieses Standards stehen wenig aufwändige und kostengünstige Methoden, die sich insbesondere in Feldtestsi-

accepted: November 2014

published online: Dezember 2014

DOI: 10.5960/dzsm.2014.155

Treff G, Steinacker JM: Monitoring des Flüssigkeitshaushalts im Sport. Dtsch Z Sportmed. 2014; 65: 342 - 346.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Messgrößen für das Hydrationsmonitoring bei Sportlern. TBW=Gesamtkörperwasser; P_{OSM} =Plasmaosmolalität; IVR=Intravasalarraum; Hct=Hämatokrit; U_{SD} =spezifische Urindichte; U_{OSM} =Urinosmolalität; U_{COL} =Urinfarbe; U_{FREQ} =Häufigkeit der Miktion.

Parameter	Medium	Kompartiment	Methode	Vorteile	Nachteile	Kosten	Aufwand
Körpermasse		TBW	Waage	Kurzfristige Änderungen, sensitiv gegenüber jeder Form von Hypohydratation	Langfristige Änderungen	Niedrig	Niedrig
P_{OSM}	Blut	IVR	Osmometer	Statusbestimmung möglich, meist gute Validität	Milde Hypohydratation; invasiv	Hoch	Hoch
Hct	Blut	IVR	Zentrifuge	Iso-/hypotone Hypovolämie	Wasserverschiebungen nicht erkennbar; nicht sensitiv bei milder Hypohydratation; invasiv	Mittel	Mittel
U_{SD}	Urin	-	Refraktometer (Urinsticks)	Statusbestimmung, Validität	Nicht valide bei unmittelbar vorhergehendem Konsum hoher Trinkvolumina	Mittel	Niedrig
U_{OSM}	Urin	-	Osmometer		Nicht valide bei unmittelbar vorhergehendem Konsum hoher Trinkvolumina	Hoch	Hoch
U_{COL}	Urin	-	Farbskala	Einfach & valide	Exakte Abstufung, Nahrungsmittelinfluss	Niedrig	Niedrig
U_{FREQ}				Einfach	Ungenau, Drittvariablen	Keine	Niedrig
Durstempfinden			Skala		Subjektiv	Keine	Niedrig

tuationen anwenden lassen (Tab. 1). Aufwändige Labormethoden, die im wissenschaftlichen Kontext sinnvoll sein können, kommen nur marginal vor.

METHODEN DES HYDRATIONSMONITORINGS

Körpergewichtsmessungen

Körpergewichtsänderungen bilden im Zeitraum einiger Stunden kurzfristige Veränderungen des Flüssigkeitsstatus valide ab. Körpergewichtsmessungen sind auch geeignet, um Änderungen der Hydratation von Tag-zu-Tag abzubilden, sofern eine gute Baseline definiert wurde. Dazu sollten drei Messungen mit einer kalibrierten Körpergewichtswaage an aufeinanderfolgenden Tagen unter standardisierten Bedingungen erfolgen (z.B.: morgens, nüchtern, trockene Unterwäsche, Blase entleert, Schweißmenge zu 100% durch Flüssigkeit ausgeglichen) (7).

Bei der Interpretation der Werte muss die Tag-zu-Tag Variabilität berücksichtigt werden. Sie beträgt bei 75 kg schweren Männern ca. $0,51 \pm 0,20$ kg mit einem gruppenweiten Variationskoeffizienten von $0,66 \pm 0,24$ % (6).

Körpergewichtsmessungen haben ausschließlich längsschnittliche Bedeutung, weil ein einziger Messzeitpunkt keinerlei Aussage zum aktuellen Hydrationsstatus zulässt. Liegen die Messzeitpunkte weit auseinander, etwa im Bereich von Wochen bis Monaten, verliert die Methode deutlich an Validität, weil gleichzeitig Veränderungen der Fett- und Muskelmasse auftreten können.

Urin

Die Häufigkeit der Miktion erlaubt auf individueller Ebene gute Hinweise auf Veränderungen des Hydrationsstatus, insbesondere unter Berücksichtigung der Urinfärbung (U_{COL}). Stark konzentrierter Urin sieht wegen der höheren Konzentration der Farbstoffe (Urochrome) dunkel aus, während Urin im euhydrierten Zustand blass bis strohfarben wirkt. Die U_{COL} scheint gut geeignet, um mit einfachen Mitteln milde Dehydrationszustände (Tag-zu-Tag) darzustellen bzw. weitergehende Dehydratation (> 2%) auszuschließen, wenn es nicht auf hohe Präzision und Diskriminierbarkeit ankommt (Tab.2). Grundsätzlich scheint die U_{COL} ebenfalls geeignet zur Darstellung starker, konsek-

tiver, akuter Dehydratation (3,7% - 5,2%) und anschließender Rehydratation. Zur objektiven Beurteilung der Urinfarbe bietet sich die Nutzung einer Farbskala von 1 - 8 an (1).

Die genaueste Methode zur Messung der Urinkonzentration ist die Bestimmung der Osmolalität (U_{OSM}). Einer Studie zufolge scheint die U_{OSM} geeignet zu sein, um auf individueller Ebene Änderungen des Hydrationsstatus bei Sportlern darzustellen (16). Allerdings unterliegen die Absolutwerte interkulturellen bzw. ernährungsbedingten Unterschieden (Mittelwerte im 24h-Sammelurin in Deutschland bei 860 mOsm/kg, in Polen bei 392 mOsm/kg (12)). Zur Messung der U_{OSM} ist ein relativ teures Osmometer und geschultes Personal notwendig.

In den meisten Fällen bietet sich die Messung der spezifischen Dichte (U_{SD}) an, die stark mit der U_{OSM} korreliert ($r^2=0,8-0,94$) (5). Zudem existieren hinreichend verlässliche Normalwerte (Tab.2) und es ist keine Geschlechtsabhängigkeit dokumentiert. Durch Verwendung eines Handrefraktometers, das die Lichtbrechung des Urins in Abhängigkeit der im Urin gelösten Teilchen misst, lässt sich die U_{SD} exakt und innerhalb von Sekunden aus wenigen Tropfen Urin bestimmen. Die U_{SD} wird in g/ml angegeben, oftmals auch als specific gravity (sp. gr.) oder ohne Einheit.

Urin-Teststreifen stellen eine Alternative zur Bestimmung der U_{SD} dar, wenn Sportler ihren Hydrationsstatus selbst abschätzen möchten. Streifenmessungen sind im Vergleich zu Refraktometerbestimmungen teurer und ungenauer ($r=0,68$) (14). Idealerweise wird die U_{SD} aus dem 24h-Sammelurin bestimmt. Die Messung im Morgenurin ist deutlich praktikabler, allerdings ist Morgenurin stärker konzentriert als 24h-Sammelurin (Tab.2) (5).

Mehrere Studien belegen die Validität urinbasierter Messgrößen (insbesondere der U_{SD}) zur Darstellung von Eu- und Hypohydratation (vgl. dazu Reviews 1, 11, 13, 15). Allerdings weisen die Messgrößen drei wesentliche Limitationen auf: Popowski et al. zeigten in einer klassischen Studie, dass urinbasierte Messgrößen in Phasen sehr hohen Wasserumsatzes zwar sensitiv sind, bei kurzfristiger, akuter De- und Rehydratation im Vergleich zur Plasmaosmolalität aber zeitlich verzögert reagieren (14). Dieses Problem potenziert sich, wenn Athleten große Mengen Flüssigkeit in kurzer Zeit (ca. 1,5 l/h) konsumieren. Durch die hormonelle Antwort auf den plötzlichen Volumenanstieg kommt es, nahezu ungeachtet des

Messgröße	Einheit	Euhydration	Hypohydration		Quelle
			absolut	delta	
Körpermasse (täglich)	kg	-	-	< -2,5 %	(7)
U _{SD}	g/ml				
		Morgenurin	≤ 1,026	> 1,026	(5)
		Akut	≤ 1,020	> 1,020	0,01 (14,7)
24h Sammelurin		≤ 1,020	> 1,020	(5)	
U _{COL}	arb. Unit		≤ 5	> 5	(5)
			≤ 4	> 4	(7)
U _{OSM} *	mOsm/kg				(5)
		Morgenurin	≤ 924	> 924	(5)
24h Sammelurin		≤ 766	> 766	(5)	
P _{OSM}	mOsm/kg		≤ 290	> 290	9 (7)
			291	> 291	(5)
Hct	%	-		3	(eigene Daten)

Tabelle 2: Referenzwerte für Eu- und Hypohydration. U_{SD} = Urin spezifische Dichte; U_{COL} = Urinfarbe; U_{OSM} = Urinosmolalität; P_{OSM} = Plasmaosmolalität; IVR = Intravasalraum; Hct = Hämatokrit; * = starke kulturelle Unterschiede.

aktuellen Hydrationsstatus, zu einer starken Ausscheidung niedrig konzentrierter Harns (13). Dann reflektiert niedrige Konzentration nicht den tatsächlichen Hydrationsstatus, sondern das konsumierte Volumen. Schließlich sind urinbasierte Marker ungeeignet, um hypo- und isotone Hypovolämien (bezogen auf das Plasma) darzustellen, die im Zusammenhang mit Diuretika, Nahrungs- und Flüssigkeitsrestriktion auftreten können (vgl. Abschnitt Blut (Hämatokrit) dieses Artikels).

Eine methodisch saubere Bilanzierung von Flüssigkeitsaufnahme und -verlust ist unter Trainingsbedingungen mit sich ändernden Inhalten und Umweltbedingungen kaum umsetzbar. Ungeeignet scheint auch der Vergleich von 24h-Sammelurinvolumen mit den Standardwerten nicht trainierender Gruppen, weil der Flüssigkeitsumsatz durch Belastung sehr variabel ist und die Urinmenge deutlich höher liegen kann.

Wenig etabliert zum Monitoring des Flüssigkeitshaushaltes sind Bestimmungen der Elektrolytkonzentration wie z.B. Natrium. Diese Messungen besitzen hinsichtlich der genannten Zielstellung keinen zusätzlichen Vorteil gegenüber U_{COL}, U_{SD} oder U_{OSM}.

Blut

Blutbasierte Messgrößen beruhen auf der Annahme, dass sich bei De- und Rehydration das Plasmavolumen ändert, aber das zelluläre Blutvolumen bzw. die Menge osmotisch wirksamer Teilchen im Blut stabil bleibt. Die Plasmaosmolalität (P_{OSM}) erlaubt in Ruhe eine Einschätzung des Hydrationsstatus mit einem einzigen Messwert (7). Allerdings wird die Validität der P_{OSM} durchaus kontrovers diskutiert (13,14). Zudem lässt sich durch die P_{OSM} keine isotone oder hypotone Hypovolämie detektieren, da sich in diesen Fällen sowohl die Menge osmotischer Teilchen als auch das Plasmavolumen ändern. Schließlich bleibt diese Messgröße aufgrund ihres methodischen Aufwands (Blutentnahme, Probenbearbeitung, Gefrierpunktsmometer) der Laborsituation vorbehalten.

Im Vergleich zur P_{OSM} sind Hämatokritmessungen (Hct) kostengünstiger und methodisch einfacher. Der Hct beschreibt den prozentualen Anteil zellulärer Blutbestandteile und ist auch in einem einfachen Labor mittels Zentrifugation bestimmbar. Hct-Messungen benötigen eine sehr hohe Standardisierung, weil der Hct sehr variabel ist. So sinkt er im Liegen um ca. 5.3%, steigt

durch einen Ausbelastungstest um ca. 9.6% oder reduziert sich 1 h nach dem Trinken von 1l isotonischer Kochsalzlösung um 3.3 ± 0.5%.

Bei exakter Standardisierung erlaubt der Hct zuverlässige Aussagen über Änderungen des Plasmavolumens, insbesondere ermöglicht er die Detektion einer hypo- oder isotonen Hypovolämie. Limitiert wird der Hct dadurch, dass Wasserverschiebungen in das Interstitium nicht von echten Wasserverlusten unterscheidbar sind und somit keine exakte Aussage über das TBW möglich ist. Zudem bildet sich milde Hypohydration im Hct offenbar weniger stark ab als in urinbasierten Markern (4,8). Deshalb sollte der Hct nicht als einziger Marker eingesetzt werden.

Ein prinzipieller Nachteil aller Blutmarker ist ihre Invasivität. Die Verwendung von Kapillarblut mindert die Invasivität, allerdings basieren alle wesentlichen Studienergebnisse auf venösen Blutproben. Zur Hct-Bestimmung hat sich Kapillarblut bewährt. Die Werte liegen ca. 1%-Punkt höher als bei venösem Blut (10).

NICHT ETABLIERTE METHODEN

Bioimpedanzanalyse

Die Bioimpedanzanalyse (BIA) basiert auf dem Prinzip, dass Flüssigkeit einen niedrigeren elektrischen Widerstand aufweist als festes Gewebe. Entsprechend leitet fettfreie Körpermasse elektrischen Strom durch ihren höheren Wasseranteil besser, als das wasserärmere und somit widerstandsreichere Fettgewebe. Die moderne Multifrequenzanalyse differenziert theoretisch die Kompartimente TBW, EZV und IZV (1). Dennoch ist die BIA nur eingeschränkt zum Hydrationsmonitoring bei Sportlern geeignet. Neben theoretischen Limitationen ist die notwendige Standardisierung unter Feldbedingungen nicht realisierbar wie z.B. eine möglichst mehrstündig stabile Lage, Standardisierung des vorhergehenden Trainings oder der Ernährung. Konsequenterweise zeigen BIA-Studien mit trainingstypischen Effekten wie akuter De- und Rehydraton, milder Dehydraton (ca. 1l) und Osmolalitätsänderungen keine validen Ergebnisse (15).

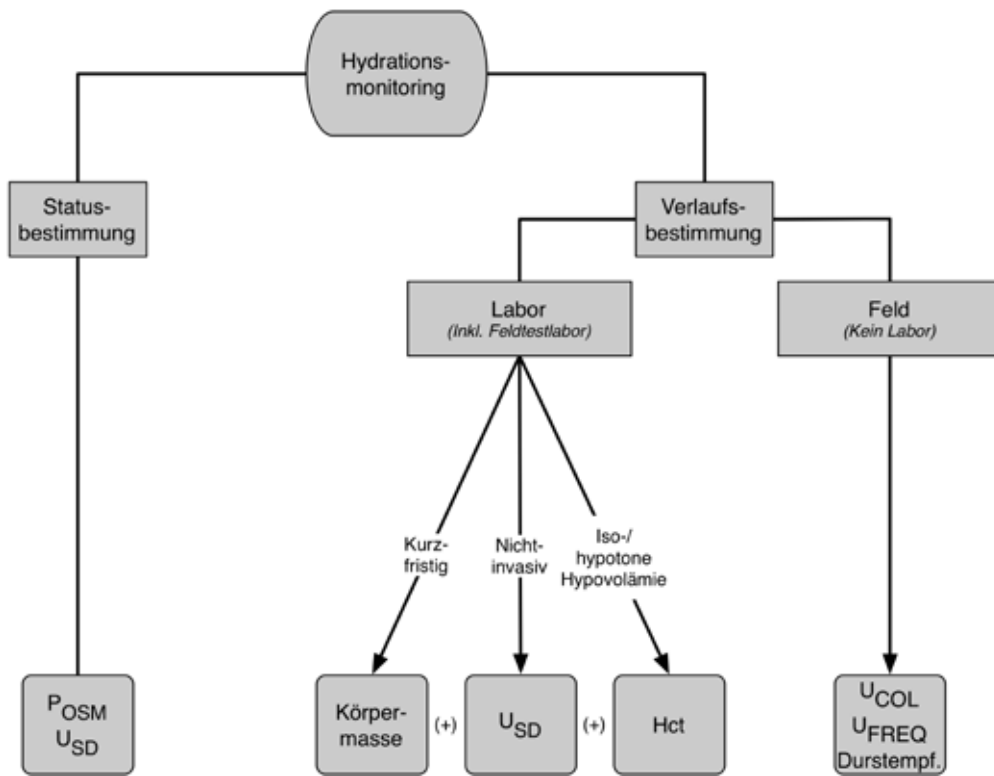


Abbildung 1: Hydrationsmonitoring bei Sportlern: Algorithmus zur Methodenwahl. Einzelheiten und Limitationen siehe Text. P_{OSM} = Plasma-Osmolalität; U_{SD} = spezifische Urindichte; Hct = Hämatokrit; U_{COL} = Urinfarbe; U_{FREQ} = Häufigkeit der Miktion; Durstempf. = Durstempfinden.

Saliva-Osmolalität

Die Literaturlage zur Saliva-Osmolalität ist widersprüchlich. Sie kann offenbar ein valider Marker akuter Dehydration sein (17). Andere Ergebnisse zeigen eine niedrigere Spezifität als z.B. für U_{SD} (7). Zukünftige Studien müssen klären, unter welchen Bedingungen valides Hydrationsmonitoring mit Saliva möglich ist.

Durstempfinden

Durst wird erst ab einem Wasserverlust von 1-2% des Körpergewichts wahrgenommen und gilt deshalb während akuter und rascher Dehydration (Training) als schlechter Marker des Hydrationsstatus. Bei langsamer Dehydration ohne Training kann der Grad des morgendlich empfundenen Durstes ein valider Marker sein (3), allerdings stehen sportbezogene Studien dazu aus.

Goldstandard

Dem Goldstandard am nächsten kommt neben der P_{OSM} die Bestimmung des TBW mit Hilfe stabiler Isotope. „Diese Methoden stellen zwar den höchsten Standard unter kontrollierten Laborbedingungen dar, wenn das TBW stabil und gleich verteilt ist [...]“ (2), sie sind aber wegen ihres methodischen Aufwands und der trainingsbedingten Verschiebungen zwischen den Kompartimenten im Sportbereich ungeeignet. Einen differenzierten Überblick zur Frage des Goldstandards gibt Armstrong (2).

PRAKTISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es gibt eine Vielzahl von Markern zur Darstellung des Flüssigkeitshaushaltes. Dennoch ist die Frage nach der idealen Messgröße nicht

eindeutig zu beantworten, weil keine einzelne für jede Situation geeignet ist. Deshalb empfiehlt sich die Kombination von mindestens zwei Messgrößen aus verschiedenen Bereichen. Die konkrete Wahl sollte sich immer nach (i) der Fragestellung richten, (ii) dem zeitlichen Intervall zwischen den Messungen, (iii) der Geschwindigkeit von De- bzw. Rehydration und (iv) dem realisierbaren bzw. zumutbaren Aufwand (Abb.1).

In den meisten Fällen ist die mit dem Refraktometer schnell und exakt bestimmbare U_{SD} eine empfehlenswerte, kostengünstige und nicht invasive Verlaufs- und Statusmessgröße mit hoher Validität. Sie lässt sich sinnvoll mit Körpergewichtsmessungen kombinieren, die ein idealer Marker kurzfristiger Veränderungen (z.B. einzelner Trainingseinheiten) sind. Zur Darstellung tageweiser Hydrationsänderungen sollte eine saubere Körpergewichts-Baseline über drei Tage definiert werden. Ist mit iso- oder hypotoner Hypovolämie z.B. durch Flüssigkeits- oder Nahrungsrestriktion zu rechnen („Gewicht machen“), ist die Bestimmung des Hct sinnvoll, erfordert allerdings eine besonders hohe Standardisierung.

Insbesondere zur Statusbestimmung anhand eines einzelnen Messwertes bietet sich die P_{OSM} an. Ihre Bestimmung verlangt allerdings geschultes Personal, eine Blutabnahme und ein Osmometer.

Für Sportler, denen kein Labor zur Verfügung steht, ist die Häufigkeit der Miktion geeignet zur Eigendiagnose von Hypohydration. Das gilt insbesondere unter Beachtung der Urinfärbung, die für sich bereits als guter Marker des Hydrationsstatus gilt. Die Verwendung von Urinteststreifen zur Bestimmung der U_{SD} kann für den Hausgebrauch ebenfalls sinnvoll sein.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. ARMSTRONG LE. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev.* 2005;63(15):40-54. doi:10.1301/nr.2005.jun.S40-S54
2. ARMSTRONG LE. Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J Am Coll Nutr.* 2007;26(Supplement 5):575S. doi:10.1080/07315724.2007.10719661
3. ARMSTRONG LE, GANIO MS, KLAU JF, JOHNSON EC, CASA DJ, MARESH CM. Novel hydration assessment techniques employing thirst and a water intake challenge in healthy men. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2014;39(2):138-144. doi:10.1139/apnm-2012-0369
4. ARMSTRONG LE, MARESH CM, CASTELLANI JW, BERGERON MF, KENEFICK RW, LAGASSE KE, AND RIEBE D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr.* 1994;4(3):265-279.
5. ARMSTRONG LE, PUMERANTZ AC, FIALA KA, ROTI MW, KAVOURAS SA, CASA DJ, AND MARESH CM. Human hydration indices: acute and longitudinal reference values. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2010;20(2):145-153.
6. CHEUVRONT SN, CARTER R, MONTAIN SJ, SAWKA MN. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14(5):532-540.
7. CHEUVRONT SN, ELY BR, KENEFICK RW, SAWKA MN. Biological variation and diagnostic accuracy of dehydration assessment markers. *Am J Clin Nutr.* 2010;92(3):565-573. doi:10.3945/ajcn.2010.29490
8. FRANCESCO NI RP, HUBBARD RW, SZLYK PC, SCHNAKENBERG D, CARLSON D, LEVA N, SILS I, HUBBARD L, PEASE V, AND YOUNG J. Urinary and hematologic indexes of hypohydration. *J Appl Physiol* (1985). 1987;62(3):1271-1276.
9. GOULET ED. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2011;45(14):1149-1156. doi:10.1136/bjism.2010.077966
10. HÜTLER M, BENEKE R, BÖNING D. Determination of circulating hemoglobin mass and related quantities by using capillary blood. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(5):1024-1027. doi:10.1097/00005768-200005000-00022
11. KAVOURAS SA. Assessing hydration status. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2002;5(5):519-524. doi:10.1097/00075197-200209000-00010
12. MANZ F, WENTZ A. 24-h hydration status: parameters, epidemiology and recommendations. *Eur J Clin Nutr.* 2003;57(Suppl 2):S10-S18. doi:10.1038/sj.ejcn.1601896
13. OPLIGER RA, BARTOK C. Hydration testing of athletes. *Sports Med.* 2002;32(15):959-971. doi:10.2165/00007256-200232150-00001
14. POPOWSKI LA, OPLIGER RA, PATRICK LAMBERT G, JOHNSON RF, KIM JOHNSON A, GISOLF CV. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(5):747-753. doi:10.1097/00005768-200105000-00011
15. SHIRREFFS SM. Markers of hydration status. *Eur J Clin Nutr.* 2003;57:S6-S9. doi:10.1038/sj.ejcn.1601895
16. 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):1598-1602. doi:10.1097/00005768-199811000-00007
17. 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):1535-1542. doi:10.1249/01.MSS.0000139797.26760.06

Korrespondenzadresse:

Dr. Gunnar Treff
Universitätsklinikum Ulm
Sektion Sport- und Rehabilitationsmedizin
Leimgrubenweg 14
89075 Ulm
E-Mail: gunnar.treff@uni-ulm.de