

# 1. Ogólna charakterystyka budowy i złamań kości długich

## 1.1. Zarys budowy kości długich

Kości długie mają długość znacznie większą niż ich szerokość i grubość. Makroskopowo kości długie składają się z zewnętrznej, zbitiej kości korowej a w nasadach i częściach przynasadowych zawierają równocześnie gąbczastą kość rdzeniową. Kości długie składają się ze sztywnego trzonu, wewnątrz którego znajduje się jama oraz końce: proksymalny i dystalny (bliższy i dalszy) o większej sprężystości.

W grupie kości długich znajdują się między innymi kości kończyny dolnej: kość udowa, kość piszczelowa i kość strzałkowa oraz kończyny górnej: kość ramienna, kość łokciowa, kość promieniowa. Wzrost (w okresie dojrzewania) chrząstki nasadowej znajdującej się w kościach długich, decyduje o skokowym wzroście w końcowych latach wieku nastoletniego, po którym chrząstka nasadowa ulega skostnieniu [36].

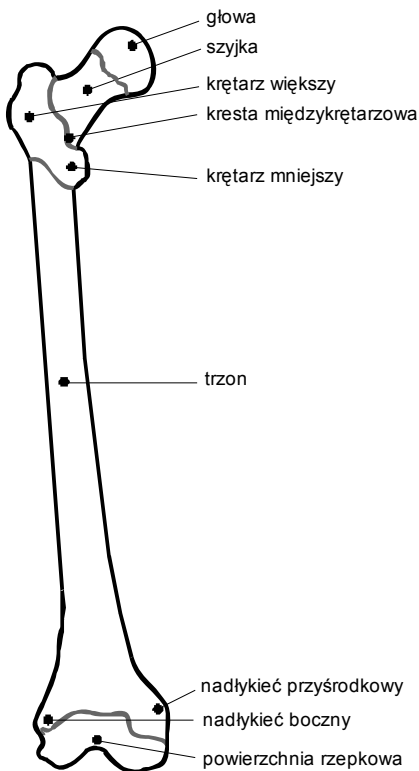
**Kość udowa** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny dolnej (rys. 1.1 i 1.2). Kość udowa wspierająca tkanki miękkie uda kończyny dolnej, zaliczana jest do kości długich, tzn. takich, których długość jest istotnie większa niż jej inne wymiary, posiada trzy podstawowe elementy: trzon, koniec bliższy i koniec dalszy i jest najdłuższą kością w organizmie człowieka.

W części proksymalnej (bliższej, górnej) kości znajduje się umieszczona w panewce stawu biodrowego kulista głowa kości, na której szczycie znajduje się dołek głowy kości udowej z przyczepem więzadła głowy kości udowej. Niżej umieszczony jest trzon kości udowej, nachylony pod kątem około  $126^\circ$  w stosunku do szyjki kości udowej. Głowę na wysokości pachwiny łączy z trzonem szyjka kości udowej, ustawiona pod kątem około  $45^\circ$  w stosunku do pionu. Między szyjką i trzonem znajdują się zgrubienia będące miejscami przyczepu mięśni uda, umiejscowiony z boku krętarz większy, w którego części środkowej znajduje się dół i z tyłu krętarz mniejszy, połączone od przodu kresą międzykrętarzową i od tyłu grzebieniem międzykrętarzowym. Dalsza część kości udowej jest prosta i ma przekrój zbliżony do kołowego w odcinku górnym, aż do przynasady, gdzie rozszerza się w kierunku dystalnym, staje się owalna i powiększa pole swojego przekroju, by stworzyć nasadę – element stawu kolanowego.

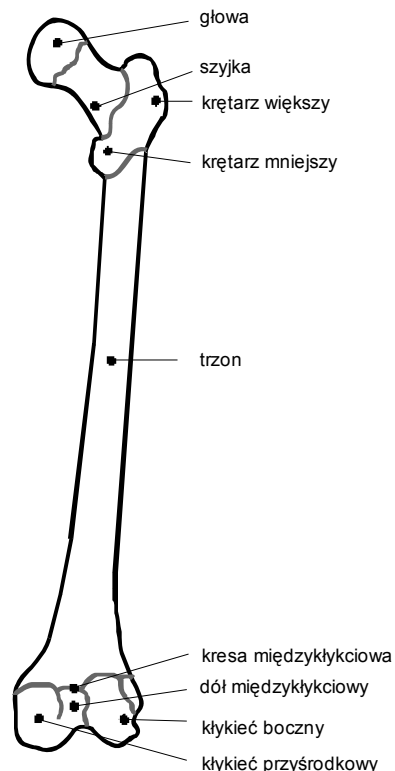
Z tyłu pod krętarzem większym znajduje się wyniosłość zwana guzowatością pośladową, poniżej krętarza mniejszego jest kresa grzebieniowa. Wzdłuż trzonu na tylnej powierzchni kości udowej biegnie kresa chropawa z wargą przyśrodkową i boczną, stykającymi się w części środkowej trzonu i rozdzielającymi się ku dołowi w kresy nadkłykciową przyśrodkową i boczną,

które tworzą trójkątne pole – powierzchnię podkolanową. Koniec dalszy tworzą kłykiec przyśrodkowy i kłykiec boczny połączone od strony przedniej powierzchnią rzepkową, między którymi jest dół międzykłykciowy. Kłykiec przyśrodkowy, kłykiec boczny i powierzchnia rzepkowa pokryte są chrząstką szklistą. Kłykiec przyśrodkowy i kłykiec boczny z tyłu łączy kresa międzykłykciowa, na ich powierzchniach bocznych są wyniosłości – nadkłykcia: przyśrodkowy i boczny. Na nadkłykciu przyśrodkowym znajduje się wyniosłość – guzek przywodzicieli [39, 73].

**Kość piszczelowa** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny dolnej. Kość piszczelowa jest drugą co do długości kością w organizmie ludzkim i składa się dwóch końców, bliższego i dalszego, trzech brzegów i długiego trójkątnego trzonu z trzema powierzchniami przyśrodkową, tylną i boczną (rys. 1.3), położonymi kolejno: pierwsza – niżej guzowatości kości piszczelowej, druga – w tylnej części kości, trzecia – w bocznej. Do tych powierzchni przyczepione są liczne mięśnie.



*Rysunek 1.1. Kość udowa prawa, widok z przodu [73]*



*Rysunek 1.2. Kość udowa prawa, widok z tyłu [73, 79, 92]*

Koniec bliższy – głowa kości piszczelowej ma kształt kłykcia bocznego i przyśrodkowego z powierzchniami wchodzącymi w skład stawu kolanowego. Między kłykcami znajduje się wyniosłość międzykłykciowa z guzkami bocznym i przyśrodkowym. U podstawy kłykcia bocznego na jego tylnobocznej powierzchni jest powierzchnia stawowa strzałkowa, łącząca z głową strzałki. Brzeg przedni kości piszczelowej i jej powierzchnia przyśrodkowa pokryte są tylko skórą i są dobrze przez nią wyczuwalne. Po stronie bocznej dalszej kości piszczelowej znajduje się wcięcie strzałkowe. W końcu dalszym kości znajduje się powierzchnia stawowa dolna łącząca z kością skokową stopy [73].

**Kość strzałkowa** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny dolnej. Główne jej elementy są typowe dla kości długich: koniec bliższy, trzon i koniec dalszy (rys. 1.4).

Koniec bliższy stanowi głowa strzałki na której jest powierzchnia stawowa łącząca kość strzałkową z kłykiem bocznym kości piszczelowej, gdzie tworzą staw piszczelowo-strzałkowy.



*Rysunek 1.3. Kość piszczelowa, widok od przodu [34-37, 73, 82, 83, 86]*

Trzon kości strzałkowej posiada trzy powierzchnie i trzy brzegi, z których brzeg międzykostny zwrócony jest w kierunku kości piszczelowej. W końcu dalszym kości strzałkowej znajduje się spłaszczona kostka boczna, dochodząca do kostki przyśrodkowej, której powierzchnia stawowa łączy się z kością skokową.

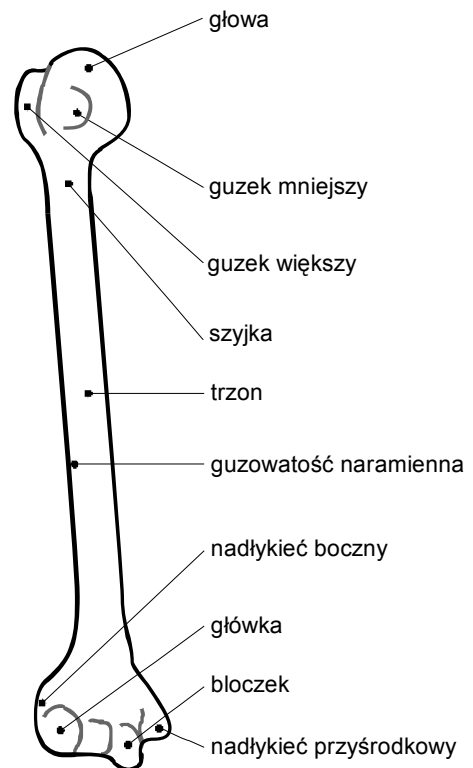
**Kość ramienna** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny górnej. Głównymi jej elementami są, typowe dla kości długich: koniec bliższy, trzon i koniec dalszy (rys. 1.5).

Na końcu bliższym znajduje się głowa kości ramiennej z szyjką anatomiczną i dwoma guzkami większym i mniejszym oddzielonymi bruzdą. Poniżej guzków znajduje się szyjka chirurgiczna stanowiąca miejsce częstych złamań.

Nierówność na bocznej powierzchni trzonu kości ramiennej – guzowatość naramienna jest miejscem przyczepu mięśnia naramiennego. Po obu stronach końca dalszego znajdują się wyniosłości, tzw. nadkłykiec boczny i przyśrodkowy. Pod nadkłykiem przyśrodkowym leży



**Rysunek 1.4.** Kość strzałkowa, widok od przodu [34-37, 73, 82, 83, 86]



**Rysunek 1.5.** Kość ramienna [34-37, 73, 82, 83, 86]

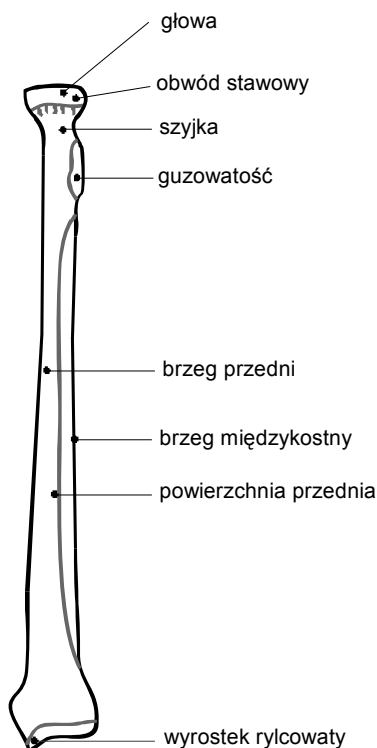
bruzda nerwu łokciowego. Powierzchnia boczna kości ramiennej łącząca ją z kością promieniową znajduje się na główce z boczkiem integrującym się z kością łokciową [73].

**Kość łokciowa** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny górnej. Koniec bliższy kości łokciowej posiada dwa wyrostki, większy łokciowy, jako górne zakończenie kości i niżej położony mniejszy – wyrostek dziobiasty (rys. 1.6). Trzon kości łokciowej ma w przekroju poprzecznym kształt trójkątny i ma trzy brzegi ograniczające trzy powierzchnie: przednią, przyśrodkową i tylną. Głowa kości łokciowej, będąca nasadą dalszą, przedłużona jest po stronie przyśrodkowej wyrostkiem rylcowatym. Kość łokciowa poprzez głowę i trójkątną chrząstkę oddzielona jest od nadgarstka [36].

**Kość promieniowa** należy do kości długich i jest jedną z kości kończyny górnej (rys. 1.7). Na końcu bliższym kości promieniowej znajduje się głowa oddzielona szyjką od trzonu. Koniec dalszy posiada powierzchnię stawową nadgarstkową – wcięcie łokciowe i wyrostek rylcowaty. Przekrój poprzeczny trzonu kości promieniowej jest trójkątny.



*Rysunek 1.6. Kość łokciowa [36]*



*Rysunek 1.7. Kość promieniowa [34-37, 73, 82, 83, 86]*

W kości promieniowej występują trzy brzegi: przedni – oddzielający powierzchnię przednią od bocznej, tylny – oddzielający powierzchnię tylną od bocznej i międzykostny, tzn. brzeg przyśrodkowy, oraz trzy powierzchnie: przednia, tylna i boczna [73].

## 1.2. Biomechaniczne aspekty funkcjonowania kości udowej i stawu biodrowego

Układ kostny człowieka, a w nim kości długie są przystosowane swoją budową do przeniesienia znacznych obciążeń. Przekrój poprzeczny kości długich jest zbliżony do wydrążonego walca o ciągłych i łagodnych zmianach wymiarów poprzecznych wzdłuż długości kości.

W skład kości wchodzi wiele tkanek o różnych właściwościach i zadaniach, np.:

- tkanka łączna stanowi składnik części nieobciążonych układu kostnego,
- tkanka łączna zbita składająca się z podobnie zorientowanych i silnie upakowanych włókien o większej wytrzymałości i sprężystości dzięki zawartości kolagenu i elastyny, będąca składnikiem ścięgien, więzadeł, torebek stawowych,
- tkanka chrzęstna jest elementem podporowym powierzchni stawowych,
- tkanka kostna składająca się z osteocytów, osteoblastów i osteoklastów oraz twardej, zwartej substancji międzykomórkowej bogatej w nieorganiczne sole wapnia na powierzchni, przenosząca główne naprężenia.

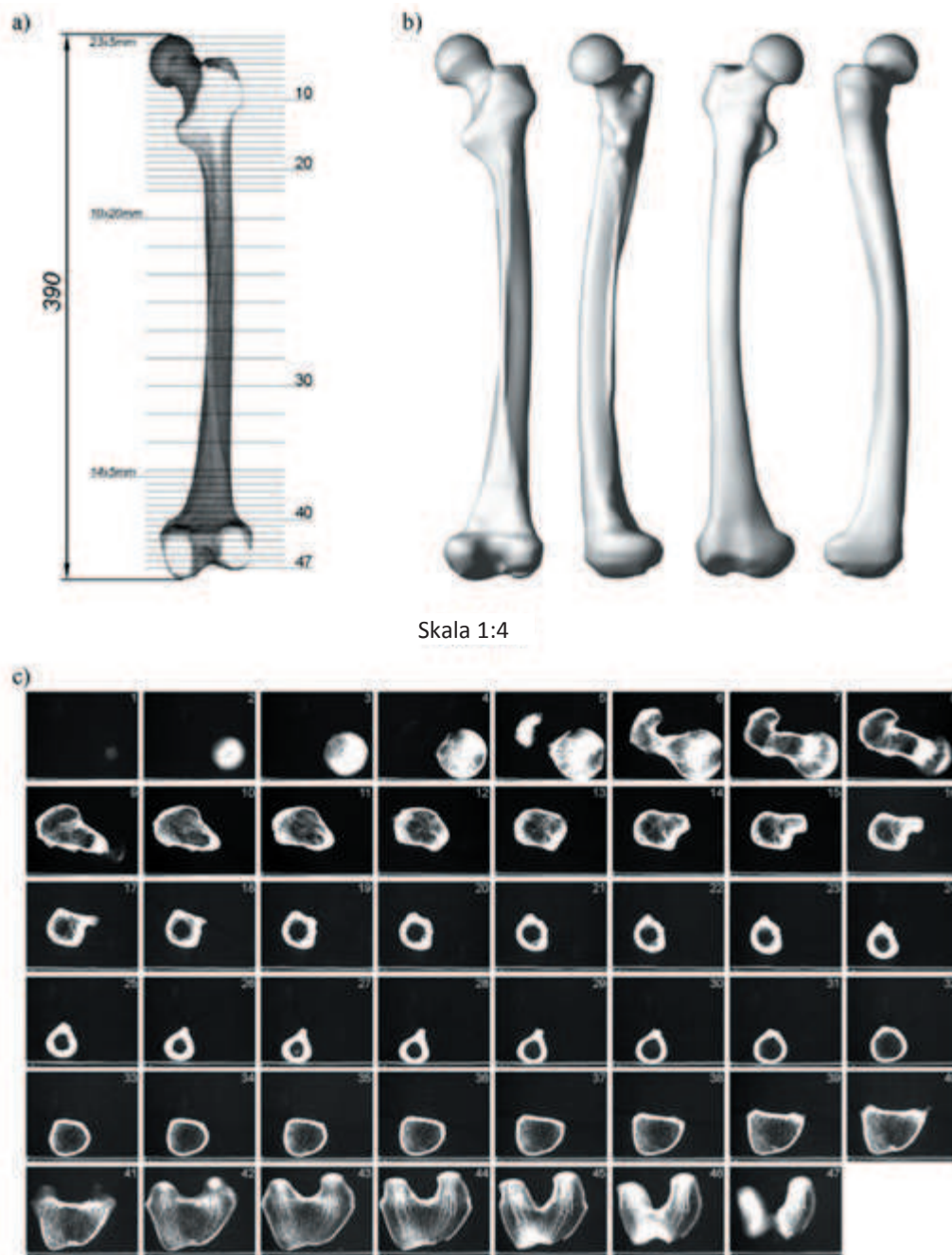
Funkcją biologiczną kości i całego aparatu mięśniowo-nerwowo-naczyniowego jest wykonywanie ruchu, w tym przenoszenie obciążeń wynikających z aktywności ruchowej człowieka.

Kości składają się ze składników mineralnych, zapewniających jej sztywność i składników organicznych, decydujących o elastyczności.

Głównymi wyróżniającymi cechami kości w aspekcie mechanicznym są:

- złożona wieloskładnikowa struktura miękkich i twardych komponentów o zróżnicowanej morfologii, umożliwiająca przenoszenie dużych naprężeń i zapewniająca dużą ciągliwość,
- wielopoziomowość budowy – niewielkie składniki łączą się w większe zespoły, które z kolei tworzą jeszcze większe zbiory,
- skręcenie włókien tworzących tkankę kostną, zwiększające wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie,
- możliwość adaptacji struktury w zmiennych warunkach obciążenia.

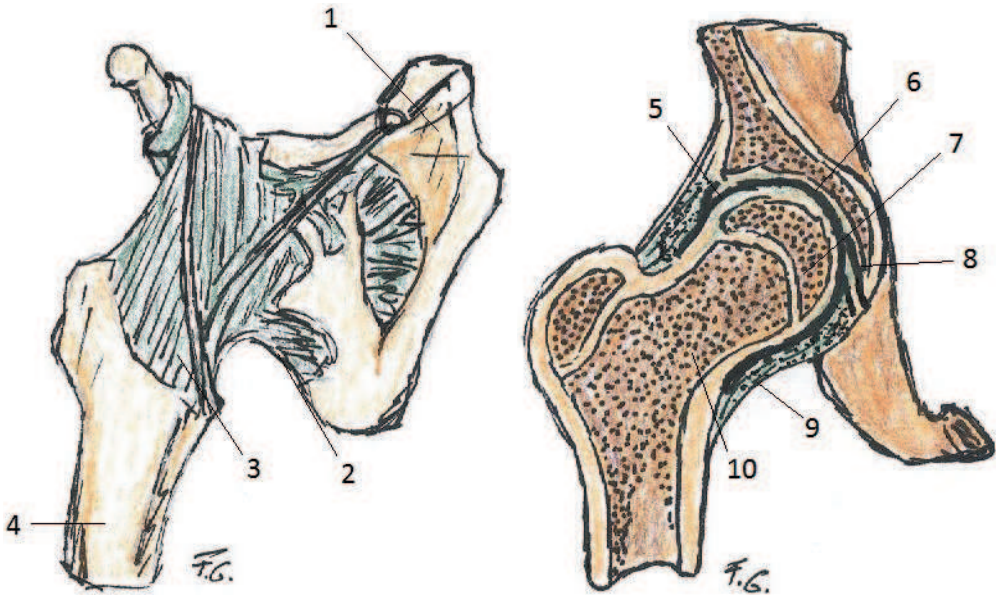
O właściwościach biomechanicznych kości (rys. 1.8, tabl. 1.1) decyduje jej struktura, zależna od wieku człowieka, cech geometrycznych i, warunków obciążenia. Tkanka kostna zawierająca prawidłowy udział kolagenu ma większą odporność na pęknięcie, niż tkanka kostna osób starszych, uboższa w kolagen [52, 75].



**Rysunek 1.8.** Wizualizacja cech geometrycznych kości udowej z wykorzystaniem rentgenowskiej tomografii komputerowej a) sposób podziału kości na przekroje; b) przeniesione cechy geometryczne; c) obrazy tomograficzne odpowiadające poszczególnym przekrojom [62, 64, 76]

**Tablica 1.1.** Własności biomechaniczne kości ludzkiej [52, 53]

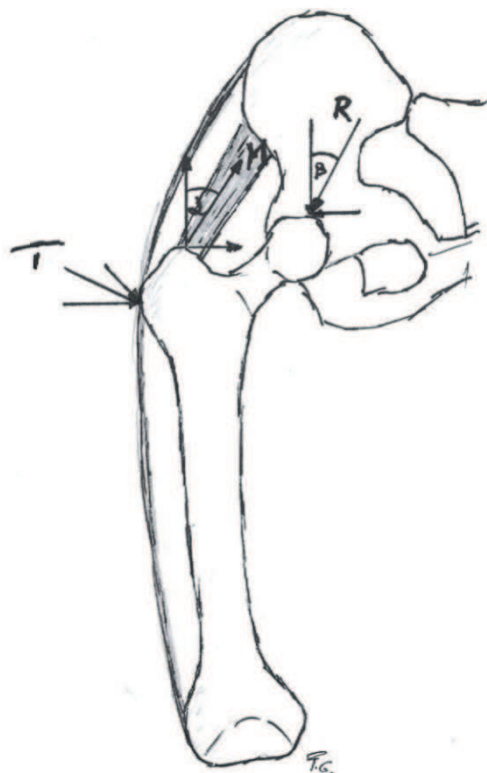
Własność	Wartość
wytrzymałość na rozciąganie	107 MPa
graniczne wydłużenie	135%
wytrzymałość na ściskanie	159 MPa
wytrzymałość na zginanie	160 MPa
wytrzymałość na skręcanie	53 MPa
graniczne odkształcenie skręcające	$0,027 \pm 0,0005$
moduł sprężystości podłużnej	$(138-194) \cdot 10^3$ MPa
moduł sprężystości poprzecznej	3,14 GPa
wytrzymałość zmęczeniowa, $(1-3) \cdot 10^6$ cykli	35 MPa
wytrzymałość na rozszczepianie w kierunku promieniowym	84 MPa



**Rysunek 1.9.** Budowa stawu biodrowego: 1 – fragment kości miednicznej, 2 – więzadło kulszowo-udowe, 3 – więzadło biodrowo-udowe, 4 – kość udowa, 5 – obrąbek panewkowy, 6 – panewka, 7 – głowa kości udowej, 8 – więzadło głowy kości udowej, 9 – włókna warstwy okrężnej, 10 – szyjka kości udowej, według [78]

W obszarze stawu biodrowego działa 27 aktonów mięśniowych – zespołów mięśni stawu o jednakowym lub zbliżonym przebiegu włókien umożliwiającym realizację samodzielnego jednakowego działania względem osi stawu (rys. 1.9). Należą do nich odwodziciele, np. mięsień pośladkowy mały i średni, przywodziciele, np. mięsień grzebieniowy, zginacze, np. mięsień prosty uda, prostowniki, np. mięsień pośladkowy wielki, oraz rotatory [66].



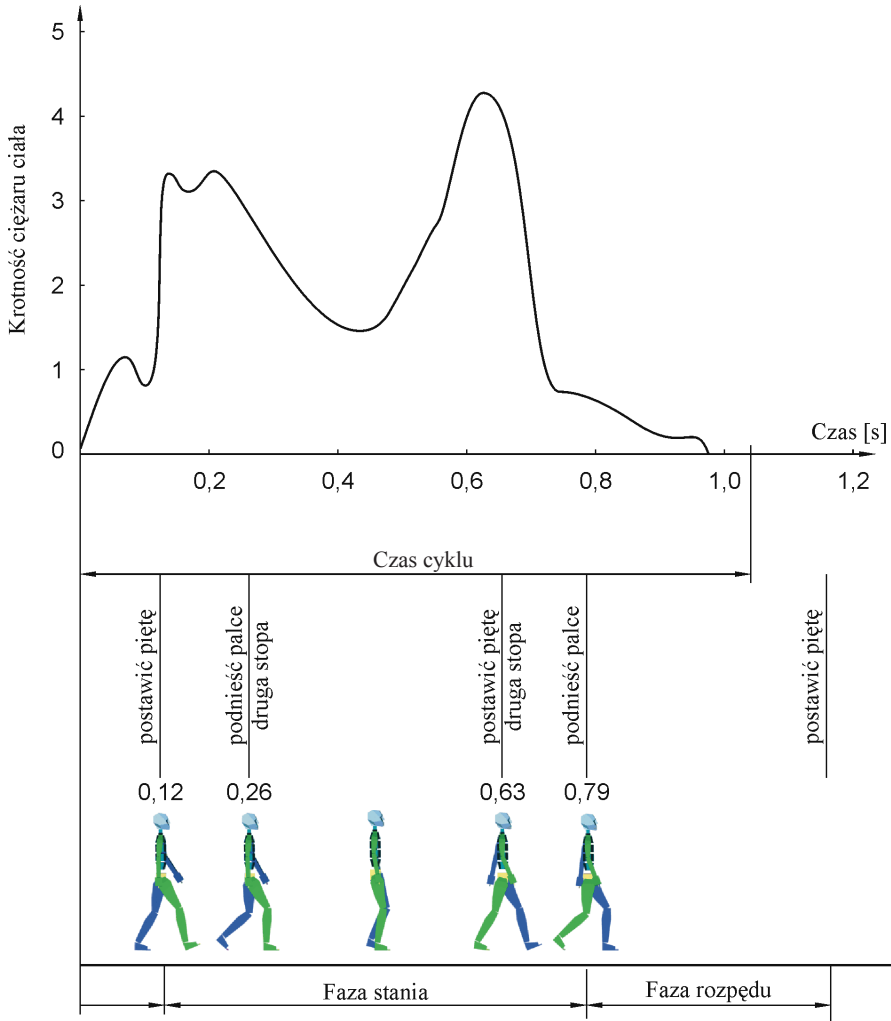


**Rysunek 1.10.** Schemat obciążeń działających na staw biodrowy ( $R$  – siła wypadkowa,  $M$  – siła reakcji mięśni,  $T$  – siła reakcji pasma biodrowo-piszczelowego), według [26]

Biomechaniczna analiza dokonana w celu określenia stanu naprężeń, przemieszczeń implantu oraz odłamów kostnych jest ważna ze względu na dobór materiału i struktury warstwy wierzchniej implantów [53].

W kościach kończyny górnej przeważają naprężenia rozciągające, a w dolnej – ściskające. Kość udowa podlega złożonemu stanowi naprężeń dynamicznych, a w końcu proksymalnym przejmuje poprzez staw biodrowy naprężenia, głównie ściskające, pochodzące od obciążenia układem kostnym i mięśniowym człowieka powyżej miednicy.

Staw biodrowy jest układem o trzech stopniach swobody, łączącym kości udową i miedniczną, co decyduje o jego własnościach kinematycznych [24, 80]. Poprzez staw biodrowy obciążenia z kręgosłupa lędźwiowego i miednicy przenoszone są do kości udowej. Obciążenia te wywołane są siłami zewnętrznymi – siłami grawitacji oraz siłami wewnętrznymi wywołanymi przez aktywność pasm mięśni regulujących pracę stawu (rys. 1.10) [24].



**Rysunek 1.11.** Siła obciążająca dynamicznie układ ruchu w obszarze stawu biodrowego w czasie jednego cyklu chodu człowieka [62, 76, 78]

Obciążenie stawu biodrowego kości zależy od fazy styku stopy z podłożem. Towarzyszące tym fazom ruchy ciała człowieka sprawiają, że odtworzenie pełnego, rzeczywistego modelu obciążeń stawu biodrowego i kości udowej nie jest w pełni możliwe. Na rysunku 1.11 przedstawiono zależność wielkości siły obciążającej dynamicznie układ ruchu w obszarze stawu biodrowego i kości udowej w czasie jednego cyklu chodu człowieka, opracowany na podstawie istniejących danych literaturowych i modeli zaczerpniętych z literatury, opisujących obciążenie stawu podczas chodu [13, 62]. Jak wskazuje rysunek 1.11, wartość siły obciążającej

dynamicznie układ ruchu w obszarze stawu biodrowego w czasie jednego cyklu chodu człowieka, może przekraczać czterokrotną wartość ciężaru ciała człowieka.

### 1.3. Złamania kości udowej

Złamanie kości udowej (najdłuższej kości w organizmie człowieka) należy do jednych z najpoważniejszych urazów występujących najczęściej u osób w wieku powyżej 60 lat, szczególnie kobiet. Liczba złamań powiększa się w wyniku wzrostu w populacji udziału osób w wieku podeszłym. W tej grupie wiekowej złamania są często efektem pozornie drobnych urazów, podczas gdy wzrost liczby złamań kości udowej u ludzi młodych spowodowany jest najczęściej poważnymi urazami, w efekcie wypadków komunikacyjnych lub uprawiania sportu [25, 28, 70].

Złamania górnego odcinka kości udowej obejmują:

- złamanie szyjki,
- złamania przekrętarzowe charakteryzujące się czasami dużą fragmentacją kości [42, 48, 93].

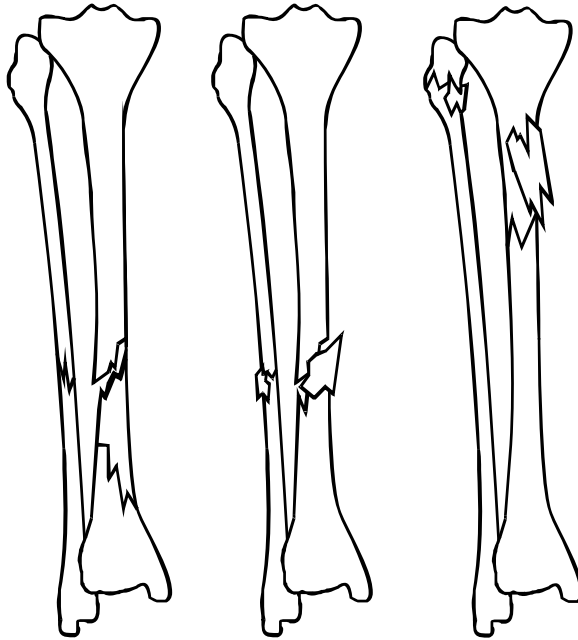
Złamanie w obrębie głowy lub szyjki kości udowej, jest następstwem niewielkiego urazu w wyniku upadku, potknięcia, mocnego nadeźnięcia. Ryzyko złamania jest większe u osób starszych, częściej u kobiet. Czynnikiem ryzyka są: osteoporoza, przerzuty nowotworowe, choroby układu nerwowego, wtórna nadczynność przytarczyc w przebiegu zaawansowanej niewydolności nerek.

Do złamania trzonu kości udowej dochodzi zwykle przy wypadkach komunikacyjnych lub sportowych. Złamania trzonu kości udowej obejmują:

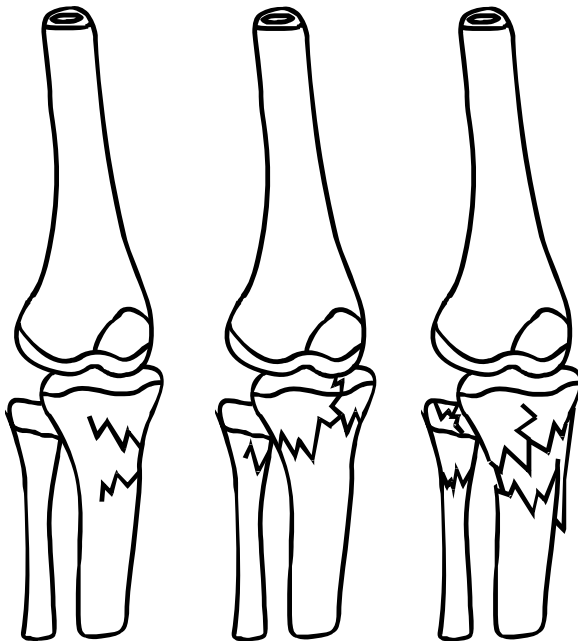
- złamanie wieloodłamowe,
- skośne złamanie spiralne.

Złamania obwodowego końca kości udowej powstają najczęściej w wyniku wypadków, którym towarzyszy:

- uraz bezpośredni, np. silne uderzenie boczne powodujące złamanie dwu- lub wieloodłamowe, najczęściej w wypadkach komunikacyjnych;
- uraz pośredni skrętny w efekcie działania momentu skręcającego od piszczeli i stopy przez staw kolanowy; najczęściej ma miejsce w czasie upadków podczas aktywności sportowej; do takiego urazu dochodzi np. podczas upadków narciarskich, gdzie duża siła skręcająca, poprzez dźwignię (którą jest narta), skręca kość aż do złamania; dochodzi wtedy do złamania spiralnego, które tworzy dwa bardzo ostre odłamki.



*Rysunek 1.12. Złamania trzonu podudzia do stabilizacji śródszpikowej*



*Rysunek 1.13. Złamania w obrębie głowy lub szyjki do stabilizacji śródszpikowej*

Złamania obwodowego końca kości udowej mogą być:

- pozastawowe,
- śródstawowe.

Wśród licznych rodzajów złamań kości do ważniejszych można zaliczyć (rys. 1.12 i 1.13) [84-87]:

- zupełne (ciągłość kości przerwana na całym jej przekroju poprzecznym),
- częściowe (ciągłość kości przerwana na części jej przekroju poprzecznego),
- złamanie wieloodłamowe (kość złamana na więcej niż dwa fragmenty),
- złamanie zaklinowane (złamane fragmenty wgniecione w siebie),
- złamanie patologiczne (złamanie kości osłabionej lub uszkodzonej wcześniej w wyniku zmian patologicznych, często spowodowane dodatkowym niewielkim urazem).