

Experimental and Clinical Studies on Early Prediction of Avascular Necrosis of the Femoral Head Following Traumatic Dislocation of the Hip

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/7893

外傷性股関節脱臼後に発生する大腿骨頭壊死の 早期予知に関する実験的ならびに臨床的研究

金沢大学医学部整形外科学講座 (主任: 野村 進教授)

辻 俊 一

(昭和61年8月28日受付)

外傷性股関節脱臼後に発生する大腿骨頭壊死の早期予知が可能かどうかを知る目的で、まず動物実験で、大腿骨頭の血行動態を電解式水素クリアランス法を用いて検討した。成犬30股の正常時の骨頭内血流量は 74.1 ± 14.8 ml/min/100 ml (平均値±標準偏差) であった。内外側の大腿回旋動脈からの血流量は、それぞれ 27.3 ± 10.4 ml/min/100 ml, 46.1 ± 15.1 ml/min/100 ml であり、両動脈が骨頭の主要な栄養動脈と考えられた。また、頸部骨髄腔を閉鎖せずに内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時の血流量は 40.2 ± 13.2 ml/min/100 ml で、正常の半分程度の血流量が保たれているが、頸部骨髄腔閉鎖と内外両側の大腿回旋動脈の遮断を同時に行うと血流量は 9.2 ± 6.2 ml/min/100 ml になった。これより、骨頭の栄養動脈のみが損傷されても頸部骨髄腔に損傷がない場合、骨髄腔を介する骨頭への血流代償機能があることがわかった。外傷性股関節脱臼後に栄養動脈のみが損傷されても、この代償機能のため骨頭内血流量は大きく低下しないことから、骨頭壊死の発生は従来考えられていた受傷時の動脈損傷のみならず、それ以外の要因も加わって骨頭の血流量を低下させるためと考えられた。次に、臨床的にはどの動脈が損傷されているかという問題よりも、骨頭の血流量を経時的に測定することにより骨頭内の血行動態を常に把握することが必要であるので、外傷性股関節脱臼整復例につき大腿骨頭の血流量を電解式水素クリアランス法を用いて3カ月ごとに測定した。18股中5股で血流低下が大きく、このうち2股に骨頭壊死が発生し、他の3股も経過観察中であるがその危険性は高い。ゆえに、電解式水素クリアランス法を用いた血流測定によって骨頭内血流量の低下を知ることは、大腿骨頭壊死の早期予知に有効であると考えられる。

Key words Avascular necrosis, Traumatic dislocation, Femoral head, Blood flow, Hydrogen clearance

股関節部の外傷後、相当の期間を経過して発生する大腿骨頭壊死は、その発見が遅れる上に治療に難渋する整形外科的疾患である¹⁾。これを早期に予知し、早期に適切な治療を行うことが重要である^{2)~4)}。特に進行する壊死の危険性を早く予知する方法の開発が望まれる。

従来、大腿骨頭の血流の測定は多くの定性的な検索で行われており、これでは予知は難しい。著者は血流を量的に測定し、その減少の程度より、将来の壊死発生の予知が可能かどうかを知る目的で本研究を行った。血流量の測定には電解式水素クリアランス法を用

いたが、本法は篠田⁵⁾、吉水ら⁶⁾により骨髄の血流測定法として臨床的に優れた方法であることが証明されている。

大腿骨頭には次の栄養経路が考えられる^{7)~10)}。

- (1) 内外側の大腿回旋動脈。
- (2) 頸部骨髄腔での連絡路。
- (3) 円靭帯よりの血管系。
- (4) その他の吻合枝よりの連絡路。

これらの内、(3)の円靭帯よりの血管系は成人骨頭ではほとんど役立たないと考えられ¹¹⁾、また(4)のその他の吻合枝よりの連絡路も骨頭の栄養にはあまり問題とは

Abbreviations: GOF, gas (nitrous oxide), oxygen, fluothane; L. C. F. A., lateral circumflex femoral artery; M. C. F. A., medial circumflex femoral artery.

ならない。そこで、(1)の内側の大腿回旋動脈、(2)の頸部骨髄腔での連絡路を外傷により絶たれると、当然骨頭内の血流量の減少が生じ、その程度と持続時間により骨頭の壊死が発生する。そこで、どの経路が損傷されるとどの程度の血流量の減少が起こるかを調べる必要があり、これを実験的に検討した(図1)。

股関節部の外傷後に大腿骨頭の壊死を続発する代表的なものには、大腿骨頸部内側骨折と股関節脱臼がある。中でも大腿骨頸部内側骨折では(1)(2)が共に断裂する場合があり、その時は骨頭は関節包内に遊離するため、当然骨頭内血流は消失する。Garden の分類¹²⁾⁽¹³⁾ I・II型は不完全な骨折であり(1)(2)の一部が残存し、III型でも retinaculum が残ればその中に血行が温存されている。しかし、IV型ではほとんど(1)(2)共に完全に断裂するが100%骨頭壊死になるとは限らず、良好な整復により血行の再生が早期に起これば壊死をまぬがれることがある。しかし、この骨折での骨頭壊死発生率は高い¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

これに比べ、外傷性股関節脱臼では(1)が損傷されることがあっても(2)は損傷されないためか骨頭壊死の発生率は低いが、それでも5~26%^{16)~22)}位は発生している。そこで(1)の完全損傷でも(2)の代償作用により骨頭

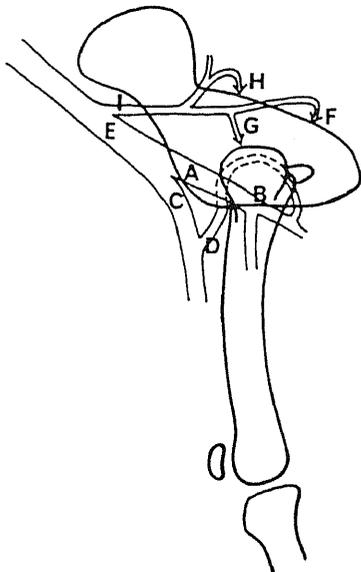


Fig. 1. Schema of the arteries which supply the canine femoral head. Medial view of the right hip. A, Deep femoral artery; B, Medial circumflex femoral artery; C, Femoral artery; D, Lateral circumflex femoral artery; E, External iliac artery; F, Caudal gluteal artery; G, Artery in the ligamentum teres; H, Cranial gluteal artery; I, Internal iliac artery.

内血流量がどの程度保たれるか、(1)の損傷の程度がどの程度骨頭内の血流量に影響を及ぼすかを実験的に検討した。

次に、臨床的に大腿骨頭の脱臼整復例につき経時的に骨頭内血流量を電解式水素クリアランス法で測定し、それより骨頭壊死の発生予知が可能かどうか検討した。

動物実験と臨床例を明瞭に区別して記載するため、以下、I. 動物実験、II. 臨床例での血流測定のそれぞれについて、「対象および方法」と「成績」を分けて記載した。

I. 動物実験

電解式水素クリアランス法にて大腿骨頭の血流量を測定するため、次のような実験を行った。

対象および方法

1. 血流測定部および血流遮断部の展開

体重8~12 kgの雑種成犬に塩酸ケタミン 35 mg/kgを筋注後、気管内挿管し、血圧モニタリング下にGOF調節麻酔を行った。

室温20~22°Cの手術室で、まず股関節内側にて恥骨筋上に皮切を加え、恥骨筋を起始部で切離離転し、内外側大腿回旋動脈を露出した。血管露出の際には37°Cに保温した8%リドカイン・スプレーを噴霧し物理的的刺激による血管攣縮を防止した。

また、股関節外側部から大殿筋を尾側へよけ、中殿筋停止部を一部切離して関節包へ達し、これをわずかに切開して大腿骨頭軟骨面を露出した。直径1 mmのキルシュナー鋼線でX線コントロール下に骨頭中心に穴をあけ、この穴に20 G 静脈留置針(サーフロー®針)の外筒を刺し、これをガイドとして測定電極を挿入し

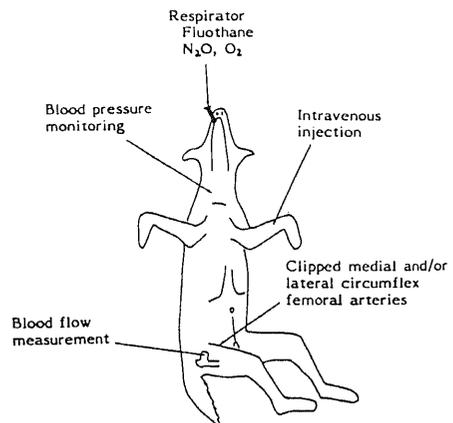


Fig. 2. Schema of the experiments.

た。血流測定を開始する数分前に、200 単位/kg のヘパリンを静脈内投与し、その後、100 単位/kg/hr の速度で追加持続投与を行って、測定電極部での血液凝固を防止した (図 2)。

関電極は長さ 6 cm のものを使用し、2 個の不関電極は股関節外側の皮切部で骨頭近くの皮下に埋込み、絹糸で固定した。

2. 血流測定 A 群

成犬 10 頭 10 股を用いて次の手順で骨頭中心の血流量測定を行った。

- ① 正常時。
- ② Heifetz® のクリップにて内側大腿回旋動脈の遮断を行った時。
- ③ 同様に外側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時。
- ④ 内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時 (図 3)。

最後に 15% 塩化カリウム液を 1 ml/kg 急速に静注し、心停止を確認後、骨頭内での血流のない状態での拡散値を得た。

3. 血流測定 B 群

成犬 20 頭 20 股を用いて次の手順で骨頭中心の血流量測定を行った。

- ① 正常時。
- ② 大転子外側部に丸ノミで穴をあけ、ここから大腿骨頸部の方へ向けて髄内海綿骨を鋭匙で削る。次いで頸部に骨蠟を充填し、骨髓腔を閉鎖して骨頭と骨幹部の骨髓腔における交通を遮断した時 (図 4)。
- ③ 頸部の骨髓腔を閉鎖したまま内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時。
- ④ 頸部の骨髓腔を閉鎖したまま外側大腿回旋動脈

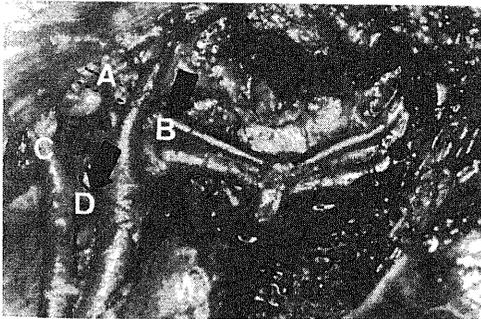


Fig. 3. Clips are placed around the medial and lateral circumflex femoral arteries at the portions indicated by arrows. Medial view of the right hip. A, Deep femoral artery; B, Medial circumflex femoral artery; C, Femoral artery; D, Lateral circumflex femoral artery.

のみの遮断を行った時。

⑤ 頸部の骨髓腔を閉鎖したまま内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時。

⑥ 上記⑤に、さらに関節包を頸部付着部で剝離し、円靭帯を残すのみの時 (10 股のみ)。

最後に塩化カリウム液を静注し、死直後の骨頭内での拡散値を得た。

4. 血流測定原理および血流計算

測定は Stosseck²³⁾の方法に準じて下記の要領で行った。まず、骨頭内へ双極の測定電極を挿入した。この電極は水素を発生させる電極と測定用関電極をテフロンで絶縁し、合せたもので、先端は白金黒でコーティングを行い先端間を 300 μ m としてある。2 個の銀/塩化銀製の不関電極を用い、一方は水素発生用電極との間で電気分解の通電回路 I を形成し、もう一方の不関電極と測定用関電極との間でポーラロ電流測定用の回路 II を形成した (図 5)。回路 I では直流電気刺激装置 (日本光電社製, SEN-3201) を用い、8 μ A の微小電流を関電極周囲の水素濃度が一定に達するまで流した。回路 II ではポーラロ・メーター (ユニーク・メディカル社製, PHG-201) でポーラロ電流を測定し、レコーダーで (同社製, U-228-2P) で記録した。

血流量 (F) は下記の甲州²⁴⁾の計算式にて算出した。

$$F = 69.3 \times \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_d} \right) \quad (\text{ml/min}/100 \text{ ml})$$

Tc: 血流のある状態で測定し、得られた

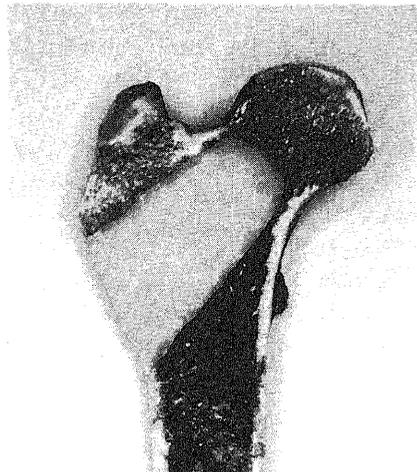


Fig. 4. Bone marrow in the canine femoral neck cavity is filled with bone wax (group B).

hydrogen washout curve の半減期
 Td: 血流のない状態 (死直後) で測定し、得られた hydrogen washout curve の半減期

成 績

I. 血流測定結果

1. 血流測定 A 群の結果

① 正常時の骨頭中心の血流量は 73.4 ± 14.9 ml/min/100 ml (平均値 \pm 標準偏差) であった。② 内側

大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内血流量は 67.6 ± 16.0 ml/min/100 ml であった。③ 外側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内血流量は 56.1 ± 16.1 ml/min/100 ml であった。④ 内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時の骨頭内血流量は 40.2 ± 13.2 ml/min/100 ml であった (図 6)。

2. 血流測定 B 群の結果

① 正常時の骨頭内血流量は 74.4 ± 15.5 ml/min/100 ml であった。② 頸部の骨髓腔内を骨蠟で閉鎖した時

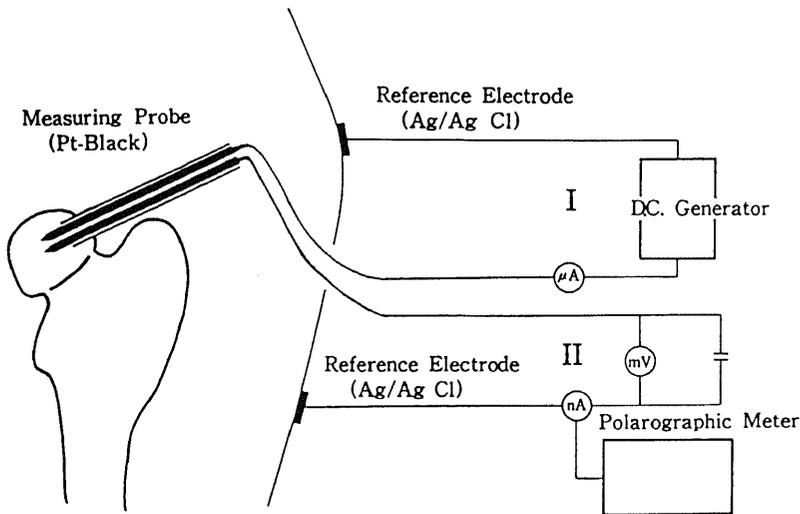


Fig. 5. Schema of the circuit for measurement of the blood flow in the canine femoral head.

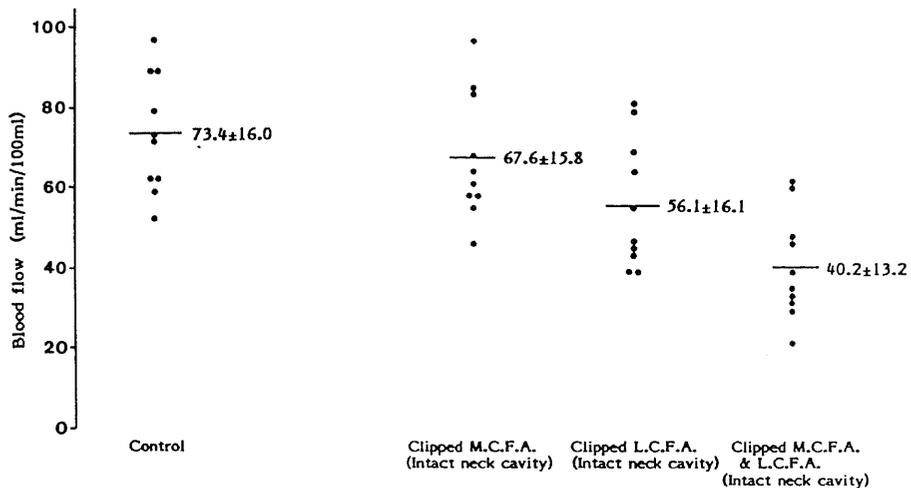


Fig. 6. Results of the blood flow measurement in group A. The values are given in mean \pm S.D. of ten canine femoral heads.

M.C.F.A., Medial circumflex femoral artery; L.C.F.A., Lateral circumflex femoral artery.

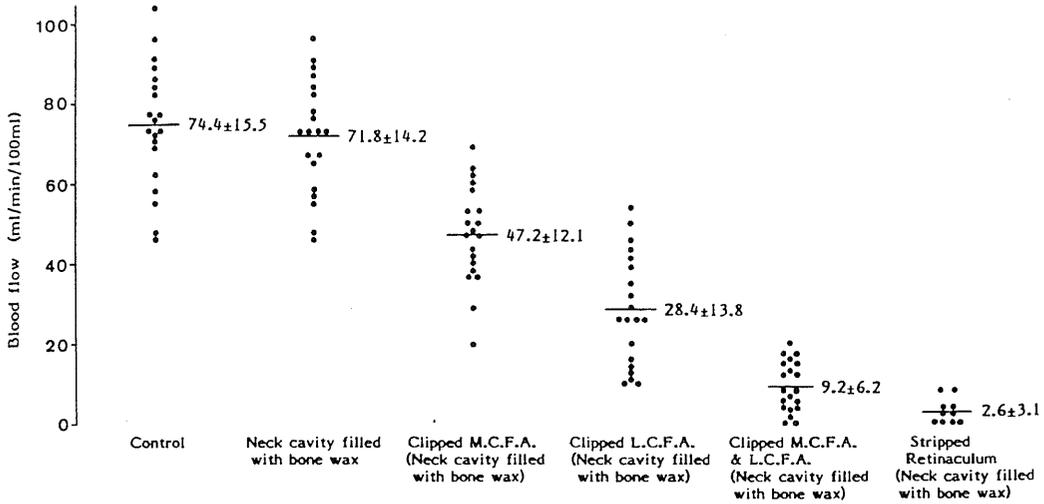


Fig. 7. Results of the blood flow measurement in group B. The values are given in mean \pm S.D. of twenty canine femoral heads. Abbreviations are the same as in Fig. 6.

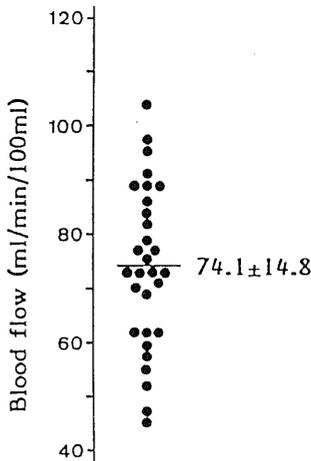


Fig. 8. Blood flow in the normal canine femoral heads. The value is mean \pm S.D. of thirty dogs.

の骨頭内血流量は 71.8 ± 14.2 ml/min/100 ml であった。③頸部の骨髄腔を閉鎖し、内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内血流量は 47.2 ± 12.1 ml/min/100 ml であった。④頸部の骨髄腔を閉鎖したまま、外側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内血流量は 28.4 ± 13.8 ml/min/100 ml であった。⑤頸部の骨髄腔を閉鎖したまま、内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時の骨頭内血流量は 9.2 ± 6.2 ml/min/100 ml であった。⑥頸部の骨髄腔を閉鎖し、内外両側の大腿回旋動脈を遮断して、さらに関節包を頸部付着部で

剝離した時の骨頭内血流量は 2.6 ± 3.1 ml/min/100 ml であった (図 7)。

尚、A・B 両群の合計 30 股の正常時の骨頭内血流量は 74.1 ± 14.8 ml/min/100 ml であった (図 8)。

II. 血流低下量

1. 測定 A 群での血流低下量

内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 5.8 ± 4.4 ml/min/100 ml で、paired *t*-test にて正常時に対して有意差 ($p < 0.01$) を認めた。外側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 17.3 ± 16.8 ml/min/100 ml で、正常時に対する有意差 ($p < 0.01$) を認めた。内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 33.2 ± 18.4 ml/min/100 ml で、正常時に対する有意差 ($p < 0.001$) を認めた (図 9)。

2. 測定 B 群での血流低下量

頸部の骨髄腔の閉鎖のみを行った時の正常時に対する骨頭内の血流低下量は 2.6 ± 2.3 ml/min/100 ml と僅かであった。頸部の骨髄腔を閉鎖し、内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 27.3 ± 46.1 ml/min/100 ml で、正常時に対する有意差 ($p < 0.001$) を認めた。頸部の骨髄腔を閉鎖し、外側大腿回旋動脈のみの遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 46.1 ± 15.1 ml/min/100 ml で、正常時に対する有意差 ($p < 0.001$) を認めた。頸部の骨髄腔を閉鎖し、内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時の骨頭内の血流低下量は 65.3 ± 14.9 ml/min/100 ml で、正常時に対する有意差 ($p < 0.001$) を認めた (図 10)。

3. 両群間の血流低下量の比較

頸部の骨髄腔を閉鎖せずに内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った測定 A 群での血流低下量 5.8 ± 4.4 ml/min/100 ml と、頸部の骨髄腔を閉鎖して内側大腿回旋動脈のみの遮断を行った測定 B 群での血流低下量 27.3 ± 10.4 ml/min/100 ml の間には pooled *t*-test にて有意差 ($p < 0.001$) を認めた。同様に外側大腿回旋

動脈のみの遮断を行った時には、測定 A 群での血流低下量 17.3 ± 16.8 ml/min/100 ml と測定 B 群での血流低下量 46.1 ± 15.1 ml/min/100 ml の間に有意差 ($p < 0.001$) を認めた。また、内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時には、測定 A 群での血流低下量 33.2 ± 18.4 ml/min/100 ml と測定 B での血流低下量 65.3 ± 14.9 ml/min/100 ml の間にも有意差 ($p < 0.001$) を認

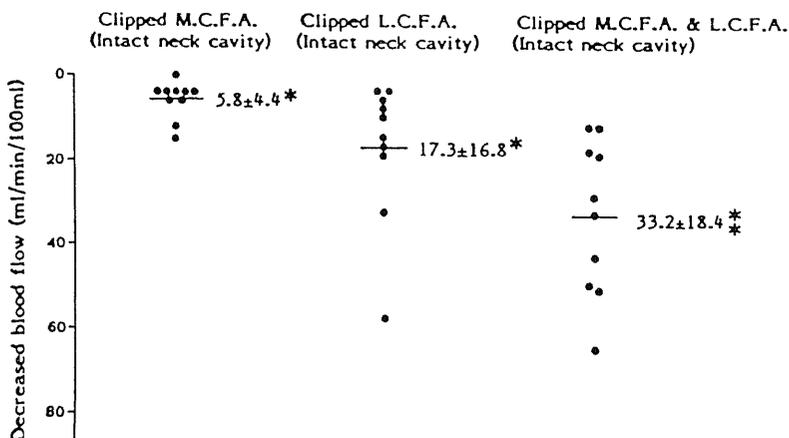


Fig. 9. The decreased values of the blood flow in group A. The values are given in mean \pm S.D. of ten canine femoral heads. * $p < 0.01$ and * $p < 0.001$ as compared to control (Student's paired *t*-test). Abbreviations are the same as in Fig. 6.

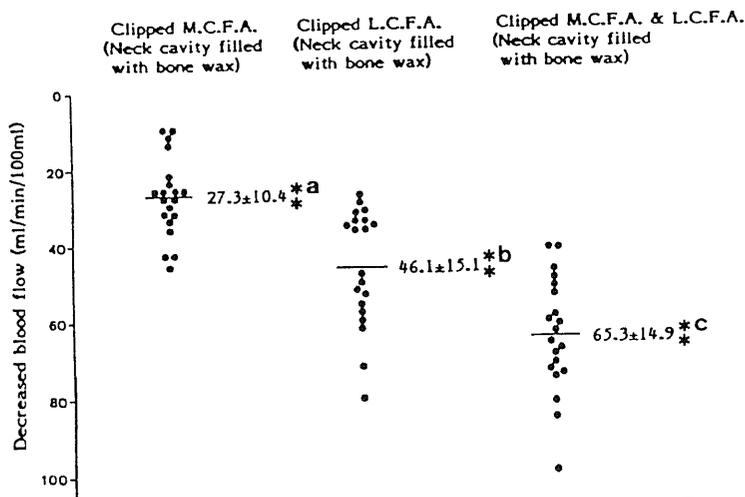


Fig. 10. The decreased values of the blood flow in group B. The values are given in mean \pm S.D. of twenty canine femoral heads. * $p < 0.001$ as compared to control (Student's paired *t*-test). ^a $p < 0.001$, ^b $p < 0.001$, ^c $p < 0.001$ as compared to their counterparts of group A in Fig. 9 (Student's pooled *t*-test). Abbreviations are the same as in Fig. 6.

めた。

II. 臨床例での血流測定

対象および方法

外傷性股関節脱臼（骨盤骨折合併例を含む）18例に対し、脱臼徒手整復もしくは観血的整復時、受傷3カ月後、6カ月後、9カ月後、12カ月後に大腿骨頭の荷重部にて血流測定を行い、同時に骨頭静脈造影も行った。また、対照として健常な大腿骨の25骨頭で血流測定を行い、ヒト大腿骨頭の正常血流量を求めた。

測定方法は、硬膜外麻酔下に2方向X線透視にて大転子下より1.8mmのキルシュナー鋼線を頸部まで刺入し、これをガイドとして内径2.0mm、外径2.8mmの骨生検針を刺入した。1.8mmのキルシュナー鋼線を抜去し、1.2mmのキルシュナー鋼線でさらに測定部に向かって1~1.5cm穴をあけこれに測定電極を挿入し、骨頭荷重部にて血流測定を行った（図11）。

挿入する関電極は長さ20cmのものを使用し、2個

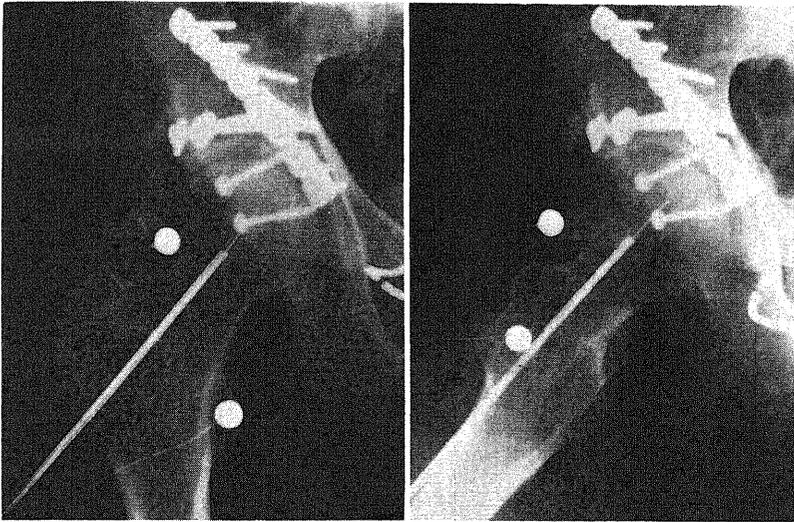


Fig. 11. Blood flow measurement in the human femoral head. Antero-posterior view (left) and lateral view (right).

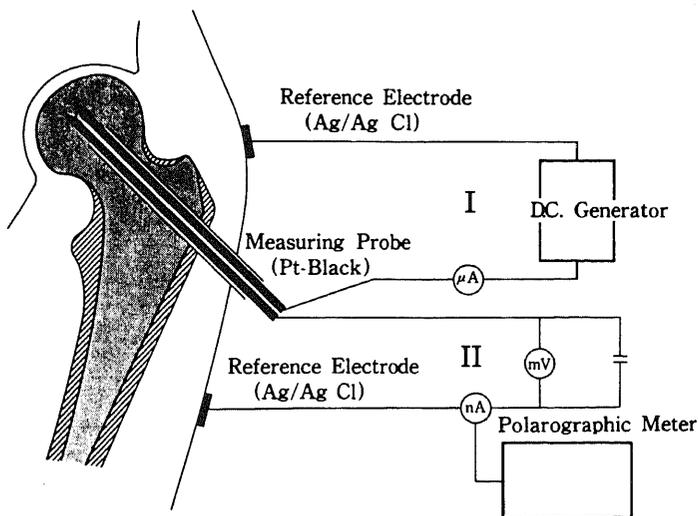


Fig. 12. Schema of the circuit for measurement of the blood flow in the human femoral head.

の不関電極は鼠径部で骨頭からそれぞれ反対側に5～10 cm離れた皮膚上に滅菌絆創膏で固定した。

血流測定原理は動物実験と同様である(図12)。血流計算式も動物実験と同様であるが、臨床例では(死後の)血流のない状態での拡散値が得られない。吉水ら⁶⁾は生理食塩水で溶解して作製しその後7～21日経過した0°Cの0.5%寒天ゲル内での水素の拡散による半減期とヒト骨髓内の水素の拡散による半減期がほぼ等しいことを明らかにした。臨床における血流計算では、各症例ごとに使用した電極を用いてこの0.5%寒天ゲル内での半減期を測定し、骨頭の血流のない状態での半減期(Td)として用い、血流量(F)を計算した。

成績

25 股の正常ヒト大腿骨頭の血流量は 74.5 ± 19.8 ml/min/100 ml であった(図13)。

外傷性股関節脱臼整復後の経時的な血流測定の結果は図14の通りで、18例中5股(図14のa, b, c, d, e)において血流の低下を認めた。このうち血流量が0になった2股(図14のa, b)は臨床的に明らかな壊死に進行した。

壊死に進行した1例(図14のa)を示す。観血的整復時に骨頭血流が96.2 ml/min/100 mlを示したが、3カ月後44.7 ml/min/100 mlに減少し、受傷後6カ月と9カ月目では血流量0の値を示した。9カ月目の骨頭静脈造影では superior retinacular vein, 内側大腿回旋静脈は造影されず(図15)、30分後に造影剤の骨頭内停留を認めた。また、骨頭断層撮影・CT スキャンにてX線的に壊死像を呈し(図16)、血流測定時に

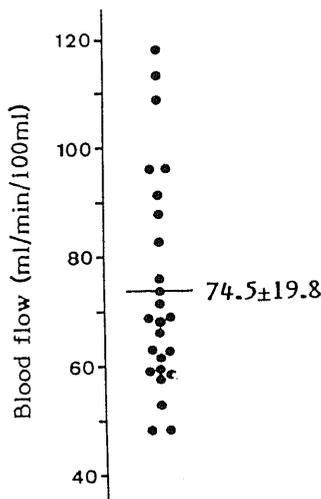


Fig. 13. Blood flow in the normal human femoral heads. The value is mean \pm S.D. of twenty-five healthy femoral heads.

行った骨生検でも骨細胞核の消失を認め、病理学的にも骨壊死が確認された。

他の2股(図14のc, d)はまだ追跡期間が短い、骨幹部へ向かう静脈像や造影剤の骨頭内停留などの骨頭静脈造影での異常所見を認めた。もう1股(図14のe)は受傷3カ月後に一旦血流が低下し、9カ月後にやや改善を認め、現在壊死を認めず経過観察中である。

血流が正常値を示した他の症例には壊死に進行したものはなかった。

考 察

I. 大腿骨頭の血流量

股関節部の外傷後に大腿骨頭の壊死を続発する代表的なものには、大腿骨頸部内側骨折と股関節脱臼がある。これらの血行動態を知る上で、まず大腿骨頭内への各栄養経路から供給される血流量を知ることが重要

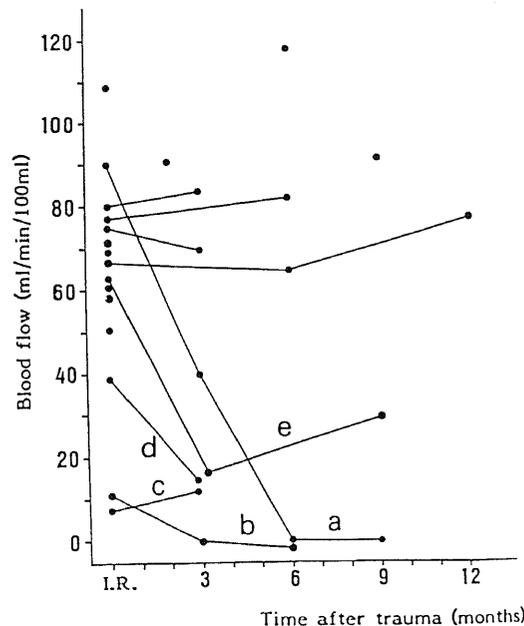


Fig. 14. Clinical course of the blood flow values in patients with traumatic dislocation of the hip. Case 'a' developed avascular necrosis in nine months and case 'b' developed it in six months. Cases 'c' and 'd' showed decreased blood flow in the femoral head. Case 'e' showed decreased blood flow in three months but some recovery was seen later. None of the other cases with normal blood flow developed necrosis. Single blood flow measurement is made in the cases which are indicated by single dots with certain intervals following reduction. I. R., Immediately after reduction.

である。骨頭への栄養経路としては主に次の4つが考えられる。

- (1) 内外側の大腿回旋動脈。
- (2) 頸部骨髓腔での連絡路。
- (3) 円靭帯よりの血管系。
- (4) その他の吻合枝よりの連絡路。

以上の血行路については明らかにされてきたが⁷⁾⁻¹⁰⁾、各血管から骨頭内への血流量についての研究

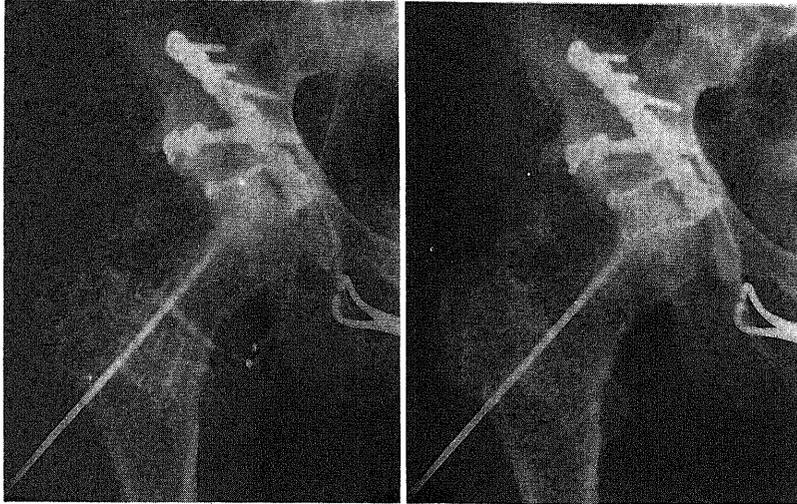


Fig. 15. Phlebogram of the case which developed necrosis in the right femoral head nine months after injury. Immediately after injection of the contrast media (left). Note poor visualization of the medial circumflex vein and the superior retinacular vein. Thirty minutes after injection of the contrast media (right). Note the poor clearance of the contrast media in the necrotic area.

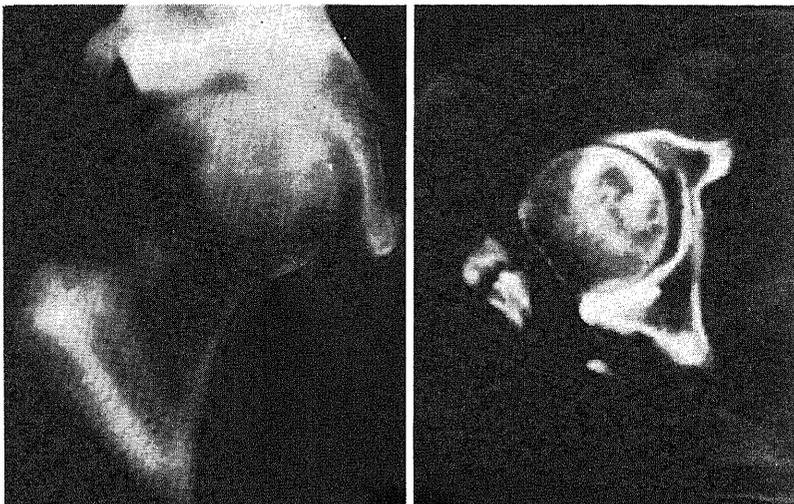


Fig. 16. Tomogram (left) and CT scan (right) of the same case as in Fig. 15 taken at the same time. Note the well-demarcated necrotic area.

はない。動脈からの血流量は、動脈の遮断を行ってこの時に低下する骨頭内血流量を測定することによって知ることができる。本研究では電解式水素のクリアランス法により成犬の内外側の大腿回旋動脈からの骨頭内への血流量などを調べ、各栄養経路からの血流量について検討した。

(2)について測定 B 群②の実験で、頸部の骨髄腔の閉鎖のみを行った場合には骨頭内の血流低下は極めて僅かで、平常時には頸部骨髄腔での連絡路を介して骨頭を栄養する血流量は問題とならないと考えられる。しかし測定 A 群④の実験で(1)を完全に閉鎖した場合には 40.2 ± 13.2 ml/min/100 ml (正常時の骨頭内血流量の 54.3%) の血流があることより、(1)の損傷時には頸部骨髄腔での連絡路より代償する血流が生ずることが明らかになった。

(1)について測定 B 群③の実験で、頸部の骨髄腔を閉鎖し内側大腿回旋動脈の遮断を行った場合には血流低下量は 27.3 ± 10.4 ml/min/100 ml (正常時の 36.8%) で、これが内側大腿回旋動脈からの骨頭への血流量と考えられる。同様に測定 B 群④の実験で、外側大腿回旋動脈の遮断を行った場合には血流低下量は 46.1 ± 15.1 ml/min/100 ml (正常時の 62.2%) で、これが外側大腿回旋動脈からの骨頭への血流量と考えられる。内外側の大腿回旋動脈からの血流が、骨頭内への主要な栄養動脈であることが実際の血流測定によって確認された。

成人の大腿骨頭と異なり、成犬では骨頭における外側大腿回旋動脈からの血流量が内側大腿回旋動脈からの血流量より大きかったが、これは成犬では superior retinacular artery は主に外側大腿回旋動脈より分岐するためと考えられる。

(4)について測定 B 群⑤の実験で、頸部骨髄腔の閉鎖と内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行った時に骨頭内には 9.2 ± 6.2 ml/min/100 ml の血流量がある。これは下殿動脈、上殿動脈などの吻合枝や円靭帯などからの血流量と考えられる。(3)については、測定 B 群⑥において頸部の骨髄腔閉鎖と大腿回旋動脈の遮断後、関節包の剝離を行い、骨頭に円靭帯のみが付着している時の骨頭内血流量は 2.6 ± 3.1 ml/min/100 ml とほとんど血流を認めないことから、骨端軟骨板の存在するまでの成長期と異なり、成犬の円靭帯は骨頭の血行にはあまり重要ではないと考えられる。

II. 外傷後の大腿骨頭の血行動態

外傷後の大腿骨頭の血行動態を定量的に調べることは、今まで困難であった骨頭壊死の予知が可能かどうか検討するために重要である。頸部内側骨折や股関節脱臼などの外傷の後の骨頭壊死について、Phemis-

ter²⁵⁾は骨頭の運命は受傷時の血管損傷によって決定されると述べ、壊死は血流障害が原因であると考えられている。しかし今まで生体で測定できる適当な血流測定方法がなく、外傷後の骨頭の血行動態についても充分には解明されていない。

測定 B 群で頸部骨髄腔の閉鎖を行って内外側の大腿回旋動脈の遮断を行った実験は、大腿骨頸部内側骨折時に回旋動脈からの血流が途絶している場合に相当する。いずれか一方の回旋動脈の損傷の場合には骨頭中心における血流量は 47.2 ± 12.1 ml/min/100 ml または 28.4 ± 13.8 ml/min/100 ml (正常時の 63.7% または 38.3%) であり、内外両側の回旋動脈が同時に損傷された場合には 9.2 ± 6.2 ml/min/100 ml (正常時の 12.4%) とわずかになる。臨床的に頸部内側骨折では骨頭壊死の発生頻度は転位の小さなものでは 25~44% で¹⁵⁾²⁶⁾、転位の大きなものや整復までに長時間経過したものでは 80~100% 近く達する¹⁴⁾¹⁵⁾理由は以上の実験より説明できる。

一方、測定 A 群で頸部骨髄腔の閉鎖を行わずに内外側の大腿回旋動脈の遮断を行った実験は外傷性股関節脱臼後に回旋動脈の血流が途絶した場合に相当する。動脈のみの血流遮断を行った場合には、いずれか一方の回旋動脈が損傷されても骨頭中心における血流量は 67.6 ± 15.8 ml/min/100 ml または 56.1 ± 16.1 ml/min/100 ml (正常時の 91.2% または 75.7%) であり、内外両側の回旋動脈の損傷の場合でも前述のように骨髄腔よりの連絡路による代償がおこるため 40.2 ± 13.2 ml/min/100 ml (正常時の 54.3%) である。本実験から、外傷性股関節脱臼の際に動脈のみの血流障害があっても、骨頭には正常の半分程度の血流が保たれていることがわかる。

頸部骨髄腔の血管走行に関しては Judet ら²⁷⁾は成人の大腿骨頭に微小血管造影を行い、大腿骨頸部骨髄腔で骨頭と転子間部の間に anastomosis があることを示した。また骨髄では他の組織に比べて特殊な点として、毛細血管が、発達した静脈洞に開口し、これが大きな流床を形成する²⁸⁾²⁹⁾。この頸部の anastomosis とよく発達した静脈洞の存在により頸部骨髄腔を介する血流の代償があり、測定 A 群では回旋動脈のみの遮断を行っても測定 B 群に比べ骨頭の血流は良く保たれたと考えられる。

骨頭壊死の発生は当然血流低下によるものと考えられるが、本実験の結果、股関節脱臼後に動脈のみが損傷されても骨頭内の血流低下はあまり大きくはないので、壊死の発生には受傷時の動脈損傷のみを重視すべきではなく、これ以外の要因の関与を考えねばならない。

一般に、血流量に関しては流入側の動脈だけではなく、流出側の静脈についても考慮の必要がある。大腿骨頭でも頸部からの静脈還流が不良になれば骨頭内はうっ血し、このため動脈からの血液流入が制限され、骨頭内血流は低下する。Bassett ら¹⁹⁾は幼若犬を用いて静脈還流を阻害する目的で、骨頭の主要な還流静脈を含む inferior retinacular vessels を焼灼する実験を行って³²P の取込みにて血流量を判定し、骨頭内血流量が低下するものがあることを示した。また、Serre ら²⁰⁾は大腿骨頭壊死の患者に静脈造影を行い、頸部から還流する回旋静脈の描出が不良であったり、頸部から骨幹部へ不降する静脈が認められたりすることなどの静脈の異常所見を示した。本研究でも臨床例 18 例中、血流量の低下している 5 例の骨頭静脈造影において、造影剤の骨頭内停留や主静脈路の閉塞などが観察されている。

以上より、骨頭の血行動態に影響するものには動脈系のみならず静脈系をも考慮する必要があり、さらに、外傷後の関節周囲組織の血栓形成やうっ血などによる血行障害も骨頭の血流低下の要因になると考えられる。ゆえに臨床的には、どの動脈あるいは静脈など個々の損傷を解析するよりも、骨頭内の血行動態を常時把握する方法が重要である。

III. 大腿骨頭壊死の発生予知

外傷性股関節脱臼後の大腿骨頭壊死は一般に受傷後半年～1年半後に発症するとされ¹⁶⁾²⁰⁾、従来この壊死の早期予知は困難であった。X線学的に骨硬化像が出現する期間は一定していないためその発見が遅れることが多い。また、その後骨頭の変形や臼蓋に及ぶ二次性の関節症を引起し不良な臨床経過をたどって治療が困難となり²¹⁾、特に活動性の高い若年者の場合などは人工関節置換術も行なえず適切な治療法がない。しかし、骨頭壊死を早期に発見することができれば、早期治療、たとえば血管柄付骨移植術²³⁾を行って骨頭内に限局している壊死骨を生きた骨で置換したり、骨頭回転骨切り術⁴⁾を行って骨頭に残されている正常な部分を利用し良好な成績を得ることが可能となる。そのためにも骨頭壊死の早期予知が必要である。

骨頭壊死が発生してからの認知方法としては、X線撮影、CT スキャン、アイソトープの利用、骨頭静脈造影などが用いられてきた。X線撮影では透過陰影と、後に出現する骨硬化像が診断的価値を有するが、反応性の骨組織修復速度は遅く、硬化像が出現する期間は一定していないため早期診断には役立たない。アイソトープは Cameron³¹⁾が ⁸⁵Sr を用いて以来、¹⁸F³²⁾、^{99m}Tc-sulphur-colloid³³⁾³⁴⁾、^{99m}Tc-diphosphate³⁵⁾³⁶⁾、^{99m}Tc-antimonycolloid³⁷⁾³⁸⁾などが利用されているが、3次元的な標識元素の取込みを2次元的

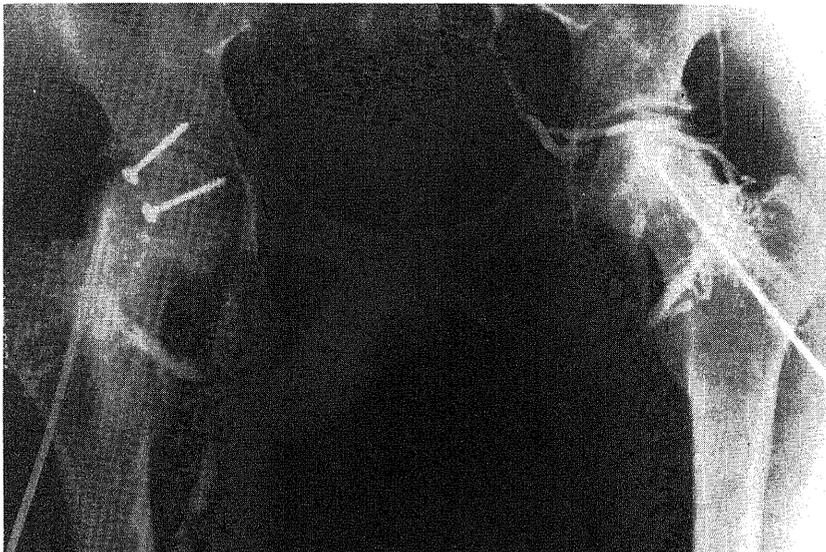


Fig. 17. Bilateral phlebogram of the hips in which the contrast media is injected simultaneously. Dislocated hip (right side, blood flow = 12.5 ml/min/100 ml) and normal hip (left side, blood flow = 52.4 ml/min/100 ml).

Note that the diaphysal reflux is seen in the right side.

に描出するため³¹⁾、周囲の取込みと壊死部の像が重なり、病巣の認知には役立つが予知には役立つたない。骨頭静脈造影での異常所見は X 線所見より早期に出現し、Hungerford³⁹⁾は骨頭内圧の異常所見と併用することにより壊死発生の予知が可能であると述べた。本研究でも骨頭静脈造影を併用し、主静脈路の閉塞(図 15)や、松本²⁹⁾、松淵⁴⁰⁾が述べた骨頭内の血流低下による造影剤の停留所見(図 15)、Hulth⁴¹⁾Arnoldi⁴²⁾が述べた骨幹部に向かって下降する静脈の出現(図 17)を認めたが、定性的な検査法であるため早期に壊死を判定することは難しい。

骨頭壊死は骨組織の血流量の低下によって発生するため、壊死の早期予知には骨頭内血流量を定量的に測定しその低下を発見することが、当然、最重要である。臨床的に応用可能な骨髄の定量的血流測定方法として電解式水素クリアランス法が最も適していることは、すでに篠田ら⁶⁾により述べられている。本法の臨床応用では、血流停止時の拡散値を得る必要上、生体での応用に制限があったが、吉水ら⁹⁾は血流のない状態での拡散値として生理食塩水で溶解して作製し、その後 7~21 日経過した 0°C の 0.5%寒天ゲル内での拡散値が利用できることを証明し、臨床応用が容易となった。電解式水素クリアランス法では電極を直接測定部に刺入するため、目的部位の血流量の測定が容易かつ繰返し施行でき、大腿骨頭の血流測定には本法が最も適している。

実際に外傷性股関節脱臼後の骨頭で血流測定を行った 18 股の結果では、骨頭内の血流低下を認めたものは 5 股であった(図 14 の a, b, c, d, e)。その内、受傷 3~6 カ月後に骨頭内血流量が 0 となった症例 a, b は骨頭壊死になった。他の 2 例(図 14 の c, d)は血流量の著しい低下(正常値の 10.1~49.6%)を認め、全く 0 ではないが、これが骨頭壊死に発展する可能性は骨頭静脈造影より予想できる。症例 e では受傷時に正常値の 88.6%の血流量であったが、3 カ月後には一旦 24.2%に低下し、9 カ月後には 40.3%へとやや改善を認め、現在壊死を認めず経過観察中である。本研究より血流量が 0 となるものは当然壊死になることが予想されるが、何%に低下した状態がどの位の期間存続すれば壊死に至るかは決定できない。松本⁴⁴⁾は阻血と骨折癒合の関係を調査し、血流量が 40~50%以下の状態が続くと骨癒合が生じないと述べているが、血流量の低下と骨壊死の発生を量的に調査した研究は未だ見当たらず、今後症例を重ねて解決されねばならない。

以上より、定期的に電解式水素クリアランス法を用いた血流測定を行って骨頭内血流量の低下を知ることが、大腿骨頭壊死の早期予知に有効であると考えられ

る。

結 論

外傷性股関節脱臼後の大腿骨頭壊死の発生予知が可能かどうかを知る目的で、成犬を用いた動物実験および臨床例で電解式水素クリアランス法を用いて大腿骨頭の血流測定を行った。

1. 頸部の骨髄腔を閉鎖し内側または外側の大腿回旋動脈を遮断すると骨頭中心においてそれぞれ 27.3 ± 10.4 ml/min/100 ml, 46.1 ± 15.1 ml/min/100 ml 血流が低下し、これは正常時の骨頭内血流量のそれぞれ 36.8%, 62.2%を占め、これらの両動脈が骨頭の主要な栄養動脈であった。

2. 頸部骨髄腔非閉鎖時に骨頭の主要な栄養動脈である内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行っても、骨頭中心における血流量は 40.2 ± 13.2 ml/min/100 ml で正常時の骨頭内血流量の 54.3%に保たれていた。また、頸部骨髄腔閉鎖時に内外両側の大腿回旋動脈の遮断を行うと、骨頭中心の血流量は 9.2 ± 6.2 ml/min/100 ml で正常時の 12.4%になった。これより、骨頭には栄養動脈が損傷されても頸部骨髄腔に損傷がない場合、骨髄腔を介する骨頭への血流代償機能により 50%以上の血流があることがわかった。

3. 骨頭壊死の発生は、骨頭の血流量の低下を来す原因が動脈系のみ障害でないことを示している。しかし骨頭の血流量の測定は骨頭壊死の進行を知る上に重要であり、その測定には電解式水素クリアランス法が最も有用である。

4. 臨床例で外傷性股関節脱臼整復後の大腿骨頭の血流量を 3 カ月ごとに測定してみると、18 例中 5 股で著しい血流低下を認めた。このうち 2 股は明らかな骨頭壊死となり、他の 3 股もその発生が予想される。電解式水素クリアランス法を用いた血流測定によって骨頭内血流量の低下を知ることが、大腿骨頭壊死の早期予知に有効であると考えられる。

謝 辞

稿を終えるに臨み、終始御懇篤な御指導と御校閲を賜りました恩師野村進教授に衷心より深甚なる謝意を表します。また本研究の遂行にあたり適切な御指導と御教示をいただきました松本忠美講師に深謝いたします。

なお、本論文の要旨は、第 65 回中部日本整形外科災害外科学会および第 59 回日本整形外科学会学術集会において発表した。

文 献

1) Steinberg, M. E., Hayken, G. D. & Steinberg, D. R.: The "conservative" management of

- avascular necrosis of the femoral head. Ch. 54, 334-337, *In* Arlet, J., Fricat, R. P. & Hungerford, D. S. (eds.), Bone circulation, Williams & Willkins, Baltimore, 1984.
- 2) Judet, H., Judet, J. & Gilbert, A.: Vascular microsurgery in orthopaedics. *Internal Orthop.*, 5, 61-68 (1981).
- 3) Fujimaki, A. & Yamauchi, Y.: Vascularized fibular grafting for treatment of aseptic necrosis of the femoral head.—Preliminary results in four cases. *Microsurg.*, 4, 17-22 (1983).
- 4) Sugioka, Y.: Transtrochanteric anterior rotational osteotomy of the femoral head in the treatment of osteonecrosis affecting the hip. A new osteotomy operation. *Clin. Orthop.*, 130, 191-201 (1978).
- 5) 篠田耕三: 電気分解式水素クリアランス法による骨髓内局所血流量の測定. 十全医会誌, 94, 678-688 (1985).
- 6) 吉水典彰・島 巖・松本忠美・宇賀治行雄・篠田耕三・野村 進: 電気分解式水素クリアランス法における骨髓内拡散値の決定方法. 中部整災誌, 27, 2151-2153 (1984).
- 7) 山室隆夫: 股関節の血管系の解剖とその發育. 股関節外科学 (伊藤編), 第1版, 39-57頁, 金芳堂, 京都, 1979.
- 8) Müssbichler, H.: Arteriographic studies in fractures of the femoral neck and trochanteric region. *Angiology*, 21, 385-402 (1970).
- 9) Nitschke, Th.: Zur Frage der Arteria profunda femoris und der Arteria circumflexae femoris bei Mensch, Hund, Schwein. *Acta Anat.*, 79, 239-256 (1971).
- 10) Bassett, F. H., Wilson, J. W., Allen, B. L., Jr. & Azuma, H.: Normal vascular anatomy of the head of the femur in puppies with emphasis on the inferior retinacular vessels. *J. Bone Joint Surg.*, 51-A, 1139-1153 (1969).
- 11) Sevvitt, S. & Thompson, R. G.: The distribution and anastomoses of arteries supplying the head and neck of the femur. *J. Bone Joint Surg.*, 47-B, 560-573 (1965).
- 12) Garden, R. S.: Low-angle fixation in fractures of the femoral neck. *J. Bone Joint Surg.*, 43-B, 647-663 (1961).
- 13) Garden, R. S.: Stability and union in subcapital fractures of the femur. *J. Bone Joint Surg.*, 46-B, 630-647 (1964).
- 14) Frangakis, E. K.: Intracapsular fractures of the neck of the femur. *J. Bone Joint Surg.*, 48-B, 17-30 (1966).
- 15) Massie, W. K.: Treatment of femoral neck fractures emphasizing long term follow-up observations on aseptic necrosis. *Clin. Orthop.*, 92, 16-62 (1973).
- 16) Urist, M. R.: Fracture-dislocation of the hip joint: The nature of the traumatic lesion, treatment, late complications and end results. *J. Bone Joint Surg.*, 30-A, 699-727 (1948).
- 17) Thompson, V. P. & Epstein, H. C.: Traumatic dislocation of the hip. *J. Bone Joint Surg.*, 33-A, 746-778 (1951).
- 18) Nicoll, E. A.: Traumatic dislocation of the hip joint. *J. Bone Joint Surg.*, 34-B, 503-505 (1952).
- 19) Ghormley, R. K. & Sullivan, R.: Traumatic dislocation of the hip. *Am. J. Surg.*, 85, 298-301 (1953).
- 20) Stewart, M. J. & Milford, L. W.: Fracture dislocation of the hip. *J. Bone Joint Surg.*, 36-A, 315-342 (1954).
- 21) Brav, E. A.: Traumatic dislocation of the hip. *J. Bone Joint Surg.*, 44-A, 115-1134 (1962).
- 22) Rosenthal, R. E. & Coker, W. L.: Posterior fracture dislocation of the hip. *J. Trauma.*, 19, 572-581 (1979).
- 23) Stosseck, K., Lübbers, D. W. & Cottin, N.: Determination of local blood flow (microflow) by electrochemically generated hydrogen. Construction and application of the measuring probe. *Pflügers Arch.*, 348, 225-238 (1974).
- 24) 甲州啓二・遠藤俊朗・高久 晃・斉藤建夫: 電気分解法により発生させた水素ガスを利用しての局所血流量測定の試み. 脳神経外科, 9, 1261-1266 (1981).
- 25) Phemister, D. B.: Fracture of neck of femur, dislocation of hip and obscure vascular disturbance producing aseptic necrosis of head of femur. *Surg. Gynec. Obstet.*, 59, 415-440 (1934).
- 26) Flatmark, A. L. & Lone, T.: The prognosis of abduction fracture of the neck of the femur. *J. Bone Joint Surg.*, 44-B, 324-327 (1962).
- 27) Judet, J., Judet, R., Lagrange, J. & Dunoyer, J.: A Study of the arterial vascularization of the femoral neck in the adult. *J. Bone Joint Surg.*, 37-A, 663-680 (1955).

- 28) 平木 潔: 骨髄内血液循環に関する研究. 岡山医学雑誌, **63**, 169-174 (1951).
- 29) 松本有熙: 骨髄静脈系造影法からみた大腿骨骨頭の血行. 日整会誌, **40**, 947-975 (1966).
- 30) Serre, H. & Simon, L.: L'ostéonécrose primitive de la tête fémorale chez l'adulte. Acta Rheum. Scand., **7**, 265-286 (1961).
- 31) Cameron, R. B.: Strontium-85 scintimetry in nontraumatic necrosis of the femoral head. Clin. Orthop., **65**, 243-261 (1969).
- 32) Stadalnik, R. C., Rigging, R. L., D' Ambrosia, R. & DeNaldo, G. L.: Vascularity of the femoral head: Fluorine scintigraphy validated with tetracycline labeling. Radiology, **114**, 663-666 (1975).
- 33) Webber, M. M., Wagner, J., Cragin, M. D. & Victory, W.: Femoral head blood supply demonstrated by radiotracers. J. Nucl. Med., **15**, 543 (1974).
- 34) Meyers, M. H., Telfer, N. & Moore, T. M.: Determination of the vascularity of the femoral head with technetium 99m-sulphur-colloid. Diagnostic and prognostic significance. J. Bone Joint Surg., **59-A**, 658-664 (1977).
- 35) D'Ambrosia, R. D., Riggins, R. S., Stadalnik, R. C. & DeNaldo, G. L.: Vascularity of the femoral head. ^{99m}Tc diphosphonate scintigraphy validated with tetracycline labeling. Clin. Orthop., **121**, 143-148 (1976).
- 36) Lucie, R. S., Fuller, S., Burdic, D. C. & Johnston, R. M.: Early prediction of avascular necrosis of the femoral head following femoral neck fractures. Clin. Orthop., **161**, 207-214 (198).
- 37) Martindale, A. A., Papadimitriou, J. M. & Turner, J. H.: Technetium-99m antimony colloid for bone-marrow imaging. J. Nucl. Med., **21**, 1035-1041 (1980).
- 38) Turner, J. H.: Post-traumatic avascular necrosis of the femoral head predicted by preoperative technetium-99m antimony colloid scan. - An experimental and clinical study. - J. Bone Joint Surg., **65-A**, 786-796 (1983).
- 39) Hungerford, D. S.: Early diagnosis of ischemic necrosis of the femoral head. Johns Hopkins Med. J., **137**, 270-275 (1975).
- 40) 松淵信也: 骨髄造影法による大腿骨頭の血流と大腿骨頸部骨折の予後. 日整会誌, **45**, 629-637 (1971).
- 41) Hulth, A.: Circulatory disturbances in osteoarthritis of the hip. Acta Orthop. Scand., **8**, 81-89 (1959).
- 42) Arnoldi, C. C., Linderholm, H. & Müsßbichler H.: Venous engorgement and interosseous hypertension in osteoarthritis of the hip. J. Bone Joint Surg., **54-B**, 409-421 (1972).
- 43) Shima, I., Yamauchi, S., Matsumoto, T., Kunishita, M., Shinoda, K., Yoshimizu, N., Nomura, S. & Yoshimura, M.: A new method for monitoring circulation of grafted bone by use of electrochemically generated hydrogen. Clin. Orthop., **188**, 244-249 (1985).
- 44) 松本忠美: 阻血下における血流量と骨癒合の関係. 十全医会誌, **92**, 107-121 (1983).

Experimental and Clinical Studies on Early Prediction of Avascular Necrosis of the Femoral Head Following Traumatic Dislocation of the Hip. Shunichi Tsuji, Department of Orthopaedic Surgery, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Juzen Med. Soc., 95, 715—729 (1986)

Key words: Avascular necrosis, Traumatic Dislocation, Femoral head, Blood Flow, Hydrogen clearance.

Abstract

Normal blood supply to the femoral head was experimentally studied using the electrochemically generated hydrogen clearance method in order to investigate the value in predicting avascular necrosis of the femoral head following traumatic dislocation of the hip. The normal blood flow rate in thirty canine femoral heads was 74.1 ± 14.8 ml/min/100ml (mean \pm S.D.). The blood supply from the medial circumflex femoral artery was 27.3 ± 10.4 ml/min/100ml and the supply from the lateral circumflex femoral artery, 46.1 ± 13.2 ml/min/100ml. These arteries are considered to play a major role in blood supply to the femoral head. The remaining blood flow rate in the femoral head was 40.2 ± 13.2 ml/min/100ml, approximately half of the normal flow rate, after placing clips around both the medial and lateral circumflex femoral arteries while the femoral neck cavity was kept intact. The blood flow rate decreased to 9.2 ± 6.2 ml/min/100ml after placing clips around both of the circumflex arteries and the femoral neck cavity was closed by filling bone wax in it. It was found that there was a compensatory flow through the femoral neck cavity when the arterial supply to the femoral head was impaired and the continuity of the neck cavity was maintained. The blood flow in the femoral head is kept fairly well because of this compensation if the trauma is confined to the supplying arteries of the femoral head following traumatic dislocation. Therefore, avascular necrosis of the femoral head is considered to develop not only when the supplying arteries are injured as has previously been thought, but also when other factors than this decrease the blood flow in the femoral head. In clinical study, it is more essential to understand the circulatory state of the femoral head by periodic measurement of the blood flow in the femoral head than to find which particular arteries are impaired. So the blood flow in the femoral head following reduction of the dislocated hip was measured with the electrochemically generated hydrogen clearance method every three months after sustaining dislocation. Five of eighteen hips showed decreased blood flow rate, two of which developed necrosis. The other three are being followed up at present, but there is a high risk of developing necrosis. Detecting decreased blood flow in the femoral head using the electrochemically generated hydrogen clearance method is found to be practical in early prediction of avascular necrosis of the femoral head.