ノ ー ト

Mechanical Properties of Human Acetabulum

by

Yoshio SHIRASAKI, Tetsuya TATEISHI^{*1}, and Yutaka MIYANAGA^{*2}^{*1} Mechanical Engineering Laboratory, Namiki 1, Sakuramura,
Ibaraki 305^{*2} Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1,
Bunkyo-ku, Tokyo

Mechanical properties of the various regions of cancellous bone and cartilage-cancellous bone composite of the human acetabulum were investigated.

Their elastic moduli and strengtns were almost the same as those of the femoral head, while their phase lags were lower than those of the femoral head.

Their regional difference of the mechanical properties was not so much as in the femoral head. This fact was considered to depend on the difference of the loading condition between the acetabulum and the femoral head.

Dynamic behavior of the acetabulum was also studied by a compression test.

寛骨臼蓋部の力学特性

白 崎 芳 夫・立 石 哲 也^{*1}・宮 永 豊^{*2}

(原稿受理: 1982年2月2日)

1. は じ め に

股関節は球関節を形成し、その形状や内部構造は種々の疾患によって変化することが知られている。例えば、変形性股関節症においては球状に近い大腿骨骨頭 (Femoral head) の形状が扁平したり、疾患が進すると骨頭内部にシスト (Cyst) とよばれる大小の空洞の発生が観察される。このような変形性関節症の力学的原因を究明するために、著者らは正常および変形性関節症の大腿骨骨頭各部位から切り出した海綿骨、軟骨・海綿骨複合系の試料を用いて、両者の静的強度および粘弾性特性を測定し、その差異を定量的に明らかにした^{1),2)}。

股関節の力学特性に関する研究は、主に大腿骨骨頭側に限られた感があり寛骨臼蓋部 (Acetabulum) については、従来あまり注目されていなかった^{3),4)}。しかし、股関節は大腿骨骨頭と寛骨臼蓋で構成され、股関節の力学特性を明らかにするためには寛骨

臼蓋部の力学特性を明らかにする必要がある。

本報告では正常な寛骨臼蓋部から採取した海綿骨、軟骨・海綿骨複合系の試料を用いて粘弾性特性、静的強度を測定したので、その結果について述べる。

2. 試料および実験方法

本実験に用いた寛骨臼蓋部 (以下、臼蓋と記す) は、2個体いずれも男性で59才、62才である。股関節 (Hip joint) 各部の学術名を Fig. 1 に示す。試料の保存は冷凍でおこなった。臼蓋からの試験片採取位置は Fig. 2, Fig. 3 の○印で示す。試験片形状は直径 6.3mm、軟骨・海綿骨複合系は長さ 10.0mm 程度、海綿骨は長さ 8.0mm 程度の円筒形である。

粘弾性測定には高出力型粘弾性スペクトロメータを用い、周波数10Hz、静的圧力 26.0×10^{-2} MPa、動的応力振幅 19.0×10^{-2} MPa で測定した。静的圧縮試験は TOM500 を用い、クロスヘッドスピード 3mm/min でおこなった。なお、実験中は試料の乾燥を防ぐために生理食塩水を点滴した。

^{*1} 機械技術研究所 〒300-31 茨城県新治郡桜村並木 1-2^{*2} 東京大学医学部整形外科科学教室 〒113 東京都文京区本郷 7-3-1

Fig. 1 Schematic representation of human hip joint.

Fig. 2 Regional difference of elastic modulus of cancellous bone and cartilage-cancellous bone composite.

Fig. 3 Regional difference of phase lag of cancellous bone and cartilage-cancellous bone composite.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は臼蓋各部位における海綿骨 (Cancellous bone) および軟骨・海綿骨複合系 (Composite) の動的弾性率の値を示す。海綿骨の弾性率の値を各部位別に整理してみると、部位1から順に 536 MN/m^2 , 829 MN/m^2 , 463 MN/m^2 , 350 MN/m^2 , 305 MN/m^2 の値であり、部位2が最も高い値を示している。これは、股関節に作用する力は Rydell の生体計測によると、両脚および片脚立

ちでも前上外方から作用し⁵⁾、その値は Paul の計測によると歩行の立脚期で体重の3.3倍、片脚立ちで2.6倍、走行時4.3倍の値になっている⁶⁾。したがって、通常の場合では上記の結果から部位2が最大荷重部となる。これは、大腿骨骨頭 (以下、骨頭と記す) 各部位から切り出した海綿骨の動的弾性率についても同様なことが言える。事実、骨頭において弾性率の値が最も高い部位は前部 (Anterior) がある。この部位は臼蓋側では部位2に相当する。弾性率の値は骨頭前部に比較して低くなっている。他の対応する部位についても同様な傾向を示し、臼蓋側の海綿骨は骨頭側のそれより弾性率の値が若干低くなっている。軟骨・海綿骨複合系では、弾性率には海綿骨程著しい差はない。これは、関節軟骨の主要なはたらきの一つである荷重分散機構⁷⁾により複合系に作用する集中荷重を分散させているためである。

Fig. 3 は海綿骨および軟骨・海綿骨複合系の各部位における内部減衰の値を示す。海綿骨と複合系の値を比較してみると、複合系の値は軟骨の影響を受けて海綿骨より高い値を示している。部位別では2の値が海綿骨、複合系ともに他の部位に比較して高くなっている。これは、この部位では大きな外荷重を支持しなくてはならない。そのため、結果的には骨密度の増加ないしは硬化をきたし、弾性率の値が高くなっている。内部減衰の値が高いということについては、以下のような解釈ができる。一般に弾性率は材料の強度に関係し、内部減衰は材料の靱性に関係するといわれている。したがって、部位2の海綿骨は他の部位に比較して荷重支持性およびダンピング効果が大きい材料である。

Fig. 4 Examples of (a) stress-strain curve of an acetabulum and (b) the results of a static compression test.

Fig. 4 は静的圧縮試験における応力-ひずみ曲線と各部位の静的弾性率（応力-ひずみ曲線の直線部分の傾きを静的弾性率と定義する）および圧縮強度を示す。弾性率の値については部位2が最も高く、4, 1, 3, 5の順に低下している。圧縮強度の値についても弾性率の傾向と一致している。

これらの力学特性と病理学との関係については、東らの臼蓋部の経年変化に関する研究がある⁸⁾。この研究では臼蓋部の変化と年齢との相関をしらべている。その結果によると、加齢にしたがって臼蓋の変化は顕著かつ広範なる傾向があり、変化が早期に強くあらわれる部位は臼蓋の前上方部、すなわち部位2に相当する。比較的变化が少ない部位は下方部(5)であることを報告し、荷重頻度および荷重支持性が高い部位が早期に破綻がくることを示唆している。

股関節の運動機能および力学的適合性を考える場合、臼蓋における荷重負荷部分あるいは大腿骨頭との接触部分の正確な位置を知ることは重要である。これに関して、Greenwald らはヒト股関節を用いて負荷運動時における接触部位をいろいろの方向から荷重を負荷し、染色法によって関節面の負荷部位と接触面積を求めている⁹⁾。この結果によれば、歩行の立脚時では臼蓋の全関節面が体重負荷に関与している。このとき、大腿骨頭関節面においては骨頭窩周囲から下部にかけて帯状の非接触部がある。荷重が少ない場合には臼蓋全関節面の接触状態から部分接触となり、臼蓋上方部がドーム状の非接触部分になっている。また、著者の一人である宮永らの研究によると¹⁰⁾、接触部位と接触圧の大きさや分布は荷重量に依存し、臼蓋では接触圧は前部と後部を中心に分布している。臼蓋頂点では低い値を示している。また、荷重量の増加とともに接触圧も大きくなり、面積も増加している。この最大接触圧を示す位置は部位2に相当している。これらの事実、海綿骨および軟骨の力学特性の合理的な組み合わせによって、関節における荷重支持、荷重伝達機構の適合性をよくし、関節の合目的な構造を示すものである。

4. む す び

股関節の力学特性の研究において、従来あまり注目されていなかった寛骨臼蓋各部位より切り出した海綿骨、軟骨・海綿骨複合系の試料を用いて、粘弾性特性および静的強度を測定した。この結果は股関節の接触圧の分布状態および荷重頻度、荷重支持性が高い部位が早期に破綻がくることを示唆する病理学的な所見と一致している。しかし、さらに試料の数を増し信頼性の高いデータを蓄積し、力学特性ばかりではなく、内部構造との関連や加齢による変化を詳細に検討していくことが今後の研究課題である。

文 献

- 1) 立石哲也, 白崎芳夫, 宮永豊, 日本機械学会論文集, **44**, 3425 (1978).
- 2) 白崎芳夫, 立石哲也, 宮永豊, 機械技術研究所所報, **30**, 32 (1976).
- 3) Evans, F.G., "*Mechanical Properties of Bone*," p. 211 (1973); C.C. Thomas. Illinois.
- 4) Freeman, M.A.R., "*Adult Articular Cartilage*," p. 178 (1973); Grune & Stratton, New York.
- 5) Rydell, M.W., *Acta Orthop. Scand.*, **37**, Suppl. 88 (1966).
- 6) Paul, J.P., *Proc. Inst. Mech. Eng.*, **182**, part 3J: 8-15 (1967).
- 7) 城田康平, 立石哲也, 白崎芳夫, 宮永豊, 日本機械学会講演論文集, No. 790-2, 189 (1979).
- 8) 東博彦, ほか5名, *Hip Joint.*, **3**, 94 (1977).
- 9) Greenwald, A.S., and Haynes, D.W., *J. Bone Joint Surg.*, **54B**, 157 (1972).
- 10) 宮永豊, 福林徹, 臨床整形外科, **14**-11, 1096 (1979).