

**Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu**

mgr Joanna Kamińska

Rozprawa doktorska

**Zmiany w zakresie gospodarki wodno-
elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej
u zawodniczek gier zespołowych poddanych
zróżnicowanemu nawodnieniu**



Promotor:
prof. dr hab. Maciej Pawlak

Promotor pomocniczy:
dr Tomasz Podgórski

Poznań 2021

Spis treści:

1. Streszczenie	2
2. Abstract	4
3. Autoreferat	6
3.1. Wykaz osiągnięć	6
3.1.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	6
3.1.2. Prace wchodzące w cykl publikacji	6
3.2. Wprowadzenie do problematyki cyklu publikacji	7
3.3. Uzasadnienie podjęcia badań i cele pracy	11
3.4. Materiał i metody badań	13
3.5. Wyniki badań i ich omówienie	20
3.6. Wnioski	26
3.7. Mocne i słabe strony badań, ich wartość aplikacyjna oraz wskazania do dalszych badań ...	27
3.8. Piśmiennictwo	29
4. Załączniki	36
4.1. Oświadczenia współautorów	36
4.2. Publikacja 1	38
4.3. Publikacja 2	49

1. Streszczenie

Organizm sportowca zarówno podczas aktywności fizycznej, jak i w czasie regeneracji, wymaga prawidłowego nawodnienia uwzględniającego optymalny bilans wodny oraz prawidłową w aspekcie jakościowym i ilościowym zawartość elektrolitów. Najważniejsze spośród nich, takie jak Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , poza udziałem w gospodarce wodno-elektrolitowej, włączone są również w inne procesy, między innymi regulację równowagi kwasowo-zasadowej organizmu.

W czasie aktywności fizycznej możliwa jest utrata nawet do ponad 3 litrów wody na godzinę. Dokładne określenie zapotrzebowania na płyny u sportowca wymaga jednak przeprowadzenia oceny nie tylko stanu nawodnienia, ale również równowagi kwasowo-zasadowej organizmu. Dotyczy to szczególnie gier zespołowych, gdzie każda rozgrywka ma swoje tempo, dynamikę i intensywność, co przekłada się na indywidualne obciążenie organizmu każdego z zawodników. Poznanie zakresu tych zmian oraz określenie zmienności wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej oznaczanych we krwi i moczu zawodników, zwłaszcza pod wpływem dodatkowych, wprowadzonych czynników eksperymentalnych, takich jak zróżnicowana osmolarność spożywanych napojów lub miejsce treningu, stało się celem moich poszukiwań badawczych.

Grupę badaną tworzyło 14 zawodniczek hokeja na trawie oraz 12 zawodniczek piłki ręcznej, spośród których 6 uczestniczyło również w treningach odmiany plażowej tej gry. Materiał do badań stanowiła krew kapilarna z opuszki palca oraz mocz, pozyskane przed i po treningu. We krwi oznaczano stężenie elektrolitów (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , Mg), mleczanu, aldosteronu, wartość osmolalności, hematokrytu i pH krwi oraz standardowy nadmiar zasad, natomiast w moczu ciężar właściwy oraz pH. Jednostki treningowe u piłkarek ręcznych, zarówno w hali, jak i na plaży, stanowiły symulowane mecze, w trakcie których zawodniczki spożywały wodę niskozmineralizowaną. U hokeistek, wyśitek był realizowany jako standardowa jednostka treningowa. Zawodniczki każdorazowo przydzielano losowo do grup spożywających płyny o różnym składzie mineralnym (woda niskozmineralizowana, woda wysokozmineralizowana, napój izotoniczny), w sposób zapewniający przyjęcie przez wszystkie hokeistki każdego z napojów. W obu grupach badanych, o czasie i ilości przyjmowanych płynów zawodniczki decydowały samodzielnie.

Wyniki badań obu grup zawodniczek wykazały nieliczne powysiłkowe różnice istotne statystycznie, odnoszące się do miejsca treningu czy przyjmowanego napoju. U piłkarek

ręcznych różnica pomiędzy wartościami powysiłkowymi w hali i na plaży dotyczyła stężenia jonów wapniowych, które bardziej obniżyło się po treningu w hali, oraz pH moczu, które bardziej obniżyło się po treningu na plaży. Można przypuszczać, że stosunkowo mała rozbieżność wartości powysiłkowych u piłkarek ręcznych spowodowana była przez kilka czynników, m. in. odpowiednio dobrany strój, objętość przyjmowanych płynów i dostosowanie intensywności wysiłku. Natomiast u hokeistek, różnicę pomiędzy wartościami powysiłkowymi dla trzech badanych napojów stwierdzono tylko w przypadku osmolalności osocza, stężenia jonów sodu, potasu oraz aldosteronu. Wszystkie zaobserwowane różnice wystąpiły wyłącznie po porównaniu napoju izotonicznego z napojami hipotonicznymi. Spożycie napoju izotonicznego bogatego w sód wiązało się najmniejszym przyrostem stężenia aldosteronu, który odpowiada za reabsorpcję sodu w kanalikach nerkowych, zwiększając przy tym wydalanie jonów potasu z moczem. W konsekwencji zaobserwowano największą redukcję stężenia jonów sodu po wysiłku, a najmniejszą potasu, co przekładało się również na największe obniżenie osmolalności krwi. Sugeruje to, że napoje izotoniczne w przeciwieństwie do hipotoników sprawniej stabilizują układ renina-angiotensyna-aldosteron, co zapewnia najlepsze nawodnienie definiowane przez osmolalność osocza krwi. Dodatkowo określono, że różnice wartości przed- i potreningowe pojedynczej jednostki treningowej, niezależnie od czynnika eksperymentalnego wpływają znacząco na zmianę wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej. Znajduje to potwierdzenie w wynikach dostępnych w piśmiennictwie, dotyczących różnych dyscyplin sportu, w szczególności innych gier zespołowych.

2. Abstract

The athlete's body, both during physical activity and during recovery, requires proper hydration taking into account the optimal water balance and the correct qualitative and quantitative content of electrolytes. The most important of them, such as Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , apart from their participation in the water-electrolyte balance, are also involved in other processes, including the regulation of the acid-base balance of the body.

During physical activity, it is possible to lose up to more than 3 liters of water per hour. Accurate determination of an athlete's fluid needs requires the assessment of not only hydration, but also the body's acid-base balance. This is especially important of team games, where each game has its own pace, dynamics and intensity, which influence an individual training load on the body of each player. Understanding the scope of these changes and determining the variability of the water-electrolyte and acid-base balance measured in the blood and urine of players became the goal of my research. The research was especially focused on influence of additional, introduced experimental factors, such as different osmolality of consumed drinks or the place of training.

Fourteen female field hockey players and twelve female handball players participated in the research, six of whom also participated in the beach variant of this game. Capillary blood from the fingertip and urine were collected before and immediately after training units. The concentration of electrolytes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , Mg), lactate, aldosterone, value of osmolality, hematocrit and blood pH as well as standard excess of bases were determined in the blood. Moreover, specific gravity and pH were measured in urine. The training units for handball players, both in the hall and on the beach, were simulated matches, during which the players consumed low-mineralized water. In field hockey players, effort was implemented as a standard training unit. Each time the athletes were randomly assigned to groups receiving fluids with a different mineral composition (low-mineralized water, high-mineralized water, isotonic drink), in a way that ensured that each subject would take each of analyzed drinks. In both study groups, the players made their own decisions about the time and amount of intake fluids.

The results of the research of both groups of female players showed few post-exercise statistically significant differences, depending on the place of training or the consumed drink. In handball players, the difference between the post-exercise values in the hall and on the beach was related to the concentration of calcium ions, which decreased more

after training in the hall than after training on the beach. On the contrary the urine pH, which decreased more considerably after training on the sand court than hall. It can be assumed that the relatively low discrepancy at the post-exercise values in handball players was caused by several factors, including properly selected outfit, volume of fluid intake and adjustment of exercise intensity. On the other hand, in female field hockey players, the difference between the post-exercise values for the three tested beverages was found only in the case of plasma osmolality, concentration of sodium and potassium ions and aldosterone. All observed differences occurred only when comparing the isotonic drink with the hypotonic drinks. Consumption of the isotonic drink rich in sodium was associated with the lowest increase in the concentration of aldosterone, which is responsible for sodium reabsorption in the renal tubules, while increasing the excretion of potassium ions in the urine at the same time. As a consequence, the greatest reduction in the concentration of sodium ions after exercise, and the lowest in potassium was observed, which also affected the greatest reduction in blood osmolality. This suggests that, unlike hypotonic drinks, isotonic drinks more efficiently stabilize the renin-angiotensin-aldosterone system, which ensures the best hydration defined by plasma osmolality. Additionally, it was determined that the differences in the pre- and post-training values of a single training unit, regardless of the experimental factor, significantly influenced the change of the water-electrolyte and acid-base balance. This is confirmed by the results available in the literature on various sports disciplines, in particular other team games.

3. Autoreferat

3.1. Wykaz osiągnięć

3.1.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcia naukowe, stanowiące podstawę złożonego wniosku o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie nauk o zdrowiu, wskazano monotematyczny cykl publikacji naukowych, obejmujący dwie publikacje pod wspólnym tytułem: „ZMIANY W ZAKRESIE GOSPODARKI WODNO-ELEKTROLITOWEJ I RÓWNOWAGI KWASOWO-ZASADOWEJ U ZAWODNICZEK GIER ZESPOŁOWYCH PODDANYCH ZRÓŻNICOWANEMU NAWODNIENIU”. Zostały one przygotowane w oparciu o badania przeprowadzone w ramach projektu naukowego Rozwoju Sportu Akademickiego numer N RSA3 03553 pt.: „Monitoring nawodnienia organizmu i stężenia elektrolitów u zawodniczek zespołowych gier sportowych w rocznym cyklu treningowym”.

3.1.2. Prace wchodzące w cykl publikacji

- 1) Kamińska, J., Podgórski, T., Kryściak, J., & Pawlak, M. (2020). Effect of simulated matches on post-exercise biochemical parameters in women's indoor and beach handball. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5046. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145046> [IF: 2,849; MNiE: 70]
- 2) Kamińska, J., Podgórski, T., Rachwalski, K., & Pawlak, M. (2021). Does the minerals content and osmolarity of the fluids taken during exercise by female field hockey players influence on the indicators of water-electrolyte and acid-basic balance? *Nutrients*, 13(2), 505. <https://doi.org/10.3390/nu13020505> [IF: 4,546; MNiE: 140]

Sumaryczna punktacja osiągnięcia naukowego w postaci monotematycznego cyklu dwóch publikacji naukowych wyniosła: IF: 7,395; MNiE: 210.

Pełne teksty publikacji wchodzących do cyklu zamieszczono w rozdziale 4.

3.2. Wprowadzenie do problematyki cyklu publikacji

Organizm sportowca, zarówno w okresie zwiększonej aktywności fizycznej, jak i w czasie odnowy, wymaga nawodnienia na prawidłowym poziomie (Volpe i wsp., 2009). Zawartość wody w organizmie zdrowego, dorosłego człowieka wynosi około 60% masy jego ciała. Wskaźnik ten zależy między innymi od wieku, płci, zawartości tkanki tłuszczowej, a także podejmowanej aktywności fizycznej. Osoby uprawiające sport posiadają zazwyczaj więcej wody w organizmie, co jest związane z większą masą tkanki mięśniowej i mniejszym udziałem tkanki tłuszczowej (Ciborowska, 2012; Rychlik i wsp., 2020). Właściwe nawodnienie organizmu nie ogranicza się wyłącznie do zrównoważonego bilansu wody przyjmowanej, wydalanej i tworzonej w procesach metabolicznych, ale również uwzględnia aspekty zachowania homeostazy elektrolitowej i utrzymania fizjologicznego ciśnienia osmotycznego przestrzeni wodnych organizmu. Prawidłowe stężenie jonów w przestrzeniach wewnątrz- i zewnątrzkomórkowej, umożliwia właściwy przebieg podstawowych funkcji organizmu, w tym przekazywania informacji, skurczu mięśni czy pracy serca (Shirreffs, 2003; Murray, 2007; Bonetti i Hopkins, 2010; EFSA, 2010; Maughan i Shirreffs, 2010; Seifert i Chang, 2017). W tych procesach ważne jest zatem dostarczanie płynów zawierających optymalną ilość elektrolitów, zwłaszcza jonów sodowych, potasowych, wapniowych, magnezowych, chlorkowych oraz wodorowęglanowych. Poza modulowaniem gospodarki wodno-elektrolitowej, włączone są one również w inne procesy, chociażby regulację równowagi kwasowo-zasadowej organizmu (Rychlik i wsp., 2020), której homeostaza zostaje zachwiana podczas wysiłku fizycznego generującego metabolity o charakterze kwaśnym, zwłaszcza mleczan, pirogronian, acetoctan i β -hydroksymaślan (Stickland i wsp., 2013).

Sporty zespołowe, w tym piłkę ręczną i hokej na trawie, cechuje wynikająca ze specyfiki dyscyplin powtarzalność wysiłków o wysokiej i niskiej intensywności oraz okresów odpoczynku. Takim wysiłkiem, określanym jako *stop-and-go*, towarzyszy podwyższenie temperatury wewnętrznej organizmu (Gonzalez-Alonso i wsp., 1997). Mechanizmy kompensujące, zwłaszcza zwiększona produkcja potu (Leiper i wsp., 2001), prowadzą do utraty wody oraz zawartych w niej elektrolitów (Shirreffs i Maughan, 1997), co sprzyja odwodnieniu organizmu sportowca (Nuccio i wsp., 2017). Objętość wydzielanego potu zależna jest między innymi od temperatury i wilgotności otoczenia, stanu adaptacji zawodników do aktualnych warunków zewnętrznych oraz kondycji fizycznej poszczególnych graczy (Davis i wsp., 2016; Nuccio i wsp., 2017).

Wiadomo, że ubytki wody przekraczające 2-3% masy ciała skutkują szeregiem konsekwencji, od zaburzeń mechanizmów termoregulacji organizmu (Adams i wsp., 2018), zmniejszenia zdolności wysiłkowych i wytrzymałości mięśniowej, poprzez spadek maksymalnej mocy aerobowej i anaerobowej (Coyle, 2004; Casa i wsp., 2005; Baker i wsp., 2007; Murray, 2007; Maughan i Shirreffs, 2010; Cunniffe i wsp., 2015), aż po zaburzenia świadomości (EFSA, 2010). Odwodnienie organizmu i związane z tym zmiany stężeń jonów zwiększają też prawdopodobieństwo wystąpienia kontuzji, których źródła można upatrywać w zmęczeniu lub spontanicznych skurczach mięśni (Mueller, 2002). Głównym elektrolitem wydzielanym wraz z potem jest sód, natomiast w mniejszych ilościach organizm tą drogą traci chlorki oraz inne jony, zwłaszcza potasowe, wapniowe czy magnezowe (Lentner, 1981; Shirreffs i Maughan, 1997). Procesy te oraz tworzące się podczas wysiłku związki o charakterze kwaśnym, nie są obojętne dla równowagi kwasowo-zasadowej (Lindinger i wsp., 1995; Hanon i wsp., 2012; Wiecek i wsp., 2015). Jej zachwianie manifestuje się szeregiem niekorzystnych zmian w organizmie, obejmujących zmniejszenie kurczliwości białek, zaburzenie struktury trójwymiarowej białek, w tym enzymów oraz wpływ na procesy kognitywne (Allen i wsp., 2003; Girard i wsp., 2011; Macutkiewicz i Sunderland, 2018). Ponadto towarzyszące wysiłkowi fizycznemu podwyższenie stężenia jonów wodorowych we krwi, działając bezpośrednio na komórki kłębuszków nerkowych, nasila uwalnianie aldosteronu (Kramer i wsp., 2000). Hormon ten działając w układzie renina-angiotensyna-aldosteron (RAA) przyczynia się do regulacji stężenia jonów sodowych i potasowych w organizmie. Wzrastające stężenie aldosteronu hamuje wydalanie sodu z moczem, zwiększając utratę jonów potasu z organizmu (Yamauchi i wsp., 1998).

Świadomość występowania tych procesów wskazuje na konieczność kontroli, a w razie potrzeby na uzupełnianie płynów przed, w trakcie oraz po wysiłku fizycznym, zarówno w aspekcie ilościowym, jak i przy uwzględnieniu odniesień jakościowych. Przemieszczanie pobranych płynów z przewodu pokarmowego do krwiobiegu oraz tkanek uzależnione jest m. in. od czasu ich przebywania w żołądku oraz od efektywności ich wchłaniania w jelicie cienkim. Procesy te uwarunkowane są z kolei przez objętość spożytego płynu, zawartości w nim substancji energetycznych, takich jak glukoza oraz gradientu stężeń po obu stronach bariery jelitowej. W związku z tym nasilony transport wody z jelit do krwiobiegu i tkanek możliwy jest zwłaszcza dla napojów hipotonicznych. Napoje hipertoniczne wspierają bardziej przemieszczenie wody z tkanek do światła przewodu pokarmowego (Maughan i Leiper,

1999). Niekorzystne jest również przyjmowanie przez osoby aktywne fizycznie wody o małej zawartości składników mineralnych (roztworów hipotonicznych). Może to skutkować obniżeniem osmolalności osocza, a dalej pobudzeniem produkcji moczu, nasilając odwodnienie i utratę jonów z organizmu (Nose i wsp., 1988; Shirreffs i wsp., 2007).

Objętość przyjmowanych przez człowieka płynów regulowana jest nie tylko przez procesy fizjologiczne, ale również odczucia subiektywne. Atrakcyjność smakowa płynów może okazać się istotnym czynnikiem w procesie nawodnienia, uwzględniając zwłaszcza objętości płynów spożywanych przez zawodników (Passe, 2001). W przypadku wody, na jej smakowitość wpływa zwiększony udział jonów sodu, co stymuluje pragnienie fizjologiczne, a tym samym prowadzi do lepszego nawodnienia (Nose i wsp., 1988). Dlatego płyny o charakterze izotonicznym najskuteczniej wyrównują straty wody i elektrolitów wywołane wysiłkiem fizycznym, zapewniając przy okazji dodatkową podaż energii za sprawą dodatku węglowodanów (Ersoy i Ersoy, 2013).

Przyjmuje się, że wzmożona aktywność fizyczna może spowodować utratę płynów w ilości nawet do ponad 3 litrów na godzinę. Z każdym litrem potu, oprócz wody, usuwany jest również sód w ilości od 1 do 4 gramów (Delavier i Gundill, 2010) oraz inne elektrolity. W celu zapewnienia organizmowi odpowiedniego nawodnienia, *American College of Sports Medicine* zaleca 2-3 godziny przed planowanym wysiłkiem wypicie 400-600 ml płynów, a następnie po każdych 15-20 minutach wysiłku, przyjęcie kolejnych porcji po 150 do 300 ml. Po zakończeniu treningu lub zawodów zaleca się wypicie takiej objętości, które uzupełnią utratę wody z potem, co w praktyce wymaga zwykle spożycia około 1,5 l płynów na każdy kilogram utraconej masy ciała (ACSM, 2007). Sugeruje się, aby przy dokładnym określaniu zapotrzebowania na płyny, u każdego sportowca przeprowadzona została ocena stanu nawodnienia organizmu, przy uwzględnieniu takich czynników jak: intensywność i czas treningu, klimat (temperatura, wilgotność, przepływ powietrza tj. wiatr, klimatyzacja), w którym zawodnik przebywa oraz indywidualne zapotrzebowanie związane z stopniem wytrenowania organizmu (Maughan i wsp., 2007; Maughan i Shirreffs, 2010; Shirreffs, 2010; Maughan i wsp., 2015).

Pomimo dużej wiedzy na temat wpływu wysiłku fizycznego na zmiany w organizmie sportowca, dostrzega się w piśmiennictwie rozbieżne informacje dotyczące korzyści wynikających ze stosowania płynów o różnym składzie podczas aktywności fizycznej. Ramos-Jiménez i wsp. (2013) wykazali taką samą skuteczność nawodniania organizmu

podczas stosowania płynów z dodatkiem lub pozbawionych elektrolitów. Bonetti i Hopkins (2010) porównując działanie napojów hipotonicznych, hipotonicznych pozbawionych sodu, napojów izotonicznych i wody na nawodnienie kolarzy stwierdzili, że napoje hipotoniczne i izotoniczne wykazywały podobne działanie, skuteczniejsze w porównaniu z wodą i napojami hipotonicznymi nie zawierającymi sodu. W innym badaniu, przeprowadzonym przez Lee i wsp. (2011), porównywano działanie napoju sportowego zawierającego elektrolity i węglowodany oraz wody pitnej i placebo. Wspomniani autorzy wykazali większe możliwości wytrzymałościowe u zawodników przyjmujących napój sportowy, w porównaniu do zawodników korzystających z wody lub placebo. Natomiast Shirreffs (2009) wskazał na wyższą wydolność zawodników otrzymujących napoje sportowe o profilu węglowodanowo-elektrolitowym w porównaniu ze stosowaniem wody oraz podkreślił, że przyjmowanie czystej wody było korzystniejsze niż pominięcie nawadniania podczas wysiłku fizycznego.

3.3. Uzasadnienie podjęcia badań i cele pracy

Uzasadnienie podjęcia badań

W praktyce sportowej, znajomość wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej jest ważnym elementem kontroli procesu treningowego. Zapewnienie zawodnikom prawidłowego nawodnienia i równowagi kwasowo-zasadowej umożliwi zmniejszenie lub nawet wykluczenie przynajmniej części zdarzeń, które mogą niekorzystnie oddziaływać na zdrowie zawodnika i/lub obniżyć jego wyniki sportowe. Złuszczanie odwodnienie organizmu asocjowane jest w piśmiennictwie z zaburzeniami mechanizmów termoregulacji organizmu (Adams i wsp., 2018), zmniejszeniem możliwości wysiłkowych i wytrzymałości mięśniowej, obniżeniem maksymalnej mocy aerobowej i anaerobowej (Coyle, 2004; Casa i wsp., 2005; Baker i wsp., 2007; Murray, 2007; Maughan i Shirreffs, 2010; Cunniffe i wsp., 2015), częstszymi kontuzjami (Mueller, 2002), a nawet zaburzeniami świadomości (EFSA, 2010). Dodatkowo, utrata podczas wysiłku podstawowych elektrolitów (Lentner, 1981; Shirreffs i Maughan, 1997) oraz powstające związki o charakterze kwaśnym, uruchamiają zmiany w obszarze gospodarki kwasowo-zasadowej (Lindinger i wsp., 1995; Hanon i wsp., 2012; Wiecek i wsp., 2015). Jej naruszenie uderza przede wszystkim w białka kurczliwe, struktury komórkowe warunkujące transport błonowy oraz procesy metaboliczne (Allen i wsp., 2003; Girard i wsp., 2011; Macutkiewicz i Sunderland, 2018).

Liczba publikacji odnoszących się do gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej u sportowców, uwzględniających stosowne oznaczenia wykonywane we krwi i moczu, jest znaczna. Mimo tego, nie znajduje się tam wyników szerzej zakrojonych badań opisujących potreningowe zmiany omawianych wskaźników, zwłaszcza u kobiet uprawiających gry zespołowe. Ponadto, badania własne uwzględniają dwa dodatkowe aspekty. Pierwszy z nich dotyczy specyfiki miejsca przeprowadzenia treningów, czyli hali lub boiska piaskowego na świeżym powietrzu, co może mieć wpływ na kształtowanie się badanych wskaźników. W dostępnym piśmiennictwie nie znaleziono bowiem żadnych prac porównujących wskaźniki biochemiczne moczu i krwi zawodników w obrębie jednej gry zespołowej w dwóch jej wariantach. Drugi aspekt obejmuje wpływ płynów o niejednorodnym składzie mineralnym i różnej osmolarności na badane wskaźniki biochemiczne krwi i moczu. W tym przypadku, w piśmiennictwie stwierdzono zaledwie kilka

prac dotyczących tego zagadnienia (Powers i wsp., 1990; Gisolfi i wsp., 1998; Suzuki i wsp., 2013), jednak ich wyniki wykazują się znaczną heterogennością.

Cele pracy

Za główny cel przeprowadzonych badań przyjęto zbadanie wpływu wybranych, praktycznie relewantnych czynników doświadczalnych na gospodarkę wodo-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową u zawodniczek gier zespołowych. U piłkarek ręcznych dotyczyły one miejsca, w którym odbywały się treningi (hala i plaża), a u hokeistek składu mineralnego i osmolarności płynów przyjmowanych podczas treningów (woda niskozmineralizowana, woda wysokozmineralizowana i napój izotoniczny).

Dodatkowo, w obu drużynach, w każdym terminie badań, analizowano różnice między wartościami przed- i potreningowymi badanych wskaźników oznaczanych w krwi i moczu, aby uzyskać informację o efekcie pojedynczej jednostki treningowej na gospodarkę wodno-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową zawodniczek.

3.4. Materiał i metody badań

Projekt pt.: „Monitoring nawodnienia organizmu i stężenia elektrolitów u zawodniczek zespołowych gier sportowych w rocznym cyklu treningowym”, uzyskał w dniu 05. lutego 2015 roku zgodę Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu o numerze 140/15 na realizację badań. Przed przystąpieniem do badań, wszystkie zawodniczki otrzymały niezbędne informacje dotyczące celu i przebiegu badań oraz wyraziły zgodę na ich przeprowadzenie podpisując stosowne oświadczenie.

Uczestnicy

Badaniami objęto 14 zawodniczek trenujących hokej na trawie oraz 12 zawodniczek trenujących piłkę ręczną, spośród których 6 zawodniczek uczestniczyło również w treningach odmiany plażowej tej gry. Z obu drużyn wyłączono bramkarki ze względu na inny charakter wykonywanego przez nie wysiłku w czasie treningu. Dokładny podział grup badawczych przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka grup pod względem prowadzenia badań

Gra zespołowa	Liczba zawodniczek	Opis grupy	Oznaczenie skrótowe
Piłka ręczna	12	Zawodniczki odbywające trening na hali w 2016 roku	H1
	6	Zawodniczki odbywające trening na plaży w 2016 roku	P1
	12	Zawodniczki odbywające trening na hali w 2017 roku	H2
	6	Zawodniczki odbywające trening na plaży w 2017 roku	P2
Hokej na trawie	14	Zawodniczki spożywające podczas treningu wodę niskozmineralizowaną	NW
	14	Zawodniczki spożywające podczas treningu wodę wysokozmineralizowaną	WW
	14	Zawodniczki spożywające podczas treningu napój izotoniczny	IZO

Charakterystyki somatyczne zawodniczek określono na podstawie pomiarów wykonanych przed rozpoczęciem każdego z treningów (Tabela 2). Ich wysokość i masę ciała zmierzono za pomocą wagi medycznej WPT60/150 OW (Radwag[®], Radom, Polska), natomiast pomiaru obwodu talii dokonano korzystając z miary krawieckiej według metody zalecanej w podręczniku dotyczącym normalizacji antropometrycznej (ASM) (Lohman, 1988). Masa wydalonego moczu określana była poprzez porównanie masy ciała bezpośrednio po wysiłku i masy ciała po opróżnieniu pęcherza moczowego. Pełny schemat badań przedstawiony został na rycinie 1.

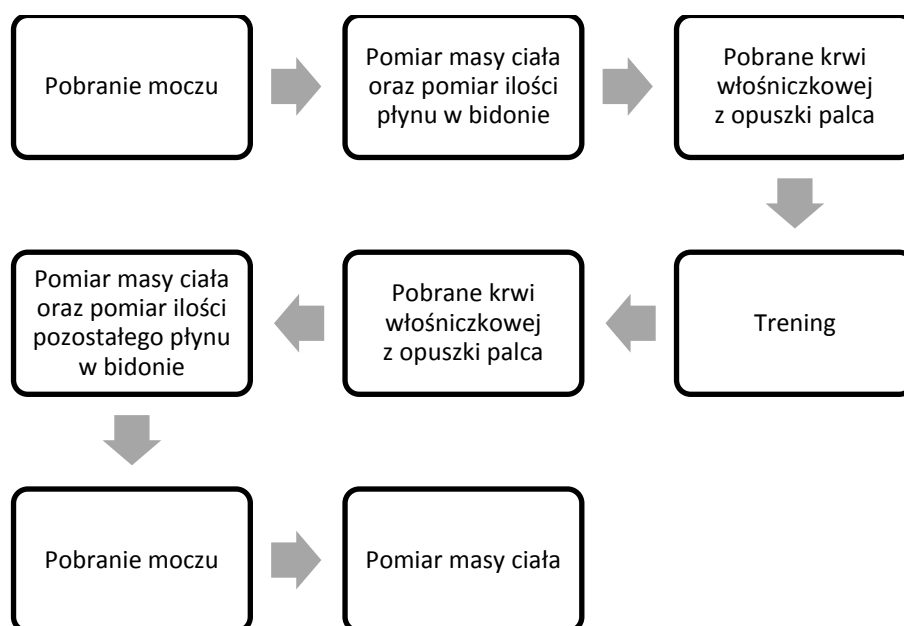
Tabela 2. Charakterystyka somatyczna i fizjologiczna zawodniczek hokeja na trawie i piłki ręcznej (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

Charakterystyka	Zawodniczki hokeja na trawie			Wartość p	Zawodniczki piłki ręcznej		Wartość p
	NW $\bar{X}\pm SD$	WW $\bar{X}\pm SD$	IZO $\bar{X}\pm SD$		H1 + H2 $\bar{X}\pm SD$	P1 + P2 $\bar{X}\pm SD$	
Wiek [lata]	21,9 ± 2,3	21,9 ± 2,3	21,9 ± 2,3	NS	20,7±2,4	20,8±2,2	NS
Wysokość ciała [m]	1,70 ± 0,06	1,70 ± 0,06	1,70 ± 0,06	NS	1,70±0,05	1,69±0,05	NS
Masa ciała [kg]	65,3 ± 5,4	65,4 ± 5,4	65,2 ± 5,0	NS	63,2±4,0	62,0±4,3	NS
WHtR	42,9 ± 1,4	43,0 ± 1,4	42,9 ± 1,4	NS	43,0±2,6	43,2±2,7	NS
HR średnie [bpm]	151,7 ± 3,0	152,0 ± 4,3	151,6 ± 2,1	NS	151,5±3,8	152,1±2,6	NS
Staż treningowy [lata]	12,5±2,9	12,5±2,9	12,5±2,9	NS	6,0±1,2	6,0±1,2	NS
Objętość spożywanego płynu [ml]	543,9 ± 270,0	535,7 ± 180,2	503,6 ± 224,7	NS	561,5±163,7	527,1±161,8	NS
Masa moczu wydalonego po treningu [g]	157,1 ± 70,4	135,0 ± 104,6	115,7 ± 72,8	NS	131,1±81,2	138,7±97,9	NS

bpm – uderzeń na minutę; HR – tętno; NS – wynik nieistotny statystycznie; WHtR – stosunek wysokości ciała do obwodu talii

Za jednostkę treningową u piłkarek ręcznych, zarówno w hali, jak i na plaży, przyjęto symulowane mecze, a u hokeistek wysiłek, we wszystkich terminach, odbywał się w formie jednakowej standardowej jednostki treningowej.

Zawodniczki przez 22h przed badaniami nie wykonywały żadnego intensywnego wysiłku fizycznego. Godzinę przed każdym terminem badań spożywały standardowy posiłek, którego gramatura i skład został określony przez dietetyka. Posiłek stanowiła owsianka na mleku z bananem, której kaloryczność odpowiadała 10% dziennej racji pokarmowej każdej z zawodniczek, obliczonej poprzez przyjęcie jako 100% całkowitej przemiany materii określonej za pomocą wzoru Harrisa-Benedicta (Harris i Benedict, 1918).



Ryc. 1. Schemat przeprowadzanych badań okołotreningowych

Analizy biochemiczne

Materiał do badań stanowiła krew kapilarna pozyskana z opuszki palca zawodniczek, przed i po standardowej jednostce treningowej. Krew pobierana była zgodnie z obowiązującymi procedurami, z palca ręki niedominującej przy użyciu nakłuwacza Medlance® Red (HTL-Zone, Berlin, Niemcy) z 1,5 mm ostrzem i 2,0 mm głębokością penetracji. Ponadto od każdej zawodniczki pozyskano próbkę moczu.

- W krwi pobranej do kapilary z heparyną (65 µl) oznaczano stężenie elektrolitów (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^-), mleczanu, wartość osmolalności i pH krwi oraz nadmiar zasad (BE), za pomocą analizatora gazometrycznego (ABL90 FLEX, Radiometer, Kopenhaga, Dania).
- Pobrano 300 µl krwi kapilarnej do próbki Microvette® CB 300 (Sarstedt, Nümbrect, Niemcy) zawierającej K2-EDTA (EDTA sól dipotasowa) jako koagulant, celem oznaczenia hematokrytu na automatycznym analizatorze hematologicznym (Mythic®18, Orphèe, Genewa, Szwajcaria).
- 300 µl krwi kapilarnej pobrano do próbki Microvette® CB 300 Z (Sarstedt, Nümbrect, Niemcy) z aktywatorem krzepnięcia, w której oznaczono stężenie aldosteronu przy użyciu ELISA kit (DRG MedTek, Warszawa, Polska; Cat No. EIA-5298) i magnezu metodą kolorymetryczną (Mg; Cormay, Łomianki, Polska; Cat No. 2-229).

Odczytu absorbancji dokonano na wielodetekcyjnym czytniku mikroplótkowym ELISA (Synergy 2 SIAFRT, BioTek, Winooski, Vermont, USA).

- Ciężar właściwy oraz pH moczu zostały oznaczone na paskowym analizatorze moczu (URYXXON® Relax, Macherey-Nagel, Düren, Niemcy).

Symulowany mecz u piłkarek ręcznych

Treningi, w wariantach halowym i plażowym, odbywały się w tym samym tygodniu, odpowiednio we wtorek i czwartek, w okresie przejściowym między ostatnim meczem sezonu halowego a początkiem sezonu plażowego, w formie symulowanych meczów. Badania zostały powtórzone w dwóch kolejnych latach (2016 i 2017). Treningi odbywały się na krytym boisku z parkietem oraz sztucznym zewnętrznym boisku plażowym. Oba obiekty położone były obok siebie. W wariacie halowym gry uczestniczyło 14 zawodniczek (w tym dwie bramkarki) które rozegrały mecz składający się z dwóch 30-minutowych części. Natomiast symulowany mecz piłki ręcznej plażowej składał się z dwóch 10-minutowych części i był rozgrywany przez osiem zawodniczek (w tym dwie bramkarki). Aby uwzględnić znaczenie podstawowych warunków klimatycznych, podczas każdego treningu w czterech rogach boiska oznaczano temperaturę i wilgotność powietrza (Tabela 3), za pomocą rejestratorów danych (EBI 310 TH, Ingolstadt, Niemcy).

Tabela 3. Podstawowe warunki klimatyczne podczas treningów (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

	HALA (n = 8)	PLAŻA (n = 8)	Wartość p
	$\bar{X}\pm SD$	$\bar{X}\pm SD$	
Temperatura [°C]	21,0±0,11	27,1±0,83	<0,001
Wilgotność [%]	40±2,6	53±3,8	<0,001

Podczas treningu zawodniczki deklarowały najwyższe zaangażowanie w grę przez cały czas jej trwania. Podczas każdego treningu częstość skurczów serca (HR) każdej zawodniczki była monitorowana za pomocą Polar Team² PRO (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia), a wartości średnie przedstawiono w Tabeli 2.

W trakcie meczów zawodniczki same decydowały o czasie i ilości spożycia wody niskozmineralizowanej (Tabela 2), której skład przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4. Skład mineralny wody spożywanej przez zawodniczki piłki ręcznej podczas treningów

Składnik mineralny	Ilość [mg/l]
Ca ²⁺	48,8
Na ⁺	4,25
Mg ²⁺	3,7
K ⁺	0,47
HCO ₃ ⁻	136,0
SO ₄ ²⁻	17,0
Cl ⁻	5,86
F ⁻	0,13
SUMA SKŁADNIKÓW MINERALNYCH	231,9

Standardowy trening u hokeistek na trawie

Trzy terminy badań zrealizowano w odstępach tygodniowych, w listopadzie i grudniu 2016 roku, w hali, w godzinach od 18:00 do 19:30. Każdorazowo zawodniczki były losowo przyporządkowane do grup spożywających płyny. Losowanie przeprowadzono w sposób zapewniający każdej zawodniczce w kolejnych terminach badań przyjmowanie innego płynu. Wyniki opracowywano statystycznie w grupach przyjmujących określony rodzaj spożywanego płynu o różnym składzie mineralnym i osmolarności. Zawodniczki miały swobodny dostęp do wylosowanego płynu podczas każdego z półtoragodzinnych treningów (Tabela 5) i same decydowały zarówno o czasie, jak i o ilości ich przyjmowania (Tabela 2). Skład płynów, podany przez producentów na opakowaniach, przedstawiono w Tabeli 6, natomiast osmolarność tych napojów przyjęto na podstawie danych z dostępnej literatury: woda niskozmineralizowana ~20 (mOsm/kg H₂O), woda wysokozmineralizowana ~88 (mOsm/kg H₂O), płyn izotoniczny ~279 (mOsm/kg H₂O) (Sadowska i wsp., 2017).

Tabela 5. Ramowy plan jednostki treningowej w hokeju na trawie podany przez trenera

Grupa szkolenia	Kadra narodowa kobiet i kadra młodzieżowa kobiet
Czas trwania	90 minut
Przestrzeń	Hala 40m x 20m
Cel treningów	Przygotowanie do halowych imprez mistrzowskich zgodnie z kalendarzem Europejskiej Federacji Hokeja na Trawie
Rozgrzewka	Rozgrzewka ogólnorozwojowa z akcentami dynamicznymi + stretching dynamiczny – 15 minut Rozgrzewka specjalistyczna - wprowadzenie techniczne – różne formy podań i przyjęć piłki w ruchu (bez udziału obrońcy) – krótsze i dłuższe podania, również z wykorzystaniem bandy – 5 minut Ćwiczenia strzeleckie (różne sektory półkola strzałowego) – 5 minut
Trening	Rozwiązywanie układów przewagi 2 v 1 i 3 v 2 / organizacja defensywy w przewadze liczebnej przeciwnika – współdziałanie z bramkarzem - 20 minut Współdziałanie taktyczne w układzie 3 v 3 w bocznym sektorze boiska (lewa i prawa banda) z akcentem na fazę przejściową (przejście z bronienia do atakowania) – 15 minut Rozegranie piłki w układzie 5 v 4 – 4 x 3 minut + 1 minuta przerwy po każdym 3 minutach Gra 5 v 4 – 2 x 5 minut (po 5 minutach zmiana drużyn)

Tabela 6. Skład mineralny płynów, podany przez producenta, spożywanych przez zawodniczki hokeja na trawie podczas treningów

Składnik mineralny	WODA NISKOMINERALIZOWANA (Primavera)	WODA WYSOKOMINERALIZOWANA (Staropolanka 2000)	IZOTONIK + WODA NISKOMINERALIZOWANA (Activlab Isoactiv + Primavera)
	[mg/l]		
Ca ²⁺	48,10	319,00	288,10
Na ⁺	2,10	111,00	702,10
Mg ²⁺	6,68	47,90	126,68
K ⁺	1,20	49,50	261,20
HCO ₃ ⁻	166,30	1 639,00	166,30
SO ₄ ²⁻	10,29	30,00	10,29
Cl ⁻	5,60	2,70	245,60
F ⁻	0,06	0,30	0,06
SUMA SKŁADNIKÓW MINERALNYCH	240,33	2 199,40	1 800,33
Glukoza	0,00	0,00	52 600,00

Podczas każdego treningu prowadzono pomiary temperatury i wilgotności powietrza za pomocą rejestratorów danych umieszczonych w czterech rogach boiska na hali (EBI 310

TH, Ingolstadt, Niemcy). Wskaźniki te nie różniły się istotnie statystycznie w poszczególnych terminach.

Wszystkie zawodniczki uczestniczyły w treningach przez cały czas ich trwania. Monitorowano wówczas u nich częstość skurczów serca (HR) przy pomocy zestawów Polar Team² PRO (Kempele, Finland), a wartości średnie przedstawiono w Tabeli 2.

Analiza statystyczna

Dane zostały przedstawione za pomocą średniej i odchylenia standardowego ($\bar{X} \pm SD$) oraz przedziału ufności dla średniej (95% CI). Wartości badanych wskaźników opracowano statystycznie, a zmienne sprawdzono pod kątem normalności rozkładu, stosując test Shapiro-Wilka. W celu porównania różnic badanych wskaźników przed i po treningu, w poszczególnych terminach badań dla danych o rozkładzie normalnym zastosowano test t dla prób zależnych, a dla danych nie posiadających rozkładu normalnego test kolejności par Wilcoxon.

W celu porównania wyników przedtreningowych oraz potreningowych, poszczególnych wskaźników, między zawodniczkami piłki ręcznej trenującymi na hali, a zawodniczkami piłki ręcznej trenującymi na plaży wykonano test t dla prób niezależnych (względem zmiennych) dla danych o rozkładzie normalnym i test U Manna-Whitneya dla danych bez rozkładu normalnego.

W celu porównania uzyskanych wyników przedtreningowych oraz potreningowych pomiędzy trzema terminami badań w hokeju na trawie, wykonano dla danych mających rozkład normalny ANOVA układy z powtarzalnymi pomiarami, a dla wskaźników nie mających rozkładu normalnego ANOVA Friedmana.

Wielkość efektu (d) obliczono przy pomocy średnich i odchyłeń standardowych. Aby określić wielkość efektu, zastosowano kryteria Cohena (Cohen 1988), które uznają wartości $\geq 0,2$ i $< 0,5$ za "małe", $\geq 0,5$ i $< 0,8$ za "średnie", a $\geq 0,8$ za "duże". Próg poziomu istotności różnic przyjęto na poziomie $p < 0,05$. Analiza statystyczna została wykonana przy użyciu komputerowego pakietu statystycznego STATISTICA 13.1 (StatSoft. Inc., Tulsa, OK, USA).

3.5. Wyniki badań i ich omówienie

W celu sprawdzenia homogenności w obrębie każdej z badanych grup, porównano wartości spoczynkowe badanych wskaźników w poszczególnych terminach badań. Odnotowano brak istotnych różnic w tym zakresie, zarówno u piłkarek ręcznych (hala vs plaża), jak też u hokeistek na trawie (woda niskozmineralizowana vs woda wysokozmineralizowana vs napój izotoniczny).

W kilku przypadkach stwierdzono natomiast powysiłkowe istotne różnice pomiędzy poszczególnymi terminami badań:

- U piłkarek ręcznych różnicę pomiędzy wartościami powysiłkowymi w hali i na plaży, wykazano w przypadku stężenia jonów wapniowych i pH moczu, co przedstawiono w Tabeli 7.

Tabela 7. Istotne statystycznie różnice wartości powysiłkowych w różnych miejscach treningu w grupie piłkarek ręcznych (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

Wskaźnik	Miejsce treningu	Po treningu ($\bar{X}\pm SD$)
Jony wapnia [mmol/l]	Hala	1,19 ± 0,02
	Plaża	1,23 ± 0,05
	Wartość p	0,002
pH moczu	Hala	6,27 ± 0,69
	Plaża	5,46 ± 0,50
	Wartość p	0,002

W dostępnym piśmiennictwie nie znaleziono publikacji porównujących wskaźniki biochemiczne moczu i krwi zawodników piłki ręcznej halowej i plażowej. Warto zauważyć, że zarówno temperatura, jak i wilgotność powietrza były znacznie niższe na hali niż na plaży, mogły zatem wpłynąć na uruchomienie odmiennej odpowiedzi metabolicznej u zawodniczek. Statystycznie istotne obniżenie się stężenia jonów wapnia we krwi obserwowane po symulowanych meczach halowych może wiązać się z dłuższym czasem trwania tego wysiłku. Zmniejszenie zawartości jonów wapnia w mięśniach oraz aktywności Ca^{2+} -ATPazy pozostają w związku z obniżonymi możliwościami skurczu mięśni poddanych zmęczeniu (McKenna i wsp., 1996). Shirreffs i wsp. (2006) opisali zmiany w wydzielaniu potu w zależności od temperatury (T) i wilgotności (W) powietrza. Ustalili, że procentowa zmiana masy ciała, wywołana w dużej mierze poprzez wydzielanie potu przez piłkarzy, była taka sama w chłodnym (T = 5°C, W = 81%), umiarkowanym

(T = 27°C, W = 55%) i ciepłym (T = 32°C, W = 20%) środowisku. Pokazuje to, że warunki otoczenia mogą nie modyfikować znacząco wydzielania potu podczas treningu lub w trakcie meczu, jeżeli zawodnicy mogą dostosować objętość przyjmowanych płynów, rodzaj stroju sportowego i intensywność podejmowanego wysiłku (Maughan i wsp., 2007), co najprawdopodobniej miało miejsce w naszym badaniu.

- U hokeistek, różnica pomiędzy wartościami powysiłkowymi dla trzech badanych napojów, uchwycona została w odniesieniu do osmolalności osocza, stężenia jonów sodu i potasu oraz dla aldosteronu (Tabela 8).

Tabela 8. Istotne statystycznie różnice wartości powysiłkowych przy stosowaniu płynów o różnym składzie w grupie hokeistek (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

Wskaźnik	Przyjmowany płyn	Po treningu ($\bar{X}\pm SD$)
Osmolalność osocza [mOsm/kg]	NW	290,1±3,6
	WW	290,1±3,6
	IZO	285,3±2,6
Wartość p		<0,001 ^a
Jony sodu [mmol/l]	NW	142±2
	WW	142±2
	IZO	140±1
Wartość p		0,005 ^a
Jony potasu [mmol/l]	NW	4,1±0,4
	WW	3,9±0,3
	IZO	4,3±0,3
Wartość p		0,022 ^b
Aldosteron [pmol/l]	NW	411,8±184,0
	WW	424,2±107,5
	IZO	270,2±104,6
Wartość p		0,005 ^a

^a – wartość dla napoju izotonicznego była istotnie niższa niż w przypadku obu wód

^b – gdzie wartość dla napoju izotonicznego była istotnie wyższa niż w przypadku wody wysokozmineralizowanej

Przedstawione w Tabeli 8 różnice odnoszą się wyłącznie do wskaźników opisujących gospodarkę wodno-elektrolitową. Nie stwierdzono natomiast różnic statystycznych dla wskaźników charakteryzujących równowagę kwasowo-zasadową. Spożycie napoju izotonicznego bogatego w sód wiązało się z najmniejszym wzrostem stężenia aldosteronu, który odpowiada za reabsorpcję sodu w kanalikach nerkowych, zwiększając przy tym wydalanie jonów potasu z moczem (Morgan, i wsp., 2004; Boone i wsp., 2016).

W konsekwencji, przy zastosowaniu napoju izotonicznego zaobserwowano najbardziej znaczące zmniejszenie stężenia jonów sodu po wysiłku, a najmniejsze jonów potasu, co przekładało się na największe obniżenie osmolalności krwi. Co więcej, stężenie jonów potasu mierzone po wysiłku obniżyło się najbardziej w osoczu zawodniczek w przypadku korzystania z wody wysokozmineralizowanej, dla której odnotowano również największy wzrost stężenia aldosteronu. Próbę wyjaśnienia i konstruowania wniosków utrudnia niewielka liczba publikacji dotycząca wpływu płynów o różnej osmolarności na gospodarkę wodno-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową u zawodników gier zespołowych. Ponadto niejednoznaczność wyników wskazuje na potrzebę pełniejszego zbadania tego zagadnienia. W nielicznych powiązanych tematycznie publikacjach, autorzy, którzy analizowali osmolalność osocza (Powers i wsp., 1990; Gisolfi i wsp., 1998; Suzuki i wsp., 2013) oraz stężenie jonów sodu i potasu (Powers i wsp., 1990; Gisolfi i wsp., 1998) we krwi po spożyciu płynów o różnej zawartości składników mineralnych, nie wykazali istotnych statystycznie różnic po spożyciu różnych płynów.

W tym miejscu dochodzi do zasadniczej różnicy w porównaniu z badaniami własnymi, w których wykazano, że napój izotoniczny zmniejsza osmolalność osocza i stężenie jonów sodu we krwi, zwiększając stężenie potasu we krwi bardziej niż analizowane wody. Z wymienionych wcześniej publikacji tylko Powers i wsp. (1990) badali wpływ zastosowanych płynów na stężenie jonów wodorowych we krwi. W badaniach własnych nie analizowano stężenia tych jonów, określano natomiast wartości pH, które można odnieść do stężenia jonów wodorowych. Powers i in. (1990) wykazali, że napoje zawierające elektrolity spożywane podczas wysiłku skuteczniej stabilizuje stężenie jonów wodorowych we krwi niż płyny bez elektrolitów. W badaniach własnych nie zaobserwowano żadnych znaczących różnic w zakresie wskaźników równowagi kwasowo-zasadowej oznaczanych we krwi i moczu, niezależnie od stosowanych płynów. Z uwagi na możliwość porównania wyników badań własnych tylko z jednym badaniem (Powers i wsp., 1990), trudno o podanie jednoznacznej przyczyny takich różnic. Wymaga to badań z udziałem większej liczby uczestników podczas wysiłków o różnej intensywności.

Kolejne istotne zmiany, wartości wskaźników opisujących gospodarkę wodno-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową, nastąpiły pod wpływem zastosowanych jednostek treningowych:

- Istotne statystycznie różnice u piłkarek ręcznych przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9. Istotne statystycznie różnice powysiłkowe w grupie piłkarek ręcznych (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

Wskaźnik	Miejsce treningu	Przed treningiem ($\bar{X}\pm SD$)	Po treningu ($\bar{X}\pm SD$)	Wartość p
Masa ciała [kg]	Hala	63,2 ± 4,0	62,2 ± 4,0	≤0,001
	Plaża	62,0 ± 4,3	61,4 ± 4,3	≤0,001
Ciężar właściwy moczu [g/l]	Hala	1,016 ± 0,006	1,019 ± 0,004	0,013
	Plaża	1,013 ± 0,004	1,019 ± 0,005	0,003
Jony potasu [mmol/l]	Hala	4,3 ± 0,5	4,1 ± 0,4	0,046
Jony wapnia [mmol/l]	Hala	1,21 ± 0,03	1,19 ± 0,02	≤0,001
Aldosteron [pmol/l]	Hala	124,6 ± 62,4	304,5 ± 168,9	≤0,001
	Plaża	129,0 ± 102,1	213,7 ± 200,5	0,034
Jony wodorowęglanowe [mmol/l]	Hala	24,6 ± 1,4	22,5 ± 1,8	≤0,001
	Plaża	24,7 ± 1,7	23,4 ± 2,4	0,011
Standardowy nadmiar zasad [mmol/l]	Hala	0,3 ± 1,7	-2,5 ± 2,5	≤0,001
	Plaża	0,3 ± 2,3	-1,5 ± 3,3	0,011
pH krwi	Hala	7,42 ± 0,02	7,40 ± 0,03	0,002
	Plaża	7,42 ± 0,02	7,40 ± 0,02	0,002
pH moczu	Plaża	6,54 ± 0,62	5,46 ± 0,50	0,005
Mleczan we krwi [mmol/l]	Hala	1,26 ± 0,53	5,33 ± 3,01	≤0,001
	Plaża	1,29 ± 0,41	5,75 ± 1,83	≤0,001

Istotnych różnic, przy żadnym z miejsc symulowanych meczów, nie zaobserwowano natomiast dla oznaczanych u zawodniczek wartości hematokrytu, osmolalności oraz stężenia jonów sodowych, chlorków i magnezu.

- Istotne statystycznie różnice u hokeistek na trawie przedstawiono w Tabeli 10.

Tabela 10. Istotne statystycznie różnice powysiłkowe w grupie hokeistek (średnia±odchylenie standardowe - $\bar{X}\pm SD$)

Wskaźnik	Przyjmowany płyn	Przed treningiem ($\bar{X}\pm SD$)	Po treningu ($\bar{X}\pm SD$)	Wartość p
Masa ciała [kg]	NW	65,3±5,4	65,1±5,4	0,002
	WW	65,4±5,4	65,2±5,5	0,001
	IZO	65,2±5,0	65,0±5,0	<0,001
Hematokryt [l/l]	NW	0,377±0,017	0,366±0,021	0,048
	WW	0,372±0,020	0,360±0,023	<0,001
	IZO	0,367±0,020	0,353±0,021	<0,001
Ciężar właściwy moczu [g/l]	NW	1,013±0,006	1,019±0,008	0,001
	WW	1,014±0,006	1,023±0,009	0,006
Osmolalność osocza [mOsm/kg]	IZO	290,1±2,9	285,3±2,6	0,001
Jony sodu [mmol/l]	IZO	142±2	140±1	<0,001
Jony potasu [mmol/l]	NW	4,4±0,4	4,1±0,4	0,024
	WW	4,3±0,3	3,9±0,3	<0,001
Jony wapnia [mmol/l]	NW	1,21±0,03	1,19±0,03	0,031
	WW	1,20±0,02	1,18±0,04	0,030
	IZO	1,22±0,03	1,19±0,03	<0,001
Jony chlorkowe [mmol/l]	IZO	109±2	107±2	<0,001
Aldosteron [pmol/l]	NW	125,8±45,4	411,8±184,0	0,001
	WW	117,0±53,9	424,2±107,5	<0,001
	IZO	112,2±28,4	270,2±104,6	<0,001
Jony wodorowęglanowe [mmol/l]	NW	24,1±1,6	22,4±1,3	<0,001
	WW	24,7±2,1	22,8±1,5	0,005
	IZO	24,3±1,4	22,3±2,0	<0,001
Standardowy nadmiar zasad [mmol/l]	NW	-0,1±1,3	-2,6±1,8	<0,001
	WW	0,9±1,7	-2,1±2,0	<0,001
	IZO	0,1±1,7	-2,8±2,8	<0,001
pH krwi	NW	7,40±0,03	7,39±0,03	0,024
	WW	7,41±0,02	7,39±0,03	0,012
pH moczu	NW	6,2±0,7	5,4±0,6	0,002
	WW	6,2±0,7	5,6±0,6	0,005
	IZO	6,0±0,7	5,5±0,6	0,018
Mleczan we krwi [mmol/l]	NW	1,3±0,4	5,8±1,7	0,001
	WW	1,3±0,3	5,9±2,6	0,001
	IZO	1,4±0,4	5,9±2,5	0,001

Istotnych różnic przy żadnym z stosowanych napojów nie zaobserwowano natomiast dla stężenia magnezu.

Zmiany wartości badanych wskaźników po przeprowadzonym wysiłku fizycznym zarówno u hokeistek, jak i u piłkarek ręcznych, odpowiadały wartościom spotykanym w piśmiennictwie. Dostępne wyniki badań potwierdzają zmniejszenie się powysiłkowo szeregu wskaźników, w tym masy ciała (Zetou i wsp., 2008; Jones i wsp., 2016), wartości hematokrytu (O'Connell i wsp., 2018), osmolalności (Bargh i wsp., 2017), stężenia jonów sodu (Jones i wsp., 2016), potasu (Karakoc, i wsp., 2005), wapnia (Karakoc, i wsp., 2005; Wang i wsp., 2012), jonów wodorowęglanowych (Karakoc, i wsp., 2005; Couderc i wsp., 2017; Macutkiewicz i Sunderland, 2018), standardowego nadmiaru zasad (Wiecek i wsp., 2015; Macutkiewicz i Sunderland, 2018) i pH krwi (Wiacek i wsp., 2011; Couderc i wsp., 2017; Macutkiewicz i Sunderland, 2018). W badaniach własnych, dla części oznaczanych wskaźników zaobserwowano natomiast wzrost wartości po wysiłku. Dane te również znajdują swoje odzwierciedlenie w piśmiennictwie, które możemy zaobserwować dla ciężaru właściwego moczu (Osterberg i wsp., 2009), stężenia aldosteronu (Wolf i wsp., 1986; Mannix i wsp., 1990) i mleczanu (Karakoc, i wsp., 2005; Wiacek i wsp., 2011; Couderc i wsp., 2017; Macutkiewicz i Sunderland, 2018). Nie natrafiono natomiast na publikacje z wynikami, do których można by odnieść dane dotyczące powysiłkowego stężenia chlorków i magnezu we krwi oraz wartości pH moczu. Można zatem przyjąć, że zmiany potreningowe obserwowane u badanych zawodniczek nie odbiegają od danych obserwowanych w innych dyscyplinach sportowych, takich jak siatkówka plażowa (Zetou i wsp., 2008), rugby (Jones i wsp., 2016; Bargh i wsp., 2017; Couderc i wsp., 2017), piłka nożna (Karakoc, i wsp., 2005; Wiacek i wsp., 2011; O'Connell i wsp., 2018) i koszykówka (Osterberg i wsp., 2009; Wang i wsp., 2012), a także u zdrowych, niewytrenowanych osób po testach na bieżni (Wiecek i wsp., 2015) lub ergocyklometrze (Wolf i wsp., 1986; Mannix i wsp., 1990).

3.6. Wnioski

Zmiany wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej u zawodniczek gier zespołowych, stwierdzone w badaniach własnych, pomiędzy wartościami przed- i potreningowymi, znajdują potwierdzenie w dostępnej literaturze. Występowaniu różnic sprzyja charakter dyscyplin, gdzie każda rozgrywka ma swoje tempo, dynamikę i intensywność, co przekłada się na indywidualne obciążenie każdego z zawodników, a dalej różnice średnich badanych grup.

Piłka ręczna:

- Stwierdzono brak różnic powysiłkowych dla większości badanych wskaźników opisujących gospodarkę wodno-elektrolitową i równowagę kwasowo-zasadową oznaczanych w krwi i moczu, w odmiennych warunkach środowiska (hala vs plaża). Powyższe można rozpatrywać jako swoisty efekt synergii uwzględniający czynniki: odpowiednio dobranego stroju, objętości przyjmowanych płynów i dostosowania intensywności wysiłku. Może to wskazywać na brak potrzeby modyfikacji sposobu nawadniania w zależności od podstawowych warunków klimatycznych w miejscu treningu.

Hokej na trawie:

- Stopień mineralizacji wody spożywanej przez hokeistki nie różnicował wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej krwi i moczu podczas standardowych jednostek treningowych.
- Osmolarność spożywanych płynów w niewielkim stopniu wiązała się ze zmianą wskaźników gospodarki wodno-elektrolitowej i równowagi kwasowo-zasadowej. Efekt zauważalny był jedynie po spożyciu napoju izotonicznego, manifestując się większymi zmianami stężenia aldosteronu, jonów sodu i potasu oraz osmolalności krwi, niż w przypadku napojów hipotonicznych. Napoje izotoniczne w przeciwieństwie do hipotoników najprawdopodobniej sprawniej stabilizują układ renina-angiotensyna-aldosteron, co zapewnia najlepsze nawodnienie definiowane przez osmolalność osocza krwi. Dlatego zasadne wydaje się przyjmowanie napojów izotonicznych podczas treningów w sportach zespołowych.

3.7. Mocne i słabe strony badań, ich wartość aplikacyjna oraz wskazania do dalszych badań

Zagadnienia dotyczące zmian równowagi wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej zawodniczek spożywających płyny o zróżnicowanej osmolarności lub prowadzących aktywność fizyczną w różnych warunkach środowiska, nie zostały dotychczas wystarczająco opisane. Ponadto dostępne piśmiennictwo dotyczące tych zagadnień nie przedstawia jednorodnych wyników i szczegółowych zaleceń dotyczących strategii nawadniania w różnych dyscyplinach sportowych, zwłaszcza w grach zespołowych. Dlatego podjęto próbę określenia zmian powysiłkowych podczas standardowego treningu w oparciu o diagnostykę biochemiczną krwi i moczu zawodniczek piłki ręcznej i hokeja na trawie. Jednak najważniejszym aspektem podjętych badań był wpływ czynnika eksperymentalnego, czyli u hokeistek na trawie – osmolalności spożywanych płynów, natomiast u piłkarek ręcznych – miejsca treningu, na powysiłkowe różnice równowagi wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej. Nie bez znaczenia jest też, że większość publikacji dotyczących nawodnienia w sportach zespołowych opisuje to zagadnienie u mężczyzn, a w badaniach własnych postanowiono przyrzeć się temu problemowi u kobiet. Zaletą tego badania jest także to, że pomiary przeprowadzono w rzeczywistych warunkach treningowych, a nie podczas izolowanych testów laboratoryjnych. Istotną nowością prezentowanych wyników jest również monitorowanie nawodnienia sportowców na podstawie wskaźników oznaczanych we krwi kapilarnej i moczu, ale nie w pocie. Oba badane materiały biologiczne są łatwe do pozyskania i lepiej odzwierciedlają rzeczywiste zmiany gospodarki wodno-elektrolitowej spowodowane wpływem wysiłku fizycznego na sportowców.

Niestety opisane badania mają również pewne ograniczenia. Należy do nich brak monitorowania stężenia jonów wydalanych w moczu. Ponadto, nie podjęto analizy dobowych dzienników żywieniowych przed wykonaniem badań. Oba te czynniki umożliwiłyby ocenę wpływu spożywanych pokarmów na poziom elektrolitów i równowagę kwasowo-zasadową podczas treningu. Zachodzi jednak obawa, że zbyt duża liczba zmiennych objętych badaniami, mogłaby utrudnić lub wręcz uniemożliwić ich właściwą weryfikację empiryczną.

Pomimo tych ograniczeń należy dostrzec bardzo wysoką wartość aplikacyjną przeprowadzonych badań, jako że uzyskane wyniki mogą być wykorzystane przez zawodników i trenerów do poprawy wyników sportowych i zdrowia sportowców. Może

się tak stać dzięki zwróceniu uwagi na dwie ważne zmienne mające znaczenie przy nawadnianiu, tj. rodzaj przyjmowanych płynów i podstawowe warunki klimatyczne. Jestem przekonana, że wyniki przedstawionych badań, dzięki włączeniu do oceny tak szerokiego zakresu wskaźników biochemicznych krwi i moczu, przyczynią się w przyszłości do trafniejszej oceny sposobów nawodnienia podczas różnego typu wysiłków fizycznych.

W przyszłych badaniach warto by było zwiększyć liczbę analizowanych zawodników, co wzmocniłoby moc stawianych wniosków na podstawie analizy statystycznej, a także uwzględnić inne dyscypliny sportu.

3.8. Piśmiennictwo

1. Adams, J. D., Sekiguchi, Y., Suh, H. G., Seal, A. D., Sprong, C. A., Kirkland, T. W. & Kavouras, S. A. (2018). Dehydration Impairs Cycling Performance, Independently of Thirst: A Blinded Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(8), 1697-1703.
2. Allen, D., Lannergren, J., & Westerblad, H. (2003). Limits to human performance caused by muscle fatigue. *Physiological News*, 53, 7-10.
3. American College of Sports Medicine Position stand: Exercise and fluid replacement. (2007). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 377-90.
4. Baker, L. B., Dougherty, K. A., Chow, M., & Kenney, W. L. (2007). Progressive dehydration causes a progressive decline in basketball skill performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(7), 1114–1123.
5. Bargh, M. J., King, R. F., Gray, M. P., & Jones, B. (2017). Why do team-sport athletes drink fluid in excess when exercising in cool conditions?. *Applied Physiology, Nutrition, & Metabolism*, 42(3), 271-277.
6. Bonetti, D. L., Hopkins, W. G., & Jeukendrup, A. (2010). Effects of Hypotonic and Isotonic Sports Drinks on Endurance Performance and Physiology. *Sportscience*, 14, 63-70.
7. Boone, C. H., Hoffman, J. R., Gonzalez, A. M., Jajtner, A. R., Townsend, J. R., Baker, K. M., Fukuda, D. H., & Stout, J. R. (2016). Changes in plasma aldosterone and electrolytes following high-volume and high-intensity resistance exercise protocols in trained men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(7), 1917-1923.
8. Casa, D. J., Clarkson, P. M., & Roberts, W. O. (2005). American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Current Sports Medicine Reports*, 4(3), 115–127.
9. Ciborowska, H. (2012). Gospodarka wodna w organizmie [w:] Dietetyka Żywnie zdrowego i chorego człowieka. Ciborowska, H., Rudnicka, A. (red.) *Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich*, 27-30.
10. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988.

11. Couderc, A., Thomas, C., Lacombe, M., Piscione, J., Robineau, J., Delfour-Peyrethon, R., Borne, R., & Hanon, C. (2017). Movement patterns and metabolic responses during an international rugby sevens tournament. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 12(7), 901-907.
12. Coyle, E. F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 39–55.
13. Cunniffe, B., Fallan, C., Yau, A., Evans, G. H., & Cardinale, M. (2015). Assessment of physical demands and fluid balance in elite female handball players during a 6-day competitive tournament. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 25(1), 78–88.
14. Davis, J. K., Baker, L. B., Barnes, K., Ungaro, C., & Stofan, J. (2016). Thermoregulation, Fluid Balance, and Sweat Losses in American Football Players. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(10), 1391–1405.
15. Delavier, F., Gundill, M. (2010). Suplementy żywnościowe dla sportowców. Problematyka odwodnienia. JK, Łódź, 19-28.
16. EFSA. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. EFSA Panel on *Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA)*. EFSA J, 8, 3, 1459.
17. Ersoy, N., & Ersoy, G. (2013). Sports drinks for hydration and alternative drinks review. *Turkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 5, 96-100.
18. Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(8), 673–694.
19. Gisolfi, C. V., Summers, R. W., Lambert, G. P., & Xia, T. (1998). Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 85(5), 1941-1948.
20. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., Below, P. R., & Coyle, E. F. (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 82(4), 1229–1236.
21. Hanon, C., Bernard, O., Rabate, M., & Claire, T. (2012). Effect of two different long-sprint training regimens on sprint performance and associated metabolic responses. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1551–1557.

22. Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). A biometric study of human basal metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), 370.
23. Jones, B., Till, K., King, R., Gray, M., & O'Hara, J. (2016). Are habitual hydration strategies of female rugby league players sufficient to maintain fluid balance and blood sodium concentration during training and match-play? A research note from the field. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 875-880.
24. Karakoc, Y., Duzova, H., Polat, A., Emre, M. H., & Arabaci, I. (2005). Effects of training period on haemorheological variables in regularly trained footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), e4-e4.
25. Kramer, R. E., Robinson, T. V., Schneider, E. G., & Smith, T. G. (2000). Direct modulation of basal and angiotensin II-stimulated aldosterone secretion by hydrogen ions. *Journal of Endocrinology*, 166(1), 183-194.
26. Lee, J. K., Nio, A. Q., Ang, W. H., Law, L. Y., & Lim, C. L. (2011). Effects of ingesting a sports drink during exercise and recovery on subsequent endurance capacity. *European Journal of Sport Science*, 11(2), 77-86.
27. Leiper, J. B., Broad, N. P., & Maughan, R. J. (2001). Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(8), 1270–1278.
28. Lentner, C., ed. (1981). Geigy Scientific Tables. Volume 1. Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, *Nutrition*, 8th edn. Basle: Ciba-Geigy Limited, 108–112.
29. Lindinger, M. I., McKelvie, R. S., & Heigenhauser, G. J. (1995). K^+ and Lac^- distribution in humans during and after high-intensity exercise: role in muscle fatigue attenuation?. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 78(3), 765–777.
30. Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). Anthropometric standardization reference manual (Vol. 177, pp. 3-8). Champaign: Human kinetics books.
31. Macutkiewicz, D., & Sunderland, C. (2018). Sodium bicarbonate supplementation does not improve elite women's team sport running or field hockey skill performance. *Physiological Reports*, 6(19), e13818.

32. Mannix, E. T., Palange, P., Aronoff, G. R., Manfredi, F., & Farber, M. O. (1990). Atrial natriuretic peptide and the renin-aldosterone axis during exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(6), 785-789.
33. Maughan, R. J., & Leiper, J. B. (1999). Limitations to fluid replacement during exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee*, 24(2), 173-187.
34. Maughan, R. J., Watson, P., Evans, G. H., Broad, N., & Shirreffs, S. M. (2007). Water balance and salt losses in competitive football. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 17(6), 583-594.
35. Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2010). Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 Suppl 3, 40-47.
36. Maughan, R. J., Watson, P., & Shirreffs, S. M. (2015). Implications of active lifestyles and environmental factors for water needs and consequences of failure to meet those needs. *Nutrition Reviews*, 73(suppl_2), 130-140.
37. McKenna, M. J., Harmer, A. R., Fraser, S. F., & Li, J. L. (1996). Effects of training on potassium, calcium and hydrogen ion regulation in skeletal muscle and blood during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 156(3), 335-346.
38. Morgan, R. M., Patterson, M. J., & Nimmo, M. A. (2004). Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(1), 37-43.
39. Mueller, F. O., & Colgate, B. (2012). Annual survey of football injury research: 1931-2011. Chapel Hill, NC: University of North Carolina.
40. Murray, B. (2007). Hydration and physical performance. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(5 Suppl), 542S-548S.
41. Nose, H., Mack, G. W., Shi, X. R., & Nadel, E. R. (1988). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 65(1), 325-331.
42. Nuccio, R. P., Barnes, K. A., Carter, J. M., & Baker, L. B. (2017). Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 47(10), 1951-1982.

43. O'Connell, S. M., Woodman, R. J., Brown, I. L., Vincent, D. J., Binder, H. J., Ramakrishna, B. S., & Young, G. P. (2018). Comparison of a sports-hydration drink containing high amylose starch with usual hydration practice in Australian rules footballers during intense summer training. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 1-10.
44. Osterberg, K. L., Horswill, C. A., & Baker, L. B. (2009). Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *Journal of Athletic Training*, 44(1), 53-57.
45. Passe, D. H. (2001). Physiological and psychological determinants of fluid intake. *Sports Drinks*, 45-87.
46. Powers, S. K., Lawler, J., Dodd, S., Tulley, R., Landry, G., & Wheeler, K. (1990). Fluid replacement drinks during high intensity exercise effects on minimizing exercise-induced disturbances in homeostasis. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 60(1), 54-60.
47. Ramos-Jiménez, A., Hernández-Torres, R. P., Wall-Medrano, A., Torres-Durán, P. V., Juárez-Oropeza, M. A., & Ceballos, J. S. (2013). Acute physiological response to indoor cycling with and without hydration; case and self-control study. *Nutricion Hospitalaria*, 28(5), 1487-1493.
48. Rychlik, E., Woźniak, A., Jarosz, M. (2020). Woda i elektrolity [w:] Normy żywienia dla populacji polskiej i ich zastosowanie. Jarosz, M. (red.) *Instytut Żywności i Żywienia*, 143-153.
49. Sadowska, B., Swiderski, F., Rakowska, R., Waszkiewicz-Robak, B., Zebrowska-Krasuska, M., & Dybkowska, E. (2017). Beverage osmolality as a marker for maintaining appropriate body hydration. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 68(2).
50. Seifter, J. L., & Chang, H. Y. (2017). Extracellular acid-base balance and ion transport between body fluid compartments. *Physiology*, 32(5), 367-379. Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (1997). Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 82(1), 336-341.
51. Shirreffs, S. M. (2003). The optimal sports drink. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 51(1), 25-30.

52. Shirreffs, S. M., Sawka, M. N., & Stone, M. (2006). Water and electrolyte needs for football training and match-play. *Journal of Sports Sciences*, 24(07), 699-707.
53. Shirreffs, S. M., Aragon-Vargas, L. F., Keil, M., Love, T. D., & Phillips, S. (2007). Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 17(3), 244–258.
54. Shirreffs, S. M. (2009). Hydration in sport and exercise: water, sports drinks and other drinks. *Nutrition Bulletin*, 34(4), 374-379.
55. Shirreffs, S. M. (2010). Hydration: special issues for playing football in warm and hot environments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 Suppl 3, 90–94.
56. Stickland, M. K., Lindinger, M. I., Olfert, I. M., Heigenhauser, G. J., & Hopkins, S. R. (2013). Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 693–739.
57. Suzuki, K., Hashimoto, H., Oh, T., Ishijima, T., Mitsuda, H., Peake, J. M., Sakamoto, S., Muraoka, I., & Higuchi, M. (2013). The effects of sports drink osmolality on fluid intake and immunoendocrine responses to cycling in hot conditions. *Journal of Nutritional Science & Vitaminology*, 59(3), 206-212.
58. Volpe, S. L., Poule, K. A., & Bland, E. G. (2009). Estimation of prepractice hydration status of National Collegiate Athletic Association Division I athletes. *Journal of Athletic Training*, 44(6), 624–629.
59. Wang, L., Zhang, J., Wang, J., He, W., & Huang, H. (2012). Effects of high-intensity training and resumed training on macroelement and microelement of elite basketball athletes. *Biological Trace Element Research*, 149(2), 148-154.
60. Wiacek, M., Andrzejewski, M., Chmura, J., & Zubrzycki, I. Z. (2011). The changes of the specific physiological parameters in response to 12-week individualized training of young soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1514-1521.
61. Wiecek, M., Maciejczyk, M., Szymura, J., & Szygula, Z. (2015). Changes in oxidative stress and acid-base balance in men and women following maximal-intensity physical exercise. *Physiological Research*, 64(1), 93–102.

62. Wolf, J. P., Nguyen, N. U., Dumoulin, G., & Berthelay, S. (1986). Plasma renin and aldosterone changes during twenty minutes' moderate exercise. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 54(6), 602-607.
63. Yamauchi, T., Harada, T., Kurono, M., & Matsui, N. (1998). Effect of exercise-induced acidosis on aldosterone secretion in men. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 77(5), 409–412.
64. Zetou, E., Giatsis, G., Mountaki, F., & Komninakidou, A. (2008). Body weight changes and voluntary fluid intakes of beach volleyball players during an official tournament. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 11(2), 139-145.

4. Załączniki

4.1. Oświadczenia współautorów

Poznań 2021-02-15

mgr Joanna Kamińska
Akademia Wychowania Fizycznego
Wydział Nauk o Zdrowiu
Zakład Fizjologii i Biochemii

OŚWIADCZENIE

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na: zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań, zebraniu materiału biologicznego, przeprowadzeniu i analizie wyników biochemicznych otrzymanego materiału, analizie statystycznej wyników, analizie piśmiennictwa, przygotowaniu rycin i tabel, pisaniu manuskryptu.

Effect of Simulated Matches on Post-Exercise Biochemical Parameters in Women's Indoor and Beach Handball.

International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(14):5046.

Published 2020 Jul 14.

doi:10.3390/ijerph17145046

Joanna Kamińska

Potwierdzenie współautorów:

Pawlak, M.....

Podgórski, T.....

Kryściak, J.....

Poznań 2021-02-15

mgr Joanna Kamińska
Akademia Wychowania Fizycznego
Wydział Nauk o Zdrowiu
Zakład Fizjologii i Biochemii

OŚWIADCZENIE

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na: zaplanowaniu badań, przeprowadzeniu badań, zebraniu materiału biologicznego, przeprowadzeniu i analizie wyników biochemicznych otrzymanego materiału, analizie statystycznej wyników, analizie piśmiennictwa, przygotowaniu rycin i tabel, pisaniu manuskryptu.

Does the Minerals Content and Osmolarity of the Fluids Taken during Exercise by Female Field Hockey Players Influence on the Indicators of Water-Electrolyte and Acid-Basic Balance?

Nutrients. 2021;13(2):505.

Published 2021 Feb 4.

doi:10.3390/nu13020505

Joanna Kamińska

Potwierdzenie współautorów:

Pawlak, M..... 

Podgórski, T..... 

Rachwałski, K..... 

4.2. Publikacja 1: Effect of simulated matches on post-exercise biochemical parameters in women's indoor and beach handball



International Journal of
*Environmental Research
and Public Health*



Article

Effect of Simulated Matches on Post-Exercise Biochemical Parameters in Women's Indoor and Beach Handball

Joanna Kamińska *, Tomasz Podgórski, Jakub Kryściak and Maciej Pawlak

Chair of Biomedical Foundations of Physical Activity, Department of Physiology and Biochemistry, Poznań University of Physical Education, 61-871 Poznań, Poland; podgorski@awf.poznan.pl (T.P.); j.krysciak@awf.poznan.pl (J.K.); pawlak@awf.poznan.pl (M.P.)

* Correspondence: jkaminska@awf.poznan.pl; Tel.: +48-618-355-187

Received: 28 May 2020; Accepted: 10 July 2020; Published: 14 July 2020

Abstract: This study assesses the status of hydration and the acid–base balance in female handball players in the Polish Second League before and after simulated matches in both indoor (hall) and beach (outdoor) conditions. The values of biochemical indicators useful for describing water–electrolyte management, such as osmolality, hematocrit, aldosterone, sodium, potassium, calcium, chloride and magnesium, were determined in the players' fingertip capillary blood. Furthermore, the blood parameters of the acid–base balance were analysed, including pH, standard base excess, lactate and bicarbonate ion concentration. Additionally, the pH and specific gravity of the players' urine were determined. The level of significance was set at $p < 0.05$. It was found that both indoor and beach simulated matches caused post-exercise changes in the biochemical profiles of the players' blood and urine in terms of water–electrolyte and acid–base balance. Interestingly, the location of a simulated match (indoors vs. beach) had a statistically significant effect on only two of the parameters measured post-exercise: concentration of calcium ions (lower indoors) and urine pH (lower on the beach). A single simulated game, regardless of its location, directly affected the acid–base balance and, to a smaller extent, the water–electrolyte balance, depending mostly on the time spent physically active during the match.

Keywords: water–electrolyte status; acid-base balance; ambient condition; team sports; nutrition; women in sport

1. Introduction

Handball is a team sport played both indoors and outdoors, usually on the beach. In the first case, two teams of seven players each (including the goalkeeper) play a match that consists of two 30-min periods, on a solid floor court measuring 40×20 m. A beach handball match consists of two 10-min periods and is played by two teams with four players each (including the goalkeeper), on a sandy court measuring 27×12 m [1]. Matches are characterised by high-intensity movements (striding and sprinting) alternating with rest periods (walking, jogging and standing), which is referred to as stop-and-go [2,3].

Handball leads to high levels of perspiration, depending on the ambient temperature and humidity, as well as the individual player's state of acclimatisation and physical fitness [4]. At the same time, significant individual variation in the amount of water lost through sweat is observed [5]. It is also known that water loss in excess of 2–3% of the player's body mass causes a wide spectrum of disturbances, including thermoregulatory disorders [6], increase in the heart rate, decrease in plasma volume and in cardiac ejection fraction and nerve conduction disorders [7], which, in turn, reduce aerobic and anaerobic capacity and increase the likelihood of injury [1,8].

Int. J. Environ. Res. Public Health **2020**, *17*, 5046; doi:10.3390/ijerph17145046

www.mdpi.com/journal/ijerph

Sodium is eliminated through sweat to a greater extent compared to chlorides, potassium and other electrolytes [9]. The level of hydration has an influence on the endocrine system, especially the synthesis of aldosterone, a hormone that helps maintain appropriate sodium levels in the body by increasing its reabsorption in the kidneys [10]. These processes and the resulting acidic compounds have an inevitable effect on the acid-base balance [11,12] leading to a number of adverse changes in the modulation of contractile proteins, the variability of the three-dimensional structure of proteins and even cognitive processes [13].

In sports practice, knowledge of blood and urine indicators of water-electrolyte and acid-base balance is seen as an important element in controlling training and match loads [14]. In the case of the handball players tested in this study, changes in the water-electrolyte and acid-base balance, in addition to purely environmental factors (indoors/beach), were also affected by the different types of surfaces. Movement on sand increases energy consumption compared to movement on a solid floor [15,16].

The aim of the study, in the absence of relevant data in the literature, was to describe changes to water-electrolyte and acid-base management caused by the adaptation of female handball players' bodies to simulated matches, both indoors and on the beach. In addition, we investigated which of these workouts puts more pressure on the water-electrolyte and acid-base balance in the body.

Our hypothesis was that longer indoor matches would cause changes in both biological materials: peripheral blood and urine. Also, we hypothesised that the higher intensity of a match played on the beach, the higher energy cost of the effort made on sand and changing ambient conditions would cause deeper disturbances in the water-electrolyte and acid-base balance in the players' bodies.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Approach

The changes in biochemical and haematological markers in female handball players during simulated indoor and outdoor (beach) matches were examined. The water-electrolyte balance and acid-base balance were assessed based on blood and urine parameters. The players participated in two matches played on an indoor solid floor court and two matches played on an artificial outdoor sand court in the transition period. Blood and urine samples were collected before and after each simulated match. The rationale behind these times of measurement was to assess the players' hydration status on different surfaces and in different environmental conditions during a simulated match.

2.2. Participants

The investigation included 12 female athletes who played handball (AZS AWF Poznań—University Sports Association of Poznan University of Physical Education, Poland; Polish Second League) and trained indoors, out of which 6 participated in simulated matches on the beach in the summer period. Goalkeepers were excluded from the research due to different match efforts. The measurements were repeated for two successive years (2016 and 2017) with the same players. Because the indoor and the beach group was analysed over two years, this amounted to 24 and 12 cases, respectively.

The players' anthropometric data were determined based on the average of three measurements made before the simulated matches in both years (Table 1). Body height and mass were measured using WPT60/150 OW medical scales (Radwag®, Radom, Poland), while waist circumference was measured using a tape measure. In addition, body mass was checked before and after each simulated match.

Table 1. Characteristics of female handball players taking part in the simulated indoor and beach matches.

Variable	Indoor (n = 24)		Beach (n = 12)		p-Value
	$\bar{X} \pm SD$	95% CI	$\bar{X} \pm SD$	95% CI	
Age (years)	21 ± 2	20–22	21 ± 2	19–22	NS
Body height (m)	1.70 ± 0.05	1.68–1.72	1.69 ± 0.05	1.66–1.72	NS
Body mass (kg)	63.2 ± 4.0	61.4–64.9	62.0 ± 4.3	59.2–64.7	NS
WHR *	43.0 ± 2.6	41.9–44.1	43.2 ± 2.7	41.6–44.9	NS
HR mean (bpm)	151.5 ± 3.9	149.9–153.2	152.1 ± 2.6	150.5–153.8	NS
Fluids intake (mL)	561 ± 164	492–631	527 ± 162	424–630	NS

* waist-to-height ratio; NS—non-statistically significant.

2.3. Ethics Approval

All subjects gave their informed consent for inclusion before they participated in the study. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and the protocol was approved by the Ethics Committee of the Poznan University of Medical Sciences (Approval No.: 140/15).

2.4. Biochemical Analyses

The material for the tests was fingertip capillary blood obtained from each player's non-dominant hand before and after the simulated matches. Blood was collected by qualified medical personnel in accordance with applicable procedures. The samples were drawn from the fingertip of the non-dominant hand using a disposable Medlance® Red lancet-spike (HTL-Zone, Berlin, Germany) with a 1.5 mm blade and 2.0 mm penetration depth. Furthermore, a urine sample was obtained from each player.

The volume of 65 µL of blood was collected into a heparinised capillary tube, where the concentrations of sodium (Na⁺), potassium (K⁺), calcium (Ca²⁺), chloride (Cl⁻), bicarbonate (HCO₃⁻) ions, blood lactate (La), blood pH value, standard base excess and osmolality were determined using a blood gas analyser (ABL90 FLEX, Radiometer, Copenhagen, Denmark). Moreover, 300 µL of capillary blood was collected into a Microvette® CB 300 tube (Sarstedt, Nümbrect, Germany) containing K2-EDTA (EDTA dipotassium salt) as anticoagulant for haematological measurement using the 20-parametric automated haematology analyser Mythic® 18 (Orphée, Geneva, Switzerland). Hematocrit value was considered in the study. Furthermore, 300 µL of capillary blood was collected into a Microvette® CB 300 Z tube (Sarstedt, Nümbrect, Germany) with a clotting activator, and the separated serum was used to measure the concentration of aldosterone (DRG MedTek, Warsaw, Poland; Cat No. EIA-5298) and magnesium (Mg; Cormay, Łomianki, Poland; Cat No. 2-229), which was determined on a multi-detector microplate ELISA reader (Synergy 2 SIAFRT, BioTek, Winooski, Vermont, USA), whereas the specific gravity and pH of urine were measured with a device used for the biochemical analysis of urine (URYXXON® Relax, Macherey-Nagel, Düren, Germany).

2.5. Simulated Matches

Both the simulated indoor and beach matches took place in the same week, on Tuesday and Thursday, respectively, in the transition period between the last match of the indoor season and the start of the beach season (June). Testing was repeated for two successive years, according to a predetermined pattern (Figure 1). The simulated handball matches were played on an indoor solid floor court and an artificial outdoor sand court. Both courts were located in the same primary school which specialises in handball. In the four corners of court, temperature and humidity were measured using data loggers (EBI 310 TH, Ingolstadt, Germany) to determine ambient conditions. The mean measured temperature and humidity were significantly higher ($p < 0.001$) on the beach in comparison to indoors (beach vs. indoors: temperature 27.1 ± 0.83 °C vs. 21.0 ± 0.11 °C and humidity $53 \pm 3.8\%$ vs. $40 \pm 2.6\%$, respectively). During the simulated matches, players declared maximum involvement in the game. The research assumed that players participated in the matches throughout the game. During each simulated match, each player's heart rate (HR) was monitored with Polar Team² PRO

(Polar Electro Oy, Kempele, Finland) (Table 1). During the matches, the players themselves decided on the time and quantity (Table 1) of their intake of low-mineralized water (total mineral content = 231.9 mg/L) with the following mineral composition: Ca^{2+} (48.8 mg/L); Na^+ (4.25 mg/L); Mg^{2+} (3.7 mg/L); K^+ (0.47 mg/L); HCO_3^- (136.0 mg/L); SO_4^{2-} (17.0 mg/L); Cl^- (5.86 mg/L); F^- (0.13 mg/L).

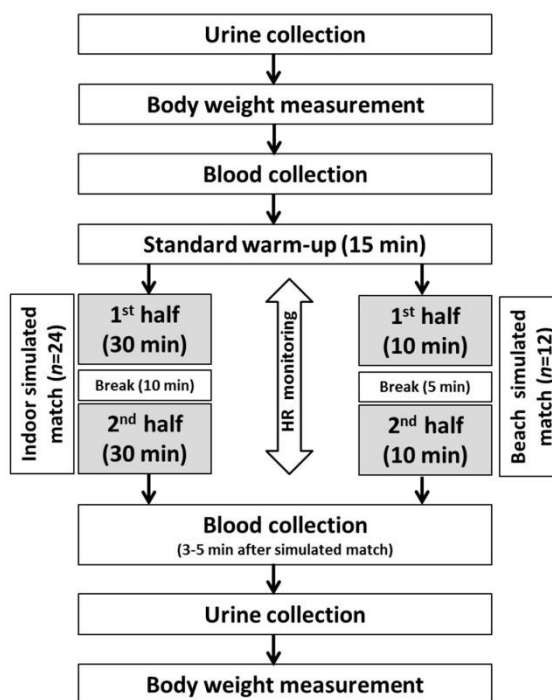


Figure 1. Pattern of testing for handball players playing indoors and on the beach.

2.6. Statistical Analysis

Data are presented as mean values with standard deviation ($\bar{X} \pm \text{SD}$) and confidence interval (95% CI). All measured variables were checked for normality of distribution using the Shapiro–Wilk test. In order to compare rest and post-exercise values between both match types, the homogeneity of variance of the individual indicators was examined, and the *t*-test for indicators with normal distribution and the Mann–Whitney U test for indicators with no normal distribution were carried out. In order to compare the differences between times (before and after the simulated matches), analysis of variance with repeated measures (ANOVA) and Wilcoxon signed-rank test were applied. Effect sizes (*d*) were calculated using means and standard deviations. To determine the effect size, Cohen’s criteria were used [17], which indicates that ≥ 0.2 and < 0.5 was considered “small”, ≥ 0.5 and < 0.8 “medium”, and ≥ 0.8 “large”. The level of significance was set at $p < 0.05$. The statistical analysis was performed using the analytics software package STATISTICA 13.1 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

3. Results

The physiological homogeneity of the female athletes in the tested groups is demonstrated by the results of all variables measured before the simulated indoor and beach matches (Table 2). The results of these two groups were not statistically different. However, statistical differences were visible after the end of the match. An analysis of differences in the mean values of all the variables measured showed statistically significant differences for both mentioned locations in terms of: body mass, urine specific gravity, concentration of aldosterone, HCO_3^- , standard base excess, blood pH and lactate. Statistically significant post-exercise differences in the concentration of K^+ and Ca^{2+} were found only in the case of indoor matches and were found in urine pH only on the beach. However, no significant differences were observed for hematocrit, osmolality and the concentration of Na^+ , Cl^- and magnesium (Table 2).

Table 2. Average values of the analysed indicators measured before and after both types of simulated matches.

Indicator	Location	Pre-Exercise	Post-Exercise	p-Value	Effect Size
Body mass (kg)	Indoors	63.2 ± 4.0	62.2 ± 4.0	≤0.001	0.24
	Beach	62.0 ± 4.3	61.4 ± 4.3	≤0.001	0.14
Water Management					
Hematocrit (L/L)	Indoors	0.383 ± 0.020	0.378 ± 0.020	NS	
	Beach	0.381 ± 0.029	0.374 ± 0.023	NS	
Urine specific gravity	Indoors	1.016 ± 0.006	1.019 ± 0.004	0.013	0.58
	Beach	1.013 ± 0.004	1.019 ± 0.005	0.003	1.36
Osmolality (mOsm/kg)	Indoors	289.4 ± 2.4	289.5 ± 3.4	NS	
	Beach	289.5 ± 4.1	291.2 ± 4.2	NS	
Electrolyte Management					
Na^+ (mmol/L)	Indoors	142 ± 1	142 ± 2	NS	
	Beach	142 ± 2	143 ± 2	NS	
K^+ (mmol/L)	Indoors	4.3 ± 0.5	4.1 ± 0.4	0.046	0.48
	Beach	4.4 ± 0.4	4.4 ± 0.7	NS	
Ca^{2+} (mmol/L)	Indoors	1.21 ± 0.03	1.19 ± 0.02	≤0.001	0.96
	Beach	1.23 ± 0.04	1.23 ± 0.05	NS	
Cl^- (mmol/L)	Indoors	108 ± 2	107 ± 2	NS	
	Beach	107 ± 2	108 ± 2	NS	
Magnesium (mmol/L)	Indoors	0.89 ± 0.04	0.86 ± 0.08	NS	
	Beach	0.87 ± 0.02	0.85 ± 0.06	NS	
Aldosterone (mmol/L)	Indoors	124.6 ± 62.4	304.5 ± 168.9	≤0.001	1.41
	Beach	129.0 ± 102.1	213.7 ± 200.5	0.034	0.53
Acid-base Balance					
HCO_3^- (mmol/L)	Indoors	24.6 ± 1.4	22.5 ± 1.8	≤0.001	1.28
	Beach	24.7 ± 1.7	23.4 ± 2.4	0.011	0.63
Standard base excess (mmol/L)	Indoors	0.3 ± 1.7	-2.5 ± 2.5	≤0.001	1.33
	Beach	0.3 ± 2.3	-1.5 ± 3.3	0.011	0.63
Blood pH	Indoors	7.42 ± 0.02	7.40 ± 0.03	0.002	0.90
	Beach	7.42 ± 0.02	7.40 ± 0.02	0.002	0.93
Urine pH	Indoors	6.21 ± 0.61	6.27 ± 0.69	NS	
	Beach	6.54 ± 0.62	5.46 ± 0.50	0.005	1.93
Blood lactate (mmol/L)	Indoors	1.26 ± 0.53	5.33 ± 3.01	≤0.001	1.89
	Beach	1.29 ± 0.41	5.75 ± 1.83	≤0.001	3.36

NS—non-statistically significant.

The ambient conditions of simulated matches (indoor vs. beach) had a statistically significant effect on two parameters measured post-exercise: concentration of Ca^{2+} (Figure 2a) and urine pH (Figure 2b).

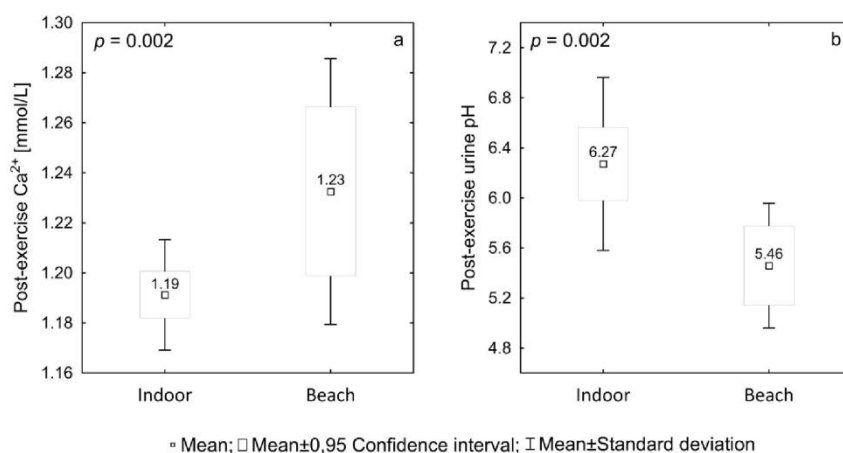


Figure 2. Significant post-exercise differences between simulated matches played indoors and on the beach: (a)—for Ca²⁺, (b)—urine pH.

4. Discussion

The aim of this study was to compare the post-exercise response of female handball players caused by a simulated match in both beach and indoor conditions. We hypothesised that the longer indoor matches would cause changes in the players' peripheral blood and urine. Also, we predicted that the higher intensity of a match on the beach, higher energy cost of the effort made on sand and changing ambient conditions would cause deeper disturbances in the water–electrolyte and acid–base balance in the players' bodies.

To our knowledge, this is the first time that an extensive study describing post-workout changes in female handball players in terms of water–electrolyte and acid–base balance has been presented. In addition, this research considers the ambient conditions of simulated matches, played traditionally indoors in a hall or outdoors on a sand court. The value and practical usefulness of this work is evident, given the small number of publications on handball, especially regarding post-exercise response [18] as well as the characteristics of players' hydration status [1].

In this study, a significant decrease in body mass amounting on average of $1.3 \pm 0.46\%$ was observed in all the players after the simulated matches. This was undoubtedly caused by insufficient fluid intake during these matches. However, the dehydration levels of the analysed participants did not exceed 2% of their respective body mass and, therefore, likely had little impact on their physical performance [1,8]. Previously, Cunniffe et al. [1] noticed that only 56% of female handball players took equal or greater volume of fluids than the amount of sweat expelled during training and competitive games. In other team sports, the reduction in body mass during training and during a match has been assessed at 0.5% and 0.6%, respectively, for female rugby players [19], and at 0.8% for male beach volleyball players during a match [20]. Higher post-exercise dehydration, reaching even -3.2% of body mass, has been observed in male basketball players during competitive games [21]. Male football players, in the publications of Maughan et al. [5] or Shirreffs et al. [22], showed dehydration levels exceeding 2% of their respective body mass, both after training and after a competitive game.

In the current work, a statistically non-significant reduction of Hct values were observed directly after the matches. Such an effect was also observed by Lippi et al. [23] after a half-marathon. However, some authors reported a decrease in Hct value after exercise [24,25], attributing this to post-exercise auto-hemodilution [26].

The proper hydration of the players before the simulated matches was confirmed by another indicator we examined, which is urine specific gravity. In most of them, this value was below 1.020 before the matches. When the value of this index reaches 1.021–1.030, it indicates that the body dehydrating in the range of 3% to 5% of body mass. Determining urine specific gravity has a practical dimension—athletes with higher values before an event of physical exertion risk demonstrating potentially greater dehydration after a training session or a match [21]. Osterberg et al. [21] recorded dehydration levels in basketball players immediately before a competitive game and then observed the exacerbation of this condition after the game.

A good marker for assessing the hydration of players is also plasma osmolality. Dehydration leads to a significant increase in plasma osmolality, for example after an ultramarathon [27] or high-volume training [28]. The present work did not show changes in the osmolality of plasma after simulated matches, which was probably compensated by the stable concentrations of blood sodium (Table 2) and glucose (data not shown).

Physical effort leads to loss of electrolytes through sweat [1,8,29]. In the present study, a statistically significant decrease of potassium and calcium concentrations in the players' blood were observed, however, only after the indoor match. This not-fully-explainable physiological effect was also observed in a group of basketball players [30] and young boxers [31] immediately after training. Lowering calcium concentrations in blood plasma, as suggested by Wang et al. [30], could be caused by its transport to muscle and nervous tissue to help neural signalling, in response to physical effort.

Many factors may affect post-exercise potassium concentration in the blood. Some researchers have indicated that physical exercise does not significantly change the level of this marker [27,32], however, others have observed an increase [28] or even a reduction [28] thereof. The decrease of blood potassium concentration in this study may be due to regulation of the water–electrolyte balance by increasing aldosterone concentration. This steroid hormone preventing water loss through Na⁺ retention in the body may increase the excretion of potassium in the urine [28,29]. The current investigation showed a significant ($p < 0.05$) increase in aldosterone concentration, in both the simulated indoor and beach matches, which would confirm the existence of the mechanism described above.

Exercise usually leads to the loss of Na⁺, Cl⁻ and magnesium through sweat [1,33,34] that is not always combined with a simultaneous decrease of their concentration in blood [19,27,28,31], as was also confirmed in our study. Moreover, there are also reports showing an increase [28,30] as well as a decrease of blood sodium concentration after intense exercise [32,35]. Only a handful of authors have described post-exercise changes in blood chloride ion concentration, although the role of these ions during depolarization of skeletal muscle cells has been known for two decades. Wang et al. [30] reports their increase after high-intensity training in elite basketball athletes. Regarding post-exercise changes in magnesium concentration, Laires and Monteiro [36] showed that sub-maximal effort decreased, but lower intensity exercise increased, the concentration of blood magnesium ions. It can be assumed that the moderate-intensity exercise by the tested handball players did not have a sufficient trigger effect to disturb the homeostasis and change the concentration of these three electrolytes in their blood. Additionally, the lack of changes in their concentration in the blood may be explained by proper renal reabsorption and not very intense loss through sweat.

Disturbances in the acid–base balance of the body are manifested by changes in the blood lactate and bicarbonate ion concentrations, by disorders of both, value of the standard base excess, as well as the pH of blood and urine. In the current work, statistically significant post-exercise changes were found for all these indicators, with the lactate concentration increasing, while the values of the other indicators decreased. These changes indicate the acidification of the players' plasma after both types of simulated matches, indoor and beach. The reduction of bicarbonate ion concentration after exercise is consistent with most published data [11,37], indicating the participation of these ions in buffering processes. Similar to HCO₃⁻, a decrease in the standard base excess value is a typical response to intense physical exertion [11,38]. Both types of simulated matches caused aerobic and anaerobic metabolism (post-exercise lactate concentration below 4 mmol/L, Table 2), as a result of which the acid–base balance changed.

Female handball player experienced a reduction in blood and urine pH after physical exercise as a consequence of the acidic products of metabolism, such as hydrogen ions, lactate, pyruvate and ketone bodies. In the present study, the post-exercise results of this indicator, both in the blood and urine, were statistically significantly reduced. Most publications, according to the results of their own research, confirm a decrease in the value of blood pH after anaerobic [11], aerobic [12] and mixed physical exercise [39].

The influence of blood lactate in terms of lowering post-exercise pH was also shown in our study, supporting other studies' observations of an increase in blood lactate concentration after exercise regardless of the nature of that exercise [11,12,37,39].

In this paper, we reported a few differences in biochemical parameters during the simulated matches in indoor and outdoor conditions. No papers presenting a comparison of urine and blood biochemical parameters between indoor and beach handball players have been published to date, to the best of our knowledge. It is worth noting that both temperature and humidity were significantly lower indoors compared to the beach, so this may have influenced the metabolic response of the players. A statistically significant decrease in the concentration of calcium ions observed only after the simulated indoor matches may be associated with the longer duration of this exercise. Decreases in muscle Ca^{2+} content and Ca^{2+} -ATPase activity are closely related to depressed contraction possibilities caused by fatigue [40].

Shirreffs et al. [22] described changes in sweat loss depending on ambient conditions (temperature—T; humidity—H). They determined that the percentage change in body mass of football players was the same in cool ($T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 81\%$), moderate ($T = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 55\%$) and warm ($T = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 20\%$) environments. This shows that ambient conditions may not significantly affect sweat loss during training or during a match when players are able to adjust the amount of fluids, clothing and working rate [5], which is probably what happened in our study.

The strengths of this study include monitoring the hydration of athletes based on indicators verified in blood and urine samples. Furthermore, very few publications relating to team sports describe hydration in women, as most of them concern men. Unfortunately, this study did not include any monitoring of urine and sweat ions, nor an analysis of the athletes' diet. Both could help document the influence of the foods consumed on the level of electrolytes and acid-base balance during the training process. In future studies, a higher number of analysed athletes should also be considered.

5. Conclusions

A simulated handball match, depending on the location where it was performed (indoor vs. the beach), directly affected the acid–base balance and, to a smaller extent, the water–electrolyte balance in the players.

The match effort in indoor handball had a higher impact on the electrolyte balance than that in beach handball, reducing blood calcium and potassium concentration. The intake of electrolytes in the form of liquids or gels by athletes playing or training indoors is more important than by athletes engaged in outdoor activity. This is probably due to the time spent physically active during these matches.

Due to a significant reduction in the concentration of potassium and calcium ions in the blood of the players who exercise in indoor conditions, it is recommended to use drinks with greater levels of mineralization than those used in this research.

Author Contributions: Conceptualization, J.K. (Joanna Kamińska) and T.P.; Formal analysis, J.K. (Joanna Kamińska); Funding acquisition, T.P.; Investigation, J.K. (Joanna Kamińska) and T.P.; Methodology, J.K. (Joanna Kamińska) and T.P.; Project administration, T.P.; Resources, T.P.; Validation, J.K. (Joanna Kamińska) and T.P.; Visualization, J.K. (Joanna Kamińska), T.P. and J.K. (Jakub Kryściak); Writing—original draft, J.K. (Joanna Kamińska); Writing—review & editing, J.K. (Joanna Kamińska), T.P., J.K. (Jakub Kryściak) and M.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Development of Academic Sport, grant number N RSA3 03553.

Acknowledgments: The authors would like to thank Urszula Bartkowiak from Department of Physiology and Biochemistry, Poznań University of Physical Education, for her assistance with collecting material for research, and Magdalena Lewandowska from Section Computational, Poznań University of Physical Education, for her support by statistical analysis.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Cunniffe, B.; Fallan, C.; Yau, A.; Evans, G.H.; Cardinale, M. Assessment of physical demands and fluid balance in elite female handball players during a 6-day competitive tournament. *Int. J. Sport Nutr. Exe. Metab.* **2015**, *25*, 78–88, doi:10.1123/ijsnem.2013-0210.
2. Karcher, C.; Buchheit, M. On-court demands of elite handball, with special reference to playing positions. *Sports Med.* **2014**, *44*, 797–814, doi:10.1007/s40279-014-0164-z.
3. Georgescu, A.; Rizescu, C.; Varzaru, C. Improving Speed to Handball Players. *RREM* **2019**, *11*, 73–87, doi:10.18662/rrem/97.
4. Nuccio, R.P.; Barnes, K.A.; Carter, J.M.; Baker, L.B. Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. *Sports Med.* **2017**, *47*, 1951–1982, doi:10.1007/s40279-017-0738-7.
5. Maughan, R.J.; Watson, P.; Evans, G.H.; Broad, N.; Shirreffs, S.M. Water balance and salt losses in competitive football. *Int. J. Sport Nutr. Exe. Metab.* **2007**, *17*, 583–594, doi:10.1123/ijsnem.17.6.583.
6. Adams, J.D.; Sekiguchi, Y.; Suh, H.G.; Seal, A.D.; Sprong, C.A.; Kirkland, T.W.; Kavouras, S.A. Dehydration Impairs Cycling Performance, Independently of Thirst: A Blinded Study. *Med. Sci. Sports Exe.* **2018**, *50*, 1697–1703, doi:10.1249/MSS.0000000000001597.
7. Montain, S.J.; Coyle, E.F. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* **1992**, *73*, 1340–1350, doi:10.1152/jappl.1992.73.4.1340.
8. Maughan, R.J.; Shirreffs, S.M. Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scan. J. Med. Sci. Sports* **2010**, *20*, 40–47, doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01207.x.
9. Shirreffs, S.M.; Maughan, R.J. Whole body sweat collection in humans: An improved method with preliminary data on electrolyte content. *J. Appl. Physiol.* **1997**, *82*, 336–341, doi:10.1152/jappl.1997.82.1.336.
10. Poortmans, J.R. Exercise and renal function. *Sports Med.* **1984**, *1*, 125–153, doi:10.2165/00007256-198401020-00003.
11. Hanon, C.; Bernard, O.; Rabate, M.; Claire, T. Effect of two different long-sprint training regimens on sprint performance and associated metabolic responses. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 1551–1557, doi:10.1519/JSC.0b013e318231a6b5.
12. Wiacek, M.; Andrzejewski, M.; Chmura, J.; Zubrzycki, I.Z. The changes of the specific physiological parameters in response to 12-week individualized training of young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 1514–1521, doi:10.1519/JSC.0b013e3181ddf860.
13. Girard, O.; Mendez-Villanueva, A.; Bishop, D. Repeated-sprint ability—Part. I: Factors contributing to fatigue. *Sports Med.* **2011**, *41*, 673–694, doi:10.2165/11590550-000000000-00000.
14. López-Sánchez, G.F.; Smith, L.; Díaz-Suárez, A.; Towner, A.; Gordon, D. Do novice and experienced rowers adopt different pacing strategies and do their physiological and metabolic responses show optimisation? *SPORT TK—Eur. J. Sport Sci.* **2018**, *7*, 165–174, doi:10.6018/322031.
15. Lejeune, T.M.; Willems, P.A.; Heglund, N.C. Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *J. Exp. Biol.* **1998**, *201*, 2071–2080.
16. Zamparo, P.; Perini, R.; Orizio, C.; Sacher, M.; Ferretti, G. The energy cost of walking or running on sand. *Eur. J. Appl. Physiol. and Occup. Physiol.* **1992**, *65*, 183–187, doi:10.1007/BF00705078.
17. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988.
18. Michalsik, L.B.; Madsen, K.; Aagaard, P. Match performance and physiological capacity of female elite team handball players. *Int. J. Sports Med.* **2014**, *35*, 595–607, doi:10.1055/s-0033-1358713.
19. Jones, B.; Till, K.; King, R.; Gray, M.; O'Hara, J. Are habitual hydration strategies of female rugby league players sufficient to maintain fluid balance and blood sodium concentration during training and match-alay? A research note from the field. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 875–880, doi:10.1519/JSC.0000000000001158.

20. Zetou, E.; Giatsis, G.; Mountaki, F.; Komninakidou, A. Body weight changes and voluntary fluid intakes of beach volleyball players during an official tournament. *J. Sci. Med. Sport* **2008**, *11*, 139–145, doi:10.1016/j.jsams.2007.01.005.
21. Osterberg, K.L.; Horswill, C.A.; Baker, L.B. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *J. Athl. Train.* **2009**, *44*, 535–537, doi:10.4085/1062-6050-44.1.53.
22. Shirreffs, S.M.; Sawka, M.N.; Stone, M. Water and electrolyte needs for football training and match-play. *J. Sports Sci.* **2006**, *24*, 699–707, doi:10.1080/02640410500482677.
23. Lippi, G.; Salvagno, G.L.; Danese, E.; Skafidas, S.; Tarperi, C.; Guidi, G.C.; & Schena, F. Mean platelet volume (MPV) predicts middle distance running performance. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e112892, doi:10.1371/journal.pone.0112892.
24. Kłapcińska, B.; Waskiewicz, Z.; Chrapusta, S.J.; Sadowska-Krepa, E.; Czuba, M.; Langfort, J. Metabolic responses to a 48-h ultra-marathon run in middle-aged male amateur runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2013**, *113*, 2781–2793, doi:10.1007/s00421-013-2714-8.
25. O'Connell, S.M.; Woodman, R.J.; Brown, I. L.; Vincent, D.J.; Binder, H.J.; Ramakrishna, B.S.; Young, G.P. Comparison of a sports-hydration drink containing high amylose starch with usual hydration practice in Australian rules footballers during intense summer training. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* **2018**, *15*, 46, doi:10.1186/s12970-018-0253-8.
26. Bizjak, D.A.; Jacko, D.; Zimmer, P.; Gehlert, S.; Bloch, W.; Grau, M. Acute alterations in the hematological and hemorheological profile induced by resistance training and possible implication for microvascular functionality. *Microvasc. Res.* **2018**, *118*, 137–143, doi:10.1016/j.mvr.2018.03.007.
27. Knechtle, B.; Knechtle, P.; Rüst, C.A.; Gnädinger, M.; Imoberdorf, R.; Kohler, G.; Rosemann, T.; Ballmer, P. Regulation of electrolyte and fluid metabolism in multi-stage ultra-marathoners. *Horm. Metab. Res.* **2012**, *44*, 919–926, doi:10.1055/s-0032-1312647.
28. Boone, C.H.; Hoffman, J.R.; Gonzalez, A.M.; Jajtner, A.R.; Townsend, J.R.; Baker, K.M.; Fukuda, D.H.; Stout, J.R. Changes in Plasma Aldosterone and Electrolytes Following High-Volume and High-Intensity Resistance Exercise Protocols in Trained Men. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 1917–1923, doi:10.1519/JSC.0000000000001276.
29. Morgan, R.M.; Patterson, M.J.; Nimmo, M.A. Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiol. Scand.* **2004**, *182*, 37–43, doi:10.1111/j.1365-201X.2004.01305.x.
30. Wang, L.; Zhang, J.; Wang, J.; He, W.; Huang, H. Effects of high-intensity training and resumed training on macroelement and microelement of elite basketball athletes. *Biol. Trace Elem. Res.* **2012**, *149*, 148–154, doi:10.1007/s12011-012-9420-y.
31. Karakukcu, C.; Polat, Y.; Torun, Y.A.; Pac, A.K. The effects of acute and regular exercise on calcium, phosphorus and trace elements in young amateur boxers. *Clin. Lab.* **2013**, *59*, 557–562, doi:10.7754/Clin.Lab.2012.120505.
32. Gerth, J.; Ott, U.; Fünfstück, R.; Bartsch, R.; Keil, E.; Schubert, K.; Hübscher, J.; Scheucht, S.; Stein, G. The effects of prolonged physical exercise on renal function, electrolyte balance and muscle cell breakdown. *Clin. Nephrol.* **2002**, *57*, 4254–31, doi:10.5414/CNP57425.
33. Lukaski, H.C. Micronutrients (Magnesium, Zinc, and Copper): Are Mineral Supplements Needed for Athletes? *Int. J. Sport Nutr.* **1995**, *5*, 74–83, doi:10.1123/ijsn.5.s1.s74.
34. Stofan, J.R.; Zachwieja, J.J.; Horswill, C.A.; Murray, R.; Anderson, S.A.; Eichner, E.R. Sweat and sodium losses in NCAA football players: A precursor to heat cramps? *Int. J. Sport Nutr. Exe. Metab.* **2005**, *15*, 641–652, doi:10.1123/ijsnem.15.6.641.
35. Horswill, C.A.; Stofan, J.R.; Lacambra, M.; Toriscelli, T.A.; Eichner, E.R.; Murray, R. Sodium balance during U.S. football training in the heat: Cramp-prone vs. reference players. *Int. J. Sports Med.* **2009**, *30*, 789–794, doi:10.1055/s-0029-1234056.
36. Laires, M.J.; Monteiro, C. Exercise, magnesium and immune function. *Magnes. Res.* **2008**, *21*, 92–96, doi:10.1684/mrh.2008.0136.
37. Chycki, J.; Golas, A.; Halz, M.; Maszczyk, A.; Toborek, M.; Zajac, A. Chronic Ingestion of Sodium and Potassium Bicarbonate, with Potassium, Magnesium and Calcium Citrate Improves Anaerobic Performance in Elite Soccer Players. *Nutrients* **2018**, *10*, E1610, doi:10.3390/nu10111610.

38. Wiecek, M.; Maciejczyk, M.; Szymura, J.; Szygula, Z. Changes in oxidative stress and acid-base balance in men and women following maximal-intensity physical exercise. *Physiol. Res.* **2015**, *64*, 93–102, doi:10.33549/physiolres.932744.
39. Wiewelhove, T.; Fernandez-Fernandez, J.; Raeder, C.; Kappenstein, J.; Meyer, T.; Kellmann, M.; Pfeiffer, M.; Ferrauti, A. Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2016**, *56*, 606–615.
40. McKenna, M.J.; Harmer, A.R.; Fraser, S.F.; Li, J.L. Effects of training on potassium, calcium and hydrogen ion regulation in skeletal muscle and blood during exercise. *Acta Physiol. Scand.* **1996**, *156*, 335–346, doi:10.1046/j.1365-201X.1996.199000.x.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

4.3. Publikacja 2: Does the minerals content and osmolarity of the fluids taken during exercise by female field hockey players influence on the indicators of water-electrolyte and acid-basic balance?

Article

Does the Minerals Content and Osmolarity of the Fluids Taken during Exercise by Female Field Hockey Players Influence on the Indicators of Water-Electrolyte and Acid-Basic Balance?

Joanna Kamińska ^{1,*}, Tomasz Podgórski ¹, Krzysztof Rachwałski ² and Maciej Pawlak ¹

¹ Chair of Dietetics, Department of Physiology and Biochemistry, Poznań University of Physical Education, 61-871 Poznań, Poland; podgorski@awf.poznan.pl (T.P.); pawlak@awf.poznan.pl (M.P.)

² Chair of Theory and Methodology of Sport, Department of Theory and Methodology of Team Sport Games, Poznań University of Physical Education, 61-871 Poznań, Poland; rachwalski@awf.poznan.pl

* Correspondence: jkaminska@awf.poznan.pl; Tel.: +48-618-355-187

Abstract: Although it is recognized that dehydration and acidification of the body may reduce the exercise capacity, it remains unclear whether the qualitative and quantitative shares of certain ions in the drinks used by players during the same exertion may affect the indicators of their water-electrolyte and acid–base balance. This question was the main purpose of the publication. The research was carried out on female field hockey players ($n = 14$) throughout three specialized training sessions, during which the players received randomly assigned fluids of different osmolarity and minerals contents. The water–electrolyte and acid–base balance of the players was assessed on the basis of biochemical blood and urine indicators immediately before and after each training session. There were statistically significant differences in the values of all examined indicators for changes before and after exercise, while the differences between the consumed drinks with different osmolarities were found for plasma osmolality, and concentrations of sodium and potassium ions and aldosterone. Therefore, it can be assumed that the degree of mineralization of the consumed water did not have a very significant impact on the indicators of water–electrolyte and acid–base balance in blood and urine.

Keywords: hydration status; water–electrolyte balance; acid–base balance; fluids osmolarity; team sports; nutrition; women in sport



Citation: Kamińska, J.; Podgórski, T.; Rachwałski, K.; Pawlak, M. Does the Minerals Content and Osmolarity of the Fluids Taken during Exercise by Female Field Hockey Players Influence on the Indicators of Water-Electrolyte and Acid-Basic Balance?. *Nutrients* **2021**, *13*, 505. <https://doi.org/10.3390/nu13020505>

Academic Editors: Douglas J. Casa and Stavros Kavouras
Received: 7 January 2021
Accepted: 2 February 2021
Published: 4 February 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Field hockey is a team sport practiced by women and men, both on a recreational and professional level [1]. At the elite level, field hockey players cover between 3.4 km and 9.5 km during training and competition depending on their position on the pitch [2,3], with 55% being low-intensity efforts (standing, walking), 38% moderate intensity (jogging, running), and the remaining 7% being high-intensity efforts (fast running, sprinting) [4]. Physical activity increases the body's internal temperature [5]. Compensating mechanisms, especially increased sweat production [6], cause a loss of water and the electrolytes contained in it [7]. Moreover, acidic compounds formed during exercise simultaneously contribute to disturbances in the acid–base balance [8,9], reducing sports performance, especially muscle endurance [10] or cognitive functions [11]. It is therefore important to control and, if necessary, replenish fluids of an appropriate qualitative and quantitative profile before or during exercise. The transport of fluids into the bloodstream and tissues depends, *inter alia*, on the speed at which they leave the stomach and on the effectiveness of their absorption in the small intestine. The above depends on the volume of fluid consumed, the content of energetic substances such as glucose in the fluid, and the concentration gradient on both sides of the intestinal barrier. Thus, the transport of water from the intestines into the bloodstream and tissues is greater for hypotonic than hypertonic

drinks, since the latter support the movement of water from the tissues into the lumen of the gastrointestinal tract [12]. On the other hand, the ingestion of low-mineral water (hypotonic solutions) reduces plasma osmolality, which stimulates urine production and may increase dehydration [13,14].

The regulation of the concentration of sodium and potassium ion levels in the body depends on the renin–angiotensin–aldosterone system (RAA). Aldosterone inhibits the excretion of sodium in the urine, increasing the loss of potassium ions from body fluids. In addition, this hormone is secreted as a result of an increase in the concentration of hydrogen ions in the blood accompanying exercise [15]. Such an excess of hydrogen ions is excreted in the urine, and the speed of this process depends on the amount of urine excreted.

The volume of fluids consumed by humans is regulated not only by physiological factors, but also by subjective ones, whereby the taste attractiveness of liquids may prove to be an important factor in the hydration process, especially taking into account the volumes consumed by players [16]. In the case of water, its tastiness is influenced by an increase in the proportion of sodium ions, which stimulates physiological thirst and thus leads to better hydration [13]. Therefore, isotonic fluids most effectively compensate for water and electrolyte losses caused by physical exercise, while providing additional energy [17].

It has been hypothesized that consuming beverages with a higher osmolarity and/or content of minerals lead to a more favorable water–electrolyte and acid–base balance compared to the intake of low-mineralized water. To verify this hypothesis, taking into account the intensity and duration of training, ambient conditions and the athlete’s individual physiological profile, during the standard training of female field hockey players, was the main purpose of the research. In the publication, the authors also set themselves the goal of describing changes in the water–electrolyte and acid–base balance indicators in terms of adapting the bodies of female field hockey players to standard training loads.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Approach

The levels of biochemical and hematological indicators in female field hockey players were assessed during three specialized training sessions, during which the players randomly received fluids of different osmolarities. The water–electrolyte and acid–base balance was assessed on the basis of blood and urine indicators, which were obtained immediately before and after each training session.

2.2. Participants

The research included 14 players training in field hockey, members of the women’s national team and women’s junior team. Players participated in training sessions five times per week. The weekly training time was, on average, 6.5 ± 1.0 h. Training was complemented with 1 match per week during the three weeks of the research period. The weekly framework of the training program is presented below:

Monday—active recovery training + static stretching
Tuesday—technical/tactical training session + interval run
Wednesday—technical/tactical training session (research measurements)
Thursday—training game/small side games
Friday—individual gym session
Saturday—free/passive recovery
Sunday—Polish League competition

Goalkeepers were excluded from the research due to the different nature of the effort they performed.

The average training experience of the female competitors was 12.5 ± 2.9 years. They were non-smokers, as evidenced by the mean contents of carboxyhemoglobin in the blood of female hockey players, amounting to $0.9\% \pm 0.2\%$. For 22 h before the tests, the contestants did not perform any intense physical effort. An hour before each test date,

they ate a standard meal (porridge in milk with banana), the caloric content of which corresponded to 10% of the daily food ration of each of the competitors. Additionally, the competitors were not allowed to eat any food during the whole training.

The anthropometric data of the players were determined on the basis of measurements made before the start of each training session (Table 1). Their height and weight were measured using a medical scale WPT60/150 OW (Radwag®, Radom, Poland), while the waist circumference was measured using a tailor's tape measure. The mass of urine excreted was determined by comparing body mass immediately after exercise and body mass after urination (Figure 1).

Table 1. Somatic and physiological characteristics of female field hockey players ($n = 14$).

Characteristics	Low-Mineralized Water		High-Mineralized Water		Isotonic Drink		p Value
	$\bar{X} \pm SD$	95% CI	$\bar{X} \pm SD$	95% CI	$\bar{X} \pm SD$	95% CI	
Age (years)	21.9 ± 2.3	(20.6–23.2)	21.9 ± 2.3	(20.6–23.2)	21.9 ± 2.3	(20.6–23.2)	1.000
Body height (m)	1.70 ± 0.06	(1.67–1.74)	1.70 ± 0.06	(1.67–1.74)	1.70 ± 0.06	(1.67–1.74)	1.000
Body mass (kg)	65.3 ± 5.4	(62.2–68.4)	65.4 ± 5.4	(62.2–68.5)	65.2 ± 5.0	(62.3–68.1)	0.712
WHtR	42.9 ± 1.4	(42.1–43.7)	43.0 ± 1.4	(42.1–43.8)	42.9 ± 1.4	(42.1–43.7)	0.906
HR mean (bpm)	151.7 ± 3.0	(149.9–153.4)	152.0 ± 4.3	(149.5–154.5)	151.6 ± 2.1	(150.4–152.9)	0.962
Fluid intake (ml)	543.9 ± 270.0	(388.0–699.8)	535.7 ± 180.2	(431.7–639.8)	503.6 ± 224.7	(373.9–633.3)	0.800
Urine mass excreted after training (g)	157.1 ± 70.4	(116.5–197.8)	135.0 ± 104.6	(74.6–195.4)	115.7 ± 72.8	(73.7–157.8)	0.404

WHtR: waist-to-height ratio; HR: heart rate; \bar{X} : average; SD: standard deviation; CI: confidence interval.

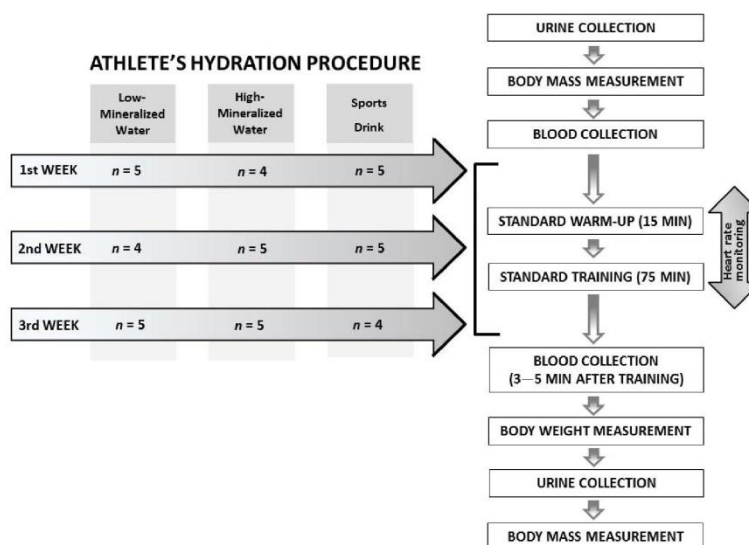


Figure 1. Flow chart of the study design.

2.3. Ethics Approval

The research related to human use complied with all relevant national regulations and institutional policies, has followed the tenets of the Declaration of Helsinki, and has been approved by the Bioethical Committee of the Poznan University of Medical Sciences (Approval No.: 140/15).

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

2.4. Biochemical Analyses

The material for the research was capillary blood obtained from the fingertip of the non-dominant hand of the players, before and after the standard training unit. Blood was collected according to the applicable procedures, from the finger of the non-dominant hand using a Medlance[®] Red lancet-spike (HTL-Zone, Berlin, Germany) with a 1.5 mm blade and 2.0 mm penetration depth. In addition, each of the contestants was asked to submit a urine sample before and after training.

In blood collected from a heparinized capillary (65 µL), the concentration of electrolytes (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻), lactate, plasma osmolality and pH, and standard base excess (BE), were determined using a gasometric analyzer (ABL90 FLEX, Radiometer, Copenhagen, Denmark). Additionally, 300 µL of capillary blood was collected in a Microvette[®] CB 300 tube (Sarstedt, Nümbrecht, Germany) containing K2-EDTA (EDTA dipotassium salt) as an anticoagulant for hematocrit determination on a hematology reader (Mythic[®]18, Orphèe, Geneva, Switzerland). Another 300 µL of capillary blood was collected in a Microvette[®] CB 300 Z tube (Sarstedt, Nümbrecht, Germany) with a clotting activator, in which the concentration of aldosterone was determined using an ELISA kit (DRG MedTek, Warsaw, Poland; Cat No. EIA-5298) and magnesium using the colorimetric method (Mg; Cormay, Łomianki, Poland; Cat No. 2-229). The absorbance readings were taken on a multi-detection microplate ELISA reader (Synergy 2 SIAFRT, BioTek, Winooski, VT, USA). Urine-specific gravity and pH were determined on a urine strip analyzer (URYXXON[®] Relax, Macherey-Nagel, Düren, Germany).

2.5. Specialized Training

The three test dates were carried out at weekly intervals, in November and December 2016, in the hall, each time from 6:00 to 7:30 p.m. Each time, the contestants were randomly assigned to groups consuming fluids with different osmolality levels in a manner ensuring the consumption of each of the drinks (Figure 1). The competitors had free access to the randomly drawn fluid during each of the 1.5 h training sessions (Table 2) and decided on both the time and amount of intake (Table 1). The composition of the liquids, given by the producers on the packaging, is presented in Table 3, and the osmolality of these beverages was adopted based on the available literature: low-mineralized water ~20 (mOsm/kg water), highly mineralized water ~88 (mOsm/kg water), and isotonic drink ~279 (mOsm/kg water) [18].

During each training session, the air temperature and humidity were measured using data loggers located in the four corners of the pitch in the hall (EBI 310 TH, Ingolstadt, Germany). These indicators were not statistically significantly different on individual study dates.

Table 2. Framework training unit plan.

Training Group	Women's National Team and Women's Junior Team
Training duration	90 min
Venue	Indoor Hall 40 m × 20 m
Training objective	Preparation for indoor championship events according to the calendar of the European Field Hockey Federation
Warm-up	Warm-up incl. dynamic stretching + acceleration and speed drills—15 min Hockey-specific warm-up: various forms of passing and receiving the ball in motion (without the participation of a defender); shorter and longer passes, also with the use of a boards—5 min Scoring exercises (different zones of the shooting circle)—5 min
Training	Numerical advantage training—2 vs. 1 and 3 vs. 2/defensive organization in the numerical superiority of the opponent; cooperation with the goalkeeper—20 min Tactical cooperation in even numbers situation—3 vs. 3 on the side sector of the pitch (left and right board) with an emphasis on the transition phase (transition from defending to attacking)—15 min Build-up in 5 vs 4 superiority—4 × 3 min + 1 min break after every 3 min 5 vs. 4 game—2 × 5 min (change of teams after 5 min)

Table 3. The mineral composition of the fluids, specified by the manufacturer, consumed by female field hockey players during training.

Mineral	Low-Mineralized Water	High-Mineralized Water	Isotonic Drink + Low-Mineralized Water
	(mg/L)		
Ca ²⁺	48.10	319.00	288.10
Na ⁺	2.10	111.00	702.10
Mg ²⁺	6.68	47.90	126.68
K ⁺	1.20	49.50	261.20
HCO ₃ [−]	166.30	1639.00	166.30
SO ₄ ^{2−}	10.29	30.00	10.29
Cl [−]	5.60	2.70	245.60
F [−]	0.06	0.30	0.06
Total minerals	240.33	2199.40	1800.33
Glucose	0.00	0.00	52,600.00

All of the players participated in the training throughout its duration. At that time, their heart rate (HR) was monitored using the Polar Team2 PRO Heart Rate Monitoring System (Kempele, Finland) (Table 1). In all competitors, apart from the indicators measured in blood and urine, body mass and the amount of fluids consumed were also monitored before and after training. The complete study scheme is presented in Figure 1.

2.6. Statistical Analysis

Data are presented using the mean and standard deviation ($\bar{X} \pm SD$) and the confidence interval for the mean (95% CI). The values of the studied indices were statistically analyzed, and the variables were checked for normal distribution using the Shapiro–Wilk test. In order to compare the pre-training and post-training results obtained between the three study dates, repeated measures analysis of variance (ANOVA) was performed for normally distributed data, and Friedman ANOVA for indices without normal distribution. In order to compare the differences between the examined indices before and after training, the *t*-test for dependent samples was used for data with a normal distribution on individual test dates, and the Wilcoxon pair order test for data without normal distribution. Effect sizes (d) were calculated using means and standard deviations. To determine the effect size, Cohen’s criteria were used [19], which say that values ≥ 0.2 and <0.5 are considered “small”, ≥ 0.5 and <0.8 “medium”, and ≥ 0.8 “large”. The level of significance was set at $p < 0.05$. Statistical analysis was performed using a computer statistical package STATISTICA v13.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

3. Results

The resting values of the biochemical blood and urine indices of the players on the three study dates did not differ significantly from one another, which proves the homogeneity of the group in terms of the determined indicators. On the other hand, post-exercise differences between individual test terms were found. They concerned plasma osmolality, and the concentration of sodium and potassium ions and aldosterone (Table 4).

The comparison of the values of the examined indicators measured before and after exercise also showed statistically significant differences. They were related to all beverages (low-mineralized water, high-mineralized water, and isotonic drinks) and the indicators determined after their consumption: body mass, hematocrit value, concentration of calcium ions, aldosterone, bicarbonate ions, standard base excess, lactate and urine pH. In the case of consuming water, both low- and high-mineralized, differences in values before and after training were also observed for urine-specific gravity, potassium ion concentration and blood pH. However, the indicators that changed only when consuming isotonic drinks were plasma osmolality, and the concentrations of sodium and chloride ions (Table 4).

Table 4. Average values of the tested biochemical indicators of blood and urine in the examined persons after consuming beverages with different osmolarity levels ($n = 14$).

Indicator	Beverages	Pre-Exercise	Post-Exercise	<i>p</i> Value (Pre vs. Post)	Effect Size	<i>p</i> Value for ANOVA (Post-Exercise Differences between Beverages)
Body mass (kg)	Low	65.3 ± 5.4	65.1 ± 5.4	0.002	0.04	0.706
	High	65.4 ± 5.4	65.2 ± 5.5	0.001	0.03	
	Isotonic	65.2 ± 5.0	65.0 ± 5.0	<0.001	0.04	
Water Balance						
Hematocrit (l/L)	Low	0.377 ± 0.017	0.366 ± 0.021	0.048	0.56	0.212
	High	0.372 ± 0.020	0.360 ± 0.023	<0.001	0.59	
	Isotonic	0.367 ± 0.020	0.353 ± 0.021	<0.001	0.71	
Urine specific gravity (g/L)	Low	1.013 ± 0.006	1.019 ± 0.008	0.001	0.82	0.108
	High	1.014 ± 0.006	1.023 ± 0.009	0.006	1.15	
	Isotonic	1.016 ± 0.009	1.019 ± 0.007	0.068		
Plasma osmolality (mOsm/kg)	Low	291.5 ± 2.1	290.1 ± 3.6	0.155	1.73	<0.001 ^a
	High	291.6 ± 2.5	290.1 ± 3.6	0.077		
	Isotonic	290.1 ± 2.9	285.3 ± 2.6	0.001		
Electrolyte Balance						
Sodium ions (mmol/L)	Low	143 ± 1	142 ± 2	0.111	1.51	0.005 ^a
	High	143 ± 1	142 ± 2	0.179		
	Isotonic	142 ± 2	140 ± 1	<0.001		
Potassium ions (mmol/L)	Low	4.4 ± 0.4	4.1 ± 0.4	0.024	0.66	0.022 ^b
	High	4.3 ± 0.3	3.9 ± 0.3	<0.001	1.39	
	Isotonic	4.5 ± 0.4	4.3 ± 0.3	0.075		
Calcium ions (mmol/L)	Low	1.21 ± 0.03	1.19 ± 0.03	0.031	0.76	0.624
	High	1.20 ± 0.02	1.18 ± 0.04	0.030	0.60	
	Isotonic	1.22 ± 0.03	1.19 ± 0.03	<0.001	1.06	
Chloride ions (mmol/L)	Low	109 ± 1	108 ± 2	0.418	0.80	0.357
	High	108 ± 2	107 ± 2	0.292		
	Isotonic	109 ± 2	107 ± 2	<0.001		
Magnesium (mmol/L)	Low	0.89 ± 0.01	0.89 ± 0.03	0.730		0.789
	High	0.89 ± 0.01	0.89 ± 0.02	0.431		
	Isotonic	0.89 ± 0.02	0.90 ± 0.02	0.272		
Aldosterone (pmol/L)	Low	125.8 ± 45.4	411.8 ± 184.0	0.001	2.13	0.005 ^a
	High	117.0 ± 53.9	424.2 ± 107.5	<0.001	3.61	
	Isotonic	112.2 ± 28.4	270.2 ± 104.6	<0.001	2.06	
Acid–Base Balance						
Bicarbonate ions (mmol/L)	Low	24.1 ± 1.6	22.4 ± 1.3	<0.001	1.13	0.683
	High	24.7 ± 2.1	22.8 ± 1.5	0.005	1.05	
	Isotonic	24.3 ± 1.4	22.3 ± 2.0	<0.001	1.16	
Standard base excess (mmol/L)	Low	−0.1 ± 1.3	−2.6 ± 1.8	<0.001	1.63	0.645
	High	0.9 ± 1.7	−2.1 ± 2.0	<0.001	1.61	
	Isotonic	0.1 ± 1.7	−2.8 ± 2.8	<0.001	1.26	
Blood pH	Low	7.40 ± 0.03	7.39 ± 0.03	0.024	0.45	0.926
	High	7.41 ± 0.02	7.39 ± 0.03	0.012	0.82	
	Isotonic	7.40 ± 0.03	7.39 ± 0.03	0.102		
Urine pH	Low	6.2 ± 0.7	5.4 ± 0.6	0.002	1.31	0.313
	High	6.2 ± 0.7	5.6 ± 0.6	0.005	0.89	
	Isotonic	6.0 ± 0.7	5.5 ± 0.6	0.018	0.81	
Lactate (mmol/L)	Low	1.3 ± 0.4	5.8 ± 1.7	0.001	3.64	0.807
	High	1.3 ± 0.3	5.9 ± 2.6	0.001	2.54	
	Isotonic	1.4 ± 0.4	5.9 ± 2.5	0.001	2.55	

Low—low-mineralized water, High—high-mineralized water, Isotonic—sport drink; ^a—the average values for isotonic drinks are lower than for both waters; ^b—the average value for isotonic water is higher than for high-mineralized water.

4. Discussion

This is the first time that such extensive research describing post-training changes in water–electrolyte and acid–base balance in female field hockey players has been presented. Few publications have so far described the effects of fluids with heterogeneous mineral composition and different osmolarity on biochemical blood and urine parameters, adopted by the athletes, especially in women. Therefore, the authors decided to investigate this topic, including in the scope of their research a much wider range of indicators characterizing the water–electrolyte and acid–base balance than in other studies.

The values of the examined indicators, determined before and after the training unit, were in line with the ranges given in previous publications on the impact of exercise on the body. They describe post-exercise reductions in a number of indicators, including body mass [20,21], hematocrit value [22], osmolality [23], the concentration of sodium [21], potassium [24], calcium ions [24,25], magnesium [26], bicarbonate ions [24,27,28], standard base excess [8,28] and blood pH [27–29]. An increase in the value after exercise, in our own studies, was observed for urine-specific gravity [30], and the concentrations of aldosterone [31,32] and lactate [24,27–29]. However, there are no publications with results that can be related to the data on post-exercise blood chloride concentration and urine pH value in the presented study. It can therefore be assumed that the post-training changes found in the studied female field hockey players do not differ from the data found in other sports disciplines, such as beach volleyball [20], rugby [21,23,27], football [22,24], soccer [29], and basketball [25,30], as well as in swimming exercise [26] and in healthy untrained people after exercise on a treadmill [8] or an ergocyclometer [31,32]. Moreover, changes in the tested biochemical indices in the blood and urine are the result of physical exertion and the accompanying dehydration of the body.

The main question of the research, however, concerned the effect of the osmolarity of the fluids consumed by the athletes during exercise. The proposed arrangement of tests and assays performed for blood and urine biochemical indices made it possible to determine the hydration level of the players before the start of training, which was statistically the same at all times. Additionally, the monitoring of air temperature and humidity ensured that the ambient conditions did not affect the results of the experiment. The average values of air temperature in individual periods were, respectively, 20.9 ± 0.1 vs. 21.0 ± 0.1 vs. 20.8 ± 0.1 , and air humidity was 52.5 ± 0.6 vs. 51.0 ± 0.8 vs. 52.0 ± 0.8 . Moreover, the players, despite independently making decisions about the amount of fluids consumed during training, adopted a similar volume of experimental drinks on all test dates (Table 1). The above is also visible in the similar mass of urine output after training (Table 1). Such a lack of differences in the amount of urine output, up to 1 h after training, despite the use of fluids with different osmolarity levels, was recently demonstrated by Pence and Bloomer [33]. Their observations also show that drinking water increases urine output 2 to 4 h after drinking it, compared to drinks with a higher content of electrolytes.

The only statistically significant differences between liquids of different osmolarity levels were observed between biochemical markers after drinking water (regardless of the content of minerals in it) and isotonic drinks. These differences are expressed using indicators describing the water–electrolyte balance, such as plasma osmolality, the concentration of sodium and potassium ions, and aldosterone. No statistical differences were observed in the indicators characterizing the acid–base balance. The consumption of an isotonic drink that is rich in sodium caused the smallest increase in the concentration of aldosterone, which is responsible for the reabsorption of this element in the renal tubules, increasing the excretion of potassium ions in the urine [34,35]. As a consequence, the greatest post-exercise reduction in sodium ions and the lowest potassium ions were observed, which also translated into the highest reduction in blood osmolality. Moreover, the concentration of potassium ions measured post-exercise decreased the most in the plasma of players in the case of high-mineralized water, where the highest increase in aldosterone concentration was also noted (Table 4). The small number of publications on this issue and the heterogeneity of the data included therein do not favor a detailed analysis of the

issue, especially in the absence of relevant data characterizing players in team games. The ambiguity of the results (Table 5) indicates the need for a more complete study of this issue. All authors analyzing plasma osmolality [36–38] and sodium and potassium ions [36,37] blood concentration after consuming fluids with different contents of minerals did not show a statistically significant difference between these fluids. This is in contrast to our research, wherein an isotonic drink was shown to decrease plasma osmolality and blood sodium ions concentration simultaneously, increasing the blood concentration of potassium more effectively than the analyzed waters. Among the publications presented in Table 5, only Powers et al. [36] examined the effect of the used fluids on the blood hydrogen ions' concentration. Although in our research we did not analyze the concentration of these ions, we did determine the pH values, which are coherent. Powers et al. [36] showed that the consumption of beverages containing electrolytes (EP, GP) more effectively stabilizes the concentration of hydrogen ions in the blood than liquids without electrolytes (NEP), especially during exercise. In our study, we did not observe any differences in the acid–base balance indicators determined in blood and urine, regardless of the used fluids. Due to the fact that we have the opportunity to compare our results only with one study [36], we are not able to clearly explain the reasons for the differences. This requires research involving a larger number of participants, as well as efforts (training loads) of varying intensity.

Table 5. Summary of publications on the impacts of drinks with different (indicated by the authors of the studies) osmolality levels on the biochemical and hematological indicators of people subjected to exercise tests.

Authors (Sport Discipline) (Kind of Effort) Sex	The Types of Beverages	Tested Biochemical Indicators	
		No Significant Differences	Significant Differences
Powers et al. [36] (cyclists; <i>n</i> = 9) (exercises with a constant load on a bicycle ergometer until fatigue) Men	Non-electrolyte placebo (NEP) (31 mOsm/kg) Electrolyte placebo drink without carbohydrate (EP) (48 mOsm/kg) Glucose polymer drink containing electrolytes (GP) (231 mOsm/kg)	Heart rate, plasma osmolality, concentration of lactate, potassium, calcium, sodium, and chloride in blood	The concentration of hydrogen ions in the blood was significantly lower after 30 min of exercise while using GP and EP compared to NEP
Gisolfi et al. [37] (wytrenowani; <i>n</i> = 7) (85 min 60%–65% VO ₂ max cycle ergometer) 5 Men, 2 Women	Water (1 ± 0.3 mOsm/kg) Hypertonic (197 ± 2 mOsm/kg) Isotonic (295 ± 6 mOsm/kg) Hypotonic (414 ± 2 mOsm/kg)	Osmolarity, sodium and potassium ions in plasma	There are no statistically significant differences
Suzuki et al. [38] (cyclists; <i>n</i> = 6) (cycling at 60% VO ₂ peak for 90 min in the hot conditions) Men	Plain water (no data) Hypotonic sports drink (193 mOsm/kg) Isotonic sports drink (317 mOsm/kg)	Plasma osmolality, lactate concentration	There are no statistically significant differences
Łagowska et al. [39] (rowers; <i>n</i> = 11) (80 min of exercises on a rowing ergometer) Men	Commercially available sports drink (258 mOsm/kg) Natural carbohydrate electrolyte drink (402 mOsm/kg)	Lactate concentration, hematocrit	There are no statistically significant differences
Our work (field hockey; <i>n</i> = 14) (90-min training unit) Women	Low-mineralized water (~20 mOsm/kg) High-mineralized water (~88 mOsm/kg) Isotonic drink (~279 mOsm/kg)	HR, hematocrit, concentration of lactate, calcium, chloride and bicarbonate ions, magnesium, standard base excess, blood and urine pH, and urine-specific gravity	Consumption of an isotonic drink caused the smallest increase in the concentration of aldosterone and potassium ions, and the greatest post-exercise reduction in sodium ions and blood osmolality

VO₂max: maximal oxygen uptake; VO₂peak: peak oxygen uptake.

However, our own research shows that the amount of fluids, but not the quality, is of greater importance for maintaining the correct water–electrolyte and acid–base balance.

Our study has some limitations, which include the lack of the consideration of ions in the urine and sweat. Analyses of the 24 h diet diaries before the performed tests were also not undertaken.

The essential point of this manuscript is that the research topic is related to the determination of the effect of fluids with different minerals contents on the water–electrolyte and acid–base balances. The available literature on this topic does not have homogeneous results and specific recommendations for hydration strategies in various sports disciplines, including field hockey. It was also the first time that such a wide range of blood and urine biochemical parameters was used. The benefit of this study is that the measurements were carried out in real training conditions, and not directly in isolated laboratory tests.

In the future, in order to more accurately assess the aim set in the study, we plan to repeat the research, increasing the number of female players, including testing players from other team games.

5. Conclusions

Based on a review of the available literature, we found that field hockey does not differ from other sports in terms of the biochemical blood and urine indicators characterizing the post-training changes of players.

The osmolarity of consumed fluids does not significantly affect the indicators of the water–electrolyte balance and acid–base balance during exercise. Such an effect is only noticeable after consuming an isotonic drink, manifesting itself in greater changes in the concentration of aldosterone, sodium and potassium ions and plasma osmolality than in the case of hypotonic drinks. Furthermore, the degree of mineralization of the water consumed by female field hockey players did not affect the indicators of water–electrolyte and acid–base balance in the blood and urine.

Isotonic drinks, unlike hypotonic drinks, most likely stabilize the RAA system during training, which ensures the best hydration as defined by plasma osmolality.

The wide spectrum of commercially available sports drinks and waters used by athletes raises the question of selecting those liquids that stabilize the water–electrolyte and acid–base balances. Moreover, they should positively affect the exercise capacity of athletes. The information contained in this publication discusses this issue in terms of the different osmolarity levels of beverages, making the applied knowledge useful for both players and coaches.

Author Contributions: Conceptualization, J.K. and T.P.; methodology, J.K., T.P. and K.R.; validation, J.K. and T.P.; formal analysis, J.K.; investigation, J.K. and T.P.; resources, T.P.; data curation, J.K.; writing—original draft, J.K.; writing—review and editing, J.K., T.P., K.R. and M.P.; visualization, J.K. and T.P.; supervision, J.K., T.P. and M.P.; project administration, T.P.; funding acquisition, T.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Development of Academic Sport, grant number N RSA3 03553.

Institutional Review Board Statement: The research related to human use has complied with all relevant national regulations and institutional policies, has followed the tenets of the Declaration of Helsinki, and has been approved by the Bioethical Committee of the Poznan University of Medical Sciences (Approval No.: 140/15).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to ethical restrictions.

Acknowledgments: The authors would like to thank Urszula Bartkowiak from Department of Physiology and Biochemistry, Poznań University of Physical Education, for her assistance with collecting material for research.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Barboza, S.D.; Joseph, C.; Nauta, J.; van Mechelen, W.; Verhagen, E. Injuries in Field Hockey Players: A Systematic Review. *Sports Med.* **2018**, *48*, 849–866. [\[CrossRef\]](#)
- MacLeod, H.; Sunderland, C. Fluid balance and hydration habits of elite female field hockey players during consecutive international matches. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1245–1251. [\[CrossRef\]](#)
- Gabbett, T.J. GPS analysis of elite women's field hockey training and competition. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 1321–1324. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Macutkiewicz, D.; Sunderland, C. The use of GPS to evaluate activity profiles of elite women hockey players during match-play. *J. Sports Sci.* **2011**, *29*, 967–973. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- González-Alonso, J.; Mora-Rodríguez, R.; Below, P.R.; Coyle, E.F. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J. Appl. Physiol.* **1997**, *82*, 1229–1236. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Leiper, J.B.; Broad, N.P.; Maughan, R.J. Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2001**, *33*, 1270–1278. [\[CrossRef\]](#)
- Shirreffs, S.M.; Maughan, R.J. Whole body sweat collection in humans: An improved method with preliminary data on electrolyte content. *J. Appl. Physiol.* **1997**, *82*, 336–341. [\[CrossRef\]](#)
- Wiecek, M.; Maciejczyk, M.; Szymura, J.; Szygula, Z. Changes in oxidative stress and acid-base balance in men and women following maximal-intensity physical exercise. *Physiol. Res.* **2015**, *64*, 93–102. [\[CrossRef\]](#)
- Hanon, C.; Bernard, O.; Rabate, M.; Claire, T. Effect of two different long-sprint training regimens on sprint performance and associated metabolic responses. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 1551–1557. [\[CrossRef\]](#)
- Cunniffe, B.; Fallan, C.; Yau, A.; Evans, G.H.; Cardinale, M. Assessment of physical demands and fluid balance in elite female handball players during a 6-day competitive tournament. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2015**, *25*, 78–88. [\[CrossRef\]](#)
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for water. *EFSA J.* **2010**, *8*, 1459.
- Maughan, R.J.; Leiper, J.B. Limitations to fluid replacement during exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* **1999**, *24*, 173–187. [\[CrossRef\]](#)
- Nose, H.; Mack, G.W.; Shi, X.R.; Nadel, E.R. Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J. Appl. Physiol.* **1988**, *65*, 325–331. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Shirreffs, S.M.; Aragon-Vargas, L.F.; Keil, M.; Love, T.D.; Phillips, S. Rehydration after exercise in the heat: A comparison of 4 commonly used drinks. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2007**, *17*, 244–258. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Yamauchi, T.; Harada, T.; Kurono, M.; Matsui, N. Effect of exercise-induced acidosis on aldosterone secretion in men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1998**, *77*, 409–412. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Passe, D.H. Physiological and psychological determinants of fluid intake. In *Sports Drinks: Basic Science and Practical Aspects*; Maughan, R.J., Murray, R., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2001; pp. 45–87.
- Ersoy, N.; Ersoy, G. Sports drinks for hydration and alternative drinks review. *Turk. Klin. J. Sports Sci.* **2013**, *5*, 96–100.
- Sadowska, A.; Świdorski, F.; Rakowska, R.; Waszkiewicz-Robak, B.; Żebrowska-Krasuska, M.; Dybkowska, E. Beverage osmolality as a marker for maintaining appropriate body hydration. *Rocz. Panstw. Zakł. Hig.* **2017**, *68*, 167–173.
- Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, USA, 1988.
- Zetou, E.; Giatsis, G.; Mountaki, F.; Komninakidou, A. Body weight changes and voluntary fluid intakes of beach volleyball players during an official tournament. *J. Sci. Med. Sport* **2008**, *11*, 139–145. [\[CrossRef\]](#)
- Jones, B.; Till, K.; King, R.; Gray, M.; O'Hara, J. Are Habitual Hydration Strategies of Female Rugby League Players Sufficient to Maintain Fluid Balance and Blood Sodium Concentration During Training and Match-Play? A Research Note from the Field. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 875–880. [\[CrossRef\]](#)
- O'Connell, S.M.; Woodman, R.J.; Brown, I.L.; Vincent, D.J.; Binder, H.J.; Ramakrishna, B.S.; Young, G.P. Comparison of a sports-hydration drink containing high amylose starch with usual hydration practice in Australian rules footballers during intense summer training. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* **2018**, *15*, 1–10. [\[CrossRef\]](#)
- Bargh, M.J.; King, R.F.; Gray, M.P.; Jones, B. Why do team-sport athletes drink fluid in excess when exercising in cool conditions? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2017**, *42*, 271–277. [\[CrossRef\]](#)
- Karakoc, Y.; Duzova, H.; Polat, A.; Emre, M.H.; Arabaci, I. Effects of training period on haemorheological variables in regularly trained footballers. *Br. J. Sports Med.* **2005**, *39*, e4. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, L.; Zhang, J.; Wang, J.; He, W.; Huang, H. Effects of high-intensity training and resumed training on macroelement and microelement of elite basketball athletes. *Biol. Trace Elem. Res.* **2012**, *149*, 148–154. [\[CrossRef\]](#)
- Laires, M.J.; Alves, F. Changes in plasma, erythrocyte, and urinary magnesium with prolonged swimming exercise. *Magnes. Res.* **1991**, *4*, 119–122. [\[PubMed\]](#)
- Couderc, A.; Thomas, C.; Lacombe, M.; Piscione, J.; Robineau, J.; Delfour-Peyrethon, R.; Borne, R.; Hanon, C. Movement Patterns and Metabolic Responses During an International Rugby Sevens Tournament. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, 901–907. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Macutkiewicz, D.; Sunderland, C. Sodium bicarbonate supplementation does not improve elite women's team sport running or field hockey skill performance. *Physiol. Rep.* **2018**, *6*, e13818. [\[CrossRef\]](#)
- Wiacek, M.; Andrzejewski, M.; Chmura, J.; Zubrzycki, I.Z. The changes of the specific physiological parameters in response to 12-week individualized training of young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 1514–1521. [\[CrossRef\]](#)

30. Osterberg, K.L.; Horswill, C.A.; Baker, L.B. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *J. Athl. Train.* **2009**, *44*, 53–57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
31. Wolf, J.P.; Nguyen, N.U.; Dumoulin, G.; Berthelay, S. Plasma renin and aldosterone changes during twenty minutes' moderate exercise. Influence of posture. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1986**, *54*, 602–607. [[CrossRef](#)]
32. Mannix, E.T.; Palange, P.; Aronoff, G.R.; Manfredi, F.; Farber, M.O. Atrial natriuretic peptide and the renin-aldosterone axis during exercise in man. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1990**, *22*, 785–789. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Pence, J.; Bloomer, R.J. Impact of Nuun Electrolyte Tablets on Fluid Balance in Active Men and Women. *Nutrients* **2020**, *12*, 3030. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Boone, C.H.; Hoffman, J.R.; Gonzalez, A.M.; Jajtner, A.R.; Townsend, J.R.; Baker, K.M.; Fukuda, D.H.; Stout, J.R. Changes in Plasma Aldosterone and Electrolytes Following High-Volume and High-Intensity Resistance Exercise Protocols in Trained Men. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 1917–1923. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Morgan, R.M.; Patterson, M.J.; Nimmo, M.A. Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiol. Scand.* **2004**, *182*, 37–43. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Powers, S.K.; Lawler, J.; Dodd, S.; Tulley, R.; Landry, G.; Wheeler, K. Fluid replacement drinks during high intensity exercise: Effects on minimizing exercise-induced disturbances in homeostasis. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1990**, *60*, 54–60. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Gisolfi, C.V.; Summers, R.W.; Lambert, G.P.; Xia, T. Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise. *J. Appl. Physiol.* **1998**, *85*, 1941–1948. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Suzuki, K.; Hashimoto, H.; Oh, T.; Ishijima, T.; Mitsuda, H.; Peake, J.M.; Sakamoto, S.; Muraoka, I.; Higuchi, M. The effects of sports drink osmolality on fluid intake and immunoendocrine responses to cycling in hot conditions. *J. Nutr. Sci. Vitam.* **2013**, *59*, 206–212. [[CrossRef](#)]
39. Łagowska, K.; Podgórski, T.; Celińska, E.; Kryściak, J. A comparison of the effectiveness of commercial and natural carbohydrate-electrolyte drinks. *Sci. Sports* **2017**, *32*, 160–164. [[CrossRef](#)]