

CO TO JEST JAKOŚĆ KOŚCI?

I Środkowo Europejski Kongres Osteoporozy i Osteoartrozy oraz
XIII Zjazd Polskiego Towarzystwa Osteoartrologii i Polskiej
Fundacji Osteoporozy, Kraków 6-8.10.2005

Streszczenia:

Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja 2005, vol 7 (Suppl. 1),
s79-80.

L24

CO TO JEST JAKOŚĆ KOŚCI?

Mirosław Jabłoński

Klinika Ortopedii i Rehabilitacji AM w Lublinie, ul.
Jaczewskiego 8, 20-950 Lublin

Słowa kluczowe: Jakość kości, wytrzymałość, biomechanika kości

Oczywista niepodatność szkieletu na odkształcenia pod wpływem sił wynikających ze skurczów mięśni i działania grawitacji zapewnia stałość kształtu ciała oraz podstawę dla czynności jego narządu ruchu. Przeciężenia podczas urazów są nierzadko przyczyną złamań, które definiuje się jako przerwanie ciągłości kości. Taka „ostra niewydolność mechaniczna” powstaje wówczas, gdy zostaje przekroczona wytrzymałość, czyli wartość siły łamiącej. Liczne obserwacje kliniczne i wyniki badań doświadczalnych na zwierzętach zwracają uwagę na potrzebę pogłębienia rozważań nad mechaniczną wydolnością szkieletu pod kątem przenoszonych obciążeń i odporności na złamania. W ten sposób wytrzymałość kości wiąże się bezpośrednio z pojęciem ich jakości, jako struktur podporowych.

Z fizycznego punktu widzenia kości to zbudowane kompozytywo w układzie hierarchicznym ciała sprężyste. Wytrzymałość wyizolowanych kości poddanych próbom podczas złamań doświadczalnych zależy od ich budulca (materiału) czyli

tkanki, z której powstały oraz jej przestrzennego rozmieszczenia i wymiarów, co zwykle określać się geometrią kości.

Zróżnicowany wpływ na jakość kości mają genetyczne czynniki określające wartość biochemiczną i pośrednio biomechaniczną składowych budulca kompozytywego tkanki kostnej tj. jej fazy organicznej i mineralnej. Klasycznym przykładem chorobowej niewydolności szkieletu wskutek błędu genetycznego kolagenu jest wrodzona łamliwość kości, a skrajnych zaburzeń fazy mineralnej genetycznie uwarunkowana choroba marmurowa kości, którą przy nadmiernym wysyceniu szkieletu solami wapnia charakteryzuje zwiększona częstość złamań.

Duży wpływ na jakość kości wywierają także czynniki środowiskowe, czego przykładem może być stan osteoporozy z niedożywienia, a innym osteomalacji przy niedostatku witaminy D. Inne szkodliwości, jak narażenia na wysokie stężenia fluoru lub metali ciężkich również mogą być przyczyną większej podatności na złamania.

Poddanie próbki czy całej wyizolowanej kości działaniu siły w określonych warunkach wytrzymałościowych badań doświadczalnych pozwala uzyskać zapis wartości działającej siły w odpowiedzi na uzyskane odkształcenie. Kości jako ciała sprężyste w określonym zakresie zachowują się zgodnie z prawem Hooke'a, a wykres siła-odkształcenie jest częścią prostej. Jednak po przekroczeniu określonej wartości obciążenia, odpowiadającej sile łamiącej, rozpoczyna się nieodwracalna faza próby wytrzymałościowej, czyli złamanie.

Badania wytrzymałościowe wykazały, że odniesienie gęstości mineralnej kości do ich wytrzymałości sprawdza się jedynie w 60-70%, tak więc 30-40% jakości kości wypełniają inne czynniki.

Kość jest tkanką samoodnawialną. Właściwość ta wynika ze współistnienia u dorosłych procesów kościogubnych i kościotworzenia najprawdopodobniej w odpowiedzi na powstanie obszarów tkanki o obniżonej charakterystyce biomechanicznej, to jest tam, gdzie „materiał” budulcowy kości „zestarzał” się i gdzie doszło do nagromadzenia beleczek lub osteonów ze

złamaniem zmęczeniowymi. Powstają one wskutek przekroczenia dawki podprogowych obciążeń cyklicznych (tj. tzw. wytrzymałości zmęczeniowej). Zaburzenia odnowy tkanki kostnej i nagromadzenie „starej” mechanicznie niewydolnej kości obniża istotnie jej wytrzymałość, czyli wpływa ujemnie na jakość. Wytrzymałość beleczek zmniejsza się również podczas fazy kościogubnej przyspieszonego obrotu kostnego, co wiąże się z ich osłabieniem przez zwiększenie liczby jamek resorpcyjnych. Jakość kości zależy więc od kolagenowej i niekolagenowej substancji organicznej, od stanu jej zmineralizowania (własności materiałowe), wynika z organizacji wewnętrznej i połączeń beleczek kostnych, od ich rozmiarów i ciągłości oraz występowania obszarów mikrouszkodzeń zmęczeniowych (własności strukturalne).

L24

BONE QUALITY AND BONE STRENGTH – IS THERE A DIFFERENCE?

Mirosław Jabłoński

Department of Orthopaedics and Rehabilitation Medical University in Lublin, ul. Jaczewskiego 8, 20-950 Lublin, Poland

Keywords: Bone quality, bone strength, bone biomechanics

Skeleton is obviously resistant to mechanical forces generated by muscle contractions and gravitation. Fracture appears to be the result of acute overloading presenting with the discontinuation of bone which eventually fails to behave as an elastic structure. Engineering informs us of the elastic materials such as steel or rubber that respond with definite deformation after certain force has been applied. The amount of deformation in the material, relative to its original length, is the strain. Peak compressive strains in bone during vigorous activity can reach as high as 0.35%. When the increase in strain is no longer proportional to the applied force ends the ability of the material to resume its original shape and permanent damage to the structure begins to accrue.

In terms of bone, yield failure arises then through ultrastructural microcracks within the hydroxyapatite and the disruption of the collagen fibers. The force that irreversibly damages the structure of bone is the breaking force, i.e. strength and it occurs at the strain of approximately 0.7%. In numerous experimental models it was demonstrated that the correlation between the bone strength and bone mineral density reached values of 0.6-0.7. It means that there are other important factors that affect breaking force of bone. For engineers it is an obvious statement since bone unlike steel is an anisotropic structure representing hierarchical composite model.

The composite structure of bone allows it to withstand compressive and tensile stresses, as well as bending and torsional moments. The inorganic phase of bone, with hydroxyapatite crystals arrayed in a protein matrix provides the ability to resist compression. As in concrete, a material that excels at resisting compression but is poor in resisting tension, tensile elements (e.g. steel reinforcing rods) are added to create a composite material that can cope with the complex loading environments. In the case of bone this tensile strength arises from collagen fibers organized into lamellae. Another important factor contributing to bone strength is its geometry i.e. sizes and spatial orientation of the bone tissue regarded as material.

Genome plays undoubtedly predominant role in determining all the structural components of bone. Failure to do so as far as the collagen is considered was demonstrated in osteogenesis imperfecta. Inability to remove old bone by genetically deficient osteoclasts in marble bone disease is accompanied by higher frequency of fractures in spite of extremely high mineral density of bone in this disease. Deficient mineralisation of osteoid in osteomalacia or rickets could be also determined genetically.

Under physiological conditions bone is continuously remodeled. It is strongly supposed that this process stays under control of bone cells that act recruiting osteoclasts to remove

microdamage in order to exchange structural material for mechanically more competent. Accumulation of areas of fatigue fractures in bone (i.e. microdamage) is regarded as material failure and decreases bone strength. The discontinuity of bone trabeculae in osteoporosis affects negatively the quality and strength of bone.

Summarizing the quality of bone can be measured as bone strength (similarly as bone mass by bone mineral density) and remains affected by all the factors influencing normal bone development and remodeling. Factors that are mainly genetically-determined stay also related to the environment like fluorosis or lack of vitamin D. Low level of bone quality reduces bone strength and is the main cause of low-energy fractures as in the osteoporotic syndrome.