



METODOLOGÍA DE PRUEBAS DE SUDOR EN EL CAMPO: RETOS Y MEJORES PRÁCTICAS

Lindsay B. Baker, PhD | Gatorade Sports Science Institute | Barrington IL | USA |

PUNTOS CLAVE

- La cantidad de agua y electrolitos (principalmente el sodio, Na^+) perdidos como consecuencia de la sudoración termorreguladora durante el ejercicio puede variar considerablemente dentro y entre los atletas. El rango reportado en la tasa de sudor y la concentración de sodio en sudor ($[\text{Na}^+]$) son ~ 0.5 a 2.0 L/h y ~ 10 - 90 mmol/L, respectivamente.
- Las fuentes de variabilidad intra/interindividual en la tasa de sudoración y la $[\text{Na}^+]$ en sudor durante el ejercicio incluyen la intensidad del ejercicio, condiciones ambientales, nivel de aclimatación al calor, capacidad aeróbica, predisposición genética, tamaño y composición corporal, equipo protector, género, dieta y estado de hidratación.
- La prueba de sudor puede llevarse a cabo para estimar las tasas de sudoración y las pérdidas de Na^+ individuales para ayudar a guiar recomendaciones personalizadas de reposición de líquidos y electrolitos.
- Sin embargo, prácticas metodológicas no estandarizadas y condiciones retadoras en el campo pueden producir resultados de las pruebas de sudor inconsistentes/incorrectos.
- En base a los hallazgos de estudios hasta la fecha, así como a consideraciones prácticas, se proponen las mejores prácticas actuales de prueba de sudor en el campo (incluyendo recolección, almacenaje, análisis e interpretación).

INTRODUCCIÓN

Los atletas pierden agua y electrolitos como una consecuencia de la sudoración termorreguladora durante el entrenamiento y la competencia. En algunas situaciones, las pérdidas de sudor pueden ser suficientes para ocasionar desequilibrios excesivos de agua/electrolitos y perjudicar el rendimiento (Sawka et al., 2007; Shirreffs & Sawka, 2011). Está bien establecido que la tasa de sudoración y las concentraciones de electrolitos en sudor pueden variar ampliamente dentro y entre los individuos. Por lo tanto, se recomienda que las estrategias de reposición de líquidos estén personalizadas, así como a la medida de las condiciones específicas (intensidad del ejercicio, ambiente, etc.) del entrenamiento/competencia (Maughan & Shirreffs, 2008; Sawka et al., 2007; Shirreffs & Sawka, 2011). Muchos científicos y profesionales llevan a cabo pruebas de sudor con atletas para estimar pérdidas de líquidos y electrolitos durante el ejercicio. Sin embargo, las prácticas metodológicas no estandarizadas y las condiciones retadoras en el campo pueden producir resultados inconsistentes/incorrectos (Dziedzic et al., 2014; Taylor & Machado-Moreira, 2013). Los principales objetivos de este artículo son proporcionar 1) una revisión de las publicaciones científicas con respecto a la metodología de la prueba de sudoración, 2) discutir el efecto de las variaciones metodológicas sobre la tasa de sudoración y las concentraciones de electrolitos en sudor, y 3) proponer las mejores prácticas para las pruebas de sudoración en el campo.

SUDOR TERMORREGULADOR

La tasa de sudoración de todo el cuerpo generalmente varía entre ~ 0.5 a ~ 2.0 L/h (17 a 68 oz/h), pero puede ser > 3.0 L/h (101 oz/h) en raras ocasiones (Baker et al., 2015; Sawka et al., 2007). Esta amplia variabilidad se debe a un número de factores, los cuales se discutirán aquí brevemente (vea Armstrong & Maresh, 1998 y Sawka et al., 2011 para revisiones más detalladas). Durante el ejercicio, los principales medios por los cuales el cuerpo gana calor son, por el metabolismo (el cual es directamente proporcional a la intensidad del ejercicio) y el ambiente; por lo tanto, estos factores son el principal estímulo para la sudoración (Gagnon et al., 2013). La respuesta de sudoración al estrés

por ejercicio-calor puede aumentarse por la aclimatación al calor y el entrenamiento aeróbico, y disminuir por la deshidratación (Armstrong & Maresh, 1998). Otros factores tales como tamaño/composición corporal o utilización de equipo protector pueden modificar la tasa de sudoración a través de su impacto sobre la ganancia de calor metabólico y/o la capacidad de pérdida de calor (Sawka et al., 2007).

El sudor se compone de agua, así como de muchos electrolitos y otros constituyentes. Sin embargo, este artículo se enfocará principalmente en el sodio (Na^+) dado que es el electrolito perdido en mayores cantidades y tiene el impacto más significativo sobre la hidratación (Shirreffs y Sawka, 2011). La $[\text{Na}^+]$ en sudor generalmente varía entre ~ 10 a ~ 90 mmol/L (cuando se hace la medición por medio de métodos locales) (Baker et al., 2015). La $[\text{Na}^+]$ del sudor excretado sobre la superficie de la piel se determina principalmente por la tasa de reabsorción de Na^+ en el ducto de sudor; y los factores predominantes que dictan la reabsorción ductal del Na^+ incluyen la tasa de flujo de sudor y la actividad del transportador de iones (Na^+/K^+ -ATPasa) (Sato, 1977). La tasa de flujo de sudor aguda y la $[\text{Na}^+]$ en el sudor están directamente relacionadas (Buono et al., 2007). Por ejemplo, aumentos agudos en la tasa de flujo de sudor a través del ducto de la glándula de sudor, debido a un ejercicio más vigoroso (Buono et al., 2007) o temperaturas ambientales más calientes (Dziedzic et al., 2014), pueden llevar a incrementos en la $[\text{Na}^+]$ en sudor. También pueden ocurrir adaptaciones crónicas en la $[\text{Na}^+]$ en sudor. Por ejemplo, la aclimatación al calor y la restricción de Na^+ en la dieta llevan a una mejoría en la conservación de sal a través de una disminución en las $[\text{Na}^+]$ en sudor debido a cambios en la actividad de la Na^+/K^+ -ATPasa en la glándula sudorípara (Eichner, 2008; Kirby & Convertino, 1986). El lector es referido a otro sitio para información más detallada sobre los factores que determinan la $[\text{Na}^+]$ en sudor y los mecanismos subyacentes (Eichner, 2008; Sato, 1977).

MÉTODOS DE PRUEBAS DE SUDOR EN EL CAMPO

Tasa de sudoración de todo el cuerpo

Aunque actualmente no hay un método que sea el estándar de oro para

medir el estado de hidratación o la tasa de sudoración de todo el cuerpo, la evaluación más simple y más precisa es por medio del balance de la masa (Armstrong, 2007). Esto es, el cambio agudo en la masa corporal de antes a después del ejercicio puede utilizarse para calcular las pérdidas de sudor termorregulador. El cambio agudo en la masa corporal representa 1 mL (0.03 oz) de pérdida de agua (sudor) por 1 g (0.002 lb) de pérdida de masa corporal. Sin embargo, las fuentes de cambio de la masa corporal que no son sudor (es decir, consumo de líquido/alimentos, producción de orina/heces, pérdidas de agua respiratoria, pérdida de masa metabólica, sudor atrapado en la ropa) también deben medirse y cuantificarse, cuando sea pertinente (Maughan et al., 2007). Por ejemplo, en un estudio con corredores, cuando no se hacían las correcciones, las pérdidas de orina llevaron a una sobreestimación de pérdidas de sudor de 16-37%, y combinando pérdida de agua respiratoria y pérdida de masa metabólica llevaron a una sobreestimación de pérdida de sudor de 9-20%. El sudor atrapado en la ropa resultó en una subestimación de 8-10% de pérdida de sudor (Cheuvront et al., 2002). La siguiente sección describe los métodos y los suministros necesarios (Tabla 1) requeridos para medir la tasa de sudoración de todo el cuerpo en el campo.

Inmediatamente antes del ejercicio, los atletas deben vaciar sus vejigas y después tomar el peso corporal medido sobre una báscula digital (lo más cercano a 0.10 kg (0.22 lb)). Para evitar el efecto de confusión del sudor atrapado en ropa/uniformes, los atletas deben pesarse ya sea desnudos o con la mínima cantidad de ropa (por ej., shorts de compresión para hombres, shorts y top deportivo para mujeres). El consumo de líquido *ad libitum* durante el ejercicio puede determinarse pesando las botellas de bebida antes y después de su consumo. Agua y/o bebida deportiva de la preferencia de los atletas, en botellas marcadas específicamente para cada atleta, deben estar disponibles por parte de los investigadores el tiempo que dure el ejercicio. Se debe instruir a los atletas para que no escupan, derramen o viertan líquido de las botellas marcadas utilizadas para los propósitos de la prueba. Si los atletas desean echarse agua encima, se les puede dar una botella adicional de agua marcada para usar con este propósito. El consumo de alimentos *ad libitum* durante la prueba puede determinarse pesando el producto (por ej., barras, geles o gomitas (chews)) en su envoltura antes y después de consumirlos. Si los atletas necesitan orinar durante el ejercicio, se les debe dar un recipiente pesado previamente y pedirles que recolecten toda su orina para pesarla posteriormente. Si los atletas necesitan defecar durante la prueba, se les debe instruir para informar a los investigadores de tal forma que su masa corporal pueda medirse antes y después de ir al baño (para determinar la pérdida de masa por heces). Después de completar la sesión de ejercicio, los atletas deben secarse con toalla y después tomar la medición de su masa corporal con la misma báscula y utilizando la misma ropa (o desnudo si se requiere) como la evaluación de la masa corporal antes del ejercicio. Los investigadores del estudio y el personal de entrenamiento de los atletas deben observar cuidadosamente a los atletas durante el ejercicio y registrar cualquier desviación del protocolo.

La pérdida total de sudor de todo el cuerpo y la tasa de sudoración de todo el cuerpo puede estimarse usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 1: PSTC (L)} = [\text{Masa corporal}_{\text{PRE-EJ}} - (\text{Masa corporal}_{\text{POST-EJ}} - \text{Consumo de líquido}_{\text{EJ}} + \text{Producción de Orina}_{\text{EJ}})]$$

$$\text{Ecuación 2: TSTC (L/h)} = \text{PSTC} / \text{Duración del ejercicio}$$

Donde EJ es durante el ejercicio, PRE-EJ es antes del ejercicio, POST-

EJ es después del ejercicio, PSTC es pérdida de sudor de todo el cuerpo, y TSTC es tasa de sudor de todo el cuerpo.

Artículo	Comentarios
Báscula de plataforma digital	Precisión de 0.10 kg o mayor; para la medición de la masa corporal.
Báscula de mesa pequeña	Una báscula para medir peso en gramos de las botellas para beber y alimentos, otra báscula para medir peso en gramos de muestras de orina
Botellas para beber	Al menos una botella de cada tipo de líquido (por ejemplo, agua, bebida deportiva, etc.)
Bebidas de reposición de líquidos	Tipo y cantidad dependiendo de las preferencias del atleta
Contenedores de plástico de 1 L	Pesados previamente; para recolección de orina.
Toallas	Para que el atleta se seque con la toalla antes de medir la masa corporal
Reloj o cronómetro	Para medir la duración del ejercicio

Ver texto para la discusión y las referencias de soporte.

Tabla 1: Equipo y suministros recomendados para la medición de la tasa de sudoración de todo el cuerpo en el campo.

Si la intensidad del ejercicio (por ej., gasto energético) se mide o estima durante la prueba de sudor, entonces pueden hacerse ajustes al cálculo de la tasa de sudor por la pérdida de masa metabólica y pérdidas de agua respiratoria. Para resultados más precisos, este ajuste se recomienda para ejercicios más prolongados que 2-3 h (Sawka et al., 2007); particularmente cuando la intensidad del ejercicio es alta y/o el aire del ambiente es seco (Cheuvront et al., 2002; Maughan et al., 2007). Se remite al lector a los siguientes artículos para ecuaciones que calculen la pérdida de masa por oxidación de sustratos y agua respiratoria (Maughan et al., 2007; Mitchell et al., 1972). Actualmente no hay ecuaciones disponibles para corregir por sudor atrapado en diferentes conjuntos de ropa/uniformes; sin embargo, se dirige al lector a otro sitio para más información (Cheuvront et al., 2002).

CONCENTRACIÓN LOCAL DE SODIO EN SUDOR

Se han utilizado muchos métodos para determinar las concentraciones de electrolitos en sudor en humanos durante el ejercicio. El método de referencia para la pérdida de Na⁺ de todo el cuerpo es la técnica de lavado; éste se considera el método más preciso porque todo el sudor que escurre se colecta y cuantifica y no interfiere con el proceso normal de evaporación del sudor (Shirreffs & Maughan, 1997). Sin embargo, en estudios de campo, los métodos locales para la estimación de las [Na⁺] en sudor se utilizan más comúnmente porque son más simples y más prácticos que la técnica de lavado de todo el cuerpo. Los métodos locales incluyen papeles de filtro, parches absorbentes, bolsos, guantes/bolsas de brazo y cápsulas de sudor plásticas, entre otras (Taylor & Machado-Moreira, 2013). De todos estos métodos, la técnica de parche absorbente probablemente es la más propicia para las pruebas de sudor en el campo. Esto es porque la unidad de recolección (la almohadilla absorbente) está cubierta con un apósito adhesivo cerrado totalmente (previene la contaminación), es de bajo perfil (no se desprende fácilmente si se golpea levemente y no interfiere con el movimiento de los atletas), y puede colocarse

casi en cualquier parte del cuerpo (permite opciones de colocación dependiendo de la accesibilidad y la vestimenta/equipo utilizados). La siguiente sección describe los métodos y suministros necesarios (Tabla 2) para medir la $[Na^+]$ en sudor local utilizando la técnica de parches absorbentes en el campo.

Recolección de sudor

Primero es importante notar que, para obtener resultados representativos de la sudoración durante el ejercicio, los parches (cuando sea posible) deben de aplicarse después del inicio de la actividad física. La tasa de sudoración gradualmente aumenta desde el inicio del ejercicio hasta que se alcanza un estado estable. Aunque no se ha determinado el momento óptimo para aplicar los parches y es probable que varíe dependiendo de múltiples factores (intensidad del ejercicio, ambiente, estado de aclimatación al calor, etc.), se ha sugerido que aplicar los parches ~20-30 min dentro de la sesión de entrenamiento proporcionarán resultados de la tasa de sudoración, y por lo tanto $[Na^+]$ en sudor, más indicativos del ejercicio que el sudor inicial (Morris et al., 2013). Sin embargo, se necesita investigación adicional para determinar el impacto del momento de la aplicación de parches sobre la $[Na^+]$ en sudor para ayudar a informar las mejores prácticas en la prueba de sudoración.

Inmediatamente antes de la aplicación del parche, la piel del atleta debe limpiarse con alcohol, enjuagarse con agua destilada o agua deionizada, y después secarse con gasa o toalla de papel libres de electrolitos. Aunque los investigadores han demostrado que frotar agresivamente y la limpieza meticulosa de la piel es necesaria para evitar la contaminación de la superficie de la piel (de la descamación de la piel y residuos minerales) con los minerales traza (hierro, zinc, cobre, magnesio y calcio), no hay evidencia de que sea necesario cuando se mide la $[Na^+]$ y la concentración de potasio ($[K^+]$) en sudor (Ely et al., 2011). Para llevar al mínimo los problemas potenciales de que los parches se aflojen o se desprendan de la piel, los investigadores pueden rasurar el área antes de la aplicación del parche. Además, el parche del antebrazo puede cubrirse con una manga para el brazo hecha de material transpirable para prevenir la pérdida de adhesión. Los parches deben monitorearse durante el ejercicio y removerse cuando se absorba suficiente muestra (determinado por evaluación visual), pero antes de saturarse. Entonces, después de la separación de la cubierta adhesiva, la almohadilla absorbente debe colocarse en un tubo plástico hermético utilizando pinzas de disección (fórceps) limpias. Durante la aplicación y remoción de parches el investigador debe utilizar guantes limpios, libres de electrolitos para prevenir contaminación de la muestra de sudor. Para extraer el sudor de la almohadilla absorbente, la almohadilla puede ser ya sea: 1) colocada en un tubo de filtro y posteriormente centrifugarla a ~3000 rpm por ~10 min (por ej., si se planea enviar al laboratorio para análisis) o 2) colocada en el cilindro de una jeringa plástica y exprimida con el émbolo (por ej., si se planea realizar el análisis en el campo).

Almacenamiento del sudor

Si las almohadillas absorbentes o las muestras de sudor necesitan almacenarse/transportarse al laboratorio para su análisis posterior, los tubos de almacenamiento deben sellarse para prevenir evaporación. Pocos estudios han investigado los efectos de la temperatura y duración del almacenamiento de muestras sobre la $[Na^+]$ en sudor. Las guías de pruebas de sudoración establecidas para el diagnóstico de la fibrosis quística recomiendan que las muestras se almacenen a ~4°C (~39°F) (esto es, refrigeradas) por un máximo de 3 días para prevenir la evaporación (Collie et al., 2014). Sin embargo, los estudios en los cuales se basan estas guías no investigaron duraciones más prolongadas

de almacenamiento de muestras (por ej., ~1 semana) o el impacto sobre la $[Na^+]$ en sudor. Así, se necesita más trabajo para especificar mejores prácticas para la duración máxima de almacenamiento de las almohadillas absorbentes y las muestras de sudor.

Artículo	Comentarios
Recolección	
Parches absorbentes	Hechos con un vendaje adhesivo y hermético propio (ej. Tegaderm™) o de fábrica (ej. 3M™ o "Technical Absorbents, Ltd"); con tamaño de parche ~10 -30 cm ² .
Manga transpirable ligera	Para asegurar el parche al antebrazo (ej. Malla tubular elástica "Surgilast").
Fórceps (pinzas metálicas)	Limpios y libres de sodio; de acero inoxidable o plástico desechable; para remover el parche de la piel.
Toallitas con alcohol	Para limpiar la piel antes de la aplicación del parche.
Agua destilada o deionizada	Para limpiar la piel antes de la aplicación del parche y limpiar/enjuagar equipo (ej., pinzas metálicas) cuando se necesite.
Rastrillos desechables	Para rasurar el sitio donde se colocará el parche antes de su aplicación.
Gasas o toallas de papel	Limpias y libres de sodio; para limpiar y secar la superficie de la piel después de esterilizarla.
Guantes	Libres de sodio; para prevenir la contaminación en el manejo de los parches.
Almacenamiento / Transportación	
Tubos plásticos de almacenamiento con tapa hermética	Para el almacenamiento del parche absorbente o muestra de sudor; los ejemplos incluyen tubos con filtro (ej. Starstedt Salivette) para el almacenamiento de parches y posterior centrifugación o refrigeración de muestras de sudor almacenadas
Película para sellar	Para sellar las tapas de los tubos de almacenamiento, si el parche/muestra será almacenado/transportado para análisis posteriores (ej., película para sellar de laboratorio Parafilm M)
Refrigerador o hielera	Aplica si el parche/muestra será almacenado/transportado para análisis posterior
Análisis en campo	
Jeringas de plástico	Estériles, cerradas, capacidad de ~5 mL; para la extracción del sudor del parche en el campo
Tubos plásticos de almacenamiento con tapa hermética	Para el almacenamiento temporal en el campo; entre la extracción y el análisis
Pipeta con graduación y puntas para pipeta	Para transferir la muestra al dispositivo de análisis
Dispositivo de análisis portátil y accesorios (ej. Solución para calibrar Na ⁺)	Para el análisis de Na ⁺ (ej. "LAQUA twin" medidor compacto del Ion Sodio, Horiba, Ltd.)
Análisis en Laboratorio	
Centrífuga	Para extraer la muestra del parche
Dispositivo de análisis y accesorios (ej. Solución para calibrar Na ⁺)	Para el análisis de Na ⁺ (ej. Cromatografía de iones o espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado)

Ver texto para la discusión y las referencias de soporte.

Tabla 2: Equipo y suministros recomendados para la medición de la concentración de sudor local en campo, usando el método del parche absorbente.

Análisis del sudor

Se han utilizado muchas técnicas analíticas de laboratorio para medir la $[Na^+]$ en sudor, incluyendo cromatografía de iones (CI), espectrometría de masas, electrodos selectivos de iones (ESI) y fotometría de flama (FF). Las técnicas de referencia de laboratorio contemporáneas para el análisis de electrolitos en sudor son CI y espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado, de los cuales ambos requieren solo pequeños volúmenes de muestras y se ha encontrado que son altamente precisas, sensibles y confiables (CV ~1-5%) (Doorn et al., 2015; Pullan et al., 2013). Sin embargo, si no puede controlarse la duración de almacenamiento de la muestra y las condiciones durante el transporte al laboratorio, el análisis de sudor en el campo tal vez sea la mejor práctica. Los inconvenientes prácticos (costo, retraso en obtener los resultados) del transporte/envío de muestras al laboratorio pueden ser otras razones por las que los investigadores elijan llevar a cabo el análisis de la $[Na^+]$ en sudor en el campo. Las técnicas comunes en el campo para el análisis de la $[Na^+]$ incluyen ESI y conductividad. Comparado con CI, las técnicas de ESI tienen confiabilidad similar (CV ~1-4% para ambos métodos) y producen valores de $[Na^+]$ en sudor dentro de ~2-4 mmol/L (o ~4-10%) (Baker et al., 2014; Goulet et al., 2012). Aún, se necesitan más estudios que comparen diferentes técnicas analíticas para determinar las mejores prácticas en el análisis de $[Na^+]$ en sudor en el laboratorio y en el campo. Ningún estudio ha comparado directamente todos los métodos; pero en estudios separados, la conductividad produce valores de $[Na^+]$ en sudor ~6% más altas que FF (Boisvert & Candas, 1994), los valores de FF fueron ~20% más altos que ESI (Dziedzic et al., 2014) y CI (Baker et al., 2015), y los valores de ESI fueron ~4% (Goulet et al., 2012) y ~10% (Baker et al., 2014) más altos que CI.

Otras consideraciones

Es importante notar que la $[Na^+]$ en sudor local generalmente no es una medición directa válida de la $[Na^+]$ de todo el cuerpo porque: 1) cubrir la superficie de la piel con un parche crea un microambiente (es decir, aumenta la humedad local y la humedad de la piel), 2) el sudor recolectado dentro de las cubiertas oclusivas puede confundirse por la interacción del estrato córneo de la piel, y 3) la $[Na^+]$ del sudor varía en las diferentes regiones del cuerpo. Las siguientes secciones discuten estas tres limitaciones y como puede mitigarse su impacto de confusión sobre la $[Na^+]$.

Debido a que los parches absorbentes consisten en cubiertas oclusivas, aumentan la acumulación de humedad en la piel. Esto lleva a un bloqueo progresivo de los ductos de sudor y supresión de la sudoración (esto es, hidromeiosis) en el área de recolección de la muestra de sudor (Candas et al., 1983). Sin embargo, se ha propuesto que la hidromeiosis puede llevarse al mínimo utilizando parches elaborados con material con una capacidad absorbente alta y/o limitar el tiempo del parche sobre la piel (Havenith et al., 2008; Taylor & Machado-Moreira, 2013). Aunque algunos han sugerido un tiempo de adherencia máxima de 5 min (Morris et al., 2013), otros han dejado los parches en la piel de los atletas por ~15-30 min o incluso hasta ~90 min en los estudios de campo. Estos tiempos más prolongados de adherencia de parches en los estudios de campo son probablemente debidos a la limitada accesibilidad al atleta durante entrenamientos/juegos en vivo o debido a la necesidad de recolectar suficiente volumen de muestra (por ejemplo, en atletas con bajas tasas de sudoración). Actualmente no está claro cómo el tiempo de adherencia de los parches impacta en la $[Na^+]$ en sudor local, por lo que se necesita más trabajo en esta área para determinar las mejores prácticas en la recolección de sudor utilizando el método de parche absorbente.

La extracción de electrolitos (de la piel a la muestra local de sudor) y/o la absorción de agua (del sudor a la piel) pueden llevar a concentraciones de electrolitos en sudor falsamente altas de muestras recolectadas dentro de las cubiertas oclusivas (Van Heyningen & Weiner, 1952; Weschler, 2008). Para mitigar este problema potencial, la $[K^+]$ en sudor puede utilizarse como chequeo de control de calidad. Se espera que la $[K^+]$ en sudor permanezca relativamente consistente a pesar de los cambios en la tasa de sudoración. Por lo tanto, si la $[K^+]$ en sudor está fuera del rango normal (~2-10 mmol/L), pueden sospecharse problemas potenciales con la extracción o contaminación/evaporación de la muestra (Dziedzic et al., 2014; Maughan & Shirreffs, 2008; Weschler, 2008).

Es bien conocido que la tasa de sudoración y la $[Na^+]$ en sudor varían considerablemente a través del cuerpo dentro de un mismo individuo (Taylor & Machado-Moreira, 2013). Las variaciones regionales en la $[Na^+]$ en sudor pueden explicarse en parte por las variaciones regionales en la tasa de sudoración local. No es sorprendente el reporte de que las diferencias inter-regionales en la tasa de sudoración y la $[Na^+]$ en sudor locales sigan el mismo patrón general (por ejemplo, frente > pecho > escápula > antebrazo > muslo) (Patterson et al., 2000). La mayoría de los sitios anatómicos locales utilizados generalmente en pruebas de sudor (por ejemplo, antebrazo, escápula, pecho y frente) sobreestiman la $[Na^+]$ de todo el cuerpo por ~25-100% (Baker et al., 2009; Patterson et al., 2000; Shirreffs & Maughan, 1997). No obstante, se ha reportado que la $[Na^+]$ en sudor local está alta y significativamente correlacionada con la $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo. Así, están disponibles ecuaciones de regresión para predecir la $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo a partir de la concentración local de Na^+ en sudor utilizando parches absorbentes (Baker et al., 2009) y pouches (pequeñas bolsas) de Parafilm® (Patterson et al., 2000).

Predicción de las pérdidas de $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo

La ecuación de predicción de $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo para el sitio del antebrazo utilizando parches absorbentes es la siguiente (Baker et al., 2009):

Ecuación 3: Predicción de $[Na^+]$ en sudor de TC (mmol/L) = $0.57 (Na^+ \text{ del sudor del antebrazo}) + 11.05$

Los estudios reportan que no hay diferencias significativas bilaterales en la $[Na^+]$ en sudor del antebrazo (Baker et al., 2015; Dziedzic et al., 2014); por lo que puede utilizarse indistintamente el antebrazo derecho o izquierdo. Ver Baker et al. (2009) para las ecuaciones de predicción de la escápula, pecho, frente, muslo y el conjunto de los cinco sitios.

La pérdida total de Na^+ en sudor de todo el cuerpo puede estimarse a partir de la pérdida de sudor total y la $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo usando la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Pérdida de Na^+ en sudor de TC (mmol) = Pérdida de sudor TC * $[Na^+]$ en sudor de TC

La pérdida total de Na^+ en sudor de todo el cuerpo puede convertirse de mmol a mg utilizando la masa molar de Na^+ (22.99 mg/mmol) en la siguiente ecuación:

Ecuación 5: Pérdida de Na^+ en sudor de TC (mg) = Pérdida de Na^+ en sudor de TC * 22.99 mg/mmol * 1 g/1000 mg

RETOS DE LA PRUEBA DE SUDORACIÓN Y MEJORES PRÁCTICAS

Las Tablas 3 y 4 muestran listas de los retos comunes y las mejores prácticas correspondientes para considerar cuando se mide la tasa de sudoración de todo el cuerpo y la $[Na^+]$ en sudor respectivamente, en atletas durante el ejercicio. Aunque se intenta que estas recomendaciones se utilicen simplemente como una guía, desviaciones significativas del protocolo pueden garantizar la necesidad de que se repita la prueba de sudor, o por lo menos, que los resultados se interpreten con cuidado. Se sabe que se requiere trabajo adicional en algunas áreas para corroborar o refinar estas mejores prácticas. Por ejemplo, futuras investigaciones deben determinar el impacto del momento de la aplicación/retiro del parche, el nivel de saturación del parche, las condiciones de almacenaje de la muestra de sudor y variaciones en las técnicas analíticas de la $[Na^+]$ en sudor.

APLICACIONES PRÁCTICAS

- La tasa de sudoración de todo el cuerpo puede estimarse en el campo a partir del cambio en la masa corporal antes y después del ejercicio, siempre y cuando se hagan correcciones apropiadas de las fuentes de masa corporal que no son sudor (por ejemplo, consumo de líquido, producción de orina, etc.).

Reto	Mejores prácticas para calcular la tasa de sudoración de todo el cuerpo
Condiciones variables	<ul style="list-style-type: none"> Hacer pruebas en condiciones (intensidad, clima, temporada, equipo utilizado, etc.) relevantes y específicas al entrenamiento/competencia de los atletas Realizar múltiples pruebas a los atletas para determinar su tasa de sudoración en varias condiciones relevantes
Ropa/Uniforme	<ul style="list-style-type: none"> Pesar desnudo al atleta o con el mínimo de ropa (ej., shorts de compresión, top deportivo) Si no se utiliza la masa corporal desnudo, estimar el sudor contenido en la ropa/uniforme
Cambios en la masa corporal de fuentes diferentes a la sudoración	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de líquido: pesar e incluir en la porción de consumo en la Ecuación 1 Consumo de alimento: pesar e incluir en la porción de ingesta en la Ecuación 1 Pérdida de agua en la respiración y oxidación de sustratos: particularmente si el ejercicio es > 2-3 h, de alta intensidad o en un clima seco), estimar con las ecuaciones correspondientes (ver, Michelle et al., 1972) y restarlo del valor de PSTC (determinado en la Ecuación 1) Producción de orina: Recolectar y pesar cualquier salida de orina entre las mediciones de la masa corporal pre y post ejercicio, incluir en la parte de producción de orina de la Ecuación 1 Pérdidas en heces: pesar al atleta antes y después de la evacuación para estimar la pérdida de heces; incluir en la parte de producción de orina de la Ecuación 1
Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> Medir la masa corporal antes y después del ejercicio por duplicado Registrar cualquier ropa, vendaje deportivo, rodilleras o coderas utilizados durante las mediciones de antes y después del ejercicio para confirmar consistencia Monitorizar el consumo de líquido y visitas al baño - la prueba será inválida si no se miden el consumo de líquido y pérdida de orina Monitorizar la expectoración de líquido, la prueba será inválida si este factor no se controla/previene

Vea el texto para las discusiones y referencias de apoyo, PSTC, pérdida de sudor de todo el cuerpo

Tabla 3: Retos y recomendación de las correspondientes mejores prácticas para la medición de la tasa de sudoración de todo el cuerpo en el campo.

- La $[Na^+]$ en sudor local puede estimarse en el campo utilizando la técnica del parche absorbente. Las ecuaciones de regresión publicadas pueden utilizarse para predecir la $[Na^+]$ en sudor de todo el cuerpo a partir de $[Na^+]$ en sudor local.
- Ejemplo de los cálculos utilizando las Ecuaciones 1-5 enumeradas anteriormente y usando los siguientes datos teóricos: Masa corporal pre-ejercicio = 82.5 kg; masa corporal post-ejercicio = 81.0 kg; consumo de líquido = 1.1 L; pérdida de orina = 0.3 L; $[Na^+]$ en sudor del antebrazo = 54 mmol/L; duración del ejercicio = 1 h 45 min. PSTC (L) = 82.5 kg - (81.0 kg - 1.1 kg + 0.3 kg) = 2.3 L (se asume que 1 kg = 1 L); TSTC (L/h) = 2.3 L/1.75 h = 1.3 L/h; $[Na^+]$ en sudor de TC (mmol/L) = 0.57 (54 mmol/L) + 11.05 = 41.83 mmol/L; Pérdida de Na^+ en sudor de TC (mmol) = 2.3 L * 41.83 mmol/L = 96.21 mmol; Pérdida de Na^+ en sudor de TC (mg) = 96.21 mmol * 22.99 mg/mmol * 1 g/1000 mg = 2.2 g

Reto	Mejores prácticas para calcular la $[Na^+]$ en sudor
Condiciones variables	<ul style="list-style-type: none"> Hacer pruebas en condiciones (intensidad, clima, temporada, equipo utilizado, etc.) relevantes y específicas al entrenamiento/competencia de los atletas Realizar múltiples pruebas a los atletas para determinar su tasa de sudoración en varias condiciones relevantes
Antecedentes de contaminación en los métodos	Revisar los antecedentes de errores de medición de Na^+ en el sistema de recolección (ej., parches, tubos de almacenaje, etc.) y eliminarlo del valor de $[Na^+]$ en sudor
Contaminación de la superficie de la piel	<ul style="list-style-type: none"> Limpia la piel inmediatamente antes de la aplicación: alcohol, enjuagar con agua destilada/deionizada, y secar con gasas/toallitas libres de sodio Evitar la contaminación cruzada cuando se utilizan múltiples parches por atleta o se trabaja con múltiples atletas (por ej., usar pinzas limpias para cada parche)
¿Localización anatómica ideal?	<ul style="list-style-type: none"> Considerar la accesibilidad y la validez de los sitios al comparar con los resultados de todo el cuerpo (ej., el antebrazo probablemente sea el más apropiado cuando se consideran ambos factores)
Caída de parches durante la prueba	<ul style="list-style-type: none"> Para mejor adherencia, rasura el área de piel donde se aplicará el parche; también antes de la aplicación del parche, quitar cualquier loción, polvo o aceites limpiando el sitio con alcohol, enjuagando con agua destilada/deionizada, y secando con gasas/toallitas libres de sodio Revisar regularmente que los parches estén adheridos a la piel, la prueba es inválida si el parche se despeg Aplicar múltiples parches (ej., antebrazo derecho e izquierdo o usar el método de los 5 sitios, ver Baker et al., 2009) para tener al menos un parche de respaldo Cubrir el parche del antebrazo con una manga para brazo de material transpirable (ej., malla para vendaje elástica tubular Surgilast[®])
¿Tiempo ideal para aplicar parches?	<ul style="list-style-type: none"> Si es posible, aplique los parches ~20-30 min después del inicio del ejercicio (para obtener resultados más representativos de sudoración durante el ejercicio en lugar del sudor inicial)
Hidromeiosis	<ul style="list-style-type: none"> Prevenir la saturación del parche al limitar el tiempo del parche sobre la piel, cambiando parches frecuentemente, y/o utilizando parches con alta capacidad absorbente. Si la posibilidad de hidromeiosis es alta (ej., sudadores intensos, larga duración del parche sobre la piel, etc.) aplicar los parches donde se espere una menor tasa de sudoración (ej., muslo) para disminuir la posibilidad de saturación del parche.

¿Analizar muestras en el campo o enviarlos al laboratorio?	<ul style="list-style-type: none"> • Si se almacenan o transportan muestras para análisis en el laboratorio, refrigerar (ej., 4°C) por un máximo de 3-5 días en contenedores herméticos (ej., sellados con Parafilm®) • Las técnicas de laboratorio de referencia son cromatografía de iones y espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado • Si se analizan las muestras en el campo, utilizar un método de electrodos selectivo de iones con un aparato portátil (ej., ver Baker et al., 2014; Goulet et al., 2012) • Se recomienda análisis en el campo si la duración de almacenaje de la muestra y las condiciones durante el transporte no pueden controlarse
Extrapolación a todo el cuerpo	Considerar accesibilidad y validez del sitio al comparar con resultados de todo el cuerpo (ej., el antebrazo probablemente sea el más apropiado cuando se consideran ambos factores)
Extrapolación a todo el cuerpo	<p>Muestras marcadas que cubren cualquiera de los siguientes criterios: revisar métodos y datos con posibles problemas/desviaciones del protocolo y volver a hacer la prueba:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $[Na^+]$ en sudor < 10 mmol/L o > 90 mmol/L • $[K^+]$ en sudor < 2 mmol/L o > 10 mmol/L

**Vea el texto para la discusión y referencias de apoyo.
[K⁺] concentración de potasio; [Na⁺] concentración de sodio**

Tabla 4: Retos y recomendación de las correspondientes mejores prácticas para la medición de la concentración de sodio en sudor usando la técnica de parche absorbente en el campo.

- Existe una variabilidad considerable en las tasas de sudoración (~0.5 a 2.0 L/h) y $[Na^+]$ en sudor (~10-90 mmol/L) dentro y entre atletas.
- Mucha de esta variabilidad se espera como resultado de las diferencias en la intensidad del ejercicio, condiciones ambientales, estado de aclimatación al calor, predisposición genética y muchos otros factores. Sin embargo, algo de la variabilidad en los resultados (inesperada o no deseada) puede deberse a una metodología pobre o inconsistente (por ejemplo, ~5-35% en la tasa de sudoración y ~5-100% en $[Na^+]$ en sudor).
- Aun cuando se sigan las mejores prácticas, algo de variabilidad natural intra-atleta en los resultados de las pruebas de sudor es aún esperada. Por ejemplo, se ha reportado que el coeficiente de variación día a día es ~5-7% para la tasa de sudoración de todo el cuerpo y ~5-16% para la $[Na^+]$ en sudor local.
- Así, las diferencias en los resultados entre las pruebas pueden sólo tener significancia práctica (por ejemplo, cambios justificados en la estrategia de reposición de líquidos) cuando un cambio en las condiciones (por ejemplo, intensidad del ejercicio, ambiente, metodología, etc.) provoca cambios en la tasa de sudoración por > ~5% y $[Na^+]$ en sudor por > ~15%.

RESUMEN

El uso de un control metodológico y estandarización apropiados cuando se hacen pruebas de sudor en atletas puede llevar al mínimo errores y variabilidad no deseada en los resultados. Más aún, es importante que las pruebas de sudor estén interpretadas en el contexto apropiado. Por ejemplo, los resultados de tasa de sudoración y $[Na^+]$ en sudor, son sólo aplicables a las condiciones específicas (esto es, intensidad del ejercicio, ambiente, etc.) en las cuales se realizó la prueba. Por lo tanto, es importante realizar estudios de campo de tal forma que se evalúe a los atletas en su entrenamiento nativo y condiciones de juego. Además, las comparaciones entre pruebas de sudor son solamente válidas si se utilizan los mismos métodos. En resumen, la prueba de sudor puede ser una herramienta útil para estimar la tasa de sudoración de los atletas y pérdidas de Na^+

en sudor para ayudar a guiar las estrategias de reposición de líquidos/electrolitos, siempre y cuando se recolecten, analicen e interpreten los datos apropiadamente.

REFERENCIAS

- Armstrong, L.E. (2007). Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J. Am. Coll. Nutr.* 26:575S-584S.
- Armstrong, L.E., and C.M. Maresh (1998). Effects of training, environment, and host factors on the sweating response to exercise. *Int. J. Sports Med.* 19:S103-S105.
- Baker, L.B., K.A. Barnes, M.L. Anderson, D.H. Passe, and J.R. Stofan (2015). Normative data for regional sweat sodium concentration and whole-body sweating rate in athletes. *J. Sports Sci.* 12:1-11.
- Baker, L.B., J.R. Stofan, A.A. Hamilton, C.A. and Horswill (2009). Comparison of regional patch collection vs. whole body washdown for measuring sweat sodium and potassium loss during exercise. *J. Appl. Physiol.* 107:887-895.
- Baker, L.B., C.T. Ungaro, K.A. Barnes, R.P. Nuccio, A.J. Reimel, and J.R. Stofan (2014). Validity and reliability of a field technique for sweat Na^+ and K^+ analysis during exercise in a hot-humid environment. *Physiol. Rep.* 2(5):e12007.
- Boisvert, P., V. Candas (1994). Validity of the Wescor's sweat conductivity analyzer for the assessment of sweat electrolyte concentrations. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69:176-178.
- Buono, M.J., K.D. Ball, and F.W. Kolkhorst (2007). Sodium ion concentration vs. sweat rate relationship in humans. *J. Appl. Physiol.* 103:990-994.
- Candas, V., J.P. Libert, and J.J. Vogt (1983). Sweating and sweat decline of resting men in hot humid environments. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 50:223-234.
- Cheuvront, S.N., E.M. Haymes, and M.N. Sawka (2002). Comparison of sweat loss estimates for women during prolonged high-intensity running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1344-1350.
- Collie, J.T., R.J. Massie, O.A. Jones, V.A. LeGrys, and R.F. Greaves (2014). Sixty-five years since the New York heat wave: advances in sweat testing for cystic fibrosis. *Pediatr. Pulmonol.* 49:106-117.
- Doorn, J., T.T. Storteboom, A.M. Mulder, W.H. de Jong, B.L. Rottier, and I.P. Kema (2015). Ion chromatography for the precise analysis of chloride and sodium in sweat for the diagnosis of cystic fibrosis. *Ann. Clin. Biochem.* 52(Pt 4):421-427.
- Dziedzic, C.E., M.L. Ross, G.J. Slater, and L.M. Burke (2014). Variability of measurements of sweat sodium using the regional absorbent patch method. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9:832-838.
- Eichner, E.R. (2008). Genetic and other determinants of sweat sodium. *Curr. Sports Med. Rep.* 7:S36-S40.
- Ely, M.R., R.W. Kenefick, S.N. Cheuvront, T.D. Chivever, C.P. Lacher, H.C. Lukaski, and S.J. Montain (2011). Surface contamination artificially elevates initial sweat mineral concentrations. *J. Appl. Physiol.* 110:1534-1540.
- Gagnon, D., O. Jay, and G.P. Kenny (2013). The evaporative requirement for heat balance determines whole-body sweat rate during exercise under conditions permitting full evaporation. *J. Physiol.* 591:2925-2935.
- Goulet, E.D., T. Dion, and E. Myette-Cote (2012). Validity and reliability of the Horiba C-122 compact sodium analyzer in sweat samples of athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112:3479-3485.
- Havenith, G., A. Fogarty, R. Bartlett, C.J. Smith, and V. Venenat (2008). Male and female upper body sweat distribution during running measured with technical absorbents. *Eur. J. Appl. Physiol.* 104:245-255.
- Kirby, C.R., and V.A. Convertino (1986). Plasma aldosterone and sweat sodium concentrations after exercise and heat acclimation. *J. Appl. Physiol.* 61:967-970.
- Maughan, R.J., and S.M. Shirreffs (2008). Development of individual hydration strategies for athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 18:457-472.
- Maughan, R.J., S.M. Shirreffs, and J.B. Leiper (2007). Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J. Sports Sci.* 25:797-804.
- Mitchell, J.W., E.R. Nadel, and J.A. Stolwijk (1972). Respiratory weight losses during exercise. *J. Appl. Physiol.* 32:474-476.
- Morris, N.B., M.N. Cramer, S.G. Hodder, G. Havenith, and O. Jay O (2013). A comparison between the technical absorbent and ventilated capsule methods for measuring local sweat rate. *J. Appl. Physiol.* 114:816-823.

- Patterson, M.J., S.D. Galloway, and M.A. Nimmo (2000). Variations in regional sweat composition in normal human males. *Exp. Physiol.* 85:869-875.
- Pullan, N.J., V. Thurston, and S. Barber (2013). Evaluation of an inductively coupled plasma mass spectrometry method for the analysis of sweat chloride and sodium for use in the diagnosis of cystic fibrosis. *Ann. Clin. Biochem.* 50:267-270.
- Sato, K (1977). The physiology, pharmacology, and biochemistry of the eccrine sweat gland. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 79:51-131.
- Sawka, M.N., L.M. Burke, E.R. Eichner, R.J. Maughan, S.J. Montain, and N.S. Stachenfeld (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:377-390.
- Sawka, M.N., L.R. Leon, S.J. Montain, and L.A. Sanna (2011). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Compr. Physiol.* 1:1883-1928.
- Shirreffs, S.M., and R.J. Maughan (1997). Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *J. Appl. Physiol.* 82:336-341.
- Shirreffs, S.M., and M.N. Sawka (2011). Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *J. Sports Sci.* 29:S39-S46.
- Taylor, N.A., and C.A. Machado-Moreira (2013). Regional variations in transepidermal water loss, eccrine sweat gland density, sweat secretion rates and electrolyte composition in resting and exercising humans. *Extrem. Physiol. Med.* 2:4.
- Van Heyningen, R., and J.S. Weiner (1952). A comparison of arm-bag sweat and body sweat. *J. Physiol.* 116:395-403.
- Weschler, L.B. (2008). Sweat electrolyte concentrations obtained from within occlusive coverings are falsely high because sweat itself leaches skin electrolytes. *J. Appl. Physiol.* 105:1376-1377.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Baker, L.B. (2016). Sweat testing methodology in the field: Challenges and best practices. *Sports Science Exchange* Vol. 28, No. 161, 1-6, por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.