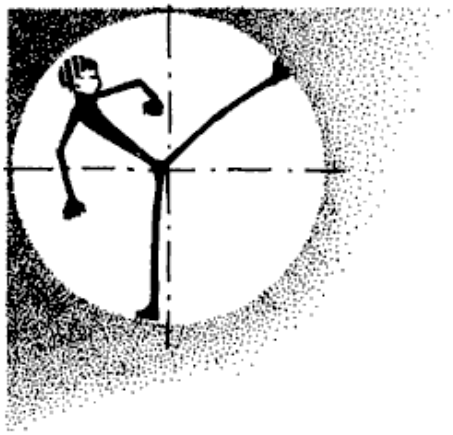


Rozdział 11

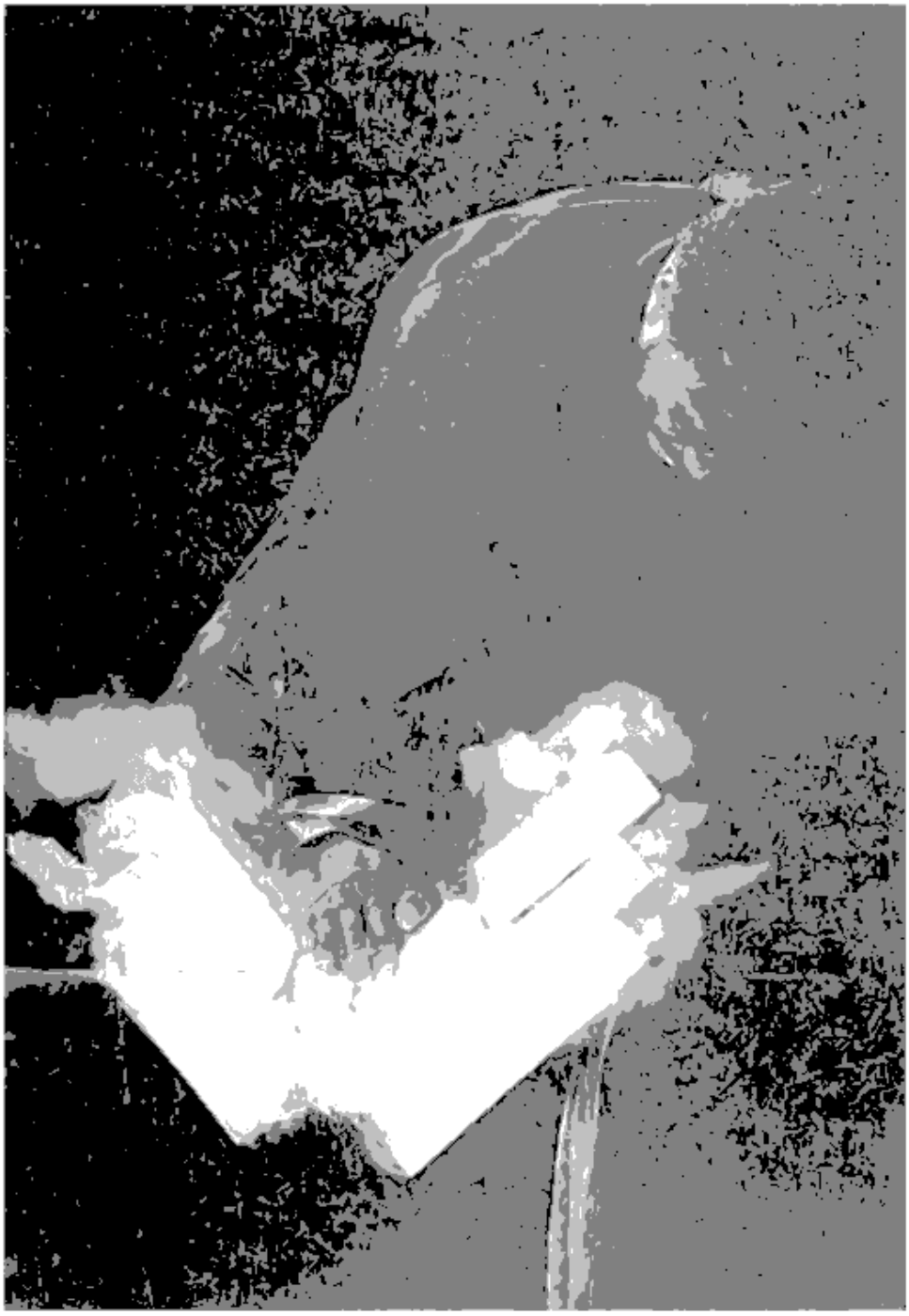
KARATE

Łamanie kilku desek ułożonych jedna na drugiej, a nawet betonowych płyt, jednym szybkim uderzeniem gołej dłoni czy też stopy – to obrazek najczęściej kojarzący się z umiejętnościami mistrzów karate. Przykład takiego uderzenia wraz z jego efektami prezentujemy na rys. 11.1. Są to rzeczywiście imponujące pokazy siły i możliwości drzemiących w ludzkim ciele, nie stanowią one jednak, same w sobie, istoty karate rozumianego jako sportu walki. Co więcej, poznanie tajemnic karate, opanowanie technik walki, a także zgłębienie związanej z nią filozofii, wymaga wielu lat ćwiczeń i treningu, podczas gdy łamanie gołą ręką drewnianych czy betonowych płyt potrafi zademonstrować nawet zupełnie początkujący karateka. Niemniej jednak efektom takim poświęcimy w naszych rozważaniach sporo miejsca, jako że właśnie one i towarzyszące im pomiary pozwalają na wyznaczenie pewnych wielkości fizycznych charakteryzujących zadawane uderzenia i ciosy.

Karate jako sport zorganizowany wokół własnej federacji międzynarodowej istnieje stosunkowo krótko. Jego historia jako sztuki walki sięga natomiast aż początków naszej ery. Wtedy to właśnie na Dalekim Wschodzie powstały pierwsze sposoby walki mające na celu samoobronę człowieka przed zewnętrzną agresją bez użycia broni. Stanowiły one podstawę rozwijanych później, a stosowanych także dzisiaj, technik. Kiedy w XVII wieku Japończycy zajęli wyspę Okinawę likwidując wszelką istniejącą tam broń i zakazując jej produkcji, mieszkańcy wyspy podejmowali walkę na gołe dłonie i stopy, stosując i doskonaląc techniki karate. Słowo karate oznacza gołą (pustą) pięść i doskonale oddaje kryjącą się w nim treść. Dzisiaj karate stało się popularnym, również i w Europie, sportem, choć tylko niektóre jego odmiany zostały formalnie zaakceptowane przez stworzenie odpowiednich regulaminów i przepisów.

Jest rzeczą zupełnie zadziwiającą, że już przed 20 wiekami mędrcy z Dalekiego Wschodu stworzyli metody walki wykorzystujące w sposób wręcz optymalny możliwości ciała ludzkiego. Prawdopodobnie walki, które możemy oglądać na zawodach sportowych czy też popularnych dzisiaj filmach gloryfikujących mistrzów karate, odbiegają nieco od wyobrażeń twórców karate sprzed 2000 lat, dają nam one jednak możliwość przekonania się, nawet biorąc poprawkę na fantazję filmowców, o możliwościach ludzkich przy odpowiednim treningu ciała i umysłu. Dodajmy, że siły towarzyszące uderzeniom karateki mogą nawet dziesięciokrotnie przewyższać jego wagę.

Widok człowieka przełupującego stos cegieł gołą dłonią i nie robiącego sobie przy tym żadnej krzywdy jest rzeczywiście imponujący i nadzwyczaj efektowny. Może właśnie dlatego jest to ciągle obrazek kojarzący się ze specjalnymi czy wręcz nadprzyrodzonymi zdolnościami i predyspozycjami. Tymczasem wystarczy w zasadzie spełnić trzy warunki, aby uzyskać tak spektakularny efekt. Po pierwsze — nadać dłoni możliwie dużą prędkość w momencie uderzenia, po drugie — wykonać uderzenie tak, aby powierzchnia zetknięcia dłoni z uderzonym obiektem była możliwie mała i wreszcie po trzecie — wykazać odpowiednią dozę odwagi i zdecydowania, o które nie łatwo w chwili uderzenia z całej siły gołą dłonią w twardy obiekt. Spełnienie powyższych warunków jest na pewno trudniejsze niż ich sformułowanie, niemniej jednak uzyskanie sukcesu leży w możliwościach zdrowego, młodego człowieka, niekoniecznie obdarzonego szczególnymi predyspozycjami.



Zasadniczym celem uderzenia w karate jest lokalne zniszczenie uderzanego obiektu, a nie jego przesunięcie jako całości. Odnosi się to również do sytuacji, w której obiektem jest przeciwnik w walce. Takie sformułowanie celu jest znacznie bliższe rozumieniu karate w kategoriach walki niż w kategoriach czysto sportowych. Światowa Organizacja Sportów Karate (WUKO) nie pozwala na przykład zadawać ciosów w głowę, jako bardzo niebezpiecznych. Taka właśnie orientacja naszych rozważań podyktowana jest faktem, że uderzenia, które dochodzą do celu, zadawane na przykład w karate full contact lub też nazwane tameshiwari (rozbijanie przedmiotów), pozwalają wyciągnąć znacznie więcej wniosków z ich analizy, niż uderzenia zatrzymywane przed trafianym „na niby" obiektem.

Potraktujmy zatem uderzenie w karate jako zderzenie dwóch ciał, z których jedno (może nim być na przykład ręka lub noga) ma masę m i prędkość początkową v, drugie natomiast, o masie M, znajduje się (w momencie zderzenia) w spoczynku. Przeprowadzimy dla takiej sytuacji fizycznej krótki rachunek, którego celem będzie wyznaczenie energii ΔE wykorzystanej na uszkodzenie czy też deformację uderzanego obiektu. Będzie ona równa różnicy całkowitej energii kinetycznej układu przed i po zderzeniu (uderzeniu), czyli

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}Mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2, \tag{11.1}$$

gdzie v_1 jest prędkością masy M, a v_2 prędkością masy m po zderzeniu.

Powyższa relacja wyraża zasadę zachowania energii. Skorzystajmy ponadto z zasady zachowania pędu zapisanej w postaci

$$mv = Mv_1 + mv_2 \tag{11.2}$$

oraz wprowadźmy współczynnik określający stopień sprężystości zderzenia zdefiniowany następująco:

$$e = \frac{v_1 - v_2}{v}. \tag{11.3}$$

Wyraża on stosunek różnicy prędkości ciał po i przed zderzeniem. Zderzeniu idealnie sprężystemu, w którym ciała odskakują od siebie z taką samą prędkością względną, z jaką się zderzyły, odpowiada wartość e równa jedności, podczas gdy w zderzeniu całkowicie niesprężystym, w którym ciała w ogóle od siebie nie odskakują, mamy $e = 0$. (Współczynnik e wprowadziliśmy również przy opisie odbicia piłki tenisowej w rozdziale „Tenis", nazywając go tam współczynnikiem odbicia.)

W naszym rozumowaniu zaniedbujemy ogrzanie zderzających się ciał i zakładamy, że cała energia ΔE zdefiniowana równaniem 11.1 jest energią włożoną w deformację uderzanego obiektu. Zaniedbanie deformacji ciała uderzającego jest oczywiście pewnym przybliżeniem, ale postaramy się uzasadnić później, że możemy takie założenie poczynić. Zauważmy na razie, że gdyby taka deformacja w znaczącym stopniu występowała, to uderzenia karate prowadziłyby do samozniszczenia i nie miałyby sensu.

Korzystając z równań 11.2 i 11.3 możemy natychmiast wyznaczyć wartości v_1 i v_2. Są one równe

$$v_1 = \frac{vm(1+e)}{M+m}, \tag{11.4}$$

$$v_2 = \frac{v(m-Me)}{M+m}. \tag{11.5}$$

Podstawiając równania 11.4 i 11.5 do równania 11.1 otrzymujemy po prostych przekształceniach

$$\Delta E = \frac{(1-e^2)mMv^2}{2(m+M)}. \tag{11.6}$$

Wprowadźmy jeszcze współczynnik K określający, jaka część energii początkowej wykorzystana zostaje na deformację uderzanego obiektu. Korzystając z równania 11.6 możemy wyrazić go następująco:

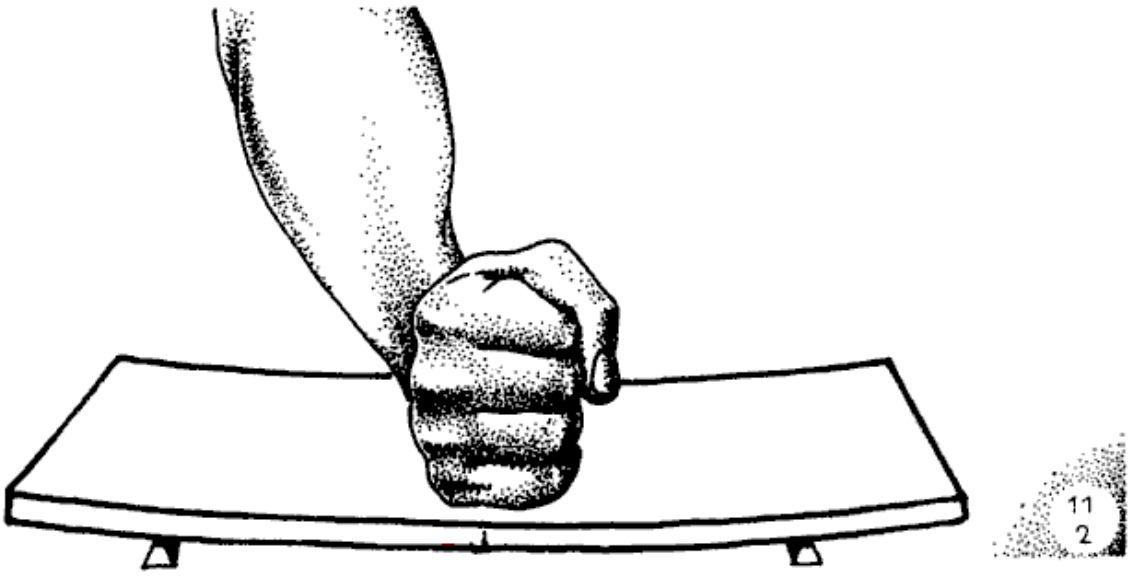
$$K = \frac{\Delta E}{\frac{1}{2}mv^2} = \frac{(1-e^2)M}{m+M}. \tag{11.7}$$

Wydawać by się mogło, że optymalizacja uderzenia powinna polegać na uzyskaniu maksymalnej wartości K. Jak widać z równania 11.7, współczynnik K jest tym większy im mniejsze są: współczynnik e i uderzająca masa m. Oznacza to, że z punktu widzenia uzyskanej deformacji lub zniszczenia najkorzystniejsze jest zderzenie w pełni niesprężyste. Jeśli natomiast chodzi o wielkość masy m, to nasz problem przypomina nieco inne, często podawane jako przykład, zagadnienie związane z doborem odpowiedniego młotka do wbijania gwoździa i do kucia metalu.

Przy wbijaniu chcemy stracić jak najmniej energii na deformację gwoździa, a jak najwięcej włożyć w jego przemieszczenie, czyli energię kinetyczną. Straty, określone wartością współczynnika K, minimalizować możemy przez wzrost masy młotka. Stwierdziliśmy już wcześniej, że w uderzeniu karate chodzi przede wszystkim o deformację uderzanego obiektu, a nie jego przemieszczenie. Zapytajmy więc inaczej: Jaki młotek pozwala efektywniej zamienić jego energię kinetyczną na energię włożoną bezpośrednio w deformację kutego metalu? Równanie 11.7 jednoznacznie odpowiada na to pytanie wskazując, że im mniejsza masa użytego młotka tym korzystniejsza relacja między wykorzystaną a włożoną energią.

Powyższe rozumowanie jest znacznym uproszczeniem i miało głównie na celu poglądowe przybliżenie zagadnienia wymiany energii. W rzeczywistości sytuacja jest znacznie bardziej złożona, chociażby ze względu na to, że współczynnik e, a tym samym K, charakteryzujący uderzenie karateki zależy od tego, w jakie miejsce przeciwnik został trafiony. Współczynnik K będzie istotnie mniejszy dla uderzenia w mięsień lub tkankę tłuszczową niż dla

uderzenia w kość, a mimo to takie właśnie uderzenie może być skuteczniejsze, choćby ze względu na sprawienie przeciwnikowi silniejszego bólu. Ponadto współczynnik K jest na ogół funkcją prędkości uderzenia, co dodatkowo komplikuje jego określenie. I wreszcie, przy pojedynczym uderzeniu karate większe znaczenie z punktu widzenia jego efektywności może mieć wielkość ΔE, niż współczynnik K. Kuć młotkiem możmy do skutku, przeciwnik może nam się „pozwolić" trafić tylko raz.



Należy szczególnie wyraźnie podkreślić, że uderzenia stosowane w karate różnią się zasadniczo od uderzeń typu bokserskiego, używanych w najróżniejszych walkach i bójkach, także poza ringiem. Charakterystyczną cechą uderzenia karateki jest dokładne określenie miejsca, w którym uderzenie ma się zakończyć, a ręka utracić swoją prędkość. Znajduje się ono tuż pod powierzchnią (może to być kilka centymetrów) ciała przeciwnika lub uderzanego obiektu. Unikamy tu więc „ciągnięcia" ciosu po jego dojściu do celu, a także wszelkiego pchania, technik zupełnie obcych sztuce karate. Nie chodzi przecież o to, aby w wyniku uderzenia nastąpiło przekazanie pędu przeciwnikowi jako całości, przejawiające się w odepchnięciu, a nawet powaleniu go. Chodzi natomiast o to, aby przekaz tego samego pędu nastąpił w stosunku do małej powierzchni uderzanego obiektu i w możliwie krótkim czasie, a efektem było lokalne uszkodzenie lub zniszczenie celu. Zależnie od okoliczności może nim być tkanka miękka, kość lub cegła.

Spróbujmy od razu oszacować, dla lepszego udokumentowania powyższych rozważań, jakie siły występują w uderzeniach, o których mowa. Rozpatrzmy dla przykładu uderzenie w drewnianą deskę w sposób przedstawiony na rys. 11.2. Średnią siłę działającą w czasie uderzenia policzyć możemy, korzystając z II zasady dynamiki, jako stosunek zmiany pędu do czasu trwania zderzenia, czyli

$$F = \frac{m\Delta v}{\tau}. \tag{11.8}$$

Załóżmy, że uderzająca dłoń o masie m i prędkości v wyhamowuje całkowicie po zderzeniu. Zmiana prędkości Δv jest zatem równa v, czas trwania zderzenia można natomiast wyrazić jako stosunek przebytej w czasie hamowania drogi s do prędkości średniej, równej w naszym przypadku $v/2$. Mamy zatem

$$F = \frac{mv^2}{2s}. \tag{11.9}$$

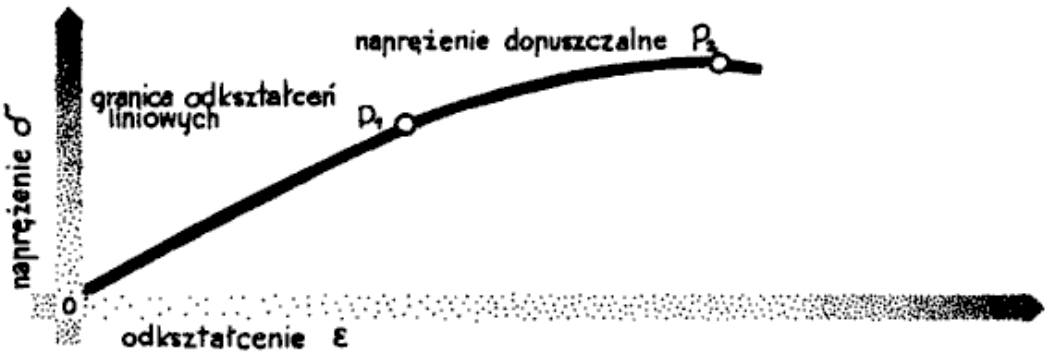
Siła ta, jak widać z powyższego wzoru, jest stosunkiem energii kinetycznej dłoni w chwili uderzenia do drogi hamowania. Przyjmijmy, że masa dłoni wynosi 0,6 kg, a jej prędkość w momencie uderzenia 10 m/s. Drogę przebytą przez dłoń możemy w przybliżeniu określić jako grubość deski zwiększoną o wygięcie potrzebne do jej złamania. Dla sosnowej deski o wymiarach 30 cm × 15 cm × 2 cm (typowe wymiary desek stosowanych w różnego rodzaju próbach karate) wygięcie to można oszacować na około 1 cm, czyli drogę s możemy przyjąć jako równą 3 cm. Podstawiając te wartości do równania 11.9 otrzymujemy

$$F \approx \frac{0{,}6\ \mathrm{kg}\cdot(10\ \mathrm{m/s})^2}{0{,}06\ \mathrm{m}} \approx 1000\ \mathrm{N}.$$

W praktyce okazuje się, że do przełamania opisanej wyżej deski wystarcza zazwyczaj nieco mniejsza siła kilkuset niutonów.

Deska poddana działaniu siły zachowuje się podobnie do sprężyny wyprowadzonej z położenia równowagi. Reakcja przeciwdziałająca przyłożonej sile jest proporcjonalna do wychylenia, ale tylko w pewnym ograniczonym zakresie siły działającej. Przy wyginaniu deski uderzeniem skierowanym w dół górna jej część ulega ściskaniu, dolna zaś rozciąganiu. Drewno charakteryzuje się znacznie mniejszą wytrzymałością na rozciąganie niż na ściskanie, w wyniku czego pęknięcie deski pojawia się na jej dolnej powierzchni. Następnie z bardzo dużą prędkością przemieszcza się ku górze, jako że wytrzymałość materiału spada wraz z rozprzestrzenianiem się pęknięcia oznaczającym zmniejszanie się powierzchni przekroju poprzecznego.

Różne materiały w różny sposób reagują na działanie sił zewnętrznych. Dla najprostszej sytuacji zamocowanego na dwóch końcach i rozciąganego pręta o długości l odkształcenie ε, czyli względna zmiana jego długości $\Delta l/l$ jest funkcją naprężenia δ określonego stosunkiem siły działającej do przekroju poprzecznego pręta. Przykład takiej zależności przedstawiony jest na rys. 11.3.



Dla małych naprężeń, aż do punktu P_1 określającego granicę sprężystości, zależność jest liniowa. Najwyższy punkt wykresu P_2 jest granicą wytrzymałości materiału na rozciąganie. Kształt krzywej i odległości między punktami 0, P_1 i P_2 zależą właśnie od właściwości sprężystych materiału. Nachylenie liniowej części wykresu determinuje współczynnik zwany modułem sprężystości $\eta = \delta/\varepsilon$. Liczbowo wyraża on siłę na jednostkę powierzchni potrzebną na wydłużenie pręta do podwójnej długości ($\Delta l = l$). Graniczną wytrzymałość materiału, którą oznaczamy przez σ, wyrażamy w takich samych jednostkach (N/m^2). Wartości σ są zazwyczaj znacznie mniejsze niż η, jako że dla zdecydowanej większości materiałów (guma stanowić może jeden z nielicznych wyjątków) zerwanie następuje dużo wcześniej niż podwojenie początkowej długości.

Ta bardzo skondensowana, bo ograniczona do jednego zaledwie akapitu, informacja o właściwościach sprężystych ciał pozwoliła nam na wprowadzenie i zdefiniowanie współczynników σ i η, które będą nam jeszcze przydatne w dalszych rozważaniach.

Okazuje się, że energia potrzebna do przełamania płyty z określonego materiału jest z dobrym przybliżeniem proporcjonalna do kwadratu współczynnika σ określającego wytrzymałość na zerwanie i odwrotnie proporcjonalna do modułu sprężystości η. Zależność taka wydaje się być intuicyjnie przekonująca, nie budzi bowiem wątpliwości fakt, że więcej energii trzeba włożyć w złamanie płyty o większej wytrzymałości. Nie trudno zrozumieć również, że im większy moduł sprężystości materiału będący miarą jego sztywności, tym mniej energii przed złamaniem płyty musi być dostarczone na jej sprężyste odkształcenie.

Oszacowanie energii kinetycznej koniecznej do zniszczenia płyty z określonego materiału (oznaczmy ją przez E_k) wymaga znajomości wspomnianych wyżej współczynników. Są to wielkości stabelaryzowane w najróżniejszych poradnikach fizyki, mimo to, ze względu na znaczne różnice ich wartości związane ze sposobem przygotowania próbki (deska może być wycięta podłużnie lub poprzecznie w stosunku do kierunku włókna, płyta betonowa może zawierać w sobie składniki w różnych proporcjach), powinny być każdorazowo wyznaczane.

TABELA 11.1

	Drewno	Beton	Kość
η [N/m^2]	$1{,}4 \cdot 10^8$	$2{,}8 \cdot 10^9$	$1{,}8 \cdot 10^{10}$
σ [N/m^2]	$3{,}6 \cdot 10^6$	$4{,}5 \cdot 10^6$	$2{,}1 \cdot 10^8$
E_k [J]	5,3	1,6	14
F_k [N]	670	3100	5400

W tabeli 11.1 przytaczamy wartości kilku omawianych przez nas wielkości fizycznych wyznaczonych w jednym z eksperymentów poświęconych tym właśnie zagadnieniom. Współczynniki η i σ zdefiniowaliśmy w naszym mini-wprowadzeniu do teorii sprężystości materiałów, natomiast wielkości E_k i F_k

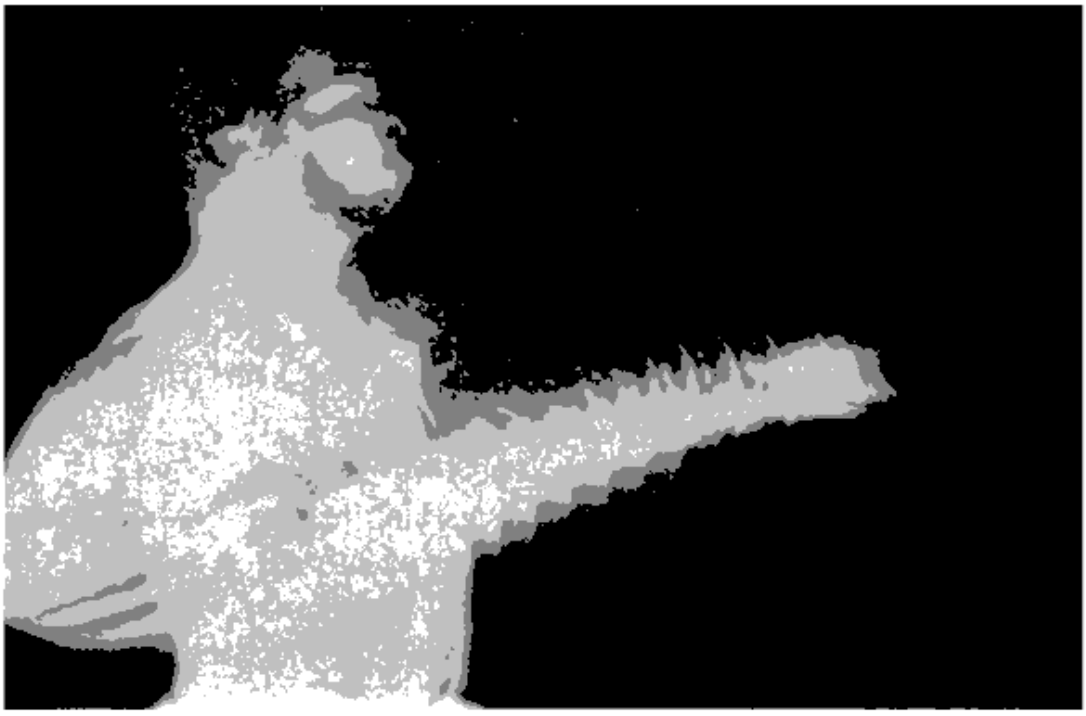
oznaczają minimalne wartości energii i siły potrzebne do zniszczenia płyty o określonych wymiarach. Nie tyle ważne są tutaj bezwzględne wartości wyznaczonych wielkości, choć jak widać wartość siły F_k dla drewna bardzo dobrze zgadza się z wartością F obliczoną na podstawie równania 11.9, ile wzajemne relacje między nimi.

Jeśli przyjrzymy się dobrze zamieszczonym w tabeli liczbom, to może zdziwić nas nieco pewna informacja w nich zawarta. Otóż minimalna siła F_k jest prawie pięciokrotnie większa dla betonu niż dla drewna, co dziwić raczej nie powinno, ale równocześnie minimalna energia E_k jest z kolei trzykrotnie mniejsza dla betonu. Może to sugerować, że łatwiej złamać płytę betonową niż drewnianą, a tym samym wywołać w pełni uzasadnione zdziwienie.

Wyjaśnienie tej pozornej sprzeczności nie jest specjalnie kłopotliwe. Mniejsza siła, a równocześnie większa energia w przypadku drewna, lub też odwrotnie w przypadku betonu, wynika z prostej zależności między tymi wielkościami. Energia jest iloczynem siły i przesunięcia (w naszym przypadku wygięcia), a zatem trzykrotnie większa energia przy pięciokrotnie mniejszej sile działającej oznacza, że płyta drewniana ulega 15-krotnie większemu wygięciu niż płyta betonowa. Tak faktycznie dzieje się w rzeczywistości, choć nie wyjaśnia to jeszcze do końca naszych wątpliwości energetycznych, należy bowiem wziąć pod uwagę fakt, że nie cała energia uderzenia może być przekazana niszczonemu obiektowi. Wielkości E_k zamieszczone w tabeli 11.1 są wartościami energii, którą należy dostarczyć uderzanym obiektom, aby je zniszczyć, a nie wartościami energii oddawanej przez karatekę w trakcie uderzenia. Wynika to z faktu, że tylko część energii może zostać przekazana, a zależy ona od właściwości materiału i masy uderzanego obiektu. Relacja ta jest znacznie korzystniejsza dla drewna i w tym właśnie kryje się wyjaśnienie faktu, że drewno łatwiej jest złamać niż beton.

Na to, aby w pełni zrozumieć badane zjawisko fizyczne, nie wystarczy doświadczalne wyznaczenie — nawet z bardzo dużą dokładnością — wielkości fizycznych opisujących jego przebieg. Trzeba przede wszystkim stworzyć fizyczny obraz zjawiska i umieć go opisać stosując odpowiednie teorie fizyczne. Na przykład teoretyczne obliczenia energii krytycznej, uwzględniające jedynie mechaniczną energię przekazaną deformowanemu obiektowi, nie są zgodne z danymi doświadczalnymi. Znacznie lepszą, choć też nie idealną, zgodność teorii z doświadczeniem uzyskuje się biorąc pod uwagę również efekty akustyczne. Okazuje się, że mają one bardzo istotny wpływ na pękanie uderzanej płyty i w znacznym stopniu obniżają energię progową.

Każde ciało uderzone lub też wyprowadzone, przez jakiekolwiek oddziaływanie zewnętrzne, z położenia równowagi zaczyna drgać. Drgania te są źródłem fal, które w tymże ciele się propagują. Bardzo uproszczonym, ale równocześnie poglądowym, przykładem może być szarpnięta struna. Charakter propagującej się w niej fali, przenoszonej zresztą przez powietrze i dzięki temu słyszalnej, zależy od sposobu jej uderzenia. Każda struna, podobnie jak masywna płyta, ma charakterystyczne dla siebie częstości wzbudzanych drgań.



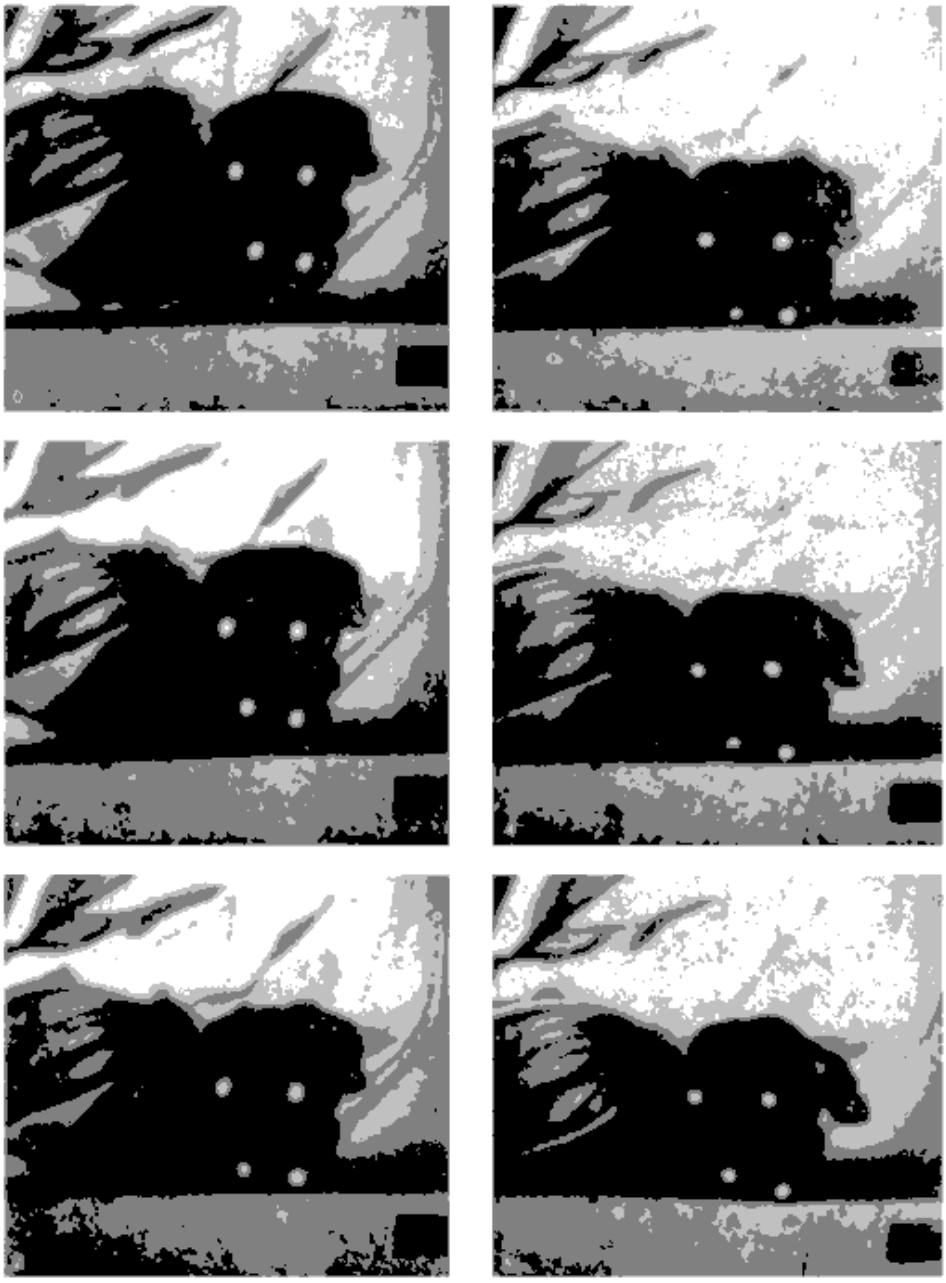
Jeśli zewnętrzne oddziaływanie zaburzające trwa bardzo krótko, to oprócz drgań o tej charakterystycznej częstości zwanej podstawową mogą wzbudzić się również tzw. częstości harmoniczne będące wielokrotnościami częstości podstawowej.

Przy uderzeniu betonowego bloku lub drewnianej deski ręką karateki czas oddziaływania szacowany na kilka milisekund jest zazwyczaj znacznie dłuższy niż okres drgań odpowiadający wyższym harmonicznym. Są one w ten sposób silnie tłumione i w bloku propaguje się tylko drganie podstawowe. Upraszcza to istotnie zagadnienie z rachunkowego punktu widzenia, a zatem ułatwia rozwiązanie równania falowego opisującego sytuację doświadczalną. Nie będziemy go tu przytaczać ani rozwiązywać, a ograniczymy się jedynie do stwierdzenia, że uwzględnienie rozchodzącej się w płycie fali akustycznej powoduje kilkakrotne obniżenie progu energii. Istotnie, model biorący pod uwagę efekty akustyczne daje wartość energii akustycznej E_k stosunkowo bliską wartości wyznaczonej doświadczalnie.

Po przedstawieniu różnego rodzaju teoretycznych aspektów uderzeń karate zajmiemy się teraz stroną praktyczną, a w szczególności metodami pomiarowymi wielkości fizycznych, o których była dotychczas mowa. Najczęściej stosowaną, także ze względu na swoją poglądowość, jest technika fotograficzna posługująca się kalibrowanymi lampami stroboskopowymi. Przy otwartym obiektywie aparatu fotograficznego, oświetlające impulsy lampy stroboskopowej prowadzą do rejestracji na tej samej klatce filmu szeregu obrazów odpowiadających określonym odstępom czasowym. Znając czas mijający między kolejnymi impulsami, a także widoczne na zdjęciu przesunięcie obserwowanego obiektu, możemy wyznaczyć prędkość oraz przyspieszenie różnego rodzaju ruchów, których kolejne fazy zostały zarejestrowane. Typowy zapis fotograficzny przy użyciu lampy stroboskopowej oświetlającej obiekt 120 razy na sekundę przedstawiony jest na rys. 11.4.

Aby móc dokładniej śledzić zmianę położenia, na przykład określonego punktu dłoni, należy zwiększyć częstotliwość rejestrowania obrazu. Można to uzyskać za pomocą bardzo szybko przesuwającej się taśmy filmowej pozwalającej na zapis z prędkością nawet kilku tysięcy klatek w ciągu sekundy. Taką też technikę wykorzystali autorzy sekwencji zdjęć przedstawionej na rys. 11.5. Cztery białe punkty na zewnętrznej powierzchni dłoni uderzającej w płytę betonową pozwoliły na określenie jej przesunięcia, prędkości i przyspieszenia. Pierwsze zdjęcie odpowiada tzw. chwili zerowej, czyli chwili zetknięcia się uderzającej pięści z płytą betonową. Kolejne zdjęcia opatrzone numerami od 1 do 5 wykonane zostały w odstępach 1 milisekundy. Jak widać, pęknięcie na płycie (w dolnej jej części) pojawia się po 4 ms od chwili zetknięcia się z nią dłoni, po 5 ms zaś widać już nieznaczne wygięcie górnej powierzchni płyty.

Na rysunku 11.6 przedstawione są wyznaczone na podstawie zdjęć, a ściślej na podstawie położenia lewej dolnej kropki, wartości położenia, prędkości i przyspieszenia uderzającej dłoni oraz ich zmiany w czasie. Maksymalna



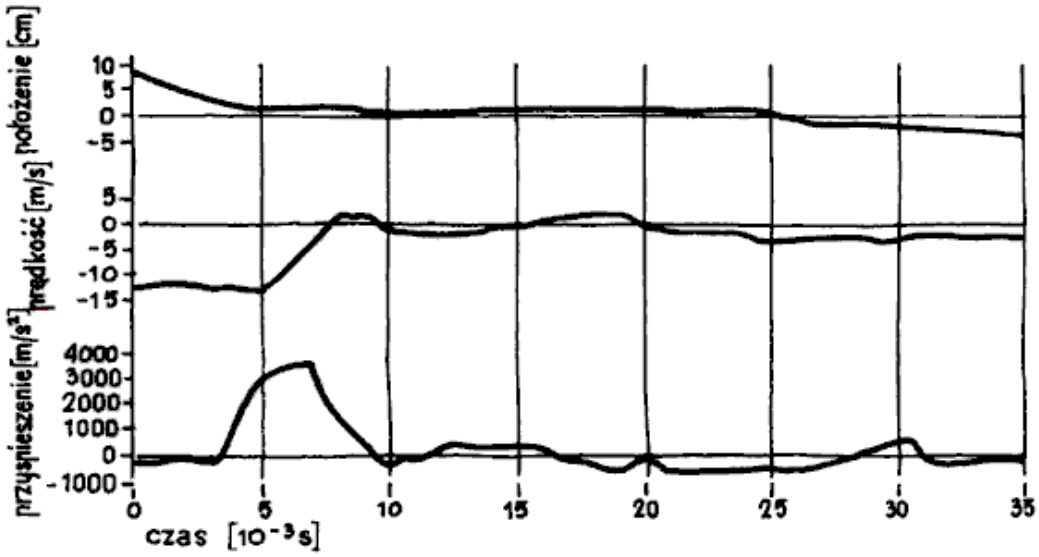
prędkość dłoni wynosi około 14 m/s, natomiast jej opóźnienie dochodzi do kilku tysięcy m/s^2.

Powyższe dane pozwalają oszacować również średnią wartość siły, jaka działa na pięść w trakcie trwania zderzenia. Siła ta jest iloczynem masy dłoni i jej przyspieszenia (tutaj opóźnienia), co przy założeniu masy dłoni równej 0,7 kg daje

$$F = ma = 0{,}7\ \mathrm{kg} \cdot 3500\ \mathrm{m/s^2} = 2450\ \mathrm{N}.$$

Sekwencja zdjęć widoczna na rys. 11.5 odpowiada sytuacji, w której uderzana płyta pęka i ulega złamaniu. Rejestrowano również sekwencje odpowiadające różnym innym ułożeniom dłoni w momencie uderzenia. Pomiary wykazały, że wtedy, kiedy uderzana płyta nie rozlatywała się i pozostawała w całości, siły działające na pięść były jeszcze większe. Dochodziły one nawet do 3600 N. Wynika stąd, że powodzenie próby zależy nie tylko od siły uderzenia, ale także od ułożenia ręki. Warto przy okazji zauważyć, że większa siła oddziaływania na rękę przy uderzeniu nieskutecznym oznacza, że niepowodzenie bardziej boli i to w dosłownym, fizycznym sensie.

Przedstawiona na rys. 11.5 sekwencja zdjęć pozwala nie tylko na wyznaczenie pewnych wielkości fizycznych, ale także na uzyskanie innych istotnych informacji. Względne zmiany odległości między poszczególnymi kropkami wskazują na to, że dłoń również ulega deformacji i nie może być traktowana

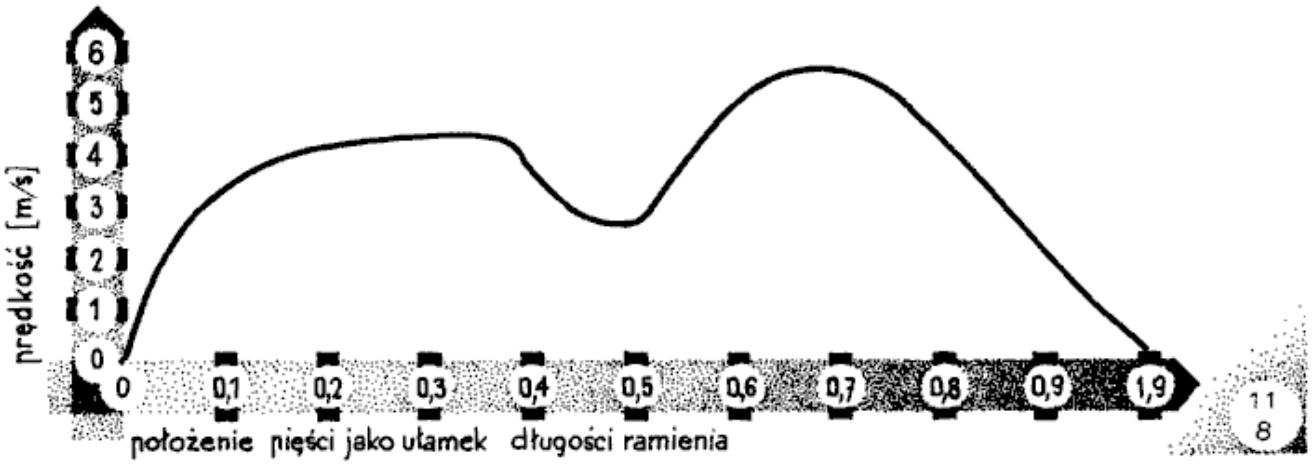


jako ciało sztywne. Wynika stąd, że w rozpatrywanym przez nas modelu niesprężystego zderzenia trzeba uwzględnić fakt, że część energii właśnie w ten sposób jest tracona. Im cięższy i sztywniejszy uderzany obiekt, tym większa część energii idzie na deformację dłoni. Jest to jeszcze jeden argument uzasadniający nieoczekiwaną i dyskutowaną wcześniej relację między energiami potrzebnymi do złamania płyty drewnianej i betonowej.

Pomiary prędkości dłoni przy uderzeniach w dół pozwoliły na stwierdzenie, że w wykonaniu wytrawnych karateków — zawodowców osiągają one około 14 m/s, czyli nieco ponad 50 km/godz., podczas gdy sprawni ale nie

11
7

wytrenowani w tym kierunku amatorzy są w stanie uzyskać około 40 km/godz. W przypadku uderzenia do przodu takiego, jak przedstawione na rys. 11.7, prędkości są mniejsze i sięgają zazwyczaj 8–9 m/s. Ta maksymalna prędkość uzyskiwana jest w punkcie położonym w odległości około 70–80% długości wyciągniętego ramienia po czasie niewiele dłuższym niż 0,1 s od chwili wyprowadzenia ciosu. Zmiana prędkości dłoni w trakcie takiego uderzenia przedstawiona jest na rys. 11.8. Wykres sporządzono na podstawie zdjęć wykonanych kamerą z bardzo szybkim przesuwem taśmy. Jak widać z rysunku, najkorzystniej jest trafić w obiekt umieszczony w odległości równej około



11
8

3/4 długości wyciągniętego ramienia. Jeśli założymy, że zderzenie jest całkowicie niesprężyste ($e = 0$), masy uderzającego ramienia i uderzanej głowy przyjmiemy równe 7 kg, to dla maksymalnej prędkości na rys. 11.8 równej 6 m/s, energia ΔE przekazana na deformację (obliczona ze wzoru 11.6) wynosi 63 J. Jeśli przyjmiemy ponadto, zgodnie z istniejącymi danymi, że czas trwania zderzenia wynosi 8 milisekund, to uzyskamy moc równą około 8 kilowatów.

Przedstawiony przez nas rachunek należy opatrzyć dodatkowym komentarzem. W realnie zadawanych uderzeniach zaangażowana masa jest niewątpliwie większa od masy ramienia. Przy prawidłowo zadanym ciosie, w jego wyprowadzeniu bierze udział praktycznie cały korpus. Tym też należy tłumaczyć fakt, że mniejszy i lżejszy karateka jest w stanie wyprowadzać mocniejsze ciosy. Bardzo trudno jest natomiast określić, o ile należy w obliczeniach powiększyć masę ramienia, aby uzyskać możliwie realne wartości siły. Stąd też nasze uproszczenie.

Oszacujmy jeszcze inną, może bardziej wymowną, wielkość. Przyjęcie przez głowę, w tak krótkim czasie, całkowitego pędu ramienia (równego 42 kg · m/s) jest równoważne działaniu siły (z równania 11.8) około 5000 N. Oznacza to, że głowa poddana zostaje przyspieszeniu ponad 700 m/s^2, czyli ponad 70 g, gdzie g jest przyspieszeniem ziemskim. Podobny wynik przyniosły oszacowania przyspieszeń głowy po ciosach zadawanych przez mistrzów zawodowego boksu. Takie przyspieszenia wystarczają cakowicie na to, aby uderzony stracił przytomność. Przy ciosie bokserskim, dzięki rękawicy, siła rozłożona jest jednak na znacznie większą powierzchnię. Zauważmy ponadto, że uderzenie karate trafiające w skroń czy oko może być dla trafionego jeszcze bardziej przykre w skutkach niż utrata przytomności. Aby się o tym przekonać wystarczy przy obliczeniu przyspieszenia, jakiemu poddana zostaje głowa, podstawić zamiast masy całej głowy, tylko masę trafionej jej części.

Wykres przedstawiony na rys. 11.8 stanowi cenną informację dla samej analizy uderzenia. Wspomnieliśmy już, że celem uderzenia rozumianym jako miejsce, w którym ręka wytraca swoją prędkość, powinien być punkt znajdujący się wewnątrz uderzanego obiektu. W ten sposób faktyczne zetknięcie dłoni z obiektem następuje właśnie wtedy, kiedy prędkość uderzającej dłoni jest w przybliżeniu największa.

Innym uderzeniem, równie często stosowanym w walkach karate, jest uderzenie nogą. Sposobów jego wyprowadzania jest na tyle dużo, że nie możemy ich tu szczegółowo rozpatrywać. Warto jednak zaznaczyć, że niszcząca siła uderzeń nogą przewyższa siłę ciosów zadawanych ręką. Wynika to z faktu, że prędkości stopy uzyskiwane w momencie uderzenia mogą być większe od prędkości dłoni, a ponadto masa nogi jest większa niż masa ramienia.

Do naszych rozważań dotyczących skuteczności uderzeń warto dodać jeszcze jeden istotny element. Ponieważ efektywna energia deformacji jest proporcjonalna do kwadratu prędkości (równanie 11.6), więc każde dodatkowe jej zwiększenie bardzo znacząco procentuje w skuteczności uderzenia. Cóż

zatem można w tym celu zrobić? Po pierwsze cios może zostać poparty dodatkowym ruchem całego ciała w kierunku uderzenia. Można to zastosować przy ciosie przedstawionym na rys. 11.7 i przy ciosach nogami, natomiast nie można przy takim uderzeniu, jak widoczne na rys. 11.1. Warto ponadto wykorzystać ruch przeciwnika i wyprowadzić uderzenie wtedy, kiedy zbliża się on do uderzającego. Cios zadany w momencie zbliżania się do siebie obu walczących może nawet podwoić wartość energii ΔE określoną równaniem 11.6.

Pomiary prędkości przy uderzeniach nogą wskazują, że są one większe niż przy ciosach zadawanych rękami. Różnice te nie są wielkie i w zasadzie mierzone prędkości stopy nie przekraczają 60 km/godz. Absolutny rekord przypisuje się legandarnemu już karatece lat siedemdziesiątych Frankowi Duxowi. Stoczył on w swej karierze ponad 500 walk żadnej nie przegrywając, a wyprowadzany przez niego cios nogą przekraczał ponoć prędkość 110 km/godz.

Zostawmy jednak legendę i głębsze wnikanie w to, czy cytowany rekord jest fantazją czy rzeczywistością, a zajmijmy się innym zagadnieniem, które w odniesieniu do karate wydaje się wręcz podstawowe. Prawie każdy zadaje sobie następujące pytanie: Jak to się dzieje, że karateka łamiący deski lub też kruszący beton gołą dłonią, nie doznaje przy tym sam żadnego szwanku?

Odpowiedzi na powyższe pytanie może udzielić nam częściowo tabela 11.1. Wynika z niej jednoznacznie, że kość jest znacznie bardziej wytrzymała od betonu, jako że określający wytrzymałość współczynnik σ jest dla kości prawie 50-krotnie większy. Na to, aby złamać podparty na końcach pręt z kości o średnicy 2 cm i długości 6 cm, należy w jego środku przyłożyć siłę około 25000 N. Jest to dziesięć razy więcej niż policzona przez nas siła z jaką beton działa na rękę w czasie uderzenia. Zapas jest więc olbrzymi. Trzeba ponadto uwzględnić jeszcze kilka elementów działających na naszą korzyść, tj. dodatkowo chroniących rękę w czasie uderzenia.

W stosunku do rozważanej wyżej sytuacji, ręka nie jest podparta na obu końcach i uderzana w środku, jak opisany pręt. Jednocześnie siła uderzenia przenoszona jest w części na mięśnie, skórę i inne tkanki, a także na inne części ramienia. Ponadto trening i ćwiczenia karateków powodują stwardnienie skóry i tkanki podskórnej w miejscach, które przy zadawaniu ciosów stykają się z uderzanym obiektem. Na przykład może to być część dłoni wzdłuż małego palca. Wytworzona zostaje w ten sposób jak gdyby dodatkowa warstwa amortyzująca.

Ważne jest również właściwe ułożenie ręki w momencie zadawania ciosu, od niego bowiem zależy, w jaki sposób skutki uderzenia rozłożone zostają na różne części ciała. W szczególności dotyczy to ciosów zadawanych krawędzią dłoni lub stopy przy stosunkowo niewielkiej powierzchni zetknięcia w momencie uderzenia.

Jeśli przekonaliśmy czytelnika, że przytoczone wyżej mechanizmy chronią karatekę przed zrobieniem sobie krzywdy, to uzasadniliśmy również przyjęte

na początku założenie o zaniedbaniu deformacji dłoni w stosunku do deformacji uderzanego obiektu.

Mówiliśmy dotąd o łamaniu pojedynczych płyt. Efektowne pokazy mistrzów karate oferują nam często możliwość obejrzenia znacznie większego spustoszenia w używanym do demonstracji sprzęcie. Łatwo się domyślić, że kilka desek, ułożonych jedna na drugiej, stanowi dla karateki obiekt trudniejszy do zniszczenia niż pojedyncza deska. Nie jest już natomiast tak oczywiste, w jaki sposób łamane deski należy ułożyć i następnie uderzyć, aby próba przyniosła możliwie najlepszy efekt. Przede wszystkim deski należy ułożyć tak, aby nie leżały bezpośrednio jedna na drugiej. Można to zrobić przedzielając je na przykład ołówkami ułożonymi po dwa między deskami, blisko każdego z ich końców. Pozwala to na złamanie nawet 10 desek przy użyciu siły znacznie mniejszej niż 10-krotna wartość siły potrzebnej do złamania pojedynczej deski.

11
9

Wyjaśnienie nie jest trudne. Przedzielenie desek pozwala na wykorzystanie efektu opartego na przekazie momentu pędu. Pięść łamiąc najwyższą deskę podpartą na końcach nadaje każdej z jej połówek pewien moment pędu. Osiami obrotu są odcinki, wzdłuż których deski opierają się na ołówkach. Moment pędu dwóch połówek najwyższej deski przekazany zostaje desce znajdującej się pod nią, a ta z kolei uzyskany moment pędu przekazuje następnej. W ten właśnie sposób wykorzystujemy optymalnie energię uderzenia uzyskując spektakularne efekty. Przykład złamania ośmiu desek przełożonych ołówkami (zgodnie z podaną receptą) przedstawiony jest na rys. 11.9a. Uzyskany i zaprezentowany na zdjęcu efekt nie byłby możliwy, gdyby deski ułożyć bezpośrednio jedna na drugiej.

Oprócz sposobu ułożenia desek, także i miejsce ich uderzenia odgrywa istotną rolę. Im bliżej środka wymierzone jest uderzenie, tym lepsze przynosi

efekty. Rysunek 11.9b przedstawia sytuację, w której niecentralne uderzenie najwyższej deski spowodowało, że najniższa z nich oparła się niszczącej sile i pozostała w całości. Można zauważyć, że miejsce pęknięcia kolejnych desek przesuwa się w kierunku ich środka, czyli ku miejscu, w którym łatwiej je złamać. Oznacza to, że część początkowej energii ręki, przekazanej następnie układowi desek, zostaje stracona na ten właśnie ruch poziomy i w pewnym momencie brakuje już jej do złamania kolejnej deski.

Wymieniliśmy już wiele elementów, jakie powinny cechować skuteczne uderzenie karateki. Jest jeszcze jeden, nie łatwy do precyzyjnego zdefiniowania, a bardzo istotny dla końcowego efektu. Chodzi mianowicie o tzw. ogniskowanie ciosu. Optyczne skojarzenie takiego określenia jest w pełni uzasadnione, można bowiem znaleźć pewną analogię między skupianiem promieni świetlnych w układach optycznych i koncentracją energii przy zadawaniu ciosu. Znacznie trudniej opisać wykonanie. Polega ono w dużym uproszczeniu na tym, aby mięśnie ramienia i górnej części ciała, rozluźnione w fazie wyprowadzania ciosu i nadawania dłoni odpowiedniej prędkości, napiąć w chwili zetknięcia z trafianym obiektem tak, by pięść, ramię i górna połowa ciała stanowiły jedność. Efektywna masa zaangażowana w uderzenie jest wówczas znacznie większa. Ogniskowanie ciosu jest elementem trudnym i stanowi jeden z podstawowych elementów treningu karateki.

Różne aspekty uderzeń karate i ich niszczące efekty omówiliśmy głównie na przykładach oddziaływania z martwą naturą. Takie właśnie ograniczenie w wyborze uderzanych obiektów wiąże się zarówno z powtarzalnością przeprowadzanych prób (statystyka), jak również łatwością dokonania pomiaru (wynik ilościowy). Przytoczone wyniki wskazują dość jednoznacznie, jak niebezpieczne mogą być (i faktycznie są) skutki uderzeń karate wtedy, kiedy celem uderzenia jest człowiek.

Zgodnie ze swą filozofią i tradycją karate jest sposobem obrony. Przeniesienie dokładnie takiego rozumienia karate na obszar sportowej rywalizacji pozbawiłoby go właściwie sensu. Na macie muszą mieć miejsce atak i agresja. Co więcej, przy wyrównanych walkach, właśnie one są premiowane. Zrodził się również problem zdrowia walczących. Przy takich siłach i energiach uderzeń nietrudno przecież o poważne uszkodzenia ciała. Aby temu zapobiec, przynajmniej częściowo, wprowadzono tzw. karate bezkontaktowe, w którym cios przed dojściem do celu musi być zatrzymany, a oceniana jest jedynie technika. Filozofii karate może to istotnie nie zmienia, fizykę natomiast zasadniczo.

Odsyłacze do literatury:

15, 17, 45, 112, 185, 230, 256 (s. 105), **259, 268** (25).