

C. 産婦人科検査法

Obstetrical and Gynecological Examination

15. 胎児臍帯の血流計測

Assessment of Fetal Umbilical Blood Flow

超音波パルスドップラー法による胎児および臍帯の血流計測は、非侵襲的で非常に有用な胎児 well-being の評価方法である。リアルタイムで胎児の循環動態の評価が可能であり、経時的な観察により胎児の低酸素状態に対する機能代償から代償不全に至る時期を判定し、分娩の時期を決定する。

1) 超音波血流評価方法

胎児、臍帯の血流は、カラードップラー法あるいはパワードップラー法で描出した血流をパルスドップラー法によりサンプリングし、血流速度波形から定量的に評価を行う。

(1) パルスドップラー法

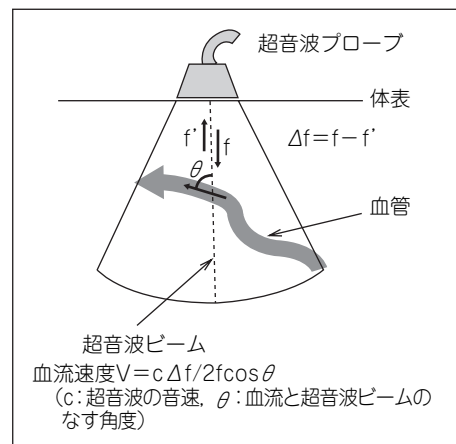
パルスドップラー法の原理は、周波数 f の超音波パルス波を血流に乗って移動する赤血球にあてると、反射してくる周波数 f' は“ドップラー効果”を受け、血流速度 V に応じて偏移する。これより血流速度 V は、 $V=c\Delta f/2f \cos\theta$ (c : 超音波の音速、 θ : 血流と超音波ビームのなす角度) によって求めることができる(図 C-15-1)。実際のパルスドップラー装置では、サンプリング部位の血流速度の経時変化が実時間でかつ連続的に表示される。これは高速フーリエ変換方式などの高速演算処理を用いて解析した、偏移周波数スペクトルを時間軸方向に連続記録し、血流速度波形として表示している。プローブに対し、近付いてくる血流がベースラインより上向き、遠ざかる血流が下向きに表示され、血流の途絶や逆流は容易に検出可能である。

(2) カラードップラー法

カラードップラー法は、赤血球からの連続した反射波の周波数スペクトル分布における平均周波数、分散および反射強度を色調変換し、これを二次元的に展開することによって観察断面内の血流をカラー表示するものである。プローブに対する血流の方向によって、プローブに向かう血流を赤色、遠ざかる血流を青色とし、さらに流速が輝度変調で表示される。カラードップラー法を用いれば、細い末梢血管でも容易にサンプリングすることが可能である。

(3) パワードップラー法

パワードップラー法は、さらに周波数の低いドップラー成分を検出することが可能である。したがって、カラードップラー法で描出できない微小血管、非常に速度の遅い静脈血流、超音波ビームに直交する血流をも表示することができ、血管分布の評価



(図 C-15-1) パルスドップラー法の原理

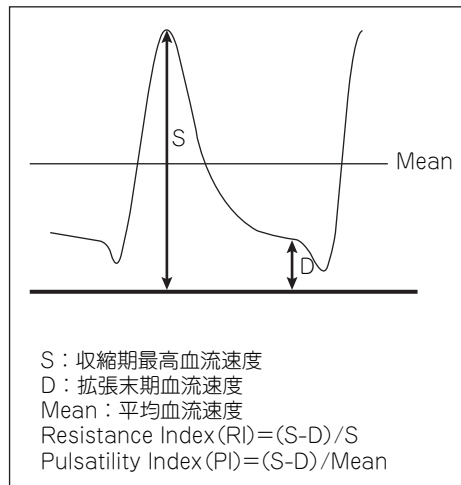
や形態診断に有用である。

2) 胎児評価に用いる血流計測

超音波パルスドップラー法による胎児血流の評価には動脈系では、臍帯動脈や中大脳動脈、静脈系では臍帯静脈や下大静脈の血流を計測する。血流計測を行う際には、胎児呼吸様運動や胎動、母体腹壁の動きのない安定した状態で行うことが重要である。

(1) 胎児動脈系血流計測

動脈系の血流計測では末梢血管抵抗を評価する。血管抵抗は血圧がかかっていない状態での血流の状態、つまり拡張期の血流速度により規定される。血管抵抗の指標として resistance index (RI) と pulsatility index (PI) を用いて検討する。パルスドップラー法による血流波形と RI 値、PI 値の計算方法を図 C-15-2 に示す。RI 値が収縮期血流速度と拡張期血流速度から計算されるのに対し、PI 値は平均血流速度を加味している。血流プロフィール全体の形状を含めて算出している PI 値で評価するほうが望ましいとする意見もあるが、いずれの指標も臨床的意義には差はないとされている。図 C-15-3 に臍帯動脈および胎児中大脳動脈の血流計測の超音波写真を示す。超音波ビームと対象血管とのなす角度は60度未満が好ましいとされている。日本超音波医学会が2003年に公示し、日本産科婦人科学会が2005年に採用した“超音波胎児計測の標準化と日本人の基準値”の臍帯動脈および胎児中大脳動脈の RI 値、PI 値の各妊娠週数における基準値を図 C-15-4 に示す¹⁾。臍帯動脈での RI、PI の正常値は、いずれも妊娠20週以降は妊娠週数とともに低下する。正常妊娠では妊娠の進行とともに血管抵抗が減少して、胎児胎盤循環が維持されていると考えられる。一方、子宮内胎児発育遅延や妊娠高血圧症候群などでは、胎児胎盤循環の増悪が進行するにつれて臍帯動脈 RI 値、PI 値が高値となり、終末には臍帯血流の途絶やさ



(図 C-15-2) パルスドップラー法での血流計測

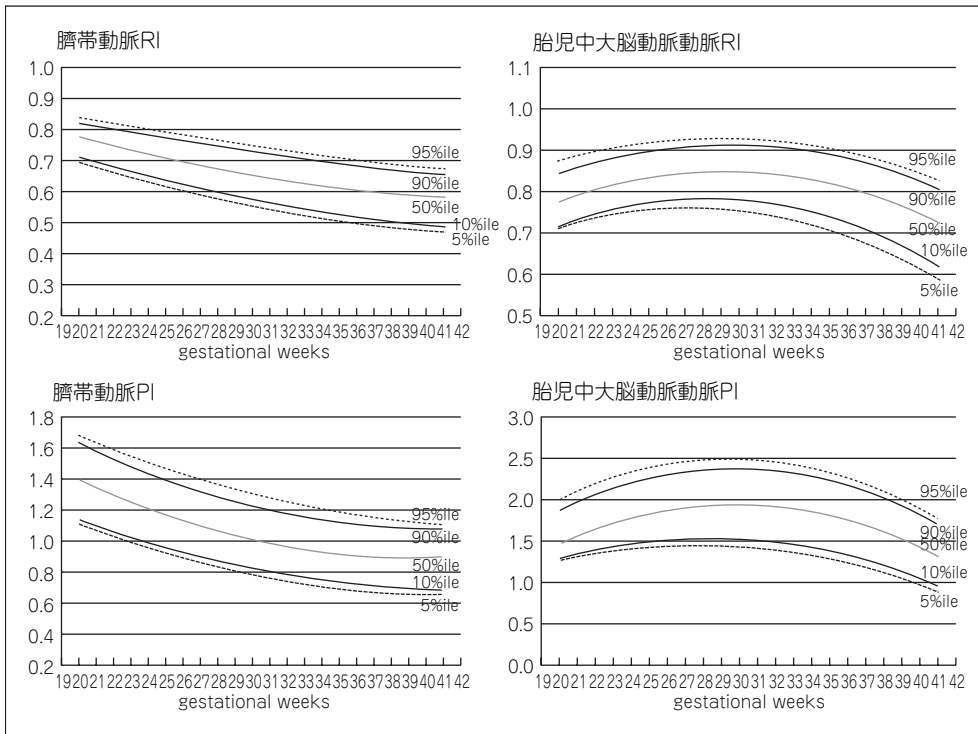
臍帯動脈



中大脳動脈



(図 C-15-3) 臍帯動脈および胎児中大脳動脈の血流波形



(図 C-15-4) 臍帯動脈および胎児中大脳動脈の RI, PI の基準値

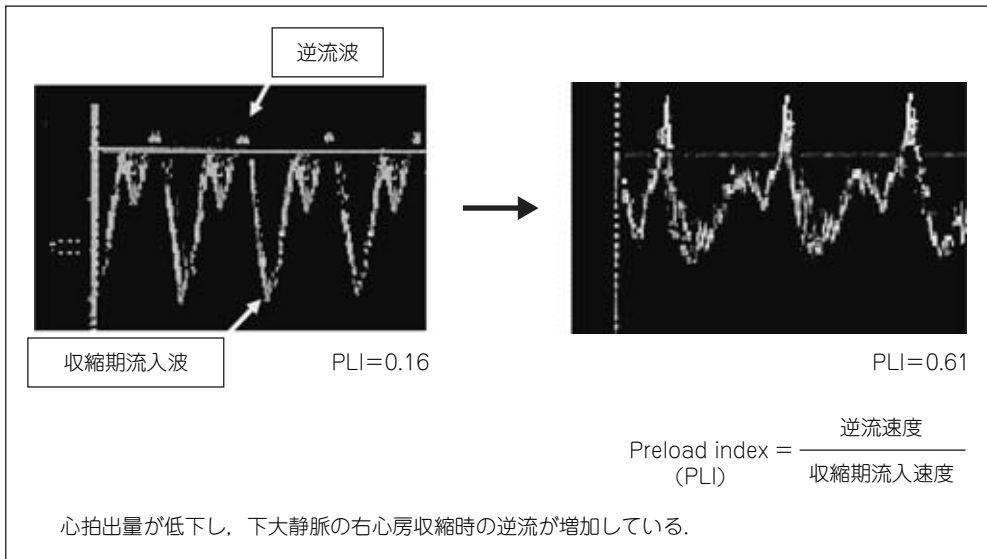
らには逆流がみられるようになる。また、胎児の心機能の悪化(血圧や心拍出量の低下)や臍帯の卵膜付着でも臍帯動脈 RI 値, PI 値の異常の原因となることもある。

胎児中大脳動脈 RI, PI の正常値は、妊娠20週から29週頃までは上昇したのち、30週以降は低下する。胎児の慢性低酸素血症が生じるとこれらの値は低下する。

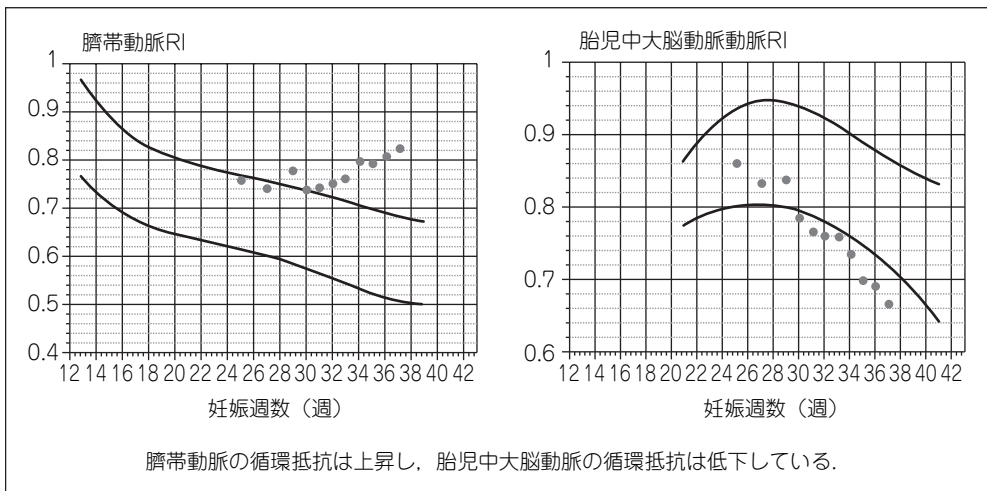
(2) 胎児静脈系血流計測

臍帯静脈の血流計測は、血流量と共に血流波形の観察が重要である。臍帯静脈の血流量は、胎児胎盤循環の指標とされており90~126ml/kg/min が正常範囲で妊娠週数にかかわらずほぼ一定である。血流量が異常低値の85%に IUGR や胎児発育の停止を認めたのに対し、血流量が正常な場合には95%が胎児は正常発育であり、臍帯静脈血流量は胎児発育に影響する。胎児に心不全が進行すると中心静脈圧が上昇して、臍帯静脈波形に波動(臍帯動脈波形に逆同期した波形)が認められるようになる。この臍帯静脈の波動は胎児の心不全の徴候として重要である。また、臍帯巻絡や臍帯過捻転による部分絞扼が存在すると、それより胎盤側で臍帯静脈の血流うっ滞が起こり臍帯静脈波形に波動を生じる。

胎児下大静脈の血流も胎児循環動態の評価に使用される。測定は下大静脈の右心房への流入部で行い、心房収縮期の逆流波、心室収縮・心房拡張期の流入波、心室拡張期の流入波の三相性波形である。Preload index(PLI)は、心房収縮期の逆流速度と心室収縮期の流入速度の比であり、胎児の心機能の指標となる(図 C-15-5)。胎児心機能の低下は、低酸素血症、TTTS、胎児水腫などが進行した場合にみられる。心機能低下により心拍出量が低下し、右心房の収縮に伴って下大静脈への逆流が増大し、その結果 PLI が上昇する。0.5以上は異常値と考える。



(図 C-15-5) 胎児下大静脈の血流



(図 C-15-6) 血流の再分配現象

3) 血流計測による胎児 well-being の評価

上述の血流は、胎児慢性低酸素血症の進行に伴って変化を示す(表 C-15-1)。慢性低酸素血症が存在すると体血管抵抗が上昇するため臍帯動脈での RI 値、PI 値の上昇として変化が捕らえられる。低酸素血症が進行すると脳への酸素供給を確保するために、代償機構として血流の再分配(brain sparing effect)が起こり(図 C-15-6)、中大脳動脈での抵抗の指標である RI 値、PI 値の低下として捕らえられるようになるが、この時点では心拍出

量は正常範囲内に保たれている。さらに低酸素血症が進行すると代償機能の破綻をきたして心不全の状態となつて、心拍出量が低下し右心房の収縮に伴って下大静脈への逆流が増大し、PLIの上昇として捕らえられる(図 C-15-5)。さらに心不全が進行すると中心静脈圧も上昇して、臍帯静脈に波動が認められるようになる。このように、胎児循環動態の評価では経時的な観察により、機能代償から代償不全に至る時期を明確に評価することが大切である。

IUGRなどの慢性低酸素血症に曝されている胎児の管理の基本は、経時的な well-being の評価により胎児アシドーシスの出現する前に児を娩出させて胎外治療を施すことである。児のインタクトサーバイバルを目指すには、超音波パルスドップラー法による血流計測に加えて、胎児心拍変動に基づく胎児心拍監視、超音波断層法による biophysical profile や胎児の頭部の発育を観察し、胎児 well-being を総合的に判断することが重要である。

《参考文献》

1. 会告 超音波胎児計の標準化と基準値の公示について. 超音波医学 2003;30: J415-438

〈工藤 美樹*〉

(表 C-15-1) 胎児低酸素血症の病態と血流の変化

子宮胎盤機能不全(慢性低酸素血症)
臍帯動脈の循環抵抗 (RI, PI) の上昇
機能代償
血流の再分配現象
中大脳動脈の循環抵抗 (RI, PI) の低下
臍帯動脈 RI, PI/中大脳動脈 RI, PI 比の上昇
代償不全
胎児心不全状態
下大静脈の心房収縮時の逆流 (PLI の上昇)
臍帯静脈波動

*Yoshiki KUDO

*Department of Obstetrics and Gynecology, Graduate School of Biomedical Sciences, Hiroshima University, Hiroshima

Key words : Doppler velocimetry · Umbilical blood flow · Fetal circulation · Fetal well-being

索引語 : ドップラー血流速度計測, 臍帯血流, 胎児循環, 胎児健康度