KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 69 2020
Numer 4 (329)
Strony 717–737

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

KRZYSZTOF KUSY, JACEK ZIELIŃSKI

Laboratorium Analizy Ruchu Człowieka LaBthletics
Zakład Lekkiej Atletyki i Przygotowania Motorycznego
Akademia Wychowania Fizycznego
Królowej Jadwigi 27/39, 61-871 Poznań
E-mail: kusy@awf.poznan.pl
jacekzielinski@wp.pl

MIĘDZY BOISKIEM A LABORATORIUM. DIAGNOZA STANU WYTRENOWANIA WSPÓŁCZESNEGO SPORTOWCA WYCZYNOWEGO

WSTĘP

Diagnostyka sportowa to bardzo szerokie pojęcie i niełatwe zadanie do realizacji w praktyce. Obejmuje m.in. niezbędną medyczną kontrolę dającą informację, że zawodnik nie jest dotknięty chorobą i nie będzie narażony na nadmierne ryzyko zdrowotne w toku intensywnego treningu. Jednak diagnostyka w sporcie to przede wszystkim specyficzne narzędzie kierowania procesem treningowym. To rozpoznawanie reakcji organizmu na poszczególne ćwiczenia (kontrola bieżąca efektu bezpośredniego), sesje treningowe lub krótsze cykle (kontrola operacyjna efektu przedłużonego) i wreszcie ocena długofalowych zmian stanu wytrenowania (kontrola okresowa efektu skumulowanego). Dlatego, nie zapominając o kwestiach zdrowotnych, chcemy zapoznać czytelnika z przykładami współczesnych metod, które są przydatne w kontroli stanu wytrenowania, planowaniu procesu treningowego i sprawdzaniu jego skutków.

W naszej pracy badawczej i w tym tekście opieramy się na ponad 20-letniej współpracy ze znakomitymi polskimi i zagranicznymi trenerami i zawodnikami, głównie indywidualnych dyscyplin sportu, która zaowocowała kilkudziesięcioma publikacjami w czasopismach naukowych indeksowanych w bazie *Web of Science* i, co najważniejsze, realnie wspomagała praktyczne działania szkoleniowców i ich podopiecznych. Powstał też pod naszą redakcją pierwszy w Polsce podręcznik diagnostyki sportowej, współtworzony przez 25 specjalistów nauk o sporcie i medycyny (KUSY i ZIELIŃSKI 2017). Chcielibyśmy zwrócić szczególną uwagę na kilka, ważnych naszym zdaniem, obszarów działań diagnostycznych w sporcie wyczynowym: (1) prewencję medyczną, (2) profil zawodnika i standardowe pomiary referencyjne w laboratorium, (3) pomiary podczas treningu i zawodów sportowych, (4) cykliczność działań diagnostycznych, (5) badania sportowców masters i (6) perspektywy diagnostyki sportowej. Poniższy artykuł nie jest wyczerpujący ani nadmiernie szczegółowy, ma za zadanie jedynie dać wgląd w bogatą tematykę diagnostyki sportowej.

NIE WYSTARCZY CHĘĆ SZCZERA

Aby stać się sportowcem wyczynowym z szansami na sukcesy, trzeba spełnić warunek podstawowy. Każdy zawodnik, bez względu na poziom sportowy i wiek, powinien poddawać się regularnie (standardowo co 6 miesięcy) ocenie lekarskiej obejmującej co najmniej wywiad i badanie fizykalne, pomiary antropometryczne (wysokość i masa ciała, obwody i proporcje segmentów ciała), badanie ortopedyczne, kardiologiczne i stomatologiczne oraz analizę krwi. W zależności od rodzaju sportu i okoliczności (np. stan po kontuzji lub chorobie) zleca się dodatkowe konsultacje specjalistyczne. Są to typowe zadania medycyny sportu w ramach jej funkcji profilaktycznej. Najważniejsze, by uniknąć niepożądanych czynników, które mogą ujawnić się lub nasilić pod wpływem

Słowa kluczowe: metabolizm wysiłkowy, metody pomiarowe, skład ciała, spoczynkowa przemiana materii, wydolność tlenowa i beztlenowa, zdolności motoryczne

obciążeń treningowych lub rywalizacji, stwarzając zagrożenie dla zdrowia i życia.

Po przejściu przez medyczne „sito" zawodnik otrzymuje prawo do uczestnictwa w sporcie wyczynowym, zwane żargonowo „zdolnością". Jednak to mało, ponieważ okresowe badania lekarskie jedynie potwierdzają brak przeciwwskazań, ale nie mówią jeszcze wiele o predyspozycjach do uprawiania sportu czy „talencie", nie dają też szczegółowej i specyficznej dla każdej dyscypliny informacji o efektach treningu. I tu, po upewnieniu się, że zdrowotnie wszystko jest w porządku, wkracza diagnostyka sportowa, nastawiona na poprawę rezultatów rywalizacji.

POZNAĆ ZAWODNIKA

TRYB ŻYCIA

Część danych o zawodniku należy zebrać w zaciszu laboratoryjnym, w warunkach kontrolowanych, niezakłóconych innymi czynnikami. Jeśli sportowiec trafia do profesjonalnego szkolenia pierwszy raz, warto zebrać informacje o okolicznościach towarzyszących jego zaangażowaniu w trening, na którego efekty mają wpływ kwestie pozornie odległe. Oprócz dość oczywistych danych (wiek, płeć, miejsce zamieszkania, poziom edukacji, przebieg kariery sportowej, sukcesy itp.), przydatne będą informacje poszerzające wiedzę o zawodniku – dla poprawy jakości procesu treningowego i zminimalizowania ryzyka kontuzji, zachorowania, przeciążenia lub przetrenowania. Są to m.in. miejsce i warunki zamieszkania, nauka i wykształcenie, styl życia, aktywność fizyczna i praca zarobkowa poza treningiem, samoocena stanu zdrowia i samopoczucia, nawyki żywieniowe, suplementacja witaminami, mikroelementami, preparatami białkowymi, ilość i jakość snu oraz ewentualne używki (lepiej zapytać).

PREDYSPOZYCJE PSYCHICZNE

Kolejnym krokiem powinna być diagnoza wykonana przez dyplomowanego psychologa. Sportowcom stawiane są coraz wyższe wymagania dotyczące efektywności działania. Zasady treningu fizycznego są względnie dobrze poznane, a potencjał sprawnościowy najlepszych zawodników porównywalny, więc o zwycięstwie lub porażce decyduje często przygotowanie mentalne. Gdy walka toczy się o najwyższą stawkę, właśnie psychika okazuje się czynnikiem, który może przechylić szalę zwycięstwa (BLECHARZ 2002). W treningu i rywalizacji sportowej zachowanie determinowane jest podstawowymi, względnie stałymi cechami osobowości i temperamentu, dlatego trener powinien mieć wiedzę dotyczącą profilu psychologicznego zawodnika. Umożliwia ona dostosowanie sposobu komunikacji między nimi oraz użycie adekwatnych środków przygotowania mentalnego i fizycznego do walki sportowej. Z doniesień naukowych wiadomo, że wysokiej klasy sportowcy różnią się profilem osobowości od ogólnej populacji, a określone dyscypliny przyciągają odmienne typy psychologiczne (KRÓL-ZIELIŃSKA i współaut. 2015), nie każdy ma więc cechy „wojownika" pozwalające unieść w pełni ciężar treningu i rywalizacji sportowej.

SKŁAD CIAŁA I PODSTAWOWA PRZEMIANA MATERII

Skład ciała

Zawartość wody, tłuszczu czy mięśni to niezwykle ważne „parametry techniczne" sportowca, w ogromnym stopniu wpływające na trening i uzyskiwane rezultaty. Nie każda ilość i proporcja komponentów jest optymalna dla danej dyscypliny sportu, a zwiększenie lub zmniejszenie masy określonych składników skutkuje poprawą lub pogorszeniem zdolności wysiłkowej.

Typowy zakres zawartości wody w organizmie zdrowego dorosłego człowieka to 43-60% masy ciała u kobiet i 51-66% u mężczyzn, zależnie od wieku i pochodzenia etnicznego (CHUMLEA i współaut. 2001). U wyczynowych wioślarzy stwierdzono największą wydolność fizyczną tlenową i beztlenową przy zawartości wody 63-65%, a więc w górnych granicach normy (DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2019b). Niedobór wody jest niewskazany; u przeciętnego człowieka już kilkuprocentowa utrata oznacza pogorszenie wydolności, a skrajna (15-20%) może oznaczać zgon (ARMSTRONG i współaut. 1985, ASHCROFT 2000). Z drugiej strony, wysokowytrenowani sportowcy wytrzymałościowi, np. maratończycy, znakomicie dają sobie radę tracąc 3-4% wody podczas biegu, co sugeruje możliwość adaptacji do takiego stanu, a wręcz negatywne następstwa przewodnienia (NOAKES 2012).

Sportowcy wyczynowi to generalnie osoby najszczuplejsze w populacji ludzkiej, o małej zawartości tkanki tłuszczowej. Co ważne, ideałem nie jest wcale „zero tłuszczu". Dla normalnego funkcjonowania niezbędny jest tzw. tłuszcz podstawowy w ilości 10-13% masy ciała u kobiet i 2-5% u mężczyzn. Norma otłuszczenia dla sportowców wyczynowych to, odpowiednio, 14-20% i 6-13% (BRYANT i GREEN 2003), choć pewne dyscypliny ewidentnie wyłamują się z tej reguły, np. japońskie sumo ze średnimi wartościami ~25-26% u mężczyzn, a więc na dolnej

granicy otyłości (KANEHISA i współaut. 1997, HATTORI i współaut. 1999, YAMAUCHI i współaut. 2004). Zazwyczaj traktuje się tkankę tłuszczową jedynie jako magazyn energii czy termoizolację, co jest błędem. Współreguluje ona w organizmie zaskakująco wiele procesów, np. utrzymanie ciśnienia tętniczego, metabolizm glukozy i lipidów, odpowiedź immunologiczną, procesy zakrzepowe, angiogenezę, uczucie łaknienia czy wydzielanie substancji biologicznie czynnych (SIEMIŃSKA 2007). Oczywiście nadmiar szkodzi, stąd wartości powyżej 32% masy ciała (panie) i powyżej 25% (panowie) otwierają kategorię otyłości (BRYANT i GREEN 2003). Sportowcy muszą dbać o optymalny poziom tkanki tłuszczowej. Z jednej strony potrzebują jej jako magazynu energii (szczególnie sporty wytrzymałościowe) lub jako masy stabilizującej (np. rzut młotem, sumo), a z drugiej, jest to pewien mechaniczny „balast", który trzeba ze sobą dźwigać i często warto go zredukować. Pozbycie się pewnej ilości masy tłuszczowej może powodować poprawę zdolności wysiłkowych (ABE i współaut. 2011, DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2019b). A więc kilogram utraconego tłuszczu na wagę medalu...

Esencją składu ciała sportowca jest oczywiście tkanka mięśniowa, bez której nie można wykonywać dynamicznych ruchów, generować siły oporu w statycznych ćwiczeniach i utrzymywać równowagi. Mamy tu na myśli głównie mięśnie szkieletowe, poza równie ważnym mięśniem sercowym i mięśniami gładkimi. Dostępne badania są dość zgodne co do procentowej zawartości masy mięśniowej u sportowców – wynosi ona co najmniej 40%, a przekracza 50% masy ciała w sportach siłowych (PROCTOR i JOYNER 1997, BAEZ i współaut. 2014, MARTÍN-MATILLAS i współaut. 2014, MILANESE i współaut. 2015, DELANEY i współaut. 2016, GONZÁLEZ-MENDOZA i współaut. 2019, TRINSCHEK i współaut. 2020). Ponieważ nie jest łatwo ustalić masę mięśniową, w praktyce szacuje się masę beztłuszczową, czyli różnicę między masą całkowitą a masą tłuszczu. Masa beztłuszczowa może sięgać nawet 80-90% masy ciała sportowca (SANTOS i współaut. 2014, ROELOFS i współaut. 2015, TRINSCHEK i współaut. 2020). Zwiększenie masy mięśniowej wiąże się zazwyczaj z poprawą wydolności, siły i wyniku sportowego (VENKATA i współaut. 2004b, TERZIS i współaut. 2012, DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2019b), ale w wielu dyscyplinach przesada w tym zakresie nie jest wskazana, ponieważ swoboda, zakres, technika i szybkość ruchów mogą zostać ograniczone przez „rozrastające się" ponad miarę muskuły.

Jak w praktyce ustalić ilość i proporcje podstawowych komponentów ciała? Zabrzmi to makabrycznie, ale jedyną metodą pozwalającą na uzyskanie precyzyjnej i pewnej informacji o składzie ciała człowieka jest... analiza zwłok ludzkich, polegająca na żmudnym separowaniu, ważeniu i mierzeniu poszczególnych segmentów ciała, tkanek i narządów. Pierwsze poważne działania naukowe na tym polu zaczęły się ok. połowy XIX w., a posługiwano się ciałami skazańców lub ofiar nieszczęśliwych wypadków (MARTIN 1984). Takie badania są zresztą kontynuowane w obecnym stuleciu w celu sprawdzenia poprawności innych metod (CLARYS i współaut. 2005), tym razem dzięki osobom, które za życia wyraziły zgodę na wykorzystanie po śmierci swoich ciał do celów naukowych. Takie analizy przynoszą wprawdzie unikatowe dane, ale nie mogą oczywiście mieć zastosowania w rutynowej diagnostyce medycznej i sportowej. Dlatego tworzono pośrednie, nieinwazyjne metody, bazujące na różnych założeniach, stosownie do bieżących możliwości technologicznych.

Pierwszą nowoczesną metodą *in vivo* była densytometria, tzn. określanie gęstości ciała ludzkiego dzięki technice ważenia pod wodą przy wykorzystaniu prawa Archimedesa, dzięki czemu udało się wyliczyć dwa podstawowe komponenty: masę tłuszczu i masę beztłuszczową (BROZEK i współaut. 1963, BEHNKE i współaut. 1995). Densytometria w swojej klasycznej postaci, choć wciąż używana, jest jednak metodą kłopotliwą i dość czasochłonną, a całkowite zanurzenie się w wodzie nie dla każdego jest komfortowe. Kolejna grupa metod opiera się na wynikach pomiarów antropometrycznych, przede wszystkim grubości fałdów skórno-tłuszczowych, obwodów i wysokości ciała, podstawianych do równań szacujących zawartość tkanki tłuszczowej. Wymaga to jednak dużej wprawy i doświadczenia w obsłudze pozornie prostych przyrządów, jakimi są kaliper (fałdomierz), taśma miernicza czy antropometr, oraz zastosowania odpowiednich formuł obliczeniowych i uproszczonych założeń, stąd trafność, rzetelność i użyteczność wyliczeń może być wątpliwa (GALLAGER i współaut. 1999).

W ramach zaawansowanych współczesnych technologii stosuje się różnorodne ciekawe techniki. Produkowane są np. urządzenia w postaci niewielkiej szczelnej kapsuły mieszczącej siedzącego człowieka, gdzie woda zastąpiona jest powietrzem wypieranym przez ciało (tzw. metoda pletyzmograficzna, czyli badanie objętości i przepływu) (patrz KUSY i ZIELIŃSKI 2017). W miejscowych pomiarach grubości tkanek stosuje się ultradźwięki. Przy ocenie masy mięśnio-

wej wykorzystywane są też metody biochemiczne: pomiar stężenia 3-metylohistydyny (3-MH) lub kreatyniny (Cr) w moczu jako wskaźników rozpadu białek mięśniowych. Można również ustalić stosunek całkowitego potasu (K) do azotu (N) w organizmie za pomocą niezwykle czułych detektorów radioaktywności ciała ludzkiego (wszyscy mamy w sobie odrobinę izotopów radioaktywnych i emitujemy promieniowanie). Są to jednak techniki zbyt wyrafinowane i kosztowne dla codziennych zastosowań w sporcie. Ponadto, poziom 3-MH jest także zależny od spożycia niektórych produktów białkowych, Cr może pochodzić spoza mięśni, zaś założenie o stałości proporcji K:N jest niepewne (GALLAGER i współaut. 1999, HEYMSFIELD i współaut. 2005). Podobnie uciążliwe i mało dostępne, choć dokładne, jest zastosowanie tzw. technik rozcieńczania, np. deuteru, bromku sodu, wody trytowanej lub podwójnie znakowanej wody, w celu określenia zawartości wody całkowitej lub pozakomórkowej. Po wypiciu roztworów stosownych izotopów i cierpliwym odczekaniu co najmniej kilku godzin oznacza się ich stężenie we krwi i dokonuje wyliczeń (VAN MARKEN LICHTENBELT i współaut. 1994, DEURENBERG-YAP i DEURENBERG 2002). Od lat 70. XX w. dostępna jest w medycznej praktyce tomografia komputerowa, a od lat 80. rezonans magnetyczny; obie metody można obecnie uznać za referencyjne (wzorcowe) względem innych, szczególnie w zakresie ustalania masy mięśniowej (GALLAGER i współaut. 1999). Główna niedogodność to ogromne koszty tych urządzeń wraz z odpowiednio izolowanymi budynkami i pomieszczeniami, bardzo wysoka dawka promieniowania rentgenowskiego w przypadku tomografii i częste klaustrofobiczne odczucia podczas badania rezonansem. Dlatego metody te stosowane są przede wszystkim w wyspecjalizowanych jednostkach medycznych do diagnozy poważnych chorób lub wad anatomicznych.

Cóż więc pozostaje sportowcom po tym krótkim, ale krytycznym przeglądzie? Szereg laboratoriów na świecie, w tym również nasze Laboratorium Analizy Ruchu Człowieka, stosuje w praktycznej diagnostyce sportowców dwie metody równolegle. Pierwsza to najpowszechniej obecnie stosowana w sporcie, dietetyce i klubach fitness analiza bioimpedancji elektrycznej. W przypadku najnowszych urządzeń tego typu należy stanąć bosymi stopami na elektrodach, chwycić rękoma kolejne elektrody i poczekać aż przez ciało przepłynie prąd zmienny o różnych częstotliwościach. Jego natężenie jest bardzo niskie, więc zupełnie niegroźne i nieodczuwalne. Urządzenie mierzy *de facto* opór elektryczny (impedancję, jej składowe czynną i bierną) ciała ludzkiego. Składniki bogate w płyny stawiają niewielki opór, a np. lipidy i minerały kostne duży. Sam odczyt parametrów elektrycznych niewiele mówi. Dopiero oprogramowanie zawarte w urządzeniu, zawierające odpowiednie algorytmy obliczeniowe, szacuje zawartość komponentów ciała. Wcześniej trzeba wprowadzić podstawowe dane: masę i wysokość, wiek, płeć i in. Źródła błędu pomiarowego tkwią przede wszystkim w złej standaryzacji pomiarów, gdy nie uwzględniamy czynników wpływających na uwodnienie sportowca (np. spożywanie napojów lub wysiłek fizyczny na krótko przed pomiarem, menstruacja u kobiet). Zaletą jest możliwość transportu i stosowania w niemal dowolnym miejscu.

W praktyce sportowej bioimpedancję powinno się stosować do określenia wyłącznie zawartości wody (całkowitej oraz wewnątrz- i zewnątrzkomórkowej), ponieważ pozostałe składniki trafniej i rzetelniej ocenia inna metoda, a mianowicie absorpcjometria promieniowania rentgenowskiego o dwóch energiach (ang. dual X-ray absorptiometry, DXA). Podobnie jak w przypadku tomografii, mamy tu do czynienia z twardym promieniowaniem jonizującym, jednak o znikomo małej dawce, równoważnej dawce promieniowania naturalnego wchłoniętej podczas 3-godzinnego przebywania w otwartym terenie, a 30-krotnie mniejszej od dawki przyjmowanej podczas międzykontynentalnego lotu samolotem. Pozwala to na bezpieczne prześwietlanie zawodników kilka razy w roku. Uzyskuje się precyzyjne informacje o masie i procentowej zawartości tłuszczu (w tym tłuszczu trzewnego), masie ciała szczupłego, masie beztłuszczowej, w dodatku z podziałem na segmenty ciała (głowa, tułów, poszczególne kończyny oraz obszar gynoidalny i androidalny). Ponadto, pomiary masy i gęstości mineralnej obszarów szyjki kości udowej, kręgosłupa lędźwiowego i przedramienia służą do oceny ryzyka osteoporozy, do czego aparat ten był w pierwotnym zamyśle przeznaczony. Dzięki opracowanym równaniom regresji można też łatwo wyliczyć masę mięśniową (KIM i współaut. 2002). Metoda DXA jest doskonałym kompromisem między niezwykle drogimi i skomplikowanymi urządzeniami a mniej trafnymi i rzetelnymi metodami. Można ją zaliczyć do metod referencyjnych. Urządzenie nie jest jednak przenośne (ma formę dużego łoża) i nie pozwala na ustalenie zawartości wody.

Należy przestrzec przed stosowaniem u sportowców popularnego wskaźnika wagowo-wzrostowego BMI (ang. body mass index). Jego wartość wylicza się dzieląc masę ciała w kilogramach przez wysokość w metrach, podniesioną do kwadratu. BMI opra-

cował w XIX w. belgijski matematyk i socjolog Adolphe Quetelet, który zauważył, że w skali populacji masa rośnie proporcjonalnie do kwadratu wysokości ciała ludzkiego. W latach 70. XX w. wskaźnik ten został zaproponowany jako łatwe w użyciu narzędzie samooceny stanu otłuszczenia, korelujące z chorobami metabolicznymi i śmiertelnością. Opracowano też uniwersalne normy dla populacji operując skalą od niedowagi, poprzez normę, aż do otyłości (optimum to 18,5-25,0 kg/m^2). Jednak u sportowców wysokie wartości tego wskaźnika prawie nigdy nie świadczą o nieprawidłowościach składu ciała czy żywienia, ponieważ dysponują oni ponadprzeciętnie dużą masą mięśniową, która „śrubuje" wynik kalkulacji, pozorując nadwagę lub otyłość. Dlatego rzeczywisty skład ciała wyczynowych atletów można określić tylko wyżej omawianymi metodami laboratoryjnymi.

Podstawowa przemiana materii

Podstawowa przemiana materii (ang. basal metabolic rate, BMR) to zapotrzebowanie na energię, konieczne do podtrzymania podstawowych funkcji życiowych, wyrażone w kilokaloriach (kcal) lub kilodżulach (kJ). Dla celów praktycznych wprowadzono pojęcie spoczynkowej przemiany materii (ang. resting metabolic rate, RMR), czyli zapotrzebowania energetycznego mierzonego w warunkach spokoju fizycznego i psychicznego, komfortu cieplnego, co najmniej 12 godzin po posiłku i co najmniej po 8 godzinach snu. RMR jest o 10-20% wyższa niż BMR, z powodu efektu termicznego posiłków i poprzedzającej aktywności fizycznej. RMR nie jest stała, a jej wartość zmienia się wraz ze zmianą temperatury otoczenia, masy mięśni i tłuszczu, a także pod wpływem stanu zdrowia, wieku, niektórych leków i innych czynników, nie do końca wyjaśnionych. Znajomość wartości RMR pozwala na określenie dobowego zapotrzebowania kalorycznego zawodnika. Ma to znaczenie zarówno w okresach intensywnego treningu, gdy istnieje ryzyko niedoborów energetycznych, jak i w okresach roztrenowania lub przerw związanych np. z kontuzją, kiedy nadwyżka energetyczna jest niepożądana. Aby „z grubsza" wyliczyć spoczynkową przemianę materii u przeciętnego człowieka wystarczy zastosować jedno z równań szacujących. Ale nie można tego robić u sportowców, ponieważ różnią się oni znacząco składem ciała od nietrenującej osoby. Sportowcy mają wyższą RMR z powodu większej masy mięśniowej, stąd popularne formuły zaniżają wartość RMR o 70-300 kcal na dobę (THOMPSON i MANORE 1996, LOUREIRO i współaut. 2015, JAGIM i współaut. 2018). Poza tym RMR zmienia się w podokresach treningowych (VENKATA i współaut. 2004a), zależnie od dyscypliny sportu (KASHIMURA i współaut. 1987).

Złotym standardem jest bezpośredni pomiar RMR, bazujący na pomiarze ilości ciepła wytwarzanego w organizmie podczas przebywania w specjalnej komorze. W sportowej rzeczywistości wygodniej jest użyć kalorymetrii pośredniej. Opiera się ona na założeniu, że ilość energii wydatkowana w procesach metabolicznych jest proporcjonalna do zużycia tlenu, przy czym 1 litr tlenu odpowiada 21,1 kJ przy spalaniu tylko węglowodanów i 19,6 kJ przy spalaniu jedynie tłuszczów. Pomiędzy tymi dwiema wartościami jest wiele stanów pośrednich, o odpowiednich proporcjach zużycia węglowodanów i tłuszczów. Taki stan pośredni rozpoznaje się wyliczając wskaźnik wymiany gazowej (ang. respiratory exchange ratio, RER), czyli stosunek tempa wydalania dwutlenku węgla do tempa poboru tlenu. Aby wyliczyć spoczynkową przemianę materii, należy więc w określonym przedziale czasowym zmierzyć objętość pobranego przez zawodnika tlenu i wydalonego dwutlenku węgla, wyliczyć RER i pomnożyć objętość pobranego tlenu przez równoważnik energetyczny odpowiadający wartości RER. Zadanie to ułatwia, a właściwie wykonuje na bieżąco i automatycznie, ergospirometr wraz z oprogramowaniem (patrz rozdz. Wytrzymałość). Podczas pomiaru zawodnik leży przez co najmniej 30 min w warunkach spokoju i komfortu cieplnego podłączony do ergospirometru. Za podstawę wyliczeń przyjmuje się 10-minutowy odcinek czasu, w którym wydatek energetyczny osiągnął najmniejszą wartość. Wartość tę przelicza się i określa RMR standardowo w kcal lub kJ na dobę. Wiadomo przy tym, jaki procent RMR wynika z przemian tłuszczów, węglowodanów i białek, co wiąże się ze sposobem żywienia (patrz KUSY i ZIELIŃSKI 2017).

CITIUS, ALTIUS, FORTIUS!

Ta powszechnie znana XIX-wieczna dewiza autorstwa Henri le Didon, podchwycona przez Pierre'a de Coubertina i uczyniona następnie mottem międzynarodowego ruchu olimpijskiego (LIPOŃSKI 2000), zdaje się obowiązywać sportowców jeszcze przed wyjściem na arenę rywalizacji. Akcentuje ona fizyczność zawodnika. Psychika i wola zwycięstwa to oczywiście podstawa działań. Ale aparat ruchu (mięśnie zawiadywane przez układ nerwowy oraz kości, stawy i ścięgna) to wykonawca. Ludzki organizm musi być niezwykle wydajną i mało awaryjną „biomaszyną". Współczesne laboratoria sportowe mogą zapewnić wszechstronną diagnozę potencjału ruchowego. Różnego rodzaju testy spraw-

dzają siłę, szybkość, wytrzymałość i koordynację ruchową zawodników, by odnieść się do klasycznego podziału tzw. zdolności motorycznych (SZOPA i współaut. 1996), a także gibkość, czyli zakres ruchów w stawach. Każda dyscyplina sportu preferuje własny zestaw specyficznych testów sprawnościowych, ale pewne aspekty diagnozy są uniwersalne. Prezentujemy je poniżej.

Siła

Ocena możliwości sportowca w zakresie pokonywania oporu zewnętrznego lub oporu własnego ciała dzięki aktywności mięśni – bo tak definiuje się zdolności siłowe człowieka – to domena dziedziny naukowej zwanej biomechaniką. Klasyczne stanowiska do pomiaru siły w warunkach statyki (napięcie mięśni bez wykonywania ruchu) wyposażone są w dźwignie, mierniki i pasy stabilizujące pozycję ciała, przywodzące na myśl średniowieczne narzędzia tortur. Precyzyjnie mówiąc, określa się moment siły danej grupy mięśniowej wyrażany w niutonometrach (czyli zgodnie z zasadą fizyki: siła razy ramię). Są też specjalistyczne dynamometry mierzące momenty sił w warunkach dynamicznych (czyli w ruchu), podczas aktywności koncentrycznej lub ekscentrycznej mięśni. W pierwszym przypadku mięsień „pokonuje" opór i skraca się, a jego przyczepy zbliżają się do siebie. W drugim, mięsień „zostaje pokonany" przez opór zewnętrzny, choć bardzo stara się mu przeciwdziałać, wydłuża się, a jego przyczepy oddalają się od siebie. Z kolei pomiar izokinetyczny polega na utrzymywaniu stałej prędkości ruchu przy zmianie siły oporu. W pomiarze izotonicznym utrzymywane jest stałe napięcie mięśnia podczas ruchu. Takie pomiary służą przede wszystkim do ustalenia kąta w stawie, który umożliwia rozwinięcie maksymalnej siły, czasu uzyskania i zaniku siły lub wyliczenia stosunku sił mięśni antagonistycznych, tzn. działających na dany staw w przeciwnych kierunkach.

Dla potrzeb sportu klasyfikuje się przejawy siły mięśniowej w warunkach dynamiki, uwzględniając udział komponentu szybkościowego (w postaci przyspieszenia) w wykonywanym ruchu. Rozróżnia się siłę: zrywową (minimalny opór i maksymalne przyspieszenie), szybką (mały opór i małe przyspieszenie) i wolną (maksymalny opór i małe przyspieszenie) (WAŻNY 1977). Dynamiczne przejawy siły analizuje się często na bazie specjalistycznych ćwiczeń technicznych, odwzorowujących elementy rywalizacji. Wówczas stosuje się platformy i czujniki dynamograficzne wbudowane w podłoże, ściany lub elementy urządzeń sportowych, pozwalające na odczyt nie tylko maksymalnej wartości siły reakcji podłoża podczas odbicia lub uderzenia, ale też zmiany siły w funkcji czasu, wyznaczenie jej składowych w trzech płaszczyznach i rozmaitych pochodnych (GRIMSHAW i współaut. 2010). W sportach, w których dominuje bezpośredni kontakt z przeciwnikiem, szczególnie w sportach walki, ważna jest siła absolutna, czyli maksymalna siła, wyrażona w niutonach, możliwa do rozwinięcia w danej pozycji lub podczas jakiejś czynności bez względu na masę mięśni i rozmiary ciała. W dyscyplinach polegających na operowaniu tylko własnym ciałem (np. gimnastyka, skoki, bieg) ważniejsza jest siła względna, wyrażana w niutonach na kilogram masy ciała: beztłuszczowej lub mięśniowej. Ta ostatnia, a w zasadzie przekrój poprzeczny mięśnia, jest podstawową predyspozycją pozwalającą na uzyskiwanie dużej siły mięśniowej. Oczywiście poziom rozwijanej siły zależy w równym stopniu od „zawartości" mięśnia (rodzaju i proporcji włókien mięśniowych, unerwienia tkanki i sprawności metabolicznych mechanizmów uwalniania energii) i proporcji dźwigni kostnych (więcej: SZOPA i współaut. 1996, BOBER i ZAWADZKI 2001, OSIŃSKI 2003).

Szybkość

Szybkość lub, szerzej, zdolności szybkościowo-siłowe są nieodzownym elementem w sporcie i ujawniają się podczas rozmaitych czynności sportowych na trzy sposoby: jako czas reakcji, prędkość pojedynczego ruchu i częstotliwość ruchów, które w praktyce współwystępują. Typowe czynności sportowe wymagające wysokiego poziomu szybkości to skoki, rzuty, uderzenia, sprint, a także szybkie i precyzyjne ruchy rąk. Łączy je maksymalna prędkość lub przyspieszenie przy minimalnym oporze i bardzo krótki czas trwania – od ułamków do umownych 30 sekund. Poziom szybkości jest tym wyższy, im większa jest zawartość tzw. włókien szybkokurczliwych w mięśniach, im sprawniejszy jest metabolizm beztlenowej resyntezy adenozynotrifosforanu (ATP; cząsteczki stanowiącej „paliwo" dla mięśni), im lepsza jest koordynacja nerwowo-mięśniowa oraz im korzystniejsze są proporcje dźwigni kostnych w danym ruchu (patrz OSIŃSKI 2003, SZOPA i współaut. 1996). Generalnie chodzi o zdolność do natychmiastowej „mobilizacji" mięśni, gwałtownego pobudzenia możliwie dużej liczby jednostek motorycznych (grup włókien mięśniowych unerwianych przez jeden motoneuron alfa w rdzeniu kręgowym) oraz nagłego „rozładowania" energii. Stąd wspomniana wcześniej siła zrywowa jest w zasadzie zaliczana, wbrew nazwie, do zdolności szybkościowych. Jednak nie da się całkowicie odizolować tych zdolności motorycznych, ponieważ nie jest możliwe aktyw-

ne wykonywanie szybkich ruchów bez użycia siły mięśni.

Chcąc zmierzyć zdolności szybkościowe sportowca, możemy oprzeć się na testach skupiających się na sprawności układu nerwowego, przy udziale bardzo małych grup mięśniowych. Takie próby odbywają się zazwyczaj w wygodnej pozycji siedzącej, w ciszy, przy specjalistycznych aparatach, a wysiłek fizyczny jest minimalny. Są to najczęściej precyzyjne testy czasu reakcji prostej lub z wyborem, na różnego rodzaju bodźce (wzrokowe, słuchowe, dotykowe lub połączenie pewnych sekwencji), maksymalnej częstotliwości ruchu (ang. tapping; najczęściej palcem lub dłonią, ale też stopą) lub czas wykonania pojedynczego ruchu. Jednak w sporcie dominują eksplozywne ruchy mające na celu jak najszybsze przemieszczenie całego ciała, stąd konieczne są testy angażujące duże grupy mięśniowe w krótkotrwałych zadaniach o maksymalnej intensywności. Z punktu widzenia technicznego takie pomiary mają jeden cel, niezależnie od formy: ustalenie maksymalnej mocy mechanicznej rozwijanej przez zawodnika, wyrażonej w watach. Moc jest traktowana jako syntetyczne odzwierciedlenie zdolności szybkościowych. Pierwszy rodzaj testów to tzw. wyskoki dosiężne na maksymalną wysokość – pojedyncze lub seryjne – na platformach dynamograficznych, matach z czujnikami nacisku lub przy zastosowaniu liniowych przetworników położenia (Bosco i współaut. 1983, Georgescu 1976, Kusy i Zieliński 2017). Mając takie dane jak ciężar zawodnika, czas lotu, czas kontaktu z podłożem i siła generowana podczas odbicia, wylicza się moc za pomocą odpowiednich wzorów fizycznych i ich przekształceń. Można także uzyskać dodatkowe wskaźniki, np. charakteryzujące wykorzystanie aktywności mięśni w tzw. cyklu rozciągnięcie-skurcz, szczególnie aktywności ekscentrycznej, albo „sztywność kończyn" definiowaną jako zdolność do generowania dużej mocy przy małym zakresie ruchów w stawach. Nieco inaczej przebiega test Margarii-Kalamena, w którym należy jak najszybciej wbiec na 12 stopni schodów o standardowej wysokości. Za pomocą fotokomórek mierzy się czas pomiędzy 3 a 9 stopniem. Znając ciężar ciała zawodnika i różnicę poziomów między stopniami pomiarowymi, wylicza się wygenerowaną moc mechaniczną zawodnika (Margaria i współaut. 1966, Kalamen 1968).

Bardzo popularny jest test Wingate w rozmaitych odmianach, polegający na pedałowaniu przez krótki czas (w klasycznej wersji 30 sec) na ergometrze rowerowym z maksymalną częstotliwością, przy ustalanym indywidualnie niewielkim oporze (Bar-Or 1980, 1987). Stosuje się też ergometry ręczne, by ocenić moc kończyn górnych. Posługując się dostępnymi danymi (wielkość oporu, parametry koła zamachowego ergometru, uzyskana częstotliwość i czas obrotów), oblicza się moc maksymalną i średnią oraz wskaźnik zmęczenia (tempo spadku od wartości maksymalnej do minimalnej). Moc przelicza się standardowo na kilogram masy ciała. Zakłada się, że maksymalna moc mechaniczna mierzona w powyższych testach odzwierciedla maksymalne tempo resyntezy ATP w beztlenowych szlakach metabolicznych, które są energetyczną podstawą zdolności szybkościowych. Jednak nie odpowiada to w pełni rzeczywistości. Okazuje się, że nawet w stosunkowo krótkich wysiłkach, trwających 7-30 sec, udział metabolizmu tlenowego wynosi między 10 a 20% (Beneke i współaut. 2002, Duffield i współaut. 2004, Kusy i współaut. 2015). Tak więc, biorąc jako podstawę energetykę aktywności mięśniowej, „czystą" szybkość powinno się oceniać w testach trwających nie dłużej niż ~5 sec.

Wytrzymałość

Tylko w nielicznych dyscyplinach sportowych wysiłek fizyczny podczas zawodów jest jednorazowy i krótkotrwały (np. sprint lekkoatletyczny), ale nawet wtedy przygotowanie do rywalizacji w procesie treningu wymaga stosowania ćwiczeń trwających dłużej. Dlatego nieodzowny jest optymalny poziom wytrzymałości, czyli zdolności do wykonywania długotrwałego wysiłku mięśniowego, z jednoczesną tolerancją narastającego zmęczenia. W kategoriach fizjologicznych jest to zdolność do uwalniania energii w aerobowych przemianach metabolicznych, dlatego mówi się też o wydolności tlenowej. Podstawową miarą maksymalnej wydolności tlenowej, a tym samym zdolności wytrzymałościowych, stosowaną już od lat 20. XX w. (Hill i Lupton 1923), jest tempo maksymalnego poboru tlenu ($\dot{V}O_2max$), wyrażane standardowo w mililitrach na minutę na kilogram masy ciała. Jest ono zależne od sprawności układów oddechowego i krążenia oraz metabolizmu mięśniowego (Basset i Howley 2000). Oczywiście najwyższy poziom $\dot{V}O_2max$ mają sportowcy uprawiający dyscypliny wytrzymałościowe (biegi długie i narciarskie, kolarstwo, triathlon itp.). Rekordową wartość $\dot{V}O_2max$ uzyskał w 2012 r. 18-letni wówczas norweski kolarz Oscar Svendsen – było to 96,7 ml/min/kg (Rønnestad i współaut. 2019). To wynik daleko wykraczający poza górne granice norm populacyjnych, według których jako „wybitne" określa się wartości powyżej 62 ml/min/kg u mężczyzn i 51 ml/min/kg u kobiet (Shvartz i Reibold 1990).

Nawet u sportowców wartości, odpowiednio ponad 70 i 60 ml/min/kg są uznawane za imponujące.

Przy okazji należy skonstatować z przykrością, że człowiek jako gatunek sytuuje się nisko w hierarchii królestwa zwierząt określonej poziomem $\dot{V}O_2$max w przeliczeniu na masę ciała. Przeciętnie lub nawet bardzo aktywny fizycznie *Homo sapiens* może równać się z hodowlanymi (krowy, owce, kozy) oraz dziko żyjącymi (antylopy, gazele) zwierzętami kopytnymi oraz ośmiornicą, emu i lwem, który wypada tu najlepiej. Te gatunki uzyskują $\dot{V}O_2$max w dostępnym większości z nas zakresie 27-60 ml/kg/min (GEHR i współaut. 1981, BASSET i HOWLEY 2000). Ale już tylko garstka ludzi na naszym globie, wybitnie predysponowanych i ciężko trenujących, mogłaby skonfrontować się bez kompleksów ze szczurem laboratoryjnym, koniem domowym, długonogiem (przypomina małego kangura) czy antylopką piżmową, które uzyskują $\dot{V}O_2$max na poziomie 95-97 ml/kg/min (GEHR i współaut. 1981, BEDFORD i współaut. 1979, BASSET i HOWLEY 2000).

Dalej zaczyna się bardzo długa lista zwierząt, których $\dot{V}O_2$max jest już dla nas nieosiągalny. W przedziale 100-200 ml/min/kg spotkamy np. żenetę, mangustę, mysz, myszoskoczka, psa, wilka, kojota, konie rasowe pełnej krwi angielskiej, a z ptaków kruki, gołębie i gęsi tybetańskie (przelatujące nad Himalajami podczas sezonowych migracji) (GLASER i współaut. 1972, GEHR i współaut. 1981, BUTLER 1991, BASSET i HOWLEY 2000, WARD i współaut. 2002, KITAOKA i współaut. 2011, OLDS 2014). Między 200 a 400 ml/min/kg osiągają ssaki takie jak: lis polarny, wiewiórka ziemna, psy zaprzęgowe alaskan husky, mysz karłowata, widłoróg amerykański (rodzaj antylopy), ryjówek etruski (najmniejszy żyjący obecnie ssak) oraz ptaki: altannik, wrona, papużka falista czy szpak (BUTLER 1991, LINDSTEDT i współaut. 1991, BASSET i HOWLEY 2000, OLDS 2014). „Kosmiczne rekordy" biją jednak kolibry z tempem poboru tlenu przekraczającym 1000 ml/min/kg (SUAREZ 1998, CHAI i DUDLEY 1999) oraz owady, np. pszczoły storczykowe, u których zmierzono $\dot{V}O_2$max sięgające niemal 2300 ml/min/kg (SUAREZ i współaut. 2005), choć oczywiście przeliczenie na 1 kg masy ciała jest tu zabiegiem czysto matematycznym, ponieważ te ostatnie zwierzęta ważą, odpowiednio, ~4 g i ~0,1 g. Generalnie o maksymalnej zdolności poboru tlenu decydują fizjologiczne adaptacje związane z warunkami życia gatunku i wielkość ciała, bowiem mniejsze zwierzęta mają zasadniczo wyższe tempo metabolizmu. Człowiek, mimo że ustępuje zwierzętom w poziomie maksymalnego tempa poboru tlenu, od zarania dziejów zadziwiająco dobrze daje sobie radę w pokonywaniu długich dystansów; dowodem są świadectwa historyczne i współczesne masowe biegi, w tym śmiałkowie uczestniczący w wielodniowych wyścigach na dystansach do 1000 mil (~1600 km!), przy których tradycyjny maraton to jedynie rozgrzewka (https://en.wikipedia.org/wiki/Ultramarathon). Oznacza to, że nasze ewolucyjno-genetyczne wyposażenie jest pod tym względem solidne. Ale na szczęście zwierzęta nie rywalizują w ludzkich zawodach sportowych, bo w wielu konkurencjach byłoby z nami krucho – wystarczy zestawić ~38 km/h Usaina Bolta w jego najlepszym sprincie, z gepardem gnającym z prędkością ~104 km/h (SHARP 1997).

Wróćmy jednak do diagnozy. Sposób na to, aby poznać maksymalne tempo poboru tlenu, jest bardzo prosty (u ludzi, bo u zwierząt trzeba wykazać się dużą pomysłowością). Należy jedynie poprosić sportowca o wykonanie wysiłku fizycznego o stopniowo wzrastającej intensywności, aż do... wyczerpania i odmowy. To warunek twardy, ale konieczny. Są wprawdzie pośrednie metody szacujące $\dot{V}O_2$max, ale w sporcie wyczynowym musimy znać dokładną, rzeczywistą wartość. W warunkach laboratoryjnych test o takim charakterze trwać musi od kilku do kilkunastu minut i jest wykonywany na sterowanej komputerowo bieżni mechanicznej lub specjalistycznym ergometrze (rowerowym, wioślarskim, kajakowym, ręcznym lub innym) – najlepiej, gdy forma ruchu odpowiada specyfice dyscypliny sportu. Zawodnik zostaje wyposażony w specjalną maskę szczelnie przylegającą do twarzy lub ustnik w celu zbierania całego wdychanego i wydychanego powietrza. Jest ono kierowane do urządzenia zwanego ergospirometrem, gdzie odpowiednie czujniki wykrywają ilość tlenu i dwutlenku węgla. Mierzona jest też wentylacja minutowa i częstość skurczów serca. Na tej podstawie, oprócz samego $\dot{V}O_2$max, uzyskuje się szereg ważnych parametrów krążeniowo-oddechowych, charakteryzujących zawodnika. W tego typu testach, nieco zmodyfikowanych, wyznacza się także parametry submaksymalnej wydolności tlenowej, określając tzw. próg przemian anaerobowych za pomocą różnych metod i technik, na podstawie zmian stężenia mleczanu w krwi lub wskaźników wentylacyjnych. To z kolei pozwala na ustalenie stref intensywności wysiłku specyficznych dla konkretnego zawodnika, przydatnych w planowaniu i realizacji treningu (patrz KUSY i ZIELIŃSKI 2017).

Koordynacja ruchowa

Na potrzeby tego przeglądu przyjmijmy uproszczoną definicję koordynacji ruchowej

jako zdolności do wykonywania złożonych i precyzyjnych ruchów w zmieniających się warunkach i przy ograniczeniach czasowych. Podłożem biologicznym jest tu przede wszystkim sprzężenie układów nerwowego i mięśniowego, narządów zmysłów, tele- i proprioreceptorów, sterowanie i regulacja ruchem, adaptacja motoryczna i zdolność uczenia się ruchu. Czytelników oczekujących dokładniejszych rozważań w tej ciekawej materii odsyłamy do obszerniejszych opracowań (SZOPA i współaut. 1996, BOBER i ZAWADZKI 2001, CELICHOWSKI i KRUTKI 2001, OSIŃSKI 2003). Niewątpliwie sportowcy muszą podczas rywalizacji wykonywać ruchy specyficzne dla danej dyscypliny, złożone, precyzyjne i szybkie. W dodatku najczęściej przeszkadzają im przeciwnicy, a nawet jeśli nie (sporty indywidualne), to wymagany poziom dokładności i dynamiki dalece przewyższa większość codziennych zadań. Ruchy sportowca „w akcji" muszą być odpowiednio skoordynowane, aby osiągnąć zamierzony cel – zaserwować, zdobyć punkt, zrobić unik, przeskoczyć nad poprzeczką, rzucić jak najdalej oszczepem, utrzymać tor jazdy czy ślizgu, celnie podać piłkę itp. Wypróbowany w praktyce i skuteczny sposób rozwiązania przez zawodnika konkretnego zadania ruchowego nazywa się techniką sportową (SOZAŃSKI 1993, SCHNABEL i współaut. 1998), która jest specyficzną, trudną umiejętnością ruchową (wiązanie sznurówek i jedzenie nożem i widelcem to także umiejętności ruchowe, wcale niełatwe dla początkujących, jak wiemy z doświadczenia). Każda dyscyplina sportu ma swoje techniki i ich kanony, zapewniające największą skuteczność wykorzystania potencjału siły, szybkości i wytrzymałości, choć trudno mówić o absolutnych, zawsze niezawodnych i uniwersalnych wzorcach, ponieważ poszczególni zawodnicy, zwłaszcza mistrzowie, tworzą z czasem własne warianty techniki „nie do podrobienia", przystosowane do wyjątkowego poziomu ich cech somatycznych i zdolności kondycyjnych.

W realiach treningu sportowego koordynację ruchową i technikę sportową można uznać za synonimy (niech teoretycy motoryczności człowieka wybaczą) – „dobrą koordynację" ma ten, kto dysponuje „dobrą techniką" i na odwrót. Nie ma jednego testu czy nawet grupy testów, diagnozujących kompleksowo zdolności koordynacyjne, a tym bardziej indywidualną technikę sportową. Diagnozując technikę sportową rejestruje się i analizuje konkretne akty ruchowe, charakterystyczne dla danej dyscypliny, w celu wyłapania błędów, znalezienia lepszego rozwiązania, oceny postępów, a czasem określenia rozmiaru regresu po kontuzji i rekonwalescencji. Ponieważ wielu istotnych szczegółów nie da się zaobserwować gołym okiem, konieczne jest wspomaganie zaawansowanymi metodami biomechanicznymi. Poniżej kilka podstawowych, stosowanych w laboratoriach sportowych (GRIMSHAW i współaut. 2010, KUSY i ZIELIŃSKI 2017).

Analiza wideo pozwala zarówno na jakościową (subiektywną, opartą na doświadczeniu) ocenę techniki przez trenera, jak i uzyskanie obiektywnych ilościowych parametrów ruchu: położenia, prędkości, przyspieszenia i ustawień kątowych poszczególnych segmentów ciała względem siebie i podłoża. Pośrednio można ustalić położenie i ruch środka masy oraz energię, siłę i moc. Obrazy zostają zarejestrowane w pamięci komputera w postaci cyfrowej i są analizowane za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Ruch można rejestrować i analizować dwuwymiarowo (2D), za pomocą jednej kamery, lub trójwymiarowo (3D), stosując dwie lub więcej kamer. W przypadku dość wolnych ruchów (np. zwykły marsz) wystarczyć może zapis z częstotliwością 50-60 obrazów na sekundę przy czasie otwarcia migawki 1/250 sec. Jednak w sporcie dominują ruchy niezwykle szybkie. Poszczególne segmenty ciała zawodnika osiągają ogromne prędkości, a jeszcze większe, np. uderzona rakietą/kijem, kopnięta czy rzucona piłka. Tu wymagane są kamery rejestrujące nawet 1000 obrazów na sekundę przy czasie otwarcia migawki 1/100 000 sec (10 μs). Do tego konieczne jest niezwykle jasne sztuczne oświetlenie.

W optoelektronicznej analizie ruchu 3D używa się innego rodzaju kamer. Wokół ich obiektywów znajdują się diody emitujące niewidoczne promieniowanie podczerwone, które odbija się od markerów i zostaje zarejestrowane przez kamery. Markery to niewielkie kulki wykonane z odpowiedniego „odblaskowego" materiału, które mocuje się w charakterystycznych punktach ciała sportowca w ilości od kilkunastu do kilkudziesięciu. Można też stosować markery aktywne, emitujące promieniowanie. Trójwymiarowy „obraz" z kamer to widok markerów, a nie sylwetki badanego, i to ich współrzędne podlegają analizie. Celem jest wyliczenie wartości i przebiegu w czasie zmiennych kinematycznych i dynamicznych przy użyciu specjalistycznego oprogramowania. Metoda optoelektroniczna, znana pod angielską nazwą motion capture (dosł. przechwytywanie ruchu), znajduje szerokie zastosowanie w sporcie, animacji filmowej, grach komputerowych, edukacji, robotyce oraz w wojsku i medycynie. Jej zaletą jest uproszczenie procesu zbierania danych, a wadą koszt kamer i oprogramowania, duży już w klasycznym wideo. W połączeniu z wizualizacją ruchu często stosuje się platformy dynamograficz-

ne, piezoelektryczne lub tensometryczne, wspomniane w rozdziale „Siła".

Jeśli potraktujemy koordynację ruchową bardzo dosłownie, jako zgodne współdziałanie układów nerwowego i mięśniowego, to dobrą techniką diagnostyczną może okazać się elektromiografia (EMG). Polega ona na rejestrowaniu i analizie sygnałów elektrycznych pochodzących z mięśni (analogicznie do elektrokardiografii). Sportowe EMG to badanie aktywności nerwowo-mięśniowej podczas ruchu. Dane pochodzące z elektrod lub czujników przyklejonych bezpośrednio na skórze nad konkretnymi mięśniami przekazywane są do komputera i analizowane. Pozwala to m.in. na ocenę czynności i stopnia aktywacji mięśni biorących udział w danej czynności oraz ustalenie sekwencji ich aktywacji w kolejnych fazach ruchu. W połączeniu z wizualizacją ruchu daje to unikatowe dane, pomocne w kształtowaniu i korekcie techniki sportowej.

Jednym z typowych przejawów zdolności koordynacyjnych jest równowaga i stabilność całego ciała, dlatego często stosuje się tzw. platformy posturograficzne, działające na podobnej zasadzie jak te dynamograficzne. Badany stoi przez pewien czas w ustalonej pozycji w celu rejestracji i analizy parametrów związanych z przemieszczaniem się środka nacisku ciała rzutowanego na podłoże – przede wszystkim całkowitej długości ścieżki oraz pola powierzchni i prędkości przemieszczeń (im mniejsze wartości tym stabilność lepsza). Ogranicza się też dostępność bodźców sensorycznych, np. przez zamknięcie oczu, aby ocenić udział poszczególnych zmysłów w utrzymaniu stabilnej postawy. Bardzo ważne w wielu sportach jest utrzymywanie równowagi i stabilności pomimo narastającego zmęczenia, które zawsze powoduje pogorszenie, ale istotny jest czas powrotu do „normy". Przykład z naszego laboratorium: wyczynowa tenisistka wykonywała 30-sekundowe próby stania na jednej nodze przed, bezpośrednio po oraz 15 min po teście wytrzymałościowym do odmowy. Po wysiłku prędkość i powierzchnia wychyleń środka nacisku wzrosły odpowiednio o 53% i 84% (u osób nietrenujących notuje się przyrosty nawet do 200%), a w ciągu 15 minut został odtworzony poziom przedwysiłkowy (KUSY i ZIELIŃSKI 2017). W podobny sposób można także monitorować postępy rekonwalescencji po kontuzjach kończyn dolnych.

Gibkość

Wypada wspomnieć jeszcze o gibkości, nie tyle zdolności, co raczej właściwości strukturalnej, którą najczęściej definiuje się jako zakres ruchu w stawach i płynność jego wykonania. Jest ona zależna od geometrii i budowy danego stawu oraz elastyczności więzadeł, ścięgien i mięśni (OSIŃSKI 2003). W jednych sportach to cecha wiodąca, szczególnie „dopieszczana" poprzez trening (np. gimnastyka sportowa i artystyczna, taekwondo), w innych jest mało istotna dla zwycięstwa (np. maraton). Jednak pewien minimalny poziom gibkości jest zawsze wskazany, aby wykonywać ruchy swobodnie i poprawnie technicznie oraz pośrednio zabezpieczyć się przed kontuzjami.

Gibkość można zmierzyć laboratoryjnie, określając maksymalne zakresy ruchu w wybranych stawach i tworząc „mapę" gibkości zawodnika. Służą do tego proste przyrządy zwane goniometrami (gr. *gōnia*; kąt), które są po prostu dużymi kątomierzami. W czasie pomiaru oś przyrządu musi pokrywać się z osią stawu, a jego ramiona z osiami długimi interesujących nas segmentów ciała. Dla większej dokładności stosuje się elektrogoniometry potencjometryczne lub tensometryczne, gdzie ramiona „kątomierza" zastępuje się czujnikami mocowanymi na ciele, a odczytu dokonuje się na ekranie komputera. W celu ustalenia kątów w ruchu należy sięgnąć po opisane wyżej metody analizy wideo i optoelektroniczną.

NAUKOWCY NA STADIONIE

Przywołane wcześniej metody i techniki diagnostyczne są niezwykle cenne i w dużej mierze nie do zastąpienia jako metody referencyjne. Mają jednak istotne ograniczenie, ponieważ są stacjonarne, możliwe do zastosowania jedynie w zaadaptowanych budynkach i pomieszczeniach lub wymagają czasochłonnej, kosztownej aranżacji miejsca pomiaru. Potrzeby, wymagania i możliwości diagnostyczne rosną pod wpływem nowych technologii. Dlatego współczesne laboratorium sportowe ulega redefinicji. Nie chodzi o konkretną lokalizację, adres, podłogi i ściany, ale o mobilność. Laboratorium musi „przybyć" do sportowca, by zdiagnozować go tam, gdzie faktycznie trenuje, rywalizuje i regeneruje się. Obecne rozwiązania technologiczne pozwalają na pomiary niemal w każdych okolicznościach: w sali treningowej, na stadionie, boisku, w terenie, a nawet podczas zawodów sportowych, na lądzie, w powietrzu i pod wodą. Uzyskać można więc i analizować dane dotyczące faktycznych obciążeń treningowych i rzeczywistej walki sportowej. Umożliwiają to zminiaturyzowane czujniki montowane na ciele sportowca lub metody zdalnej, bezinwazyjnej obserwacji, które w niewielkim stopniu lub w ogóle nie zaburzają czynności sportowca. Co ważne, reakcje wysiłkowe można obserwować i transmitować w czasie rzeczywistym, co daje

możliwość bieżącej korekty wykonywanych ćwiczeń: intensywności, techniki czy taktyki działania.

POMIARY FIZJOLOGICZNE

Obecnie nawet osoby uprawiające sport rekreacyjnie mogą korzystać z dobrodziejstw najnowszej techniki nie nadwyrężając nad miarę portfela. Od wielu lat w użyciu są różne odmiany tzw. pulsometrów, czyli „zegarków" mierzących przede wszystkim częstość skurczów serca – podstawowy wskaźnik intensywności wysiłku. Powstało też mnóstwo aplikacji na smartfony. W efekcie zakres zmiennych pomiarowych znacznie się poszerzył. Amatorzy biegania, jazdy na rowerze, pływania i fitnessu, bo o nich głównie tu chodzi, mogą na bieżąco kontrolować pokonywany dystans, trasę i jej profil, czas, prędkość poruszana się, częstotliwość i długość kroków, tzw. kadencję podczas pedałowania czy wydatek energetyczny. Niektóre rozwiązania pozwalają na pomiar zmienności rytmu serca (HRV), temperatury skóry, ciśnienia krwi, czasu propagacji fali tętna, saturacji krwi tlenem, a nawet na rejestrację EKG. Dane można gromadzić w internetowej „chmurze", raporty są tworzone automatycznie, a urządzenie zaproponuje prosty plan treningowy. Jednak takie rozwiązania mają w sporcie wyczynowym ograniczone zastosowanie. Są skierowane do indywidualnych użytkowników, więc nie da się monitorować grupy zawodników jednocześnie. Co najważniejsze, informacje uzyskuje się pośrednio, na bazie algorytmów wykorzystujących normy populacyjne dla wieku, płci, masy czy wysokości ciała, więc trafność i rzetelność pomiarów może budzić wątpliwości, a na pewno zbyt ryzykowne byłoby opieranie na nich treningu i kariery zawodowych sportowców.

Dla potrzeb sportu wyczynowego powstają zaawansowane technologicznie systemy monitorujące wysiłek fizyczny i trening. Operują tymi samymi wielkościami pomiarowymi co proste aparaty dla amatorów, uzupełniając je o dodatkowe parametry i opcje. Jednak dają znacznie bardziej rzetelne, trafne i kompleksowe dane fizjologiczne i kinematyczne. Umożliwiają przy tym jednoczesne śledzenie dużej liczby sportowców, co ma znaczenie choćby w grach zespołowych (np. wzajemne zmiany pozycji zawodników na boisku, obszary poruszania się). Dane o sportowcu wprowadza się do systemu na podstawie badań laboratoryjnych (np. faktyczna maksymalna częstość skurczów serca, skład ciała, maksymalny i progowy pobór tlenu itp.), więc wiarygodność monitoringu zwiększa się. Na ciele zawodnika, zazwyczaj w obrębie tułowia, mocuje się jedynie niewielki pasek i czujnik, który w niczym nie przeszkadza i nie wpływa na wykonywane ruchy. Dane są na bieżąco transmitowane bezprzewodowo do odbiornika (antena i laptop) i tam wizualizowane. Trener obserwuje reakcje wysiłkowe podopiecznych, może reagować na bieżąco (korekta ćwiczenia, modyfikacja taktyki, zmiana zawodników), ma też możliwość wielostronnej analizy danych z szeregu dni czy miesięcy. Przykłady udokumentowanych naukowo analiz treningu sportowego w oparciu o tego typu systemy pochodzą m.in. z dyscyplin takich jak: piłka nożna (Akenhead i współaut. 2013), hokej na trawie (White i MacFarlane 2013), rugby (Jones i współaut. 2015), sprint lekkoatletyczny (Kantanista i współaut. 2016a) i taekwondo (Janowski i współaut. 2020).

Miniaturyzacja aparatury spowodowała też ułatwienie w oznaczaniu podstawowych dla sportowca biomarkerów we krwi. Podobnie jak w przypadku kieszonkowych glukometrów stosowanych przez chorych na cukrzycę, można z łatwością zmierzyć stężenie mleczanu, amoniaku czy kinazy kreatynowej – wystarczy nakłucie opuszki palca lub płatka ucha, przeniesienie kropli krwi na pasek testowy i umieszczenie go w niewielkim aparacie. I to wszystko podczas, przed lub bezpośrednio po sesji treningowej. To cenna informacja zwrotna, dzięki której można na bieżąco i precyzyjnie sterować wysiłkiem, jego intensywnością, czasem trwania, liczbą powtórzeń i czasem regeneracji (Kantanista i współaut. 2016a, 2019; Włodarczyk i współaut. 2020a). W przypadku mleczanu pojawiły się też „podkolanówki" zakładane na łydkę, zawierające czujniki elektromagnetyczne wykorzystujące mikrofale, dzięki czemu możliwa stała się bezinwazyjna i ciągła ocena stężenia tego metabolitu (Mason i współaut. 2018).

Systemy ergospirometrycze mierzące pobór tlenu i wymianę gazową zostały pomniejszone (określenie „miniaturyzacja" byłoby tu na wyrost) do tego stopnia, że można z nimi biegać, jeździć na rowerze, wspinać się, a nawet pływać. To znacząco pogłębiło wgląd w fizjologię wysiłku fizycznego sportowca podczas sesji treningowych. Możliwe jest badanie reakcji układu krążenia i oddychania na różnorodne wysiłki w warunkach „naturalnych". Jednym z istotnych i jeszcze mało zbadanych zagadnień jest „profil energetyczny" ćwiczeń treningowych. Najczęściej domyślnie, na podstawie potocznej wiedzy i codziennych obserwacji przyjmuje się uproszczoną klasyfikację środków treningowych na tzw. tlenowe, beztlenowe i mieszane. Założenia te nie są jednak zweryfikowane wiarygodnymi pomiarami, nie ma więc pewności, że dane ćwiczenie ma pożądany

charakter. Ponadto, decyduje indywidualna reakcja zawodnika oraz podokres treningowy i związany z tym bieżący stan wytrenowania. Ważne jest więc możliwie precyzyjne ilościowe określenie proporcji energii pochodzącej z systemów metabolicznych: tlenowego, glikolitycznego i fosfagenowego, podczas specyficznych ćwiczeń treningowych. Próby takie poczyniono m.in. u dżudoków (ARTIOLI i współaut. 2012), wspinaczy skałkowych (BERTUZZI i współaut. 2007), lekkoatletów (DUFFIELD i współaut. 2004, KUSY i współaut. 2015), tancerzy baletowych (GUIDETTI i współaut. 2008) i wioślarzy (MELLO i współaut. 2009).

Nową i obiecującą metodą diagnostyczną w sporcie jest termografia, czyli bezkontaktowa rejestracja, za pomocą specjalnych kamer, promieniowania podczerwonego emitowanego przez ludzkie ciało (KORMAN i współaut. 2016b). Jest to metoda dość łatwa do zastosowania w warunkach treningowych, przy zachowaniu standardów pomiarowych. Jest ona szczególnie przydatna w kwestiach związanych z termoregulacją podczas wysiłku w niskich i wysokich temperaturach, a także wstępnym diagnozowaniem kontuzji i stanów zapalnych, powodujących miejscowe podwyższenie temperatury. Według naszych dotychczasowych badań, termografia pozwala na ustalenie optymalnego czasu rozgrzewki i rozpoznanie „gotowości" konkretnej partii mięśniowej do wysiłku (KORMAN i współaut. 2016a). Obecnie opracowujemy wyniki wiążące temperaturę ciała ze zmianami stężenia biomarkerów we krwi i reakcją krążeniowo-oddechową na wysiłek progresywny.

POMIARY BIOMECHANICZNE

Także w zakresie diagnostyki biomechanicznej wiele pomiarów można wykonać poza laboratorium. Wbudowane na stałe w podłoże platformy dynamograficzne można zastąpić przenośnymi matami, które układa się w miejscu wykonywania ćwiczeń treningowych, szczególnie biegowych i skocznościowych, aby uzyskać dane związane ze zdolnościami szybkościowymi, opisane w rozdziale „Szybkość". Są też specjalne listwy naszpikowane fotokomórkami, które rozmieszcza się wzdłuż toru sprintu lub skoków, aby uzyskać dokładne informacje o prędkości, przyspieszeniu, czasie kontaktu z podłożem, wysokości lotu, częstotliwości kroków itp. Ćwiczenia koordynacyjne można z kolei wspomagać i analizować systemami do bezprzewodowego pomiaru czasu reakcji w oparciu o czujniki sterowane za pośrednictwem tabletu. Czujniki przypominają małe tarcze i emitują różnokolorowe światło, które w trakcie ćwiczenia zawodnik ma za zadanie „wygasić" za pomocą dotyku, przecięcia wiązki świetlnej w określonej odległości bądź kombinacji obu czynności. Największą zaletą takiego systemu jest duża dowolność adaptacji i konfiguracji. Czujniki można przytwierdzać w dowolnych miejscach: na podłożu, ścianie, słupkach i innych akcesoriach, w różnych odległościach względem siebie. Można precyzyjnie mierzyć sprawność poruszania się, czas reakcji, szybkość przemieszczania się, dokładność wykonania ćwiczenia przez zawodnika itp., a wyniki są dostępne tuż po zakończeniu ćwiczenia (KUSY i ZIELIŃSKI 2017).

Szczególnie cenne jest zbieranie kompleksowych danych o technice ruchu. Opisane wcześniej dwie metody analizy ruchu, wideo i optoelektroniczna, są wręcz niemożliwe do doraźnego zastosowania podczas rutynowego treningu. Dlatego popularne stają się inercyjne systemy do kinematycznej analizy ruchu. Główną zaletą tej technologii jest jej pełna przenośność (podstawowe moduły można spakować i transportować w niewielkiej walizce), bezprzewodowość, identyfikacja kontaktu z podłożem i niezależność od zewnętrznych kamer (możliwa jest współpraca z nimi). Otoczenie, podłoże czy oświetlenie nie ma większego znaczenia. Jedyne ograniczenia mogą wynikać ze względów bezpieczeństwa, np. w sportach walki, lub specyfiki danej techniki. Zestaw pomiarowy zawiera zazwyczaj kilkanaście bardzo lekkich bezprzewodowych czujników inercyjnych, które mocuje się na poszczególnych segmentach ciała: głowa, tułów, uda, podudzia, stopy, ramiona, przedramiona i ręce. Dodatkowo stosuje się wkładki do butów rejestrujące kontakt z podłożem. Można wykorzystać wszystkie czujniki (analiza ruchu całego ciała) lub ich część (wybrany obszar, np. kończyna górna). Aparatura gromadzi informacje dotyczące kątów, przyspieszeń i prędkości liniowych, a także kątów obrotu względem poszczególnych osi dla każdego czujnika. Pozwala to na rejestrację ruchu o trzech stopniach swobody. Przygotowanie zawodnika wymaga precyzji, doświadczenia i ok. 30 min w przypadku mocowania czujników na całym ciele. Podczas długotrwałej analizy bardzo dynamicznych ćwiczeń czujniki muszą być dodatkowo oklejone plastrami, by nie uległy przesunięciu pod wpływem ruchu i potu. W ramach działalności naszego laboratorium wykonywaliśmy pomiary za pomocą tego typu aparatury. Rejestracje prowadzono m.in. na członkach polskiej kadry sprintu podczas specjalistycznych jednostek treningowych (JANOWSKI i współaut. 2017). Jednym ze spostrzeżeń był korzystny wpływ symetrii ruchu na jego skuteczność, określoną czasem biegu sprinterskiego ze startu niskiego.

Technika elektromiografii, opisana wcześniej, może być od pewnego czasu stosowana także w wersji mobilnej i bezprzewodowej. Dane pochodzące z elektrod i czujników na skórze są przekazywane bezpośrednio do odbiornika znajdującego się na pasku zakładanym przez badanego, a następnie poprzez główny nadajnik do laptopa. System tego typu pozwala na rejestrację wszelkiej aktywności bioelektrycznej mięśni (pojedynczego lub wielu) w czasie rzeczywistym. Można go również zsynchronizować z rejestracją wideo. Dla doświadczonego zespołu badawczego procedura nakładania i zdejmowania aparatury nie przekracza 30 min. Wstępna analiza może być przeprowadzana na bieżąco, na zasadzie monitoringu czynności wyświetlanych na ekranie komputera. Bardzo dokładną i wszechstronną analizę można uzyskać najdalej w ciągu kilku dni. W ramach naszych badań prowadziliśmy rejestrację sygnału EMG m.in. zawodników polskiej reprezentacji taekwondo oraz boksu podczas symulowanych walk. Analizowaliśmy zmiany potencjałów elektrycznych kończyn dolnych (mięśnie dwugłowy i prosty uda, brzuchaty łydki oraz piszczelowy przedni), tułowia (mięsień prosty brzucha) i kończyn górnych (mięśnie dwugłowy i trójgłowy ramienia, naramienny), stwierdzając wyraźne różnice w poziomie i wzroście aktywacji w kolejnych rundach, co świadczyło o różnym tempie narastania zmęczenia poszczególnych grup mięśniowych (Kusy i Zieliński 2017).

Bardzo ciekawą i obiecującą metodą kontroli i nauczania techniki sportowej jest sonifikacja. Najprościej mówiąc, to przekazywanie informacji za pomocą niewerbalnych dźwięków. Wysokość, natężenie i barwa dźwięku informują, czy sekwencja ruchów lub ustawienie ciała są poprawne, czy odpowiadają wcześniej ustalonym wzorcom, czy siła, prędkość lub kierunek są optymalne. Sonifikacja ma, w porównaniu z wizualnymi technikami wspomagania treningu, tę ewidentną zaletę, że dźwięki nie ograniczają wykonywania ruchu i pozwalają wciąż skupiać się na zadaniu, a czułość na zmiany dźwięku jest bardzo wysoka – czasowa rozdzielczość zmysłu słuchu jest prawie dwukrotnie większa od rozdzielczości zmysłu wzroku. W ostatnich latach badacze donosili o skutecznym zastosowaniu sonifikacji w kształtowaniu różnorodnych elementów techniki sportowej, np. uderzenia kijem golfowym, precyzji ruchu w strzelectwie, rytmu i długość kroku biegowego, kontroli sylwetki podczas ćwiczeń na koniu z łękami, techniki jazdy szybkiej na łyżwach, jazdy na krawędzi nart, ciosów karate, ustawienia dłoni i prędkości u pływaków, techniki i prędkości wiosłowania oraz zachowań taktycznych w piłce ręcznej (Kusy i Zieliński 2017). W AWF Poznań jest realizowany projekt dotyczący żeglarstwa, w ramach którego opracowana została aplikacja mobilna SoniSailing, wspomagająca w czasie rzeczywistym trening techniczny i taktyczny na wodzie. Informacje dźwiękowe ułatwiają podjęcie decyzji o zmianie lub utrzymaniu przyjętego kursu. Dane dostarczane są w oparciu o systemy nawigacyjne GPS, Glonass i Beidou, umożliwiając geometryczną analizę aktualnego kursu łodzi w stosunku do założonej trasy (Tarnas i współaut. 2020).

POMIARY PODCZAS ZAWODÓW SPORTOWYCH

Normą jest już bezpośrednie wsparcie trenerów podczas zawodów sportowych, np. bieżąca analiza statystyczna meczu (widoczna zresztą także dla widzów na ekranach telewizyjnych i komputerowych): liczba podań, strat, obron, ataków, udanych i nieudanych zagrań określonego typu, procent „posiadania piłki", przebieg akcji itp. W sportach indywidualnych otrzymać można natychmiastową informację o prędkości, kącie lub torze lotu uderzanego, odbijanego, kopanego lub rzucanego przyboru (piłki, oszczepu, kuli, dysku) czy dokładności odbicia (skok w dal, trójskok), nie wspominając o tak prozaicznej i już dawno rozwiązanej kwestii, jak pomiar czasu z dokładnością do tysięcznych sekundy. Nadal jednak unikatem jest bezpośrednia rejestracja wysiłkowych wskaźników fizjologicznych podczas rzeczywistej rywalizacji, ponieważ przepisy sportowe lub zasady bezpieczeństwa często nie pozwalają na zaopatrzenie sportowców nawet w nieduży czujnik. Nasze laboratorium stanowi awangardę w tego typu badaniach. W ostatnich latach udało nam się m.in. zarejestrować i przeanalizować zmienne fizjologiczne podczas kilkuset walk turniejowych taekwondo za pomocą jednego z systemów monitorujących, co pozwoliło wykazać, że pozornie „kosmetyczne" zmiany przepisów istotnie zwiększyły odpowiedź wysiłkową zawodników klasy międzynarodowej, a ciężkie sesje treningowe nie odzwierciedlały w pełni wysiłku podczas walki z realnym przeciwnikiem (Janowski i współaut. 2019, 2020).

Źródłem bardzo wszechstronnych danych jest łączenie metod. Jeśli nie zaburza to ruchów zawodnika i jego zadań techniczno-taktycznych, można np. wyposażyć go w system ergospiromtreyczny i EMG lub inercyjny jednocześnie, użyć platformy lub maty rejestrującej dane dynamiczne i kinematyczne, równolegle rejestrować obraz, a ponadto dokonywać oznaczeń biochemicznych z krwi. To oczywiście niełatwe, wymagające sporego zespołu ludzkiego oraz tolerancji ze strony zawodników i trenerów, ale zapewne

mogłoby pomóc wyjaśnić pewne kwestie praktyczne i teoretyczne. Interesujące jest choćby, jak zmiany techniki sportowej wpływają na fizjologiczną odpowiedź wysiłkową i *vice versa*. Niezwykle ciekawe jest też powiązanie możliwości motorycznych, technicznych i taktycznych z cechami psychiki. Odrębna i obszerna kwestia to wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości (ang. virtual reality) lub rzeczywistości rozszerzonej (ang. enhanced reality) do diagnostyki sportowej. Tworzenie komputerowych symulacji sytuacji treningu i walki sportowej daje możliwość bezpiecznego i kontrolowanego wykroczenia poza normalne warunki i wymagania, dając zupełnie nowe możliwości oceny zdolności motorycznych i cech psychicznych zawodnika (AKBAŞ i współaut. 2019, FAURE i współaut. 2020).

JEDEN POMIAR TO ZA MAŁO

Trening sportowy jest działalnością cykliczną. Wyróżnia się cykle długie, czyli makrocykle (wieloletnie, roczne, półroczne), średnie (mezocykle, zwykle miesięczne), krótkie (mikrocykle, zazwyczaj tygodniowe) i wreszcie jednostki treningowe, a w nich serie i powtórzenia poszczególnych ćwiczeń. W klasycznym roku treningowym okres przygotowawczy służy „budowaniu formy" (5-7 miesięcy), okres startowy stabilizacji i uzyskiwaniu najlepszych wyników (4-5 miesięcy), a okres przejściowy regeneracji (1-1,5 miesiąca). Mezo- i mikrocykle oraz sesje treningowe także mają swoją strukturę, cele i zadania (SOZAŃSKI 1993). Szczegółowy podział i konkretne obciążenia treningowe zależą od dyscypliny i kalendarza zawodów. Najistotniejszy w kontekście diagnostyki jest fakt, że stan wytrenowania sportowca ulega ciągłym zmianom na skutek adaptacji organizmu do specyficznych wysiłków oraz pod wpływem kształtowania techniki i taktyki. Dlatego jednorazowe lub wstępne pomiary jakichkolwiek cech i zdolności zawodnika niewiele wnoszą. Najważniejsza informacja dla trenera to odpowiedź na pytania: Co się zmieniło od poprzedniego pomiaru? Które cechy i zdolności zawodnika uległy poprawie, stabilizacji lub pogorszeniu? Jak zareagował na zastosowane środki treningowe? To umożliwia z jednej strony ocenę efektów, a z drugiej racjonalne planowanie kolejnych działań. Pozwala też do pewnego stopnia przewidywać, jaki poziom sportowy osiągnie zawodnik w danym sezonie.

Szczególnie cenne, choć trudne w realizacji, są badania w długich cyklach treningowych. Nasz zespół badawczy podejmuje się tego zadania we współpracy z trenerami i zawodnikami kadr narodowych: lekkiej atletyki, triathlonu, taekwondo olimpijskiego, kajakarstwa, futsalu i innych. Skupiamy się na zmianach poziomu różnorodnych wskaźników fizjologicznych w rocznym cyklu treningowym. Interesują nas przede wszystkim biomarkery we krwi: ATP i jego pochodne związane z energetyką mięśni szkieletowych, dzięki którym można ocenić długofalowe metaboliczne adaptacje treningowe w różnych dyscyplinach sportu, od szybkościowych do wytrzymałościowych, w zależności od podokresu treningowego oraz intensywności i objętości stosowanych obciążeń. Okazuje się, że trening o wysokiej intensywności wiąże się z dużą ilością ATP w erytrocytach podczas narastającego wysiłku. Dlatego najwyższe stężenie ATP występuje u sportowców szybkościowo-siłowych (np. u sprinterów) w okresie startowym, gdy intensywność treningu jest największa. Znacząco niższy poziom obserwuje się w sportach wytrzymałościowych (np. triathlon) i w okresach roztrenowania (ZARĘBSKA i współaut. 2018, 2019). Ponadto, pod wpływem adaptacji do intensywnego treningu spada stężenie hipoksantyny, ostatniego metabolitu na ścieżce rozpadu ATP, który może być jeszcze wykorzystany do szybkiej i energetycznie mało kosztownej resyntezy ATP. Dzieje się to na skutek wzrostu aktywności enzymu HGPRT (fosforybozylotransferazy hipoksantynowo-guaninowej), który umożliwia wykorzystanie hipoksantyny i przyspieszenie resyntezy ATP (ZIELIŃSKI i współaut. 2009, 2011, 2012, 2013a, b; ZIELIŃSKI i KUSY 2012, 2015a, b). Ciekawe jest także łączenie biomarkerów z różnych „pięter" i obszarów metabolicznych w celu uzyskania pełniejszej informacji o adaptacji treningowej. Na przykład popularny mleczan jest diagnostycznie skuteczny jedynie w pierwszej fazie treningu (potem już nie ulega zmianom), amoniak dobrze odzwierciedla adaptacje w szerokim spektrum intensywności wysiłku w każdej fazie treningu, a hipoksantyna sygnalizuje tylko adaptacje do intensywnych wysiłków w okresach wzmożonej pracy treningowej (KANTANISTA i współaut. 2016a, b, 2019; WŁODARCZYK i współaut. 2019, 2020a, b). Wykazaliśmy też na podstawie rocznego cyklu, że wyczynowy trening sportowy wpływa pozytywnie na status energetyczny erytrocytów, kluczowego ogniwa w transporcie tlenu (POSPIESZNA i współaut. 2020), a wskaźniki hematologiczne znacząco zmieniają się pod wpływem wyczynowego treningu, nawet jeśli pozostają w zakresie norm zdrowotnych (CIEKOT-SOŁTYSIAK i współaut. 2018).

Badamy też wpływ obciążeń treningowych na wskaźniki mikrokrążenia i aktywności mitochondriów u sportowców wyczynowych. Opieramy się na nowatorskiej metodzie i prototypowym urządzeniu opracowanym w Politechnice Łódzkiej. Technika pomiarowa zwana FMSF (ang. flow mediated skin flu-

orescence) opiera się rejestracji zmian intensywności fluorescencji dinukleotydu nikotynamidoadeninowego (NAD) w komórkach skóry przedramienia w odpowiedzi na czasowe mechaniczne zablokowanie przepływu krwi, a potem jego przywrócenie (PIOTROWSKI i współaut. 2016, SIBRECHT i współaut. 2017). Wysiłek do odmowy zwiększa zawartość zredukowanej formy NAD w skórze wskazując, że reakcje wysiłkowe nie dotyczą jedynie mięśni (BUGAJ i współaut. 2019). Dłuższy okres adaptacji treningowej daje podobny efekt (BUGAJ i współaut. 2020). Wyniki i ich analiza sugerują, że jest to odzwierciedlenie statusu metabolicznego mitochondriów, komórkowych „elektrowni" kluczowych w dostarczaniu energii podczas wysiłku fizycznego i regeneracji.

Powtarzane i modulowane bodźce treningowe w cyklu rocznym pociągają za sobą zmiany składu ciała sportowca. Z reguły pożądanym zjawiskiem jest redukcja masy tłuszczu i zwiększenie masy mięśniowej oraz kostnej, oczywiście w granicach pewnego optimum. To z kolei pozostaje w ścisłej zależności z wydolnością i wynikami sportowymi zawodników. Okazuje się np., że redukcja masy tłuszczu o 1% może dać w biegu sprinterskim na 100 m zysk 0,1 sec, a więc kolosalny, biorąc pod uwagę, że w finałach zawodów rangi mistrzowskiej różnica między pierwszym a ostatnim zawodnikiem na mecie zwykle tyle mniej więcej wynosi (ABE i współaut. 2011). U wioślarzy pozbycie się 1 kg tłuszczu i zwiększenie masy beztłuszczowej o 1 kg dawało znaczący wzrost $\dot{V}O_2max$ oraz mocy maksymalnej w sprinterskim teście Wingate (DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2019b). Z kolei śledzenie w rocznym cyklu zmian $\dot{V}O_2max$ w przeliczeniu na kilogram masy mięśniowej (a nie ogólnej masy ciała) daje możliwość bardziej precyzyjnego porównania wydolności tlenowej zawodników o różnym statusie treningowym (TRINSCHEK i współaut. 2020). Ze składem ciała i jego przebudową jest też związane racjonalne żywienie i suplementacja sportowców, którzy muszą ilościowo i jakościowo pokrywać zapotrzebowanie organizmu poddanego długotrwałym i ciężkim wysiłkom fizycznym (DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2016). Nasze badania w krótkich i długich cyklach potwierdzają duże znacznie towarzyszącej treningowi suplementacji dla zachowania zdrowia i poprawy wyniku sportowego (DURKALEC-MICHALSKI i współaut. 2019a, FERRARI i współaut. 2020).

SPORTOWIEC WYCZYNOWY TO STAN UMYSŁU...

...a nie wiek – tak można ująć współczesną tendencję, a właściwie już wszechobecny od kilkudziesięciu lat światowy ruch, w ramach którego rywalizują sportowcy masters. W większości dyscyplin przyjmuje się wiek 35 lat jako dolną granicę dopuszczenia do udziału w rywalizacji „weteranów" (oni sami mówią o sobie po prostu „zawodnicy"). Jednak górnej granicy wieku nie ma, stąd najstarsi na świecie sportowcy uczestniczący w regularnych zawodach, bijący rekordy w swoich kategoriach wiekowych, mają ponad 100 lat (!). To jeden z intrygujących efektów współczesnych zmian demograficznych – starzenia się społeczeństw na skutek wzrostu oczekiwanej długości życia, przy jednoczesnym spadku współczynnika urodzeń. Sport wyczynowy masters – zjawisko społeczne zupełnie nowe w historii ludzkości – zmienia postrzeganie starości przez młodsze pokolenie (KUSY i współaut. 2012b).

Badania nasze i innych naukowców pokazują, że sportowcy masters są o wiele zdrowsi i sprawniejsi fizycznie od ogólnej populacji, co wynika z wieloletniej, regularnej i ponadprzeciętnej aktywności fizycznej, a tylko w niewielkiej części z wrodzonych predyspozycji, które niezwykle łatwo „zaprzepaścić" biernym, sedentarnym stylem życia. Mają oni zdecydowanie bardziej wydolne serca i sprawność układu krążenia (KRASIŃSKA i współaut. 2008; KUSY i współaut. 2012a; KUSY i ZIELIŃSKI 2014a), lepiej zmineralizowane kości, większą masę mięśniową, a mniejszą zawartość tłuszczu (NOWAK i współaut. 2010, GAST i współaut. 2013), wyższą insulinowrażliwość (KUSY i współaut. 2013), sprawniejszy metabolizm wysiłkowy (ZIELIŃSKI i współaut. 2019, RODZIEWICZ i współaut. 2020), by wymienić tylko kilka podstawowych aspektów zdrowia i wydolności. Typ całożyciowego treningu ma wpływ na profil tych korzyści, ponieważ bodźce wytrzymałościowe, szybkościowe i siłowe uruchamiają i promują odmienne mechanizmy adaptacyjne organizmu (KUSY i ZIELIŃSKI 2014b, 2015), ale przewaga nad nietrenującymi rówieśnikami jest zawsze ewidentna.

Dla diagnostyki sportowej „mastersi" to podwójne wyzwanie, ponieważ na bodźce treningowe nakładają się u nich nieuchronnie postępujące z wiekiem procesy degradacji struktury i funkcji organizmu, nawet jeśli są łagodzone i opóźniane przez trening i zdrowy styl życia. Z rozsądku i ostrożności należałoby więc mieć na uwadze przede wszystkim medyczną diagnostykę prewencyjną, szczególnie u osób, które aktywność sportową i rywalizację podejmują dość późno, bez doświadczeń tego typu w młodości. Ponadto, istnieje ryzyko specyficznych kontuzji i urazów, które wydaje się niezależne od wieku, płci i uprawianej dyscypliny (LONGO i współaut. 2009, 2011). Z drugiej strony należy wziąć pod uwagę, że są to wyczynowi zawodnicy „z krwi

i kości", rywalizujący tak samo ambitnie o medale i rekordy jak cała reszta sportowego świata – kto ma wątpliwości, niech pofatyguje się osobiście na zawody lub przynajmniej obejrzy w Internecie. Większość z nich ma za sobą staż treningowy od kilkunastu do kilkudziesięciu lat, więc ich stan zdrowia i sprawność były już wielokrotnie weryfikowane w praktyce. Owszem, siła, szybkość i wytrzymałość już nie te co dawniej (zgodnie z dewizą „im jestem starszy, tym lepszy byłem kiedyś", którą kiedyś zauważyliśmy wypisaną na koszulce jednego z zawodników), ale zaangażowanie wciąż to samo. Zawodnicy masters, podobnie jak młodzi sportowcy, osiągają granice swoich aktualnych możliwości i zmęczenia. Chcą doskonalić lub podtrzymywać swoje zdolności kondycyjne i koordynacyjne w celu osiągania jak najlepszych wyników sportowych. Chcą zdobywać medale. Dlatego metody i techniki pomiarowe opisywane dotąd jak najbardziej mają zastosowane w tej grupie. Najważniejszym zadaniem wydaje się dostosowanie procedur oraz wyznaczenie wartości referencyjnych i norm dla różnych kategorii wieku i specjalności sportowych.

ZA STO LAT... A MOŻE I WCZEŚNIEJ

Przyszłość jest zawsze niewiadomą i zaskakuje, pomimo usiłowań jej przewidywania. Dlatego ograniczymy się do wskazania kilku już teraz wyraźnych trendów w diagnostyce sportu, które, jak sądzimy, będą ulegać wzmocnieniu. Sport zawsze korzystał z osiągnięć nauk podstawowych i stosowanych, w tym szczególnie medycyny, badań na rzecz wojskowości i podboju kosmosu. Nowe technologie i metody diagnostyczne będą nadal do niego przenikać. Bardzo istotnym czynnikiem rozwoju diagnostyki sportowej jest miniaturyzacja aparatów, czujników i chipów, która powoduje przesunięcie środka ciężkości z klasycznego stacjonarnego laboratorium na pomiary w rzeczywistych warunkach treningu i rywalizacji sportowej. Dalszy postęp tego zjawiska umożliwi (zdalne) zbieranie i analizę danych praktycznie w każdym momencie i w każdych warunkach dzięki mikroskopijnej wielkości detektorom lub nanorobotom. Tu wkraczamy w obszary biotechnologii, bioinżynierii, cyborgizacji człowieka, w tym dopingu technologicznego w sporcie czy wręcz transhumanizmu, których omówienie wykracza poza ramy tego przeglądu. Jak w wielu innych dziedzinach życia, także w diagnostyce sportowej nieuniknionym motorem rozwoju staje się sztuczna inteligencja (ang. artificial intelligence, AI). Już obecnie AI w tzw. wąskiej wersji można „wytrenować" w tłumaczeniu tekstów, malarstwie, rzeźbie, komponowaniu muzyki, grze na instrumentach, prowadzeniu samochodu, przewidywaniu pogody, grze w szachy na poziomie nieosiągalnym dla arcymistrzów, pisaniu wiadomości prasowych, rozmowach telefonicznych, diagnozowaniu chorób czy wspomaganiu operacji chirurgicznych. Nie ma żadnych technicznych przeszkód, by doskonalić AI w kierunku zbierania, analizy i interpretacji danych diagnostycznych związanych z funkcjonowaniem organizmu ludzkiego, wysiłkiem fizycznym i treningiem sportowym – co zresztą już się dzieje. Z czasem będzie maleć znaczenie doświadczenia i „intuicji" trenerów, a szkolenie sportowców będzie opierać się coraz bardziej na inteligentnej automatyzacji. A jeśli kiedyś dojdzie do powstania tzw. silnej AI – potrafiącej samodzielnie myśleć, wykonywać zadania tak sprawnie jak człowiek, podejmować decyzje i planować – zadania ludzkiego trenera będzie mógł w całości przejąć osobisty AC (ang. artificial coach). Czy jednak sport przetrwa w postaci, jaką znamy dziś? Może zyska zupełnie nowy kształt, silnie przewartościowany przez technologię? W oczekiwaniu na te (lepsze?) czasy zastosujmy zmodyfikowaną coubertinowską dewizę: *citius, altius, sapientius* – szybciej, wyżej, rozumniej.

Streszczenie

Diagnostyka w sporcie to nie tylko obligatoryjna kontrola medyczno-zdrowotna, ale przede wszystkim specyficzne narzędzie kierowania procesem treningowym, rozpoznawanie reakcji organizmu ludzkiego na ćwiczenia, sesje i cykle treningowe. Celem artykułu jest zapoznanie czytelnika z kanonami współczesnych metod, przydatnych w kontroli stanu wytrenowania wyczynowych sportowców, planowaniu procesu treningowego i ocenie jego skutków. Bazując na długoletniej współpracy badawczej z wysokiej klasy trenerami i zawodnikami, autorzy omawiają kolejno ważne obszary działań diagnostycznych w sporcie wyczynowym. Są to prewencja medyczna, profil psychologiczny, somatyczny i motoryczny zawodnika, standardowe metody referencyjne stosowane w stacjonarnym laboratorium, mobilne pomiary podczas treningu i zawodów sportowych, cykliczność działań diagnostycznych oraz zjawisko sportu masters. Na koniec zarysowano główne tendencje i czynniki rozwoju diagnostyki sportowej, jakimi są wykorzystanie najnowszych osiągnięć technologicznych, miniaturyzacja aparatury pomiarowej, wzrost znaczenia diagnostyki w warunkach treningu i walki sportowej oraz sztuczna inteligencja, obecnie analizująca i interpretująca dane, a w przyszłości zdolna do przejęcia większości zadań i decyzji diagnostycznych trenera-człowieka.

LITERATURA

ABE T., HARADA Y., KAWAMOTO K., FUKASHIRO S., 2011. *Relationship between body composition and 100-m running time in an elite female sprinter: A 7-year retrospective study.* Med. Sport. 15, 227-229.

AKBAŞ A., MARSZAŁEK W., KAMIENIARZ A., PLECHOŃSKI J., SŁOMKA K. J., JURAS G., 2019. *Appli-*

cation of virtual reality in competitive athletes – A review. J. Hum. Kinet. 69, 5-16.

AKENHEAD R., HAYES P. R., THOMPSON K. G., FRENCH D., 2013. *Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play*. J. Sci. Med. Sport. 16, 556-561.

ARMSTRONG L. E., COSTILL D. L., FINK W. J., 1985. *Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance*. Med. Sci. Sports Exerc. 17, 456-461.

ARTIOLI G. G., BERTUZZI R. C., ROSCHEL H., MENDES S. H., LANCHA A. H. JR., FRANCHINI E., 2012. *Determining the contribution of the energy systems during exercise*. J. Vis. Exp. 61, doi.org/10.3791/3413.

ASHCROFT F., 2000. *Life at the extremes: The science of survival*. University of California Press, First Edition.

Baez E., FRANCHINI E., RAMÍREZ-CAMPILLO R., CAÑAS-JAMETT R., HERRERA T., BURGOS-JARA C., HENRÍQUEZ-OLGUÍN C., 2014. *Anthropometric characteristics of top-class brazilian jiu jitsu athletes*: *Role of fighting style*. Int. J. Morphol. 32, 1043-1050.

BAR-OR O,. 1980. *A new anaerobic capacity test - characteristics and applications*. Med. Esporte Porto Alegre. 5, 73-82.

BAR-OR O., 1987. *The Wingate anaerobic test: an update on methodology, reliability and validity*. Sports Med. 4, 381-394.

BASSET D. R. JR., HOWLEY E. T., 2000. *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. Med. Sci. Sports Exerc. 32, 70-84.

BEDFORD T. G., TIPTON C. M., WILSON N. C., OPPLIGER R. A., GISOLFI C. V., 1979. *Maximum oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures*. J. Appl. Physiol. Resp. Environ. Exerc. Physiol. 47, 1278-1283.

BEHNKE A. R. JR., FEEN B. G., WELHAM W. C., 1995. *The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942*. Obes. Res. 2, 295-300.

BENEKE R., POLLMANN C., BLEIF I., LEITHÄUSER R. M., HÜTLER M., 2002. *How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans*? Eur. J. Appl. Physiol. 87, 388-392.

BERTUZZI R. C., FRANCHINI E., KOKUBUN E., KISS M. A., 2007. *Energy system contributions in indoor rock climbing*. Eur. J. Appl. Physiol. 101, 293-300.

BLECHARZ J., 2002. *Jak motywować mistrzów*. Sport Wyczynowy 9-10, 453-4.

BOBER T., ZAWADZKI J., 2001. *Biomechanika układu ruchu człowieka*. Wydawnictwo BK.

BOSCO C., LUTHANEN P., KOMI P. V., 1983. *A simple method for measurement of mechanical power in jumping*. Eur. J. Appl. Physiol. 50, 273-282.

BROZEK J., GRANDE F., ANDERSON J. T., KEYS A., 1963. *Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions*. Ann. NY Acad. Sci. 110, 113-140.

BRYANT C. X., GREEN D. J., 2003. *ACE Personal trainer manual: The ultimate resource for fitness professionals*. Wyd. 3. American Council on Exercise.

BUGAJ O., ZIELIŃSKI J., KUSY K., KANTANISTA A., WIELIŃSKI D., GUZIK P., 2019. *The effect of exercise on the skin content of the reduced form of NAD and its response to transient ischemia and reperfusion in highly-trained athletes*. Front. Physiol. 10, 1-11.

BUGAJ O., KUSY K., KANTANISTA A., KORMAN P., WIELIŃSKI D., ZIELIŃSKI J., 2020. *The effect of a 7-week training period on changes in skin NADH fluorescence in highly trained athletes*. Appl. Sci. 10, doi.org/10.3390/app10155133.

BUTLER P. J., 1991. *Exercise in birds*. J. Exp. Biol. 160, 233-262.

CELICHOWSKI J., KRUTKI P., 2001. *Czynność układu nerwowego w procesie treningu*. [W:] *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. GÓRSKI J. (red.) Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 93-101.

CHAI P., DUDLEY R., 1999. *Maximum flight performance of hummingbirds: Capacities, constraints, and trade□offs*. Am. Nat. 153, 398-411.

CHUMLEA W. C., GUO S. S., ZELLER C. M., REO N. V., BAUMGARTNER R. N., GARRY P. J., WANG J., PIERSON R. N. JR., HEYMSFIELD S. B., SIERVOGEL R. M., 2001. *Total body water reference values and prediction equations for adults*. Kidney Int. 59, 2250-2258.

CIEKOT-SOŁTYSIAK M., KUSY K., PODGÓRSKI T., ZIELIŃSKI J., 2018. *Training-induced annual changes in red blood cell profile in highly-trained endurance and speed-power athletes*. J. Sports Med. Phys. Fitness. 58, 1859-1866.

CLARYS J. P., PROVYN S., MARFELL-JONES M. J., 2005. *Cadaver studies and their impact on the understanding of human adiposity*. Ergonomics 48, 1145-1161.

DELANEY J. A., THORNTON H. R., SCOTT T. J., BALLARD D. A., DUTHIE G. M., WOOD L. G., DASCOMBE B. J., 2016. *Validity of skinfold-based measures for tracking changes in body composition in professional rugby league players*. Int. J. Sports Physiol. Perform. 11, 261-266.

DEURENBERG-YAP M., DEURENBERG P., 2002. *Validity of deuterium oxide dilution for the measurement of body fat among Singaporeans*. Food Nutr. Bull. 23 (Suppl.), 34-37.

DUFFIELD R., DAWSON B., GOODMAN C., 2004. *Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events*. J. Sci. Med. Sport. 7, 302-313.

DURKALEC-MICHALSKI K., BARANIAK A., KUSY K., KRÓL-ZIELIŃSKA M., ZIELIŃSKI J., 2016. *The assessment of nutrition and body composition in elite Polish sprinters*. Antropomotoryka J. Kinesiol. Exerc. Sci. 74, 47-54.

DURKALEC-MICHALSKI K., KUSY K., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., ZIELIŃSKI J., 2019a. *The effect of beta-alanine vs alkaline agents supplementation combined with branched-chain amino acids and creatine malate in highly-trained sprinters and endurance athletes: A randomized double-blind crossover study*. Nutrients 11, doi.org/10.3390/nu11091961.

DURKALEC-MICHALSKI K., NOWACZYK P. M., PODGÓRSKI T., KUSY K., OSIŃSKI W., JESZKA J., 2019b. *Relationship between body composition and the level of aerobic and anaerobic capacity in highly trained male rowers*. J. Sports Med. Phys. Fitness. 59, 1526-1535.

FAURE C., LIMBALLE A., BIDEAU B., KULPA R., 2020. *Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review*. J. Sports Sci. 38, 192-205.

FERRARI D., LOMBARDI G., STROLLO M., PONTILLO M., MOTTA A., LOCATELLI M., 2020. *A possible antioxidant role for vitamin D in soccer players: A Retrospective analysis of psychophysical stress markers in a professional team*. Int. J. Environ. Res. Public Health. 17, doi.org/10.3390/ijerph17103484.

GALLAGER D., HEYMSFIELD S. B., WANG Z.-M., 1999, *Skeletal muscle markers*. [W:] *Institute of Medicine (US) Committee on Military Nutrition Research. The role of protein and amino acids in sustaining and enhancing performance*. Institute of Medicine (US) Committee on Military Nutrition Research, National Academies Press, Washington DC (US), 255-278.

GAST U., BELAVÝ D. L., ARMBRECHT G., KUSY K., LEXY H., RAWER R., RITTWEGER J., WINWOOD K., ZIELIŃSKI J., FELSENBERG D., 2013. *Bone density and neuromuscular function in older competitive athletes depend on running distance*. Osteoporosis Int. 24, 2033-2042.

GEHR P., MWANGI D. K., AMMANI A., MALOIY G. M. O., TAYLOR C. R., WEIBEL E. R., 1981. *Design of the mammalian respiratory system. V. Scaling morphometric pulmonary diffusing capacity to body mass: wild and domestic mammals*. Resp. Physiol. 44, 61-86.

GEORGESCU M., 1976. *Method for measuring the anaerobic capacity of the effort*. Bulletin Fédération Internationale de Volleyball 69, 11-15.

GLASER R. M., GROSS P. M., WEISS H. S., 1972. *Maximal aerobic metabolism of mice during swimming*. P. Soc. Exp. Biol. Med. 140, 230-233.

GONZÁLEZ-MENDOZA R., GAYTÁN-GONZÁLEZ A., JIMÉNEZ-ALVARADO J., VILLEGAS-BALCÁZAR M., JÁUREGUI-ULLOA E., TORRES-NARANJO F., LÓPEZ-TAYLOR J., 2019. *Accuracy of anthropometric equations to estimate DXA-derived skeletal muscle mass in professional male soccer players*. J. Sports Med. 1, doi.org/10.1155/2019/4387636.

GRIMSHAW P., LEES A., FOWLER N., BURDE A., 2010. *Biomechanika sportu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

GUIDETTI L., EMERENZIANI G. P., GALLOTTA M. C., DA SILVA S. G., BALDARI C., 2008. *Energy cost and energy sources of a ballet dance exercise in female adolescents with different technical ability*. Eur. J. Appl. Physiol. 103, 315-321.

HATTORI K., KONDO M., ABE T., TANAKA S., FUKUNAGA T., 1999. *Hierarchical differences in body composition of professional Sumo wrestlers*. Ann. Hum. Biol. 26, 179-184.

HEYMSFIELD S., LOHMAN T., WANG Z.-M., GOING S., 2005. *Human body composition*. Wyd. 2. Human Kinetics, Champain, IL.

HILL A. V., LUPTON H., 1923. *Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen*. Int. J. Med. 16, 135-171.

JAGIM A. R., CAMIC C.L., KISIOLEK J., LUEDKE J., ERICKSON J., JONES M. T., OLIVER J. M., 2018. *Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes*. J. Strength Cond. Res. 32, 1875-1881.

JANOWSKI M., ZIELIŃSKI J., WŁODARCZYK M., KUSY K, 2017. *Kinematic analysis of the block start and 20-metre acceleration phase in two highly-trained sprinters: A case report*. Baltic J. Health Phys. Act. 9,18-32.

JANOWSKI M., ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2019. *Exercise response to real combat in elite taekwondo athletes before and after competition rule changes*. J. Strength Cond. Res., doi.org/10.1519/JSC.0000000000003110.

JANOWSKI M., ZIELIŃSKI J., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., SCHNEIDER A., KUSY K., 2020. *The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts*. Int. J. Environ. Res. Public Health 17, doi.org/10.3390/ijerph17186779.

JONES M. R., WEST D. J., CREWTHER B. T., COOK C. J., KILDUFF L. P., 2015. *Quantifying positional and temporal movement patterns in professional rugby union using global positioning system*. Eur. J. Sport Sci. 15, 488-496.

KALAMEN J. L., 1968. *Measurement of maximum muscular power in man*. Ohio State University.

KANEHISA H., KONDO M., IKEGAWA S., FUKUNAGA T., 1997. *Characteristics of body composition and muscle strength in college Sumo wrestlers*. Int. J. Sports. Med. 18, 510-515.

KANTANISTA A., KUSY K., DOPIERAŁA K., TRINSCHEK J., KRÓL H., WŁODARCZYK M., ZIELIŃSKI J., 2016a. *Blood lactate, ammonia and kinematic indices during a speed-endurance training session in elite sprinters*. Trends Sport Sci. 2, 73-79.

KANTANISTA A., KUSY K., ZARĘBSKA E., WŁODARCZYK M., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., ZIELIŃSKI J., 2016b. *Blood ammonia and lactate response to incremental treadmill exercise in highly trained male sprinters and triathletes*. Biomed. Hum. Kinetics 8, 24-30.

KANTANISTA A., KUSY K., POSPIESZNA B., KORMAN P., WIELIŃSKI D., ZIELIŃSKI J., 2019. *Combined analysis of blood ammonia and lactate levels as a practical tool to assess the metabolic response to training sessions in sprinters*. J. Strength Cond. Res., doi.org/10.1519/JSC.0000000000003193.

KASHIMURA O., NAKAI S., YOSHIDA T., ITO T., 1987. *Basal metabolic rates in various kinds of sports*. Nihon Eiseigaku Zasshi [Jap. J. Hyg.] 42, 809-814 (j. japoński).

KIM J., WANG Z., HEYMSFIELD S., BAUMGARTNER R., GALLAGHER D., 2002. *Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method*. Am. J. Clin. Nutr. 76, 378-383.

KITAOKA Y., MASUDA H., MUKAI K., HIRAGA A., TAKEMASA T., HATTA H., 2011. *Effect of training and detraining on monocarboxylate transporter (MCT) 1 and MCT4 in Thoroughbred horses*. Exp. Physiol. 96, 348-355.

KORMAN P., STRABURZYŃSKA-LUPA A., KUSY K., KANTANISTA A., ZIELIŃSKI J., 2016a. *Changes in body surface temperature during speed endurance work-out in highly-trained male sprinters*. Infrared Phys. Techn. 78, 209-213.

KORMAN P., ZIELIŃSKI J., KUSY K., STRABURZYŃSKA-LUPA A., 2016b. *Possible uses of infrared thermography in sport*. Trends Sport Sci. 2, 57-62.

KRASIŃSKA B., ZIELIŃSKI J., KRASIŃSKI Z., KUSY K., TYKARSKI A., 2008. *Wpływ wieloletniego treningu na strukturę i funkcję mięśnia sercowego sportowców weteranów w porównaniu z efektami długotrwającego nadciśnienia tętniczego – ocena echokardiograficzna*. Nadciśnienie Tętnicze 12, 87-93.

KRÓL-ZIELIŃSKA M., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2015. *The personality of highly trained athletes in view of the Big Five model*. Antropomotoryka J. Kinesiol. Exerc. Sci. 72, 29-34.

KUSY K., ZIELIŃSKI J., 2014a. *Aerobic capacity in speed-power athletes aged 20-90 years vs endurance runners*. Scand. J. Med. Sci. Sports 24, 68-79.

KUSY K., ZIELIŃSKI J., 2014b. *Ageing, aerobic capacity and insulin sensitivity in masters athletes: endurance and speed-power training benefits*. Trends Sport Sci. 2, 73-84.

KUSY K., ZIELIŃSKI J., 2015. *Sprinters versus long-distance runners: how to grow old healthy*. Exerc. Sport Sci. Rev. 43, 57-64.

KUSY K., ZIELIŃSKI J., 2017. *Diagnostyka w sporcie. Podręcznik nowoczesnego trenera.* Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego, Poznań.

KUSY K., KRÓL-ZIELIŃSKA M., DOMASZEWSKA K., KRYŚCIAK J., PODGÓRSKI T., ZIELIŃSKI J., 2012a. *Gas exchange threshold in male speed-power vs endurance athletes ages 20-90 years*. Med. Sci. Sports Exerc. 44, 2415-2422.

KUSY K., STANIEWSKA A., ZIELIŃSKI J., 2012b. *Attitudes of physical education students towards masters athletes*. Studies in Physical Culture and Tourism 19, 30-36.

KUSY K., ZIELIŃSKI J., PILACZYŃSKA-SZCZEŚNIAK Ł., 2013. *Insulin sensitivity and β-cell function by HOMA2 model in sprint-trained athletes vs endurance runners and untrained participants aged 20-90 years*. J. Sports Sci. 31, 1656-1664.

KUSY K., ZARĘBSKA E., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., JANOWSKI M., ZIELIŃSKI J., 2015. *Cardiorespiratory response and energy system contribution during speed endurance workout in a highly trained sprinter: A preliminary report*. Antropomotoryka. J. Kinesiol. Exerc. Sci. 70, 27-36.

LINDSTEDT S., HOKANSON J., WELLS D., SWAIN SD., HOPPELER H., NAVARRO V., 1991. *Running energetics in the pronghorn antelope*. Nature 353, 748-750.

LIPOŃSKI W., 2000. *Olimpizm dla każdego*. Wyd. Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu.

LONGO U. G., RITTWEGER J., GARAU G., RADONIC B., GUTWASSER C., GILLIVER S. F., KUSY K., ZIELIŃSKI J., FELSENBERG D., MAFFULLI N., 2009. *No influence of age, gender, weight, height, and impact profile in Achilles tendinopathy in master track and field athletes.* Am. J. Sports Med. 37, 1400-1405.

LONGO U. G., RITTWEGER J., GARAU G., RADONIC B., GUTWASSER C., GILLIVER S. F., KUSY K. ZIELIŃSKI J., FELSENBERG D., MAFFULLI N., 2011. *Patellar tendinopathy in master track and field athletes: influence of impact profile, weight, height, age and gender*. Knee Surg. Sports Traum. Arthr. 19, 508-512.

LOUREIRO L. L., FONSECA S. JR, CASTRO N. G., DOS PASSOS R. B., PORTO C. P., PIERUCCI A. P., 2015. *Basal metabolic rate of adolescent modern pentathlon athletes: agreement between indirect calorimetry and predictive equations and the correlation with body parameters*. PLoS One 10, doi.org/10.1371/journal.pone.0142859.

MARGARIA R., AGHEMO P., ROVELLI E., 1966. *Measurement of muscular power (anaerobic) in man*. J. Appl. Physiol. 21, 1662-1664.

MARTIN A. D., 1984. *An antomical basis for assessing human body composition: Evidence from 25 dissections*. Praca doktorska. Department of Kinesiology. Simon Fraser University, https://core.ac.uk/download/pdf/56370706.pdf.

MARTÍN-MATILLAS M., VALADÉS D., HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ E., OLEA-SERRANO F., SJÖSTRÖM M., DELGADO-FERNÁNDEZ M., ORTEGA F., 2014. *Anthropometric, body composition and somatotype characteristics of elite female volleyball players from the highest Spanish league*. J. Sports Sci. 32, 137-148.

MASON A., KOROSTYNSKA O., LOUIS J., CORDOVA-LOPEZ L. E., ABDULLAH B., GREENE J., CONNELL R., HOPKINS J., 2018. *Noninvasive in-situ measurement of blood lactate using microwave sensors*. IEEE T. Bio-Med. Eng. 65, 698-705.

MELLO F. C., BERTUZZI R. C., GRANGEIRO P. M., FRANCHINI E., 2009. *Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water*. Eur. J. Appl. Physiol. 107, 615-619.

MILANESE C., CAVEDON V., CORRADINI G., DE VITA F., ZANCANARO C., 2015. *Seasonal DXA-measured body composition changes in professional male soccer players*. J. Sports Sci. 33, 1219-1228.

NOAKES T. D., 2012. *Waterlogged: The serious problem of overhydration in endurance sports*. Human Kinetics, Champaign IL (USA).

NOWAK A., STRABURZYŃSKA-LUPA A., KUSY K., ZIELIŃSKI J., FELSENBERG D., RITTWEGER J., KAROLKIEWICZ J., STRABURZYŃSKA-MIGAJ E., PILACZYŃSKA-SZCZEŚNIAK Ł., 2010. *Bone mineral density and bone turnover in male masters athletes aged 40-64.* Aging Male 13, 133-141.

OLDS T., 2014. *Animal vs human. How does the fitness of humans compare with other animals?* Australasian Sci., http://www.australasianscience.com.au/article/issue-december-2014/animal-vs-human.html.

OSIŃSKI W., 2003. *Antropomotoryka*. Wydawnictwa Akademii Wychowani Fizycznego w Poznaniu.

PIOTROWSKI L., URBANIAK M., JĘDRZEJCZAK B., MARCINEK A., GĘBICKI J., 2016. *Note: Flow mediated skin fluorescence − A novel technique for evaluation of cutaneous microcirculation.* Rev. Sci. Instrum. 87, doi.org/10.1063/1.4945044.

POSPIESZNA B., KUSY K., SŁOMIŃSKA E. M., DUDZINSKA W., CIEKOT-SOŁTYSIAK M., ZIELIŃSKI J., 2020. *The effect of training on erythrocyte energy status and plasma purine metabolites in athletes.* Metabolites 10, doi.org/10.3390/metabo10010005.

PROCTOR D., JOYNER M., 1997. *Skeletal muscle mass and the reduction of VO2max in trained older subjects*. J. Appl. Physiol. 82, 1411-1415.

RODZIEWICZ E., KRÓL-ZIELIŃSKA M., ZIELIŃSKI J., KUSY K., ZIEMANN E., 2020. *Plasma concentration of irisin and brain-derived-neurotrophic factor and their association with the level of erythrocyte adenine nucleotides in response to long-term endurance training at rest and after a single bout of exercise*. Front. Physiol. 11, doi.org/10.3389/fphys.2020.00923.

ROELOFS E. J., SMITH-RYAN A .E., MELVIN M. N., WINGFIELD H. L., TREXLER E .T., WALKER N., 2015. *Muscle size, quality, and body composition: characteristics of division I cross-country runners*. J. Strength Cond. Res. 29, 290-296.

RØNNESTAD B. R, HANSEN J., STENSLØKKEN L., JOYNER M. J., LUNDBY C., 2019. *Case studies in physiology: Temporal changes in determinants of aerobic performance in individual going from alpine skier to world junior champion time trial cyclist*. J. Appl. Physiol. 127, 306-311.

SANTOS D. A., DAWSON J. A., MATIAS C. N., ROCHA P. M., MINDERICO C. S., ALLISON D. B., SARDINHA L. B., SILVA A. M., 2014. *Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes*. PloS One 9, doi.org/10.1371/journal.pone.0097846.

SCHNABEL G., HARRE D., BORDE A., 1998. *Trainingwissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf*. Sportverlag, Berlin.

SHARP N. C. C., 1997. *Timed running speed of a cheetah (Acinonyx jubatus).* J. Zool. 241, 493-494.

SHVARTZ E., REIBOLD R. C., 1990. *Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: a review.* Aviat. Space Environ. Med. 61, 3-11.

SIBRECHT G., BUGAJ O., FILBEREK P., NIZIŃSKI J., KUSY K., ZIELIŃSKI J., GUZIK P., 2017. *Flow-Mediated Skin Fluorescence method for non-invasive measurement of the NADH at 460 nm – A possibility to assess the mitochondrial function.* Adv. Cell Biol. 44, 333-352.

SIEMIŃSKA L., 2007. *Tkanka tłuszczowa. Patofizjologia, rozmieszczenie, różnice płciowe oraz znaczenie w procesach zapalnych i nowotworowych.* Polish J. Endocr. 58, 330-342.

SOZAŃSKI H., 1993. *Podstawy teorii treningu.* Resortowe Centrum Metodyczno-Szkoleniowe Kultury Fizycznej i Sportu, Warszawa.

SUAREZ R. K., 1998. *Oxygen and the upper limits to animal design and performance.* J. Exp. Biol. 201, 1065-1072.

SUAREZ R. K., DARVEAU C., WELCH K. C., O'BRIEN D., ROUBIK D., HOCHACHKA P., 2005. *Energy metabolism in orchid bee flight muscles: carbohydrate fuels all.* J. Exp. Biol. 208, 3573-3579.

SZOPA J., MLECZKO E., ŻAK S., 1996. *Podstawy antropomotoryki.* Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa-Kraków.

TARNAS J., SCHAFFERT N., ELEGAŃCZYK-KOT H., KOSTAŃSKI L., STEMPLEWSKI R., 2020. *Intra- and inter-device reliability of the change-of-direction angles using a smartphone application for sailing.* Int. J. Environ. Res. Public Health. 17, doi.org/10.3390/ijerph17103494.

TERZIS G., KYRIAZIS T., KARAMPATSOS G., GEORGIADIS G., 2012. *Muscle strength, body composition, and performance of an elite shot-putter.* Int. J. Sports Physiol. Perform. 7, 394-396.

THOMPSON J., MANORE M. M., 1996. *Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes.* J. Am. Diet. Assoc. 96, 30-34.

TRINSCHEK J., ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2020. *Maximal oxygen uptake adjusted for skeletal muscle mass in competitive speed-power and endurance male athletes: Changes in a one-year training cycle.* Int. J. Environ. Res. Public Health 17, doi.org/10.3390/ijerph17176226.

VAN MARKEN LICHTENBELT W .D., WESTERTERP K. R., WOUTERS L., 1994. *Deuterium dilution as a method for determining total body water: effect of test protocol and sampling time.* British J. Nutr. 72, 491-497.

VENKATA Y., SURYA M. V. L., SUDHAKAR S., BALAKRISHNA N., 2004a. *Variations in basal metabolic rate with incremental training load in athletes.* J. Exerc. Physiol. 7, 26-33.

VENKATA Y., SURYA M. V. L., SUDHAKAR S., NAGALLA B., 2004b. *Effect of changes in body composition profile on VO_2max and maximal work performance in athletes.* J. Exerc. Physiol. 7, 34-39.

WARD S., BISHOP C. M., WOAKES A. J., BUTLER P. J., 2002. *Heart rate and the rate of oxygen consumption of flying and walking barnacle geese (Branta leucopsis) and bar-headed geese (Anser indicus).* J. Exp. Biol. 205, 3347-3356.

WAŻNY Z., 1977. *Trening siły mięśniowej.* Sport i Turystyka, Warszawa.

WHITE A. D., MACFARLANE N., 2013. *Time-on-pitch or full-game GPS analysis procedures for elite field hockey?* Int. J. Sports Physiol. Perform. 8, 549-555.

WŁODARCZYK M. P., KUSY K., SŁOMIŃSKA E. M., KRASIŃSKI Z., ZIELIŃSKI J., 2019. *Changes in blood concentration of adenosine triphosphate metabolism biomarkers during incremental exercise in highly-trained athletes of different sport specializations.* J. Strength Cond. Res. 33, 1192-1200.

WŁODARCZYK M., KANTANISTA A., KUSY K., ZIELIŃSKI J., POSPIESZNA B., 2020a. *Practical analysis of the metabolic response to a resistance training session in male and female sprinters.* Trends Sport Sci. 27, 35-39.

WŁODARCZYK M., KUSY K., SŁOMIŃSKA E. M., KRASIŃSKI Z., ZIELIŃSKI J., 2020b. *Change in lactate, ammonia, and hypoxanthine concentrations in a 1-year training cycle in highly trained athletes: Applying biomarkers as tools to assess training status.* J. Strength Cond. Res. 34, 355-364.

YAMAUCHI T., ABE, T., MIDORIKAWA T., KONDO M., 2004. *Body composition and resting metabolic rate of Japanese college Sumo wrestlers and non-athlete students: Are Sumo wrestlers obese?* Anthropol. Sci. 112, 179-185.

ZARĘBSKA E. A., KUSY K., SŁOMIŃSKA E. M., KRUSZYNA Ł., ZIELIŃSKI J., 2018. *Plasma nucelotide dynamics during exercise and recovery in highly trained athletes and recreationally active individuals.* BioMed Res. Int., doi.org/10.1155/2018/4081802.

ZARĘBSKA E. A., KUSY K., SŁOMIŃSKA E. M., KRUSZYNA Ł., ZIELIŃSKI J., 2019. *Alterations in exercise-induced plasma adenosine triphosphate concentration in highly trained athletes in a one-year training cycle.* Metabolites 9, doi.org/0.3390/metabo9100230.

ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2012. *Training-induced changes in purine metabolism in high-level sprinters vs triathletes.* J. Appl. Physiol. 112, 542-551.

ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2015a. *Hypoxanthine: A universal metabolic indicator of the training status in competitive sport.* Exerc. Sport Sci. Rev. 43, 214-221.

ZIELIŃSKI J., KUSY K., 2015b. *Pathways of purine metabolism: effects of exercise and training in competitive athletes.* Trends Sport Sci. 3, 103-112.

ZIELIŃSKI J., RYCHLEWSKI T., KUSY K., DOMASZEWSKA K., LAURENTOWSKA M., 2009. *The effect of endurance training on changes in purine metabolism: A longitudinal study of competitive long distance runners.* Eur. J. Appl. Physiol. 106, 867-876.

ZIELIŃSKI J., KUSY K., RYCHLEWSKI T., 2011. *Effect of training load structure on purine metabolism in middle-distance runners.* Med. Sci. Sports Exerc. 43, 1798-1807.

ZIELIŃSKI J., KRASIŃSKA B., KUSY K., 2013a. *Hypoxanthine as a predictor of performance in highly trained athletes.* Int. J. Sports Med. 34, 1079-1086.

ZIELIŃSKI J., KUSY K., SŁOMIŃSKA E., 2013b. *Alterations in purine metabolism in middle-aged elite, amateur and recreational runners across a one-year training cycle.* Eur. J. Appl. Physiol. 113, 763-773.

ZIELIŃSKI J., SŁOMIŃSKA E. M., KRÓL-ZIELIŃSKA M., KRASIŃSKI Z., KUSY K., 2019. *Purine metabolism in sprint- vs endurance-trained athletes aged 20-90 years.* Sci. Rep. 9, doi.org/10.1038/s41598-019-48633-z.

KOSMOS Vol. 69, 4, 717–737, 2020

Krzysztof Kusy, Jacek Zieliński

Human Movement Laboratory LaBthletics, Department of Athletics, Strength and Conditioning, Poznan University of Physical Education, 27/39 Królowej Jadwigi Str., 61-871 Poznań, E-mail: kusy@awf.poznan.pl, jacekzielinski@wp.pl

BETWEEN SPORTS FIELD AND LABORATORY. DIAGNOSING TRAINING STATUS OF THE CONTEMPORARY PROFESSIONAL ATHLETE

Summary

Sport diagnostics is not only an obligatory medical examination, but primarily a specific tool to manage the training process, to recognize the response to single exercise, training sessions and cycles. The aim of the article is to familiarize the reader with the canons of modern methods, useful in controlling the training state of professional athletes, planning the training process and assessing its effects. Based on many years of research cooperation with high-class coaches and players, the authors discuss important areas of diagnostic activities in competitive sports. These are medical prevention, psychological, somatic and performance profile, standard reference methods used in stationary laboratories, mobile measurements during training and competition, periodization of diagnostic activities, and the phenomenon of masters sport. Finally, the main trends and factors for the development of sports diagnostics are outlined, which are the use of the latest technological achievements, miniaturization of measuring equipment, the growing importance of diagnostics in training and sports combat, and artificial intelligence, currently analyzing and interpreting data, and in the future capable of taking over most of the tasks and human trainer diagnostic decisions.

Key words: aerobic and anaerobic capacity, body composition, exercise metabolism, measurement methods, physical fitness, resting metabolic rate

Krzysztof Kusy – absolwent Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu, gdzie uzyskał stopnie doktora i doktora habilitowanego w dziedzinie nauk o kulturze fizycznej, dyplomowany nauczyciel, trener lekkiej atletyki, instruktor gimnastyki sportowej i kajakarstwa. Jest współautorem kilkudziesięciu publikacji naukowych indeksowanych w bazie Web of Science. Zarządzał dwoma grantami badawczymi dotyczącymi optymalizacji procesu treningowego i wpływu treningu na stężenie wolnych aminokwasów w osoczu. W latach 2015-2018 członek Komitetu Rehabilitacji, Kultury Fizycznej i Integracji Społecznej PAN. Obecnie kieruje Szkołą Doktorską oraz Zakładem Lekkiej Atletyki i Przygotowania Motorycznego AWF Poznań. Jest też członkiem rady naukowej Instytutu Sportu w Warszawie.

Jacek Zieliński – absolwent Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu, gdzie uzyskał stopnie doktora i doktora habilitowanego w dziedzinie nauk o kulturze fizycznej, dyplomowany nauczyciel, trener tenisa i lekkiej atletyki, instruktor narciarstwa. Jest współautorem kilkudziesięciu publikacji naukowych indeksowanych w bazie Web of Science. Kierował trzema grantami badawczymi dotyczącymi wspomagania treningu szybkościowego oraz metabolizmu nukleotydów i oceny krążenia mikronaczyniowego pod wpływem treningu. Obecnie pełni funkcję prorektora ds. studiów AWF w Poznaniu i jest członkiem rady naukowej Instytutu Sportu w Warszawie.