

Ćwiczenie plyometryczne opiera się na pracy mięśnia w cyklu rozciągnięcie-skurcz, czyli praktycznie na zmianie kierunku ruchu ciała oraz skróceniu czasu tej zmiany.

**Tadeusz Bober, Alicja Rutkowska-Kucharska,
Bogdan Pietraszewski**

Ćwiczenia plyometryczne – charakterystyka biomechaniczna, wskaźniki, zastosowania

Artykuł omawia obszernie zagadnienia wiążące się z teoretycznymi podstawami treningu plyometrycznego. Ukazuje neurofizjologiczne podłoże wzorca, na którym oparte są stosowane w nim ćwiczenia, jego biomechaniczną charakterystykę, kryteria służące ocenie tzw. siły eksplozywnej zawodnika oraz sposoby służące właściwemu doborowi wielkości obciążenia w typowym ćwiczeniu, jakim jest skok po zeskoku (*drop jump*). Omawiane zagadnienia są bogato ilustrowane materiałem eksperymen-tów i badań diagnostycznych zawodników różnych grup oraz wskazówkami co do sposobu wykonywania ćwiczeń i warunków, w jakich są najbardziej efektywne.

SŁOWA KLUCZOWE: praca mięśnia w cyklu rozciągnięcie-skurcz – ćwiczenie plyometryczne – siła eksplozywna (wskaźniki)
– sposoby doboru obciążeń

1. Wstęp

Pojęcie *plyometric* łatwiej objaśnić rozkładając je na dwa człony: *plio* (lub *pleio*) – *więcej* oraz *metric* – *dlugość*. Rzecz dotyczy mięśnia, ale *więcej długości* nie oznacza zmiany jego struktury biologicznej, lecz **rozciągnięcie czynnościowe**. Inaczej mówiąc – czynność ekscentryczna, ustępująca, wydłużenie mięśnia następuje pod wpływem siły (momentu siły) zewnętrznej. Taki stan czynnościowy mięśnia przejawia się zwiększeniem jego sztywności i akumulacją własności sprężystych (dotyczy bardziej struktury ścięgnistej niż kurczliwej). Drugim przejawem, o charakterze centralnym, czyli **nerwowym**, jest możliwość wykorzystania odruchu na rozciąganie tzw. *stretch reflex*.

Dzięki temu efekt działania mięśnia w następującej po rozciągnięciu fazie jego skracania się jest większy. Przejawia się on w postaci większej siły, większej prędkości czy mocy. Należy dodać, że cykl *rozciągnięcie-skurcz* jest sekwencją działania mięśnia w naturalnych ruchach człowieka.

2. Działanie ekscentryczne mięśnia a technika sportowa

Plyometric, utożsamiamy z działaniem ekscentrycznym, które stanowi pierwszą fazę cyklu *rozciągnięcie-skurcz*. Taka postać działania mięśni występuje i ma znaczenie w niektórych elementach techniki sportowej. Na przykład odbicie skoczka będzie skuteczniejsze, jeżeli

poprzedzi je ugięcie kolana. Piłkarz silniej kopnie piłkę, poprzedzając ten ruch cofnięciem nogi, czyli rozciągnięciem zginaczy stawu biodrowego. Dyskobol uzyska lepszy wynik, gdy ruch końcowy ręki poprzedzi ruchem biodra i barku w przód, rozciągając w ten sposób mięsień piersiowy większy itp. O roli zamachu i wykorzystaniu energii sprężystej i odruchu na rozciąganie w technice sportowej można przeczytać w odpowiednich opracowaniach (patrz „Sport Wyczynowy” 1995, nr 1-2).

3. Działanie ekscentryczne mięśnia a ćwiczenia plyometryczne

W **ćwiczeniu plyometrycznym**, opartym na pracy mięśnia w cyklu *rozciągnięcie-skurcz*, chodzi o zwiększenie zdolności mięśnia do szybkiego wyzwolania siły, potocznie zwanej *siłą eksplozywną* (*force rate*). Między rozciągnięciem a skurczem mięśnia upływa pewien czas. Jego ograniczenie i szybka zmiana kierunku ruchu na przeciwny decydują o **ćwiczeniu plyometrycznym** (23). Wydłużenie czasu powoduje, że obniża się zdolność odzyskania, zakumulowanej w mięśniu w fazie jego rozciągnięcia, **energii sprężystej** (26). Można zatem powiedzieć, że celem **treningu plyometrycznego** jest kształtowanie zdolności mięśni do wyzwolania dużej siły w krótkim czasie (*force rate*) lub mocy, czyli dużej pracy w krótkim czasie (27, 23). Typowym ćwiczeniem plyometrycznym jest **skok po zeskoku z pewnej wysokości**, tzw. *drop jump* (*DJ*). Aby uzyskać

Tabela 1.

Czasy wykonania faz podporowych (bieg, skok) lub końcowego odbicia, wyrzutu (oszczep, młot, kula) przez bardzo dobrych zawodników.

Czas [s]	Konkurencja (autor)
0,08-0,10	bieg sprinterski, mężczyźni (Zatsiorsky i Kraemer, 2006)
0,11-0,12	skok w dal (Zatsiorsky i Kraemer, 2006)
0,108	bieg sprinterski, kobiety (Mero i Komi, 1985)
0,11-0,12	odbicie z rąk w skoku przez konia (Bruggemann, 1995)
0,12	rzut oszczepem (Bartonietz, 2000)
0,13	salto z rozbiegu (Bruggeman, 1995)
0,14-0,18	skok wzwyż, kobiety (Dapena, 2000)
0,15-0,23	skok wzwyż, mężczyźni (Dapena, 2000)
0,17	łyżwiarstwo figurowe (King, 2000)
0,18-0,22	rzut młotem (Bartonietz, 2000)
0,22-0,27	pchnięcie kulą (Lanka, 2000)
0,25-0,3	skoki narciarskie (Komi i Virmavirta, 2000)

efekt treningowy, należy tak wykonać ćwiczenie, by od rozciągnięcia do skurczu mięśnia upływ czasu był odpowiednio krótki.¹

Istnieje wiele dyscyplin i konkurencji sportowych, których zadania ruchowe (elementy techniki ruchu) wymagają od zawodnika **siły eksplozywnej** (tabela 1).

4. Krótkie spojrzenie wstecz

Czy ćwiczenia plyometryczne są rzeczywiście nową jakością w treningu siłowo-szybkościowym mięśni? W „Małej

encyklopedii sportu”, wydanej w 1984 roku, nie ma hasła „*plyometrics*”. Ale czy 40 i 60 lat temu nie wykonywano *skoków w głąb, zeskoków ze skarpy na piasek*, wymagających amortyzacji? Oczywiście, że były one znane i zawierały element wymuszenia na mięśniu działania ekscentrycznego. **Wierchośzański** w latach 60. ubiegłego wieku wprowadził pewną modyfikację: po zeskoku w głąb na sztywną powierzchnię polecał zawodnikowi natychmiast się odbić w górę. Chodziło o ograniczenie czasu amortyzacji i wielkości rozciągnięcia mięśni, by je natychmiast zmobilizować do skurczu. Badania nad charakterem czynności mięśni, ich właściwościami sprężystymi i rolą procesów nerwo-

¹Więcej patrz: Trzaskoma Z., Trzaskoma Ł.: *Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej sportowców*. Warszawa 2001. COS. Biblioteka Trenera.

wych szerzej wyjaśniają charakter działania mięśni w cyklu rozciągnięcie-skurcz. Specyfika pracy ekscentrycznej mięśnia, pozwalająca na gromadzenie energii sprężystości i stwarzająca warunki dla jej wykorzystania, oraz zjawisko odruchu na rozciąganie dają zwrotnie efekt w postaci szybkiego skurczu. Jak się okazało, można je wykorzystać do rozwoju zdolności mięśni do generowania siły eksplozywnej.

W jakim zakresie może być stosowany **trening plyometryczny**? Jak badać aktualny poziom siły eksplozywnej zawodnika? Jak dobrać obciążenie dla danego zawodnika – jego poziomu motorycznego? Komu ten rodzaj treningu jest potrzebny, tzn. w jakich dyscyplinach, konkurencjach sportowych?

Obiektywne testowanie zawodnika oraz dobór jednostkowego obciążenia możliwe są do wykonania przy użyciu pewnych **kryteriów**. Takie informacje są niezbędne dla planowania treningu plyometrycznego.

5. Ćwiczenia plyometryczne – obciążenia, przeciążenia

Przypomnijmy, typowym ćwiczeniem plyometrycznym jest *skok z pewnej wysokości, po którym następuje szybkie, maksymalne odbicie w górę*. To ćwiczenie angażuje w pierwszym rzędzie mięśnie prostowniki nóg, ale jego ideę można zastosować do różnych grup mięśni. Można je wykonywać, na przykład, odrzucając (odpychając) przed siebie złąpaną piłkę lekarską lub rozkołyszany worek bokserski (angażowane są mię-

Tabela 2.

Przykłady zastosowanych bądź wskazanych wysokości zeskoku w skokach z naskoku.

Autor	Wysokość zeskoku [cm]
Bobert (1987a)	0,2-0,4
Zatsiorsky (2006)	0,3-0,45* 0,6-0,7**
Bober i wsp. (2001)	0,59
Bober i Piestrak (2002)	0,5
Masamoto i wsp. (2003)	0,43
McClymont (2003)	0,15; 0,3; 0,45
Miyama i Nosaka (2004)	0,6
Marković i wsp. (2005)	0,4
Bober i wsp (2006)	0,15-0,76

*dla niewytrenowanych, **dla wytrenowanych

śnie prostowniki kończyn górnych). Podobną rolę odgrywają w siadzie płaskim chwyt z pewnym odchyleniem do tyłu i wyrzut piłki znad głowy (mięśnie brzucha i inne), a także przeskoki jednonóż itp.² Cechą zasadniczą tych ćwiczeń jest **szybka zmian kierunku ruchu, czyli krótki czas przejścia z fazy rozciągnięcia do skurczu mięśnia**. Powstaje jednak pytanie: **jakie dobrać jednostkowe obciążenia, by nie narazić na przeciążenie biernego układu ruchu, a zarazem uzyskać pożądaną efekt**? Na przykład, w typowych *skokach z naskoku* takim obciążeniem może być wysokość podestu (tab. 2). Jednak o wielkości ob-

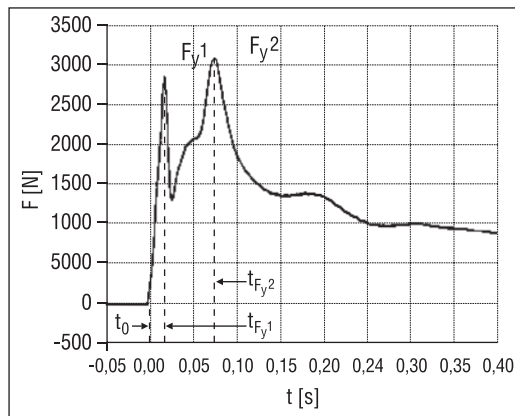
²Więcej o różnych ćwiczeniach patrz: Radcliffe J. C., Farentinos R. C.: *High-Powered Plyometrics*. Human Kinetics 1999.

ciążenia decyduje nie tylko wysokość spadania, lecz także **sposób lądowania i amortyzacji**. Dobór wysokości podestu do skoku musi uwzględniać aktualny potencjał wytrenowania zawodnika, by nie dopuścić do przeciążeń i urazów (7, 22).

Podczas zeskoków (bez odbicia w górę) z wysokości 59 cm porównywano zeskoki z tzw. *miękkim i twardym lądowaniem*. W takich próbach obserwuje się dwa piki siły reakcji podłoża, występujące po około 0,015 s – pierwszy i po 0,05 s – drugi. Wartości chwilowej maksymalnej siły reakcji podłoża przy miękkim lądowaniu w drugim pikie wynosiły ponad 3400 N, a w twardym lądowaniu ponad 5500 N (ryc. 1). Wyniki te dotyczyły koszykarek o masie ciała 80-90 kg, co przeliczone na wartości względne stanowiło 6-7-krotność ciężaru ich ciała. Wielkie napięcie mięśni powoduje wzrost ich sztywności. Jeśli przeliczymy zakres zmian kątowych w stawie kolanowym na jednostkę siły (zamiast zmiany długości mięśnia na jednostkę siły), uzyskuje się przybliżony **wskaźnik sztywności**, który przy lądowaniu miękkim wynosi ponad 2400 N/rad, a podczas lądowania twardego ponad 5100 N/rad (4).

Złagodzenie **szoku obciążenia dynamicznego** podczas lądowania można osiągnąć wykorzystując następujące czynniki:

- właściwości materiału (podłoża), na którym się ląduje,
- jakość obuwia,
- właściwości tłumiące układu ruchu człowieka, głównie stawów stopy i ko-



Ryc. 1. Zapis siły reakcji podłoża podczas lądowania miękkiego, czyli z amortyzacją (koszykarka, masa ciała około 90 kg).

łana (u osób cierpiących na bóle kręgosłupa te właściwości często maleją),

- techniki lądowania.

Stosując technikę „miękkiego” lądowania, kiedy skoordynowane są ruchy zginania podszwowego stopy i zginania kolana, wielkość sił dynamicznych można zmniejszyć. **Zatsiorsky i Kramer** (27) szacują, że podczas „miękkiego” lądowania u doświadczonego zawodnika tylko 0,5% energii kinetycznej ciała działa na odkształcenie tkanek (kości, chrząstek, kręgosłupa), natomiast podczas lądowania sztywnego energia deformacji sięga 75% energii mechanicznej ciała. Różnica jest 150-krotna ($75/0,5 = 150$). Autorzy ci zwracają uwagę, że ćwiczenia plyometryczne, obok obciążenia mięśni, powodują również silne ściskanie części biernych, np. kręgosłupa. Krążki międzykręgowe są narażone na uderzenia i obciążenia statyczne. Te ostatnie występują nie tylko podczas utrzymywania

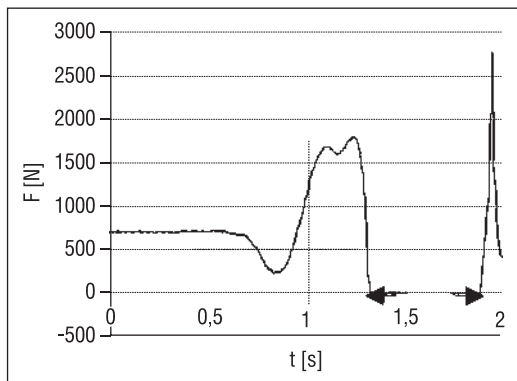
nia określonej postawy, ale również podczas wykonywania względnie powolnych ruchów. Natomiast lądowanie po ewolucji gimnastycznej oraz skoki i biegi powodują, że ciało jest poddane obciążeniom dynamicznym, które rozprzestrzeniają się falą na kręgosłup. Obciążenie dynamiczne można oszacować pod względem wielkości i przyspieszeń na różnych częściach ciała. Podczas zwykłego chodu różnica przyspieszeń między okolicą miednicy a głową sięga 0,5 do 1,0 g. Kręgosłup musi wytlumić, pochłonąć tę wielkość w każdym kroku. Z badań skoczków narciarskich dowiadujemy się, że przy skokach na odległość 50 metrów przyspieszenie w okolicy miednicy w chwili lądowania przewyższało 10 g, a w tym samym czasie ciśnienie wewnętrzbrzuszne sięgało 90 mm Hg. Obciążenie kręgosłupa zmniejsza się, gdy skoczek wykonuje głęboki przysiad (około 40 cm), a wzrasta, gdy lądowanie odbywa się na wyprostowane nogi. Obciążenie wzrasta proporcjonalnie do sinusa kąta między wektorem prędkości i nachyleniem zeskoku, a maleje wraz z wydłużeniem czasu lądowania. Te przykłady ukazują, jak wielkiemu obciążeniu poddany jest kręgosłup skoczka podczas lądowania. Podczas ćwiczeń plyometrycznych nie amortyzuje się owego spadania. Istotne jest szybkie przejście do odbicia, a miarą wysokości skoku (10). Możliwie szybkie przejście z działania ekscentrycznego do koncentrycznego jest istotne dla wykorzystania energii sprężystości mięśni (13).

6. Skoki pionowe jako test i wskaźnik obciążenia

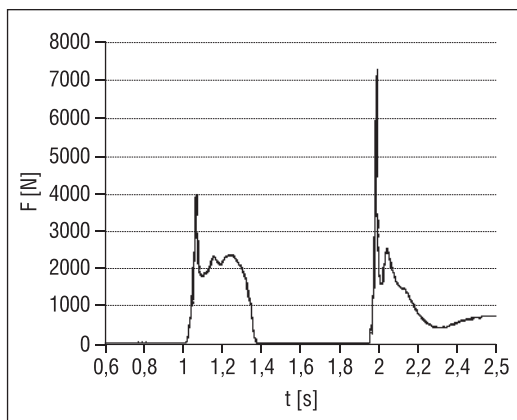
Ćwiczenia plyometryczne można stosować wobec różnych grup mięśni, ale najbardziej popularne dotyczą kończyn dolnych. Przyjęły one formę skoków w górę po zeskoku z podestów o różnej wysokości. **Wysokość pionowego skoku z miejsca i z zamachem** jest często uznawana za jeden z elementów wskaźnika **potencjału motorycznego**, a bezpośrednio służy za miarę **skoczności** (25). Istnieją przesłanki, by wyniki uzyskane w skokach pionowych stanowiły wskaźniki doboru obciążenia w treningu plyometrycznym. Opierają się one na za-



Ryc. 2. Stanowisko do badań skoków po zeskoku z podestów o różnych wysokościach (DJ).



Ryc. 3. Przebieg siły reakcji podłoża w funkcji czasu w skoku z zamachem z miejsca. Skok CMJ.



Ryc. 4. Przebieg siły reakcji podłoża (lądowania i odbicia) w skoku po zeskoku z podestu. Skok DJ.

łożeniu, że **wielkość obciążenia mięśni jest funkcją wysokości skoku.**

Rozróżnia się **skoki z miejsca w górę bez zamachu**, w terminologii anglojęzycznej *SJ (squat jump)*, **skoki w górę z miejsca poprzedzone szybkim ugięciem nóg i zamachem CMJ (counter movement jump)** oraz **skoki w górę po zeskoku z pewnej wysokości DJ (drop jump)** (ryc. 2). Wykonanie takich sko-

ków na platformie dynamometrycznej pozwala ocenić ich efektywność wielkością przyrostu pędu jako iloczynu masy m i prędkości ($vk - vp$), zależnego od popędu siły (odbicia). Wymaga to pomiaru przebiegu siły reakcji podłoża (odbicia i lądowania) lub czasu lotu (t_{lotu}). W skokach *DJ*, których wyniki mogłyby służyć jako test oceny poziomu siły eksplozywnej i wskaźnik obciążenia, istotny jest pomiar czasu kontaktu stóp z podłożem, obejmujący lądowanie-amortyzację i odbicie. Ryciny 3 i 4 przedstawiają przebieg siły reakcji podłoża w trakcie skoków *CMJ* i *DJ*.

7. Skoki jako test siły eksplozywnej

Skok z zamachem (CMJ)

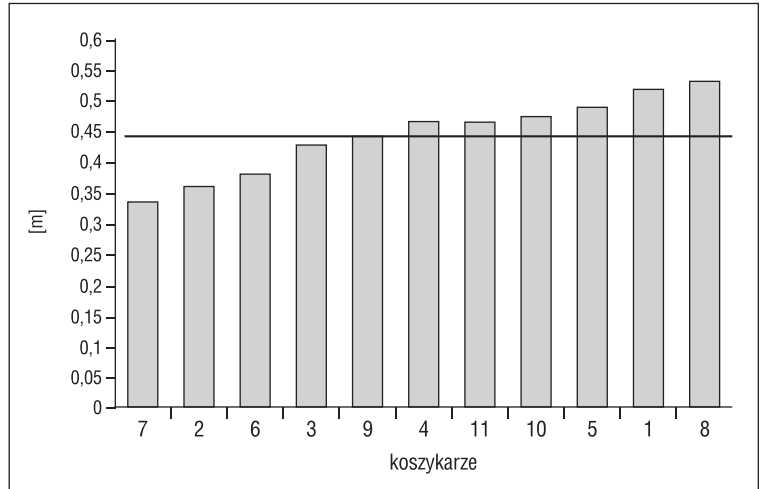
Można przyjąć, że wynik skoku z miejsca z zamachem *CMJ* świadczy o potencjale motorycznym zawodnika, a ściślej, według *Trzaskomy i Trzaskomy (25)*, o potencjale tzw. **skoczności**. W tym celu można posłużyć się **normami**, które ci Autorzy opracowali na podstawie badań wielu zawodników (tab. 3). Poda-

Tabela 3.

Klasyfikacja skoków *CMJ* [m] wg Trzaskomy i Trzaskomy, 2002.

Ocena	Kobiety (zawodniczki)	Mężczyźni (zawodnicy)
slaby	<0,35	<0,45
przeciętny	0,35-0,399	0,45-0,49
dobry	0,40-0,45	0,50-0,55
bardzo dobry	>0,45	>0,55

Ryc. 5. Wysokość skoków CMJ u koszykarzy z zaznaczeniem granicy jakości skoków wg Trzaskomy i Trzaskomy (25).

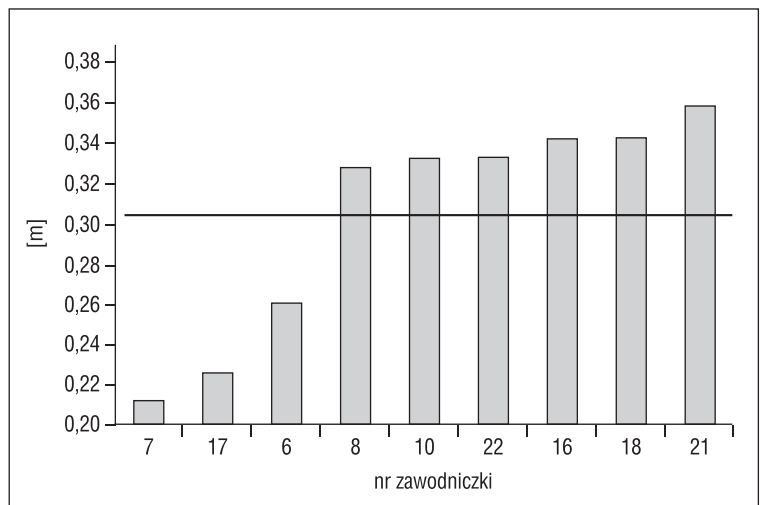


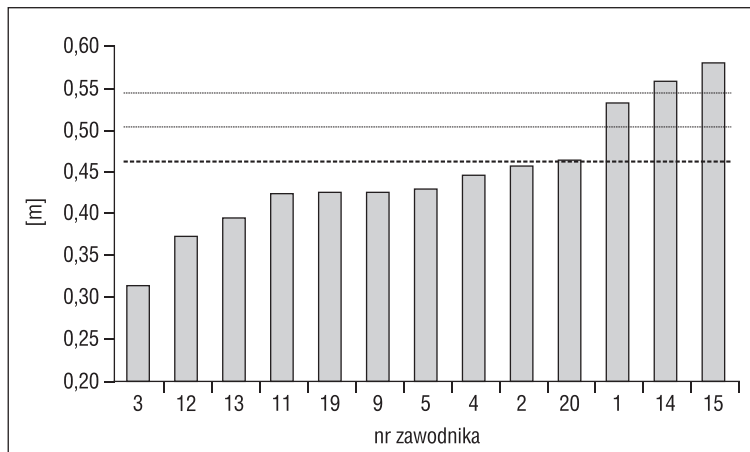
ją oni również **normy mocy względnej** (W/kg) rozwiniętej w danym skoku.

Jako przykład zastosowania skoku CMJ do oceny potencjału motorycznego przytaczamy wyniki badań koszykarzy, u których, podobnie jak u siatkarzy, skoki stanowią istotną część zasobu czynności ruchowych w grze. **Stonkus** (24) na podstawie obserwacji czołowych drużyn

świata podaje, że średnia liczba skoków wykonanych przez zawodnika w czasie meczu wynosi od 124 do 165, zależnie od pozycji, co daje od 3,1 do 4,1 skoku na minutę. Wykonywane są skoki z odbicia jednonóż w biegu oraz wyskoki z odbicia obunóż z zatrzymania. Szczególnie te drugie, skoki sytuacyjne, wykonywane w grze pod koszem, wymaga-

Ryc. 6. Ranking zawodniczek uprawiających różne dyscypliny sportu pod względem uzyskanych wysokości skoków CMJ. Linia oznacza wartość średnią.





Ryc. 7. Ranking zawodników uprawiających różne dyscypliny sportowe pod względem uzyskanych wysokości skoków CMJ. Liniami wyznaczono granice jakości skoków wg Trzaskomy i Trzaskomy (25).

ją szybkiego wykonania. Szybkie wykonanie oznacza w tym przypadku ograniczony ruch w dół (ugięcie nóg) oraz bardzo krótki czas odbicia. Jest oczywiste, że wysokość skoku często decyduje o powodzeniu akcji. W każdym wypadku, również gdy zawodnik w biegu odbija się jedną nogą, potrzebny jest zamach w postaci ugięcia nogi.

Zbadano grupę 11 zawodników III-ligowego zespołu koszykówki, których średnia wieku wynosiła 20,8 lat, wysokość ciała 179,9 cm ($S\bar{x} = 5,05$), a masa ciała 78,7 kg ($S\bar{x} = 7,25$) (6). Pod względem podstawowych parametrów somatycznych grupa ta była jednorodna, a pod względem sportowym przeciętna. Wynik średni CMJ, wynoszący 0,45 m ($S\bar{x} = 0,06$), jest na granicy zadowalającego i niedostatecznego – tylko dwóch zawodników uzyskało wynik dobry (tab. 3 i ryc. 5).

Rycina 6 przedstawia wyniki skoku CMJ zawodniczek różnych dyscyplin o średniej klasie sportowej. Średnia wyników CMJ, równa 0,303 m, lokuje je na

poziomie słabym, ale widoczne jest zróżnicowanie. Trzy najslabsze zawodniczki uprawiają kolejno: nr 7 pływanie (6 lat), nr 17 piłkę nożną (9 lat) i nr 6 pływanie (4 lata). Natomiast trzy najlepsze z wynikami zbliżonymi do klasy przeciętnej, to: nr 16 siatkarka (3 lata), nr 18 biegaczka na średnich dystansach (3 lata) i nr 21 siatkarka (9 lat). Wyniki te, ogólnie niskie, świadczą zarazem o poziomie wymagań skocznościowych w takich dyscyplinach sportu.

Następny przykład dotyczy zawodników reprezentujących różne dyscypliny sportu, uszeregowanych według uzyskanych wysokości skoków CMJ (ryc. 7). Trzech zawodników o najniższych wynikach (nr 3, 12 i 13) to: piłkarz nożny (staż 8 lat), pływak (staż 2 lata) i tenisista (staż 9 lat). Z kolei najlepsi to nr 1, 14 i 15, kolejno: bramkarz (staż 11 lat), średniodystansowiec (staż 7 lat) i siatkarka (staż 10 lat). Pozycje zawodników, biorąc pod uwagę dyscypliny sportu, układają się podobnie jak u zawodniczek.

Wynik skoku *CMJ* może służyć jako wskaźnik poziomu elementu motoryczności – skoczności. Nie powinien natomiast być uznawany jako test siły eksplozywnej. Nie stwierdzono bowiem korelacji czasu odbicia z wysokością skoku (6).

7.2. Skoki DJ jako wskaźnik oceny siły eksplozywnej

Wskaźnik McClymonta

McClymont (18) zaproponował wskaźnik siły reaktywnej (*Reactive Strength Index*), oparty na skokach *DJ*. Stanowi on iloraz wysokości skoku h i czasu kontaktu z podłożem t , który obejmuje łącznie amortyzację i odbicie. Im wyższy skok, przy krótszym czasie amortyzacji i odbicia, tym wyższa wartość wskaźnika,

$$RSI = h/t$$

$RSI \rightarrow maks.$

gdzie:

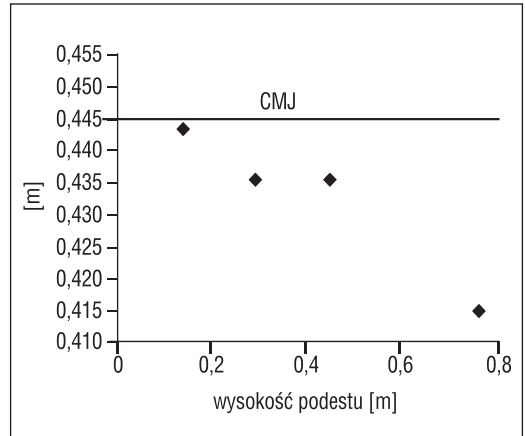
h – wysokość skoku,

t – czas kontaktu (amortyzacji i odbicia).

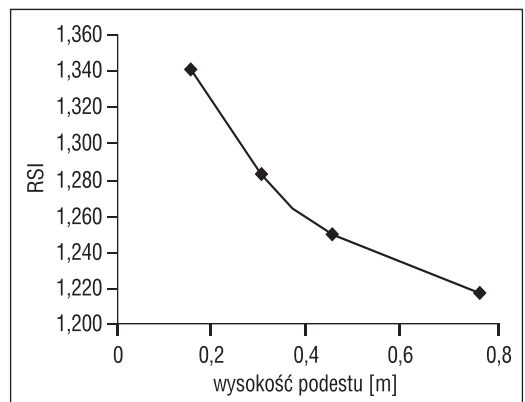
Średnie wyniki skoków wykonywanych z podestów o wysokości od 0,15 do 0,76 m uzyskane przez grupę koszykarzy przedstawia rycina 8. Wraz ze wzrostem wysokości podestu wyniki skoków pogarszają się, a wszystkie są gorsze od średniej skoku *CMJ*. Na tym tle można przyjrzeć się wskaźnikowi *RSI*, którego wartości równomiernie obniżają się z kolejną wysokością podestu (ryc. 9).

Ten wskaźnik **McClymont** (18) zastosował do oceny aktualnego poziomu

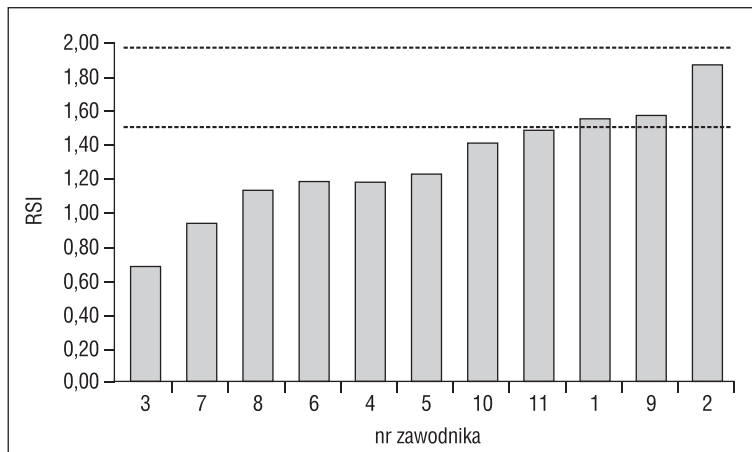
siły eksplozywnej nowozelandzkich rugbyistów. W skoku z podestu o wysokości 0,3 m kilku rugbyistów uzyskało średnią wartość $RSI=2,01$ przy czasie kontaktu $t = 0,181$ s, co zostało uznane za wynik dobry. Grupa słabsza, przy wydłużonym czasie kontaktu do 0,25 s,



Ryc. 8. Koszykarze. Średnie wysokości skoków *DJ* z podestu o różnej wysokości. Na rysunku zaznaczono również średni wynik skoku *CMJ* całej grupy.

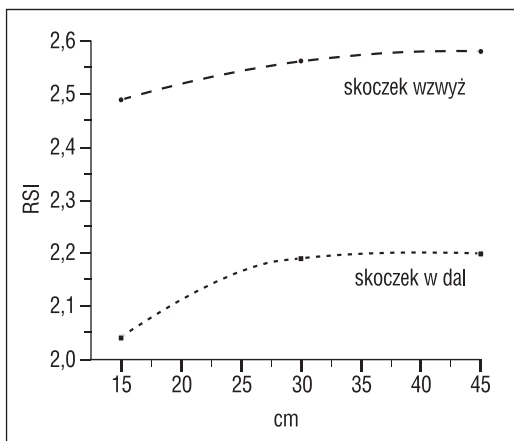


Ryc. 9. Koszykarze. Średnie wyniki *RSI* w skokach *DJ* z podestów o różnej wysokości.



Ryc. 10. Ranking koszykarzy pod względem wartości wskaźnika RSI dla skoków DJ z podestu o wysokości 0,3 m. Liniami przerywanymi zaznaczono wynik słaby i dobry rugbistów wg McClymonta (18).

miała wskaźnik $RSI = 1,58$. Zaledwie wyniki dwóch koszykarzy kwalifikowałyby ich do grupy słabej, ani jednego do grupy dobrej (ryc. 10). Wyróżnia się koszykarz nr 2, który przy słabym wyniku CMJ (ryc. 5) uzyskał względnie dobre wysokości skoków z podestów.

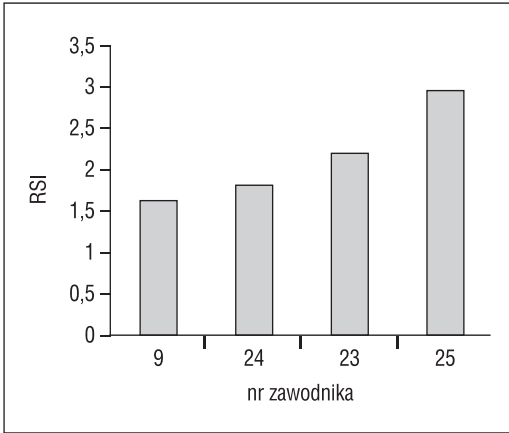


Ryc. 11. Wartość wskaźnika siły reaktywnej RSI skoczka wzwyż i w dal uzyskanych w skokach DJ po zeskoku z podestu o wysokości 15, 30 i 45 cm.

Potwierdzeniem wartości RSI jako wskaźnika oceny siły eksplozywnej mogą być wyniki dwóch lekkoatletów (ryc. 11). Świadczą one o ich dobrym (skoczek wzwyż, 2,13 m) i zadowalającym (skoczek w dal, 7,47 m) poziomie siły eksplozywnej. Przy skokach z podestu o wysokości 0,3 m wskaźnik RSI skoczka wzwyż wynosił 2,55, a skoczka w dal 2,18.

Dla zawodniczek o przeciętnej klasie sportowej średnia wartość wskaźnika RSI jest na poziomie $<0,1$, a tylko u trzech minimalnie przekracza tę wartość. Niestety, dla kobiet nie ma w tej chwili skali porównawczej.

Z grupy aktualnie trenujących zawodników wybrano czterech z najlepszym wskaźnikiem RSI (ryc. 12). Są wśród nich siatkarz (nr 9) oraz biegacze: na 800 m (nr 24), 400 m przez płotki (nr 23) i 400 m (nr 25). Obaj 400-metrowcy są, według McClymonta (18), na poziomie dobrym, a wskaźnik $RSI = 2,8$ zawodnika nr 25 jest nawet bardzo dobry.



Ryc. 12. Wybrani zawodnicy wg najlepszego wskaźnika RSI na podeście o wysokości 0,3 m.

Wskaźnik K według Bartonietza

Bardziej rozwinięty wskaźnik (K) zaproponował **Bartonietz** (1):

$$K = H + h/t$$

$K \rightarrow maks.$

gdzie:

H – wysokość podestu do zeskoku,

h – wysokość skoku,

t – czas kontaktu (amortyzacji i odbicia).

Wskaźnik ten w przybliżeniu wyraża moc P , przemieszczenie masy ciała na drodze spadania i wznoszenia ($H + h$) wymaga pracy, a iloraz pracy i czasu jest mocą.

Bartonietz (1) zastosował wskaźnik K do oceny poziomu siły eksplozywnej (tab. 4). Wartości wskaźnika K światowej klasy młociarzy, w tym juniora i kobiet, są imponujące.

Warto podkreślić, że dobre wyniki były uzyskane przede wszystkim dzięki krótkiemu czasowi kontaktu (amortyzacji i odbicia) i ta miara wydaje się szcze-

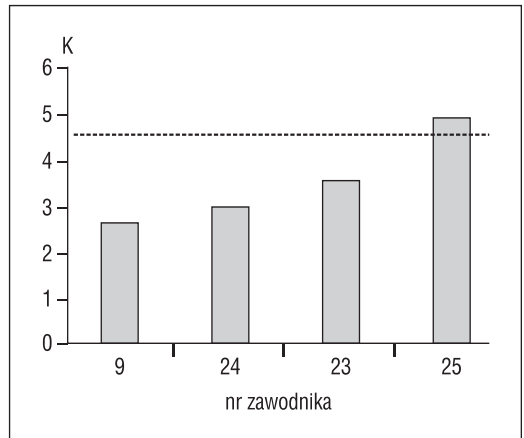
Tabela 4

Wyniki testu K uzyskane przez młociarzy na podeście o wysokości 0,30 m (Bartonietz, 2000).

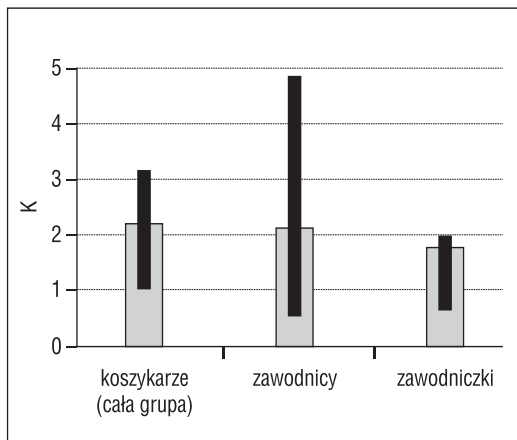
Wskaźnik	Mężczyźni (7,25 kg)		Kobiety (4 kg)	
	wynik sportowy [m]	71,88	52,08*	56,12
K	4,6	3,3	4,1**	3,1
h [m]	0,43	0,36	0,36	0,31
t [s]	0,16	0,2	0,16	0,2

* junior, **testowana poza sezonem

gólnie trafna. Dla porównania z danymi Bartonietza wykorzystano wskaźniki K uzyskane przez najlepszych zawodników podczas własnych badań (ryc. 13). Wśród badanych zawodników tylko lekkoatleta – czterystometrowiec (nr 25, ryc. 13) osiągnął wynik porównywalny,



Ryc. 13. Wskaźnik siły eksplozywnej K dla wybranych zawodników. Linia przerywanaznaczono wynik młociarza badanego przez Bartonietza (1).



Ryc. 14. Wskaźnik siły eksplozywnej K dla skoków z podestu o wysokości 0,3 m. Średnia oraz wartości minimalne i maksymalne trzech grup.

a nawet lepszy ($K = 4,82$) niż młociarz. Wartości wskaźnika siły eksplozywnej K analizowanych grup sportowych można prześledzić na ryc. 14. Średnie wartości wskaźnika K są niskie, przy czym różnice między grupą zawodników i zawodniczek są niewielkie.

8. Wynik skoków jako pomoc przy doborze obciążenia w treningu plyometrycznym

Skoki CMJ a DJ

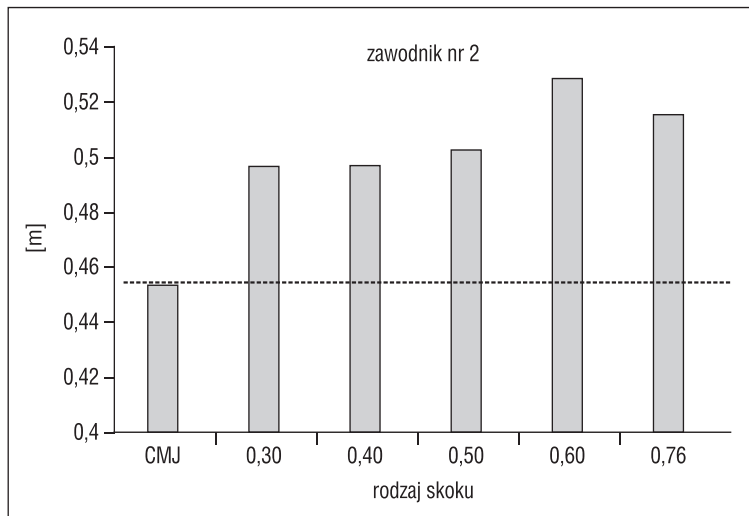
Wynik skoku z miejsca z zamachem CMJ daje pewne informacje o **potencjale motorycznym** zawodnika (tabela 3). Jednak podstawowym ćwiczeniem *plyometrycznym* jest skok z podestu i określenie wysokości podestu ma zasadnicze znaczenie dla efektywności ćwiczenia. Okazuje się, że sam wynik skoku CMJ nie wystarczy. Można natomiast wykorzystać różnicę między CMJ i DJ z po-

destu o różnej wysokości. Założenie jest następujące: jeżeli w kolejnych wysokościach podestu wysokość skoku DJ jest większa niż w CMJ , to można stosować wysokość podestu, przy której wynik DJ będzie największy. Przykład: zawodnik uzyskał wysokość skoku $CMJ = 0,4$ m oraz w kolejnych skokach DJ z wysokości podestu 0,3 m wynik skoku 0,43 m, z podestu 0,40 m skok 0,45 m i z podestu 0,50 m skok na wysokość 0,42 m. Graniczną będzie wysokość podestu, przy której wynik skoku zacznie spadać. Praktycznie do treningu należy zastosować wysokość poprzednią, w naszym przykładzie – 0,40 m.

Wysokości uzyskane w skokach DJ , które były lepsze niż CMJ , ukazuje rycina 15. Porównując wyniki skoków CMJ i DJ , można do treningu proponować skoki z podestu o wysokości 0,6 m.

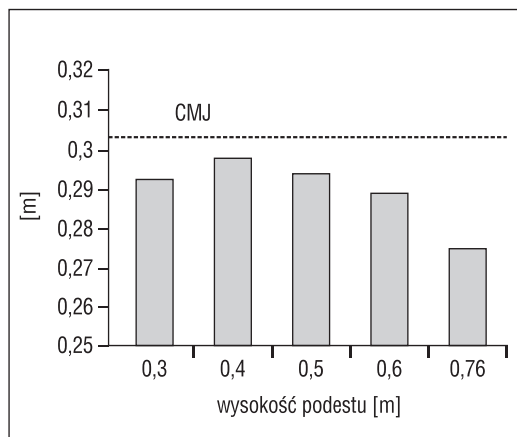
Często zdarza się, że skok DJ jest gorszy od CMJ , wbrew przekonaniu, że powinien być lepszy (25). Można to uzasadnić obciążeniem, jakie występuje w czasie przejścia z fazy amortyzacji do odbicia, które w DJ jest większe niż w CMJ . Pokonanie tego obciążenia, przy wykorzystaniu energii sprężystej i odruchu na rozciąganie, jest możliwe, wymaga jednak umiejętności koordynacyjnych. Obserwowana czasami nieporadność skoordynowania głębokości przysiadu i ruchu zamachowego kończyn górnych, w ograniczonym czasie amortyzacji i odbicia, niweczy potencjalne możliwości uzyskania właściwej wysokości skoku. Przykładem, kiedy wyniki CMJ są lepsze niż DJ , są średnie dzie-

Ryc. 15. Porównanie wysokości skoku CMJ z wynikami uzyskanymi w skokach DJ przez piłkarza nożnego.

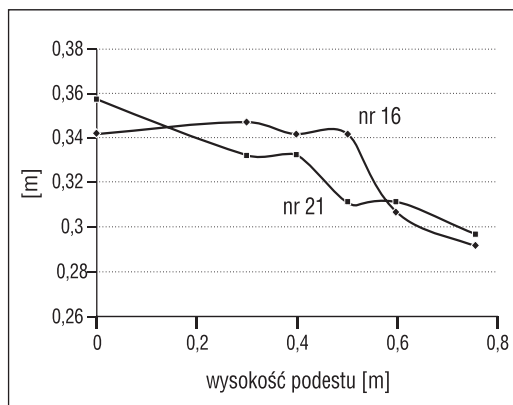


więciu zawodniczek, z których każda, aktualnie czynna, ma za sobą 3-10 lat treningu (ryc. 16). Ich poziom siły eksplozywnej jest niski. Gdyby na tej podstawie określić wysokości podestu do treningu plyometrycznego, to trzeba by wskazać najniższe 0,15-0,3 m. W grupie zawodniczek wyróżnia się siatkarka (nr

16, ryc. 17), która w skoku DJ 30 uzyskała wynik lepszy, a w DJ 40 i DJ 50 taki sam jak w CMJ. Natomiast druga siatkarka, chociaż z najlepszym wynikiem CMJ (nr 21, ryc. 17), już nie odbiega od profilu całej grupy. Wypływa stąd ważny wniosek, że **obciążenia należy dobierać indywidualnie.**



Ryc. 16. Porównanie wysokości skoku CMJ ze skokami DJ dziewięciu zawodniczek.



Ryc. 17. Porównanie dwóch siatkarek o różnym przebiegu RSI w funkcji wysokości podestu w skokach DJ.

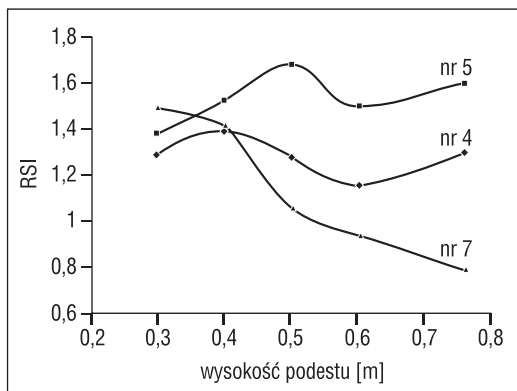
9. Wyniki skoków DJ jako kryterium doboru obciążeń w treningu plyometrycznym

Jak już wspomniano, podstawowym, a jednocześnie najbardziej popularnym, ćwiczeniem plyometrycznym są *skoki (wysoki w górę) po zeskokach z pewnej wysokości*, nazwane skokami DJ. Wspomniano też, że zasadniczy problem sprowadza się do pytania: według jakich kryteriów dobierać wartości jednostkowego obciążenia treningowego, by kształtować zdolność mięśni do wyzwalań siły eksplozywnej? Parametry obciążenia nie powinny przekraczać granicy tolerancji ustroju zawodnika.

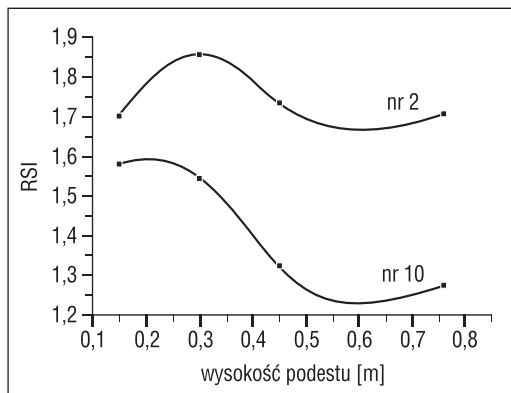
Odpowiadając na to pytanie poddamy weryfikacji pod tym kątem dwa wskaźniki, *RSI* i *K*, stosowane do oceny potencjału siły eksplozywnej zawodnika.

Wskaźnik RSI McClymonta (18)

Rycina 18 ukazuje zmiany wartości wskaźnika RSI u czterech zawodni-



Ryc. 18. Wyniki trzech zawodników mających optimum wysokości zeskoku: piłkarz nożny (nr 7) 0,3 m, koszykarz (nr 4) 0,4 m i karateka (nr 5) 0,5 m.



Ryc. 19. Dwóch koszykarzy o różnym przebiegu RSI dla wysokości zeskoku (nr 2 i 10).

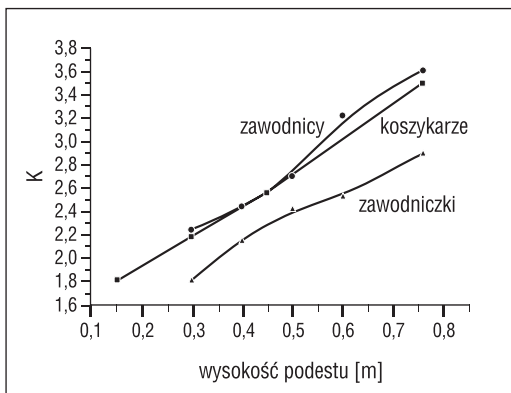
ków. Dla skoków z podestu o wysokości 0,30 m jest ona dla wszystkich zbliżona, a w skokach z kolejnych wysokości – zmienia się. Biorąc to pod uwagę sugestie dotyczące doboru wysokości podestu do treningu plyometrycznego mogłyby przedstawiać się następująco: karateka – podest 0,5 m, koszykarz – podest 0,4 m i ewentualnie wyższy, piłkarz – podest nie wyższy niż 0,3 m.

Podobny przykład dwóch koszykarzy ukazuje rycina 19. Zawodnikowi nr 2 można zaproponować trening skoków DJ z podestu o wysokości 0,3 m, a zawodnik nr 10 powinien rozpocząć od najniższej wysokości – 0,15 m.

Z tych przykładów można wnosić, że **wskaźnik siły reaktywnej RSI McClymonta** nadaje się również do prognozowania wysokości podestu do skoków DJ jako miary obciążenia w treningu plyometrycznym. Wartość *RSI* rośnie do pewnej wysokości podestu, owej poszukiwanej wysokości granicznej, bezpiecznej z punktu widzenia ryzyka przeciążeń.

Wskaźnik K. Bartonietza (1)

Wskaźnik **Bartonietza** służy również do oceny poziomu siły eksplozywnej zawodnika. W jaki sposób może być on przydatny w doborze obciążenia w treningu plyometrycznym (wysokości podestu do *DJ*)? Postępowanie praktyczne przedstawia się następująco. Szukamy takiej wysokości podestu, z której skok daje najwyższą wartość wskaźnika *K*. Gdy od danej wysokości podestu wartość wskaźnika zacznie maleć, będzie to oznaczać, że obciążenie jest nadmierne. Dane na rycinie 20 wskazują, że przyrost wartości wskaźnika *K* jest liniowy; rośnie proporcjonalnie do wzrostu wysokości podestu. To by oznaczało, że w przypadku badanych zawodników nawet wysokość podestu powyżej 0,7 m nie wystarcza, co jest oczywiście nieprawdziwe. Liniowa zależność wskaźnika *K* od wysokości podestu w zasadzie dyskwalifikuje go jako wskaźnik doboru wielkości obciążenia treningowego.



Ryc. 20. Wskaźnik *K* dla koszykarzy ($n = 11$) i grup sportowych z różnych dyscyplin (mężczyźni $n=16$, kobiety = 9).

10. Dyskusja i podsumowanie

W obydwu wskaźnikach, *RSI* i *K*, istotnym czynnikiem jest czas kontaktu z podłożem, który w skokach z podestu (*DJ*) obejmuje fazy **amortyzacji** i **odbicia**. Wartości *RSI* i *K* rosną, gdy czas się skraca. Krótkie i dynamiczne odbicie świadczy o zdolności do wyzwiania eksplozywnej siły mięśni w cyklu *rozciągnięcie-skurcz*. I przeciwnie, wydłużenie czasu odbicia jest skutkiem łagodnego przebiegu amortyzacji, a przez to zmniejszenia siły reakcji podłoża w fazie ekscentrycznej działania mięśni (5). Taki przebieg ruchu nie wywołuje gwałtownego przeciążenia mięśni, pożądanego w treningu plyometrycznym. Przejawem zewnętrznym zwiększonej amortyzacji jest większe ugięcie nóg. Ostatecznie w skokach z miejsca z zamachem, a tym bardziej w skokach po zeskoku z podestu, wielkość ugięcia nóg ma być optymalna, a czas kontaktu z podłożem krótki. Te zdolności może u zawodnika rozwijać odpowiedni trening plyometryczny z właściwie dobranymi obciążeniami (10). Punktem wyjścia przy doborze obciążeń jest indywidualna ocena aktualnego potencjału **siły eksplozywnej** zawodnika. W tym celu można wykorzystać wskaźniki *RSI* (wskaźnik siły reaktywnej) i *K*. Ograniczoną wartość stanowi wynik porównania skoku z miejsca z zamachem (*CMJ*) i skoków z podestu o różnej wysokości (*DJ*), a dokładniej mówiąc – znalezienie takiej wysokości, dla której wynik jest lepszy niż w *CMJ*. Jednak nie zawsze jest to możliwe, na przykład, gdy wynik *DJ* jest gorszy od *CMJ*. Po uzyskaniu informa-

cji o aktualnym poziomie siły eksplozywny można przystąpić do planowania jednostkowych obciążeń w skokach *DJ* jako specyficznych ćwiczeń mięśni.

Gdyby poprzestać na porównaniu *CMJ* i *DJ*, to, na przykład, wyniki uzyskane przez koszykarzy skłaniają do przyjęcia sugestii **Boberta i współprac.** (3) i zalecenia ćwiczeń z podestów o wysokości 0,2-0,4 m, które według tych Autorów są optymalne dla nie trenujących studentów. Ci sami autorzy zalecają dla skoczków wzwyż podest o wysokości 0,70 m (taka też wysokość prawdopodobnie byłaby właściwa dla skoczka, którego wyniki przedstawiono w tej pracy).

Skuteczność tego rodzaju treningu zależy również od **sposobu wykonania odbicia**, polegającego na ograniczonym zgięciu kolan (2).

Przy planowaniu indywidualnego obciążenia – wysokości podestu – lepszy jest wskaźnik *RSI*. Po wyznaczeniu *RSI* maksimum można stopniowo przechodzić do następnej wysokości i obserwować, kiedy zaczyna się spadek wartości wskaźnika. Wskaźnik **Bartonietza** *K* ma swoje zalety, lecz nie nadaje się do określania wysokości podestów w ćwiczeniach *DJ*. W ćwiczeniach z działaniem ekscentryczno-koncentrycznym mięśni, lub inaczej **ruchem zwrotnym**, wielkość oporu jest zdeterminowana raczej przez energię kinetyczną spadającego ciała niż osobno przez jego ciężar (masę) lub prędkość,

$$E_{kin} = 1/2 mv^2.$$

W ruchach, o których mowa, ta sama wielkość E_{kin} może być uzyskana przez różną kombinację prędkości (wysokości

spadania) i masy. Zwiększenie masy zawsze prowadzi do spadku prędkości odbicia. Stopniowe zwiększenie prędkości w chwili lądowania powoduje początkowo zwiększenie prędkości odbicia, natomiast gdy prędkość spadania jest zbyt duża, to prędkość odbicia będzie maleć. Optymalna prędkość lądowania (i energia kinetyczna) zależy od masy spadającego ciała. W książce **Zatsiorskiego i Kraemera** (27) znajdujemy sugestię co do sposobu wykonywania ćwiczeń plyometrycznych w dyscyplinach sportowych i okresach treningowych. Na przykład, technika zeskoku polegająca na nieco większym obniżaniu ciała – jest zalecana dla poprawy potencjału skoku pionowego u koszykarzy, siatkarzy i prędkości startowej u piłkarzy, hokeistów oraz sprinterów. Tymczasem siła eksplozywna potrzebna jest do rzutów i w podnoszeniu ciężarów. Jakkolwiek przysiad nie powinien być zbyt głęboki, to zakres ruchu powinien być tylko nieco większy niż w ruchach, do których jest on przeznaczony (dyscyplina sportu). Normalnie skoczek ląduje z nogami wyprostowanymi. Jeżeli jednak celem jest poprawa szybkości wyzwalania siły, specjalnie prostowników kolana, to pożądane jest lądowanie na ugięte nogi.

Z uwagi na ryzyko urazów oraz ból występujący po ćwiczeniach plyometrycznych ich wykorzystywanie w okresach treningu, a także w wieloletnim szkoleniu, powinno uwzględniać następujące **zalecenia**.

W etapach wieloletniego szkolenia powinna obowiązywać kolejność: regularne ćwiczenia skocznościowe, potem trening siłowy, a potem skoki z podestu.

Te ostatnie nie powinny być stosowane przez zawodników o stażu krótszym niż 3-4 lata. Nie należy stosować skoków z podestów dłuższej niż przez 1-2 mezcycyle, należy natomiast zmieniać ćwiczenia naprzemiennie, to znaczy – z kamizelką i bez dodatkowej kamizelki z obciążnikiem. Ćwicząc np. bez kamizelki należy stopniowo zwiększać wysokość podestu. W okresie startowym ćwiczenia z zeskokiem trzeba stosować raz na 7-10 dni i wycofać je z programu na 10 dni przed startem. Oczywiście trening taki należy planować indywidualnie.

Podsumowując nasze rozważania sformułujemy ostateczne wnioski:

Do oceny aktualnego poziomu siły eksplozywnej zawodnika należy wykorzystywać oba wskaźniki, to jest – siły reaktywnej RSI McClymonta i K. Bartonietza.

Programując indywidualne obciążenia w treningu plyometrycznym, należy kierować się aktualnym poziomem siły eksplozywnej zawodnika, a w doborze obciążenia zależnością wskaźnika RSI od wysokości podestu i, ewentualnie, stosunkiem skoku z miejsca z zamachem do wartości skoków z podestów.

Piśmiennictwo

1. Bartonietz K.: *Hammer throwing: Problems and Prospects*. [In:] V. M. Zatsiorsky (ed.) *Biomechanics in Sport*. Oxford 2000, Blackwell Science, 458-486.
2. Bobbert M. F., Huijing P. A., von Ingen Schenau G. J.: *Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping*. „*Medicine and Science in Sport and Exercise*” 1987, 19, 332-338.
3. Bobbert M. F., Huijing P. A., von Ingen Schenau G. J.: *Drop jumping II. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping*. „*Medicine and Science in Sport and Exercise*” 1987, 19, 339-346.
4. Bober T., Piestrak P.: *Deept landing versus drop jump*. *Kinesiology – new perspectives: 3rd International Scientific Conference*, Opatija Croatia 2002, s. 705-708
5. Bober T., Rutkowska-Kucharska A., Szpala A.: *Hard vs. soft landing in depth jump*. „*Acta of Biomechanics and Bioengineering*” 2001, vol. 4, supl. 1, s. 595
6. Bober T., Rutkowska-Kucharska A., Pietraszewski B., Lesiecki M.: *Biomechanical criteria for specifying the load applied in plyometric training*. *Research Yearbook, Studies in Physical Education & Sport* 2006, 12: 227-231.
7. Bowers E. J., Morgan D. J., Proske U.: *Damage to the human quadriceps muscle from eccentric exercise and the training effect*. „*Journal of Sports Sciences*” 2004, 22 (11-12): 1005-1014.
8. Bruggemann P.: *Biomechanical consideration on jumping in sports – an approach to a fundamental understanding*. [in:] Barabas A., Fabian G. (Eds.): *Biomechanics in Sport XII – Proceedings of the 12th ISBS Symposium 1994*, Budapest 1995, 1-16.
9. Dapena J.: *The high jump*. [in:] *Biomechanics in Sport; Performance Enhancement and Injury Prevention* (ed.: V. M. Zatsiorsky). Oxford 2000. Blackwell Science, 284-311.
10. Fowler N. E., Lees A.: *A comparison of kinetic and kinematic characteristics of plyometric drop-jump and pendulum exercises*. „*Journal of Applied Biomechanics*” 1998, 14 (3): 260-278.
11. King D. L.: *Jumping in figure skating*. [in:] *Biomechanics in Sport; Performance Enhancement and Injury Prevention* (ed. V. M. Zatsiorsky). Oxford 2000, Blackwell Science, 312-325.
12. Komi P. V.: *Stretch-shortening cycle*. [in:] *Strength and power in sport* (ed.: P. V. Komi). Oxford 2000, Blackwell Publishing, 184-202.

13. Komi P. V.: **Stretch-shortening cycle.** [in:] *Strength and Power in Sport* (ed. P. V. Komi). Oxford 1992, Blackwell Science, 169-179.
 14. Komi P. V., Virravirta M.: **Determinants of successful ski-jumping performance.** [in:] *Biomechanics in Sport; Performance Enhancement and Injury Prevention* (ed. V. M. Zatsiorsky). Oxford 2000, Blackwell Science, 349-362.
 15. Lanka J.: **Shot putting.** [in:] *Biomechanics in Sport; Performance Enhancement and Injury Prevention* (ed. V. M. Zatsiorsky). Oxford 2002, Blackwell Science, 435-457.
 16. Marković G et al.: **Effects of sprint and plyometric training on morphological characteristics in physically active men.** „*Kinesiology*” 2005, 37 (1):32-39.
 17. Masamoto N. et al.: **Acute effects of plyometric exercise on maximum squat performance in male athletes.** „*Journal of Strength and Conditioning Research*” 2003, 17 (1): 68-71.
 18. McClymont D.: **Use of the reactive strength index (RSI) as a plyometric monitoring tool.** 5th World Congress of Science in Football. Lisbon 2003, April 2003.
 19. Mero A., Komi P. V.: **Effects of supramaximal velocity on biomechanics variables in sprinting.** „*International Journal of Sport Biomechanics*” 1985, 1 (3), 240-252.
 20. Miyama M., Nosaka K.: **Influence of surface on muscle damage and soreness induced by consecutive drop jump.** „*Journal of Strength and Conditioning Research*” 2004, 18 (2): 206-211.
 21. Radcliffe J. C., Farentinos R. C.: **High-Powered Plyometrics.** Human Kinetics 1999.
 22. Rutkowska-Kucharska A., Bober T., Serafin R.: **Obciążenie układu ruchu w sporcie. Biomechanika i Inżynieria Rehabilitacyjna 2000,** red. Maciej Nałęcz, Tom 5. red. tomu: R. Będziński, K. Kędzior, J. Kiwerski, A. Morecki, K. Skalski, A. Wall, A. Wit, PAN, Akademicka Oficyna Wydawnicza 2004, s. 631-643.
 23. Siff M. C.: **Biomechanical foundations of strength and power training.** [in:] V. M. Zatsiorsky (ed.) *Biomechanics in Sport.* Oxford 2000, Blackwell Publishing, pp. 103-139.
 24. Stonkus S.: **Krepsinis – istorija, teorija, didaktika.** Lietuvos Kuno Kultūros Akademijs. Kaunas 2003.
 25. Trzaskoma Z., Trzaskoma Ł.: **Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej sportowca.** Warszawa 2001. COS, Biblioteka Trenera.
 26. Wilson G., Elliott B., Wood G.: **The effect of performance of imposing a delay during stretch-shorten cycle.** „*Medicine and Science in Sports and Exercises*” 1991, 23, 364-370.
 27. Zatsiorsky V. M., Kraemer W. J.: **Practice and Science of Strength Training.** Human Kinetics 2006, wyd II.
 28. Zawadzki J., Bober T.: **Pure positive action during the take-off in vertical jumping.** XV Congress of ISB, Book of Abstracts, University of Jyväskylä 1995, 1030-1031.
-
-