

Krótkie wykłady

BIOMECHANIKA SPORTU



Paul Grimshaw, Adrian Lees
Neil Fowler, Adrian Burden

Krótkie wykłady

BIOMECHANIKA SPORTU

W serii ukazały się: *Biochemia* wyd. 3 zm.,
Biologia molekularna wyd. 3 zm.,
Biologia roślin, *Biologia rozwoju*,
Biologia zwierząt wyd. 2 zm.,
Mikrobiologia wyd. 2 popr. i unow.,
Genetyka wyd. 3 zm.,
Ekologia wyd. 2 zm., *Immunologia* wyd. 2 zm., *Neurobiologia*,
Fizjologia sportu, *Fizjologia człowieka*,
Mikrobiologia medyczna

Chemia organiczna, *Chemia nieorganiczna*,
Chemia fizyczna, *Chemia leków*,
Chemia analityczna, *Chemia dla biologów*

Krótkie wykłady

BIOMECHANIKA SPORTU

Paul Grimshaw
Adrian Lees
Neil Fowler
Adrian Burden

Przekład

Mirosław Łukaszewski
Wacław Petryński



Dane oryginału
Grimshaw P., Lees A., Fowler N., Burden A.
Instant Notes Sport & Exercise Biomechanics
The Instant Notes series

Za zgodą wydawcy oryginału wykorzystano układ i elementy graficzne okładki wydania angielskiego.

Redaktor *Anna Bogdanienko*

Łamanie *Fix Point, Warszawa*

Copyright © by Taylor & Francis Group, 2006
All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by Bios,
a member of the Taylor & Francis Group.

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujemy cudzą własność i prawo
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © for the Polish edition by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2010

ISBN 978-83-01-16415-7

Wydanie I – 1 dodruk

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl
www.pwn.pl
Druk i oprawa: OSDW Azymut Sp. z o.o.

Spis treści

Przedmowa	VII
Sekcja A – Kinematyka	1
A1 Anatomiczny opis ruchu	1
A2 Wielkości opisujące ruch prostoliniowy	11
A3 Wielkości opisujące ruch obrotowy	22
A4 Związek wielkości liniowych z kątowymi	30
A5 Graficzne przedstawienie wielkości kinematycznych – różniczkowanie numeryczne	38
A6 Graficzne przedstawienie wielkości kinematycznych – całkowanie numeryczne	45
A7 Ruch jednostajnie przyspieszony i rzut ukośny	49
Sekcja B – Dynamika ruchu postępowego	59
B1 Siły	59
B2 Zasady dynamiki – ruch prostoliniowy	69
B3 Pęd ciała i popęd siły	81
B4 Zasada zachowania pędu	90
B5 Grawitacja, ciężar i rzut pionowy	96
B6 Tarcie	105
Sekcja C – Dynamika ruchu obrotowego	113
C1 Moment siły	113
C2 Zasady dynamiki ruchu obrotowego	122
C3 Moment bezwładności i zasada zachowania momentu pędu	134
C4 Środek ciężkości i środek masy	146
C5 Równowaga i stabilność ciał	154
C6 Dźwignie	161
C7 Siła dośrodkowa i przyspieszenie dośrodkowe	171
C8 Statyczna ocena sił mięśni i sił w stawach	178
C9 Prosta dynamiczna ocena sił mięśni i sił w stawach	197
Sekcja D – Inne działy mechaniki	207
D1 Praca, moc i energia	207
D2 Zasada zachowania energii	215
D3 Mechaniczne właściwości materiałów	220
D4 Zderzenia	225
D5 Zderzenia niecentralne	230
D6 Mechanika płynów	235
Sekcja E – Zastosowania	245
E1 Biomechaniczny opis chodu	245
E2 Biomechaniczny opis biegu	252
E3 Biomechaniczny opis skoku	260
E4 Mechaniczna charakterystyka rzutu	266
E5 Napęd w płynach	272
E6 Mechanizmy urazów	281
Sekcja F – Metody pomiarowe	297
F1 Analiza wideo	297
F2 Optoelektroniczna analiza ruchu	309
F3 Wygładzanie danych	316
F4 Przyspieszeniomierze i inne przyrządy do badania ruchu	322

F5	Platformy dynamometryczne	330
F6	Pomiary ciśnienia	339
F7	Elektromiografia (EMG)	344
F8	Dynamometria izokinetyczna	355
F9	Antropometria, biomechanika i projektowanie sprzętu sportowego	361
Dodatki		373
I	Diagramy sił	373
II	Kryterium próbkowania	375
III	Powtórka z matematyki: przekształcenia algebraiczne	379
IV	Powtórka z matematyki: trygonometria	386
Indeks		389

PRZEDMOWA

Ponad dwa lata temu skontaktował się ze mną Neil Messenger z Leeds University i zapytał mnie, czy byłbym zainteresowany współpracą przy projekcie podręcznika biomechaniki sportu w serii *Krótkich wykładów*. Pomysł nie był nowy w odniesieniu do tradycyjnych dziedzin nauki, lecz w zakresie biomechaniki sportu był niewątpliwie nowatorski. Koncepcja zwięzłego tekstu, przeznaczonego zarówno dla studentów, jak i wykładowców, wydała mi się atrakcyjna i ambitna. Podręcznik, który ostatecznie powstał, może być cenny dla studentów, gdyż omawia wszystkie podstawowe zagadnienia biomechaniki w taki sposób, że może stanowić punkt wyjścia do zastosowań lub dalszych badań w tej dziedzinie. Wykładowcom daje z kolei tekst źródłowy, który może być podstawą szczegółowych wykładów, zajęć laboratoryjnych i ćwiczeń w grupach.

Pragnę gorąco podziękować Neilowi za zaproszenie do pracy nad tą książką. Rozumiem, dlaczego sam nie mógł ostatecznie brać udziału w tym projekcie. Dziękuję trzem pozostałym autorom książki, Adrianowi Leesowi, Neilowi Fowlerowi i Adrianowi Burdenowi, za pomoc w jej ukończeniu.

Paul Grimshaw

A1 ANATOMICZNY OPIS RUCHU

Hasła

Określenia ruchu

Powierzchniowy – bliski powierzchni, głęboki – daleki od powierzchni, przedni, tylny (wzdłuż osi strzałkowej), przyśrodkowy – blisko osi pionowej, boczny – daleko od osi pionowej, górny, dolny (wzdłuż osi pionowej), bliższy (proksymalny) – bliżej połączenia kończyny z tułowiem, dalszy (dystalny) – dalszy od połączenia kończyny z tułowiem.

Ruchy w stawach

Odwodzenie – oddalanie od osi, przywodzenie – zbliżanie do osi, obrót wewnętrzny i zewnętrzny – obrót podudzia ku środkowi i na zewnątrz względem osi pionowej, podeszwowy i grzbietowy – prostowanie palców stopy lub ich zbliżanie do goleni, wyprost i zginanie – ustawianie segmentów kończyny w tym samym kierunku lub zbliżanie ich do siebie, przeprost – przejście poza wyprost.

Ruchy w stawie skokowym

Inwersja i ewersja – ustawianie pięty ku środkowi i na zewnątrz osi kończyny, pronacja – złożony ruch trójwymiarowy stopy, zawierający ewersję, odwodzenie i zgięcie grzbietowe, supinacja – złożony ruch trójwymiarowy stopy, zawierający inwersję, przywodzenie i zgięcie podeszwowe.

Szczególne ustawienia i ruchy w stawach

Koślawość – dolna część kończyny obrócona w stawie kolanowym w płaszczyźnie czołowej tak, że stopy są oddalone od osi pionowej, szpotawość – analogiczne ustawienie, przy którym stopy są bliskie osi pionowej, odwodzenie i przywodzenie poziome – ramię wyciągnięte do przodu w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie odwodzone lub przywodzone, ruch kolisty w stawie – obrót w stawie, przy którym drugi koniec segmentu zatacza okrąg.

Terminy ogólne

Równoległe – proste równoodległe, które się nie przecinają, stopnie swobody – zmienne używane do opisu ruchu lub położenia, płaszczyzna diagonalna – nachylona pod pewnym kątem, rozciągac – oddalać od siebie, ścisnąć – zbliżać do siebie, podnoszenie i opuszczanie – kierowanie czegoś w górę lub w dół.

Początek układu – punkt wyjściowy (odniesienia), przyczep – anatomiczny punkt odniesienia, współrzędne – liczby określające położenie względem układu odniesienia, płaszczyzna – powierzchnia płaska, prostopadły – ustawiony pod kątem 90° .

Przesunięcie (translacja) – zmiana położenia bez obrotu, wysuwanie i cofanie – ruch w kierunku anatomicznym, obrót (rotacja) – ruch, przy którym zachodzi zmiana kąta, pionowy i poziomy – kierunki na płaszczyźnie, przy czym oś y jest skierowana w górę, a oś x – w bok.

Współrzędne

Odcięta – oś x , rzędna – oś y , punkt przecięcia – punkt wspólny dwóch prostych.

Płaszczyzny i osie ruchu

Pozycja anatomiczna ciała – głowa i wzrok zwrócone ku przodowi, kończyny górne wyprostowane, ułożone wzdłuż tułowia, stopy połączone powierzchniami przyśrodkowymi, dłonie skierowane ku przodowi, palce rąk wyprostowane. Płaszczyzna główna – płaszczyzna przechodząca przez środek masy ciała, płaszczyzna strzałkowa – płaszczyzna dzieląca ciało na część lewą i prawą, oś pozioma (poprzeczna) – oś prostopadła do tej płaszczyzny, płaszczyzna czołowa – płaszczyzna dzieląca ciało na część przednią i tylną, oś strzałkowa – oś prostopadła do tej płaszczyzny, płaszczyzna pozioma (poprzeczna) – płaszczyzna dzieląca ciało na część górną i dolną, oś pionowa – oś prostopadła do tej płaszczyzny.

Układy współrzędnych

Globalny (laboratoryjny) układ współrzędnych – układ związany z laboratorium, lokalny układ współrzędnych – układ związany z ciałem lub jego segmentem, układ prawoskrętny – układ o dodatnich kierunkach osi x , y i z zgodnych z regułą śruby prawoskrętnej.

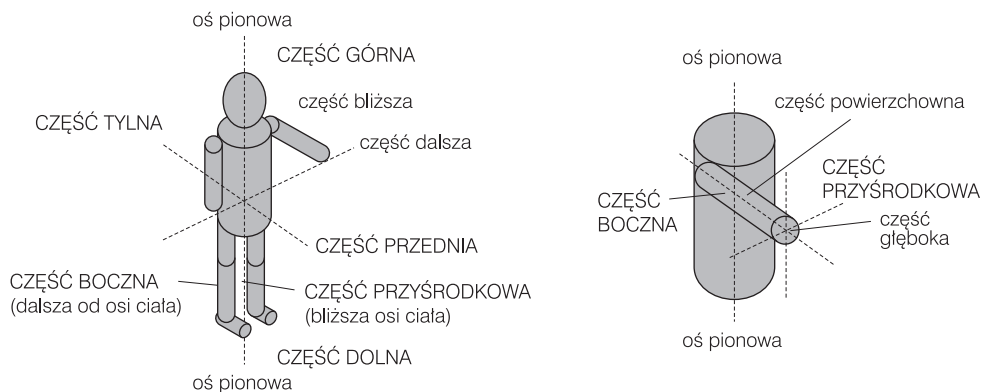
Określenia ruchu

Anatomiczny opis ruchu jest bardzo ważny dla dobrego zrozumienia biomechaniki, w związku z czym przedstawimy tu szczegółowo podstawowe terminy i pojęcia stosowane w anatomii i biomechanice.

Powierzchownymi nazywamy struktury bliskie powierzchni ciała, a **głębokimi** – struktury odległe od tej powierzchni. Poruszając się wzdłuż osi strzałkowej, napotykamy części ciała **przednią** i **tylną**. Ruch zachodzący w kierunku osi pionowej ciała lub struktury nazywamy **przywodzeniem**, a ruch polegający na oddalaniu się od tej osi – **odwodzeniem**. **Pośrodkowa część** kolana to ta część, która jest blisko osi ciała (najczęściej wewnętrzna część kolana), a **część boczna** to ta, która znajduje się dalej od osi ciała (zewewnętrzna część kolana). **Górna** część ciała lub jego segmentu to część odległa od stóp (leżąca wysoko w pozycji anatomicznej), a część **dolna** to ta, która jest bliska stóp (leżąca nisko w pozycji anatomicznej). **Blizsza (proksymalna)** część segmentu ciała (na przykład ramienia) to ta, która leży bliżej połączenia kończyny z tułowiem, a część **dalsza (dystalna)** to część dalsza od połączenia kończyny z tułowiem. Na przykład łokieć jest **proksymalnym**, a nadgarstek **dystalnym** końcem przedramienia, gdyż kończyna górna łączy się z tułowiem w stawie ramiennym. Znaczenie wprowadzonych tu terminów zilustrowano na rysunku A1.1.

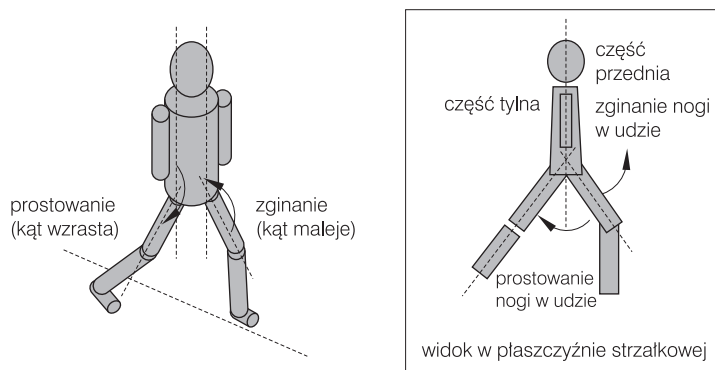
Ruchy w stawach

Odwodzenie to ruch (zwykle obrót), przy którym część ciała lub jego segmentu oddala się od ciała, a **przywodzenie** to ruch, przy którym część ciała lub jego segmentu zbliża się do ciała. **Obrót do wewnątrz** to obrót (w kierunku zgodnym lub przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara), przy którym kończyna lub jej segment przemieszcza się ku osi ciała, a **obróć na zewnątrz** to obrót, przy którym kończyna lub jej segment odchyła się od osi ciała. **Zgięcie podeszwowe** (termin stosowany najczęściej do ruchu w stawie skokowym, ze względu na nazwę odnoszącą się do podeszwy stopy) polega na kierowaniu palców w dół, a **zgięcie grzbietowe** (w stawie skokowym) polega na zbliżaniu palców do goleni, czyli podnoszeniu ich w górę. Podobny ruch może zachodzić w nadgarstku, lecz wtedy mówi się raczej o zginaniu i prostowaniu. **Wyprost** polega na prostowaniu kończyny lub jej segmentu, a **zginanie** – na



Rys. A1.1. Anatomiczny opis ruchu I

zbliżaniu do siebie segmentów kończyny. Wyprost w stawie kolanowym daje nogę wyprostowaną, a zgięcie nogi w stawie kolanowym powoduje zbliżenie do siebie uda i podudzia. Przy ruchach tego rodzaju mówi się też nieraz o **przepróście**. Chodzi tu o ustawienie kończyny, przy którym prostowania jej nie zaprzestano w porę i segmenty przemieściły się poza naturalny zakres tego ruchu. Pojęcie to też nie zawsze jest jednoznaczne w odniesieniu do różnych części ciała. Na przykład przy zginaniu nogi w stawie biodrowym mamy fazę ruchu, w której udo zbliża się do tułowia, a więc i do osi ciała (zginanie i prostowanie kończyny w stawie biodrowym zilustrowano na rysunku A1.2).

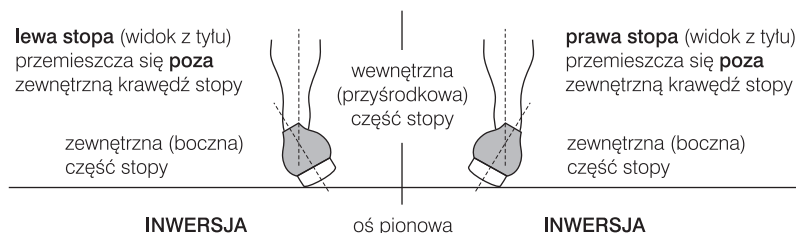


Rys. A1.2. Zginanie i prostowanie kończyny w stawie biodrowym

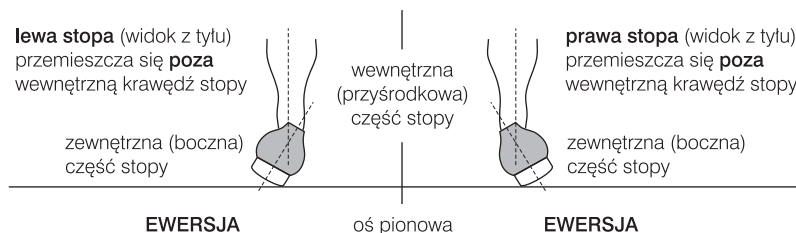
Ruchy w stawie skokowym

Inwersja w stawie lub pewnej strukturze polega na obrocie na zewnątrz, a **ewersja** – na obrocie segmentu lub struktury do wewnątrz (ku osi ciała). Określenia te nie zawsze są jasne i najlepiej je opisać w odniesieniu do konkretnej struktury lub segmentu. Na przykład inwersja kości piętowej występuje wtedy, gdy część stopy jest obrócona poza kostkę na zewnątrz, a ewersja – gdy część stopy jest obrócona poza kostkę do

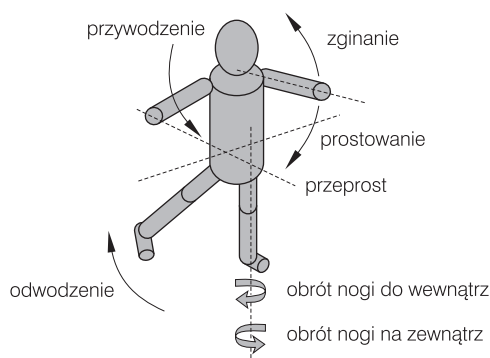
wewnątrz. Przedstawiono to szczegółowo na *rysunkach* A1.3 i A1.4. **Pronacja i supinacja** to złożone ruchy zachodzące jednocześnie w trzech płaszczyznach (obroty wokół trzech osi). Najczęściej odnosi się je do stawu skokowego dolnego, choć mogą dotyczyć również nadgarstka. **Pronacja** w stawie skokowym dolnym polega na **ewersji** pięty, **zgięciu grzbietowym** kostki i **odwodzeniu** przodostopia, a **supinacja** – na **inwersji** pięty, **zgięciu podeszwowym** kostki i **przywodzeniu** przodostopia.



Rys. A1.3. Inwersja kości piętowej



Rys. A1.4. Ewersja kości piętowej

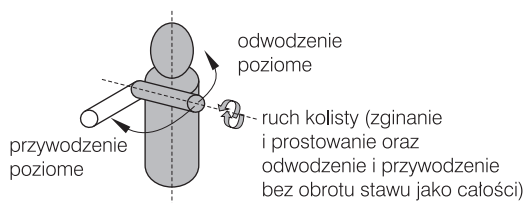


Rys. A1.5. Anatomiczny opis ruchu II

Te złożone ruchy opiszemy bardziej szczegółowo w dalszej części książki. Niektóre ich elementy przedstawiono na *rysunkach* A1.3, A1.4 i A1.5.

Swoiste ustawienia i ruchy w stawach

Prócz opisanych dotychczas pojęć występują też określenia odnoszące się wyłącznie do pewnych tylko segmentów ciała lub stawów. Na przykład **koślawość** dotyczy zwykle stawu kolanowego. W ruchu tym podudzie obraca się tak, że stopa oddala się od osi pionowej (co sprawia, że w widoku z przodu nogi przypominają literę X). Natomiast ze **szpotawością** (beczkowatością) mamy do czynienia wtedy, gdy podudzie obraca się w stawie kolanowym tak, że stopa zbliża się ku osi pionowej (co sprawia, że w widoku z przodu nogi przypominają literę O). W obu tych przypadkach ruch podudzia polega na obrocie wokół osi strzałkowej przechodzącej przez staw kolanowy. Podobnie, **odwodzenie i przywodzenie poziome** odnosi się głównie do ruchu w stawie ramiennym, przy którym ramię zostaje najpierw wyciągnięte do przodu w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie odwodzone lub przywodzone, tzn. oddalane od płaszczyzny strzałkowej lub zbliżane do niej. **Ruch kolisty** też odnosi się najczęściej do ruchu w stawie ramiennym. Polega on na tym, że ramię zostaje najpierw wyciągnięte do przodu w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie obracane w stawie tak, że drugi koniec segmentu zatacza okrąg. Ruch ten składa się ze zginania i prostowania oraz odwodzenia i przywodzenia, lecz nie towarzyszy mu obrót stawu jako całości. Taki ruch kolisty może dotyczyć też innych stawów i struktur (np. palców rąk). Na rysunku A1.6 przedstawiono szczegóły niektórych ze swoistych ruchów w stawach, opisanych w tej sekcji.



Rys. A1.6. Anatomiczny opis ruchu III

Terminy ogólne

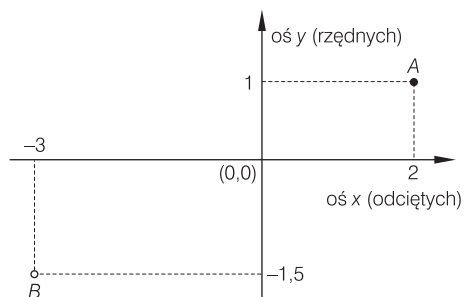
W biomechanice stosujemy wiele terminów i pojęć służących do opisu ruchu, zwłaszcza ruchu ciała ludzkiego. Używamy też jednak wielu ogólnie stosowanych pojęć oraz terminów anatomicznych. Oto niektóre z nich: proste **równoległe** to proste równoodległe od siebie, które się nie przecinają, **stopnie swobody** to liczba zmiennych potrzebna do opisu ruchu lub położenia układu (na przykład ruch kolana ma sześć stopni swobody), **płaszczyzna diagonalna** to płaszczyzna nachylona pod pewnym kątem (ani równoległa, ani prostopadła do danej), **rozciąganie** to oddalanie od siebie części ciała, a **ściskanie** to zbliżanie tych części do siebie, **podnoszenie** to przemieszczanie czegoś w górę, a **opuszczanie** to przemieszczanie czegoś w dół.

W biomechanice bardzo często opisujemy ruch ciała w przestrzeni dwuwymiarowej (mówimy wtedy o kierunkach x i y) lub trójwymiarowej (mówimy wtedy o kierunkach x , y i z). Jest bardzo ważne, abyśmy potrafili dobrze zdefiniować przestrzeń, w której zachodzi ruch. Służy znów do tego wiele pojęć i terminów. **Początkiem układu współrzędnych** nazywamy punkt wyjściowy, względem którego opisujemy położenie ciała.

W przestrzeni dwuwymiarowej (2D) jest to punkt przecięcia osi x i y (oś x przyjmujemy zwykle za poziomą, a oś y za pionową). Punktowi temu przypisujemy współrzędne $0, 0$ (tzn. $x = 0$ i $y = 0$). W anatomii takim punktem odniesienia jest najczęściej **przyczep** mięśnia, ścięgna lub więzadła. **Współrzędnymi** nazywamy liczby (dwie w przestrzeni dwuwymiarowej, trzy w przestrzeni trójwymiarowej), które wyznaczają położenie punktu. **Płaszczyzna** to płaska powierzchnia dwuwymiarowa, a **oś obrotu** to linia prosta, która może przechodzić przez ciało, jego część lub segment, służąca do opisu ruchu obrotowego ciała. Należy pamiętać, że oś obrotu nie musi przechodzić przez ciało lub jego segment, lecz może leżeć poza nimi. **Przesunięcie (translacja)** to zmiana położenia bez obrotu (na przykład ruch po linii prostej na płaszczyźnie). W anatomii mówi się często o **wysuwaniu i cofaniu** struktur lub stawów. Na przykład **wysuwanie** kości piszczelowej przemieszcza kość (a więc i podudzie) do przodu po linii prostej. **Obrót (rotacja)** to zmiana kąta tworzonego przez kończynę lub jej segment z pewnym kierunkiem odniesienia. Odbywa się względem osi obrotu, która zwykle przechodzi przez jeden ze stawów (na przykład obrotem jest ruch podudzia, gdy noga jest zginana lub prostowana w stawie kolanowym). W przestrzeni dwuwymiarowej badamy zwykle ruch w płaszczyźnie pionowej i wybieramy osie: **poziomą** (oś x) i **pionową** (oś y).

Współrzędne

Obiekt płaski (jak kartka tej książki, którą masz przed sobą) to fragment przestrzeni dwuwymiarowej. Określenie rozmiaru kartki wymaga podania dwóch liczb – jej szerokości i wysokości. Podobnie, położenie punktu w przestrzeni dwuwymiarowej opisujemy dwiema liczbami, stanowiącymi jego odległość od dwóch osi, x i y , stanowiących układ współrzędnych w tej przestrzeni. Zwykle jedna z tych osi jest pozioma (oś x), a druga – pionowa (oś y), choć osie można wybrać dowolnie i nie zawsze oś x musi być pozioma. Oś x nazywamy **osią odciętą**, a oś y – **osią rzędną**. **Punkt przecięcia** osi to **początek układu współrzędnych**. Osie układu współrzędnych powinny być prostopadłe do siebie (tworzyć ze sobą kąt 90°). Układ współrzędnych w przestrzeni dwuwymiarowej przedstawiono na *rysunku A1.7*.



współrzędne (x, y) punktu A wynoszą $(+2, +1)$
współrzędne (x, y) punktu B wynoszą $(-3, -1,5)$

Rys. A1.7. Przestrzeń dwuwymiarowa (płaszczyzna) i osie ruchu