

シンポジウム 胎児の発育と成熟

胎児生理の総合的解析による新しい周産期管理へのアプローチ

東京大学医学部産科婦人科学教室 (主任: 水野正彦教授)

岡 井 崇

Studies on Fetal Growth and Functional Developments

Takashi OKAI

Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo

共同研究者

桑原 慶紀, 今西由紀夫, 室之園悦雄, 上妻 志郎, 椋棒 正昌, 馬場 一憲
 施 政庭, 篠塚 憲男, 前田津紀夫, 秋葉 和敬, 海野 信也, 長屋 憲
 箕浦 茂樹

緒 言

妊娠24～32週の時期が胎児の発育・成熟過程において、どのような意味を有するのかを明らかにし、それによる胎児管理法を確立する事を目的として、以下の項目について研究を行つた。I. 胎児身体各部の発育状況の解析及び胎児発育度の臨床的評価法の検討と精度の高い方法論の開発。II. 胎児循環機能成熟過程の解析。III. 胎児行動から見た神経系発達過程の解析。IV. 人工子宮による胎仔哺育法の開発。

方 法

I. 胎児の身体発育

A. その生理

(1) 妊娠週数と体重増加: 1973年～1984年の12年間に東大産婦人科で出産した症例の内、在胎週数が不明瞭な例、母体合併症、多胎、奇形及び子宮内胎児死亡を除いた8408例の出生時児体重の妊娠週数に対する回帰曲線(胎児発育曲線)を作成した。また、その曲線を妊娠日数で微分し、一日あたりの体重増加の曲線を作成、さらに、一日あたりの体重増加をその時点での児体重で除した体重増加率の曲線を作成し、胎児の発育過程を分析した。

回帰曲線は五次までのすべての組み合わせによる回帰式を求め、その内で相関係数が高く、MallowsのCPの小さい組み合わせを選択、それぞれの項にかかる係数の有意性を検定し、危険率が5%以下の項のみを採用し、作成した。以下、回帰曲線の作成はすべて同じ手法を用いた。データ解析は東大病院大型計算機M360, SAS version 5によつた。

(2) 身体各部の発育: 実時間超音波断層装置を用い、厳密に規定した断面設定法¹⁾²⁾⁴⁾に基づき、児頭大横径(BPD)、前後径(FOD)、脊椎長(LV)、大腿骨長(FL)、上腕骨長(HL)、躯幹(横径×前後径, APTD×TTD)及び大腿(長径×短径, FTT)を計測し、正期産AFD児の発育曲線を作成、各部発育過程の特徴を分析した。

次に、骨格と臓器及び筋肉・脂肪組織の発育過程の違いを明らかにするために、躯幹径($\sqrt{\text{横径} \times \text{前後径}}$)/脊椎長比、大腿径($\sqrt{\text{長径} \times \text{短径}}$)/大腿骨長比及び胎児全体の比重の妊娠経過に伴う推移を検討した。比重は発育曲線から求めた各時期の平均胎児体重を胎児の体積で除すことにより求めた。胎児の体積は出産直前の超音波計測値と出産後実測した新生児体積とにより作成した体積計算式に、各時期の児頭大横径、躯幹、及び脊椎長の平均値を代入し求めた。

B. その臨床

(1) IUGR児の身体発育: IUGR児の各部発育遅延過程の成因による差を検討する目的で、330例のIUGRを成因別に、胎児染色体異常・奇形・妊娠中毒症・母体合併症・多胎妊娠・原因不明の各群に分類し、さらに分娩時期により、28週未満、28～31週、32～35週、及び36週以降分娩の4群に分け、躯幹径/大横径比を比較した。躯幹径/大横径比は妊娠週数により変化するため、分娩前2週間以内の計測値のみを用いた。さらに、躯幹の計測値を正常発育曲線上にプロットし各群の発育過程を検討した。また、超音波断層法を用いて、胎児の肝臓、肺、腎臓を計測し、IUGR児における臓器発

表1 新しい児体重推定式の作成法

I. 出産直前の超音波計測（大横径・軀幹径・脊椎長・大腿骨長）
II. 出産後の頭部及び軀幹部（四肢を含む）体積の測定
III. 出産後の体重の測定
IV. I・IIより各部体積と超音波計測値の比の平均値の計算（A・B）
$A = \text{頭部体積} / (\text{大横径})^3$
$B = \text{軀幹部体積} / (\text{軀幹前後径} \times \text{軀幹横径} \times \text{脊椎長})$
V. II・IIIより最小二乗法を用いた各部比重の計算
VI. IV・Vより児体重推定式を作成
$\text{児体重} = \underbrace{A \times (\text{大横径})^3}_{\text{頭部の体積}} \times \text{頭部の比重} + \underbrace{B \times \text{軀幹前後径} \times \text{軀幹横径} \times \text{脊椎長}}_{\text{軀幹部の体積}} \times \text{軀幹部比重}$

育を検討した。肺は4 chamber view の断面で、肝臓は胎児長軸に垂直で臍静脈描写断面のやや上方で横断面積を計測した。腎臓は胎児長軸及びその垂直2方向の最長径を計測した。

(2) 新しい児体重推定式：児体重を頭部の重量と四肢を含めた軀幹部の重量に分け、それぞれの比重と体積から児体重を計算する新しい児体重推定式を作成した(表1)。SFD 180例を含む、657例で external check を行い、新しい式と従来我が国及び諸外国で用いられてきた式の精度を比較した。

(3) 超音波画像の三次元表示：直交二断面表示型超音波断層装置と大型計算機を組み合わせ、人工知能の理論と computer graphics の手法を用いて超音波画像の自動認識と胎児三次元表示法の開発を試みた。

II. 胎児循環機能の成熟

(1) 心臓ポンプ機能：超音波 B モード法で胎児心臓4 chamber view を描写し、房室弁の直下の部位で心室心隔に直角に M モードビームを入射、得られた M モード波形より左右心室一回拍出量(SV) 及び短縮率(FS)を、 $SV = Dd^3 - Ds^3$, $FS = \frac{Dd - Ds}{Dd} \times 100$ (Dd = 拡張末期径, Ds = 収縮末期径) の式により計算した。対象は妊娠17～42週の正常胎児175例である。

(2) 腹部大動脈の血流速度：超音波 B モードで描写した胎児下行大動脈の横隔膜直下の部位に50～60°の角度でドプラービームを入射し、得られた血流波形より収縮期の最高血流速度を求めた。また抵抗係数を $R = \frac{A - B}{A}$ (A : 収縮期最高血流速度, B : 拡張末期最高血流速度) により求めた。対象は妊娠17～42週の正常胎児119例である。装置は ALOKA SSD-280, ドプラーユニット UGR-23, Scanning Recorder SSD-93型, sampling volume 2～5mm, carrier 周波数2.5及び3.5 MHz である。

(3) IUGR 児の循環機能：IUGR 児17例 (Mal-

nutrition type 11例) の腹部大動脈血流速度と、抵抗係数を計測し、正常例と比較した。

III. 胎児行動から見た神経系の発達

妊娠20～40週の正常妊娠30例を対象とし、実時間超音波断層装置3台(周波数2.5, 3.5, 5MHz)を用い胎児の各行動を同時に観察した。観察時間は1～2時間とし、800kcal の昼食1時間後、血圧正常、子宮収縮の無いことを確認し、観察を開始した。記録項目は急速眼球運動、緩速眼球運動、呼吸様運動、頭の動き、軀幹の運動、四肢の運動、口唇、舌の動き及び心拍数である。各行動の出現をフットスイッチにより用紙に記録すると共に、1V のパルス信号としてレコーダーに収録し、シグナルプロセッサ Sanei 7T17を用いて以下の項目について解析を行った。

(1) 各行動の出現度数：観察時間を10秒毎に区切り、各10秒間に出現した行動の度数の平均値の妊娠経過に伴う推移を検討した。

(2) 行動相互の関連性：観察時間を1分毎に区切り、各1分間の出現度数の時系列の各行動間の相互関連度を求め、位相0での相関係数の妊娠経過に伴う推移を検討した(図1)。

(3) 各行動の群発傾向：観察時間内における行動出現の偏りの妊娠経過に伴う推移を各行動の離散度により検討した。離散度はその行動が出現する時間帯が全体に占める%を全出現度数で除した値とした。

IV. 人工子宮による胎児哺育

将来の新しい未熟児哺育法として、子宮内に近い環境で哺育できる人工子宮による胎児哺育システム、すなわち、臍帯動脈からの血液を吸引、人工肺にてガス交換を行い臍帯静脈に環流する装置を開発し、80～136日齢のヤギ胎仔21頭の人工子宮内哺育を試みた。システムIではポンプと胎仔動脈を直結し、人工肺への血流量は人為的に決定した。システムIIは、両者の間に

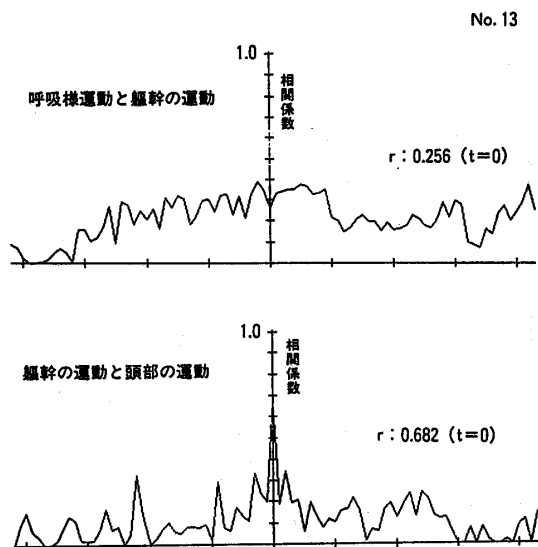


図1 呼吸様運動と軀幹の運動及び軀幹の運動と頭部の運動の相互相関関数

軀幹の運動と頭部の運動の相関関数は位相0で相関係数0.682のピークを有するが、呼吸様運動と軀幹の運動の相関関数はピークを有さない。すなわち、この例では呼吸様運動と軀幹の運動の出現には相互に関連のないことがわかる。

貯留槽を設け、貯留槽までは胎仔の動脈圧で血液が送られ、貯留された血液のみをポンプで人工肺に送る装置とした。さらにシステムIIIでは人工透析回路を付加した(図2)。人工肺は silicone hollow fiber 膜型肺で、functional area は0.1~0.3m²である。人工羊水の電解質組成、蛋白、ブドウ糖の濃度はヤギ羊水に近似させ、血液のガス分圧、電解質、体温を生理的状态に保ちつつ各種生理機能の連続記録を行つた。

成績並びに考察

I. 胎児の身体発育

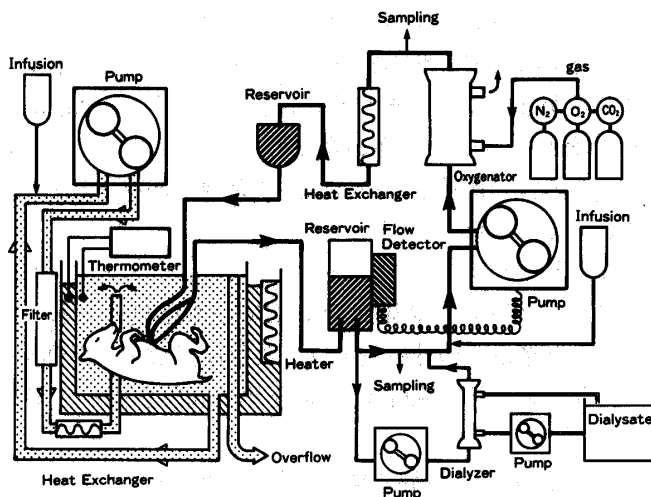


図2 人工子宮によるヤギ胎仔哺育実験のシステム(システムIII)

A. その生理

(1): 胎児体重の増加は妊娠34週頃にピークを認めたが、体重増加率は27週頃が最大で、この時期が胎児の身体発育にとって最も重要な時期であることが示唆された(図3)。

(2): 正常例における胎児各部の発育曲線は図4~6、表2の如くであり、大横径、脊椎径、脊椎長、大腿骨長、上腕骨長は妊娠が進むにつれ上昇勾配が緩やかとなる。一方軟部組織である軀幹及び大腿の発育曲線は共に妊娠が進むにつれ上昇勾配が大きくなる。また軀幹径/脊椎長比は27週頃より増加し、大腿径/大腿骨長比は32週頃より増加する(図7)。これらのことから、早くから発育を示す骨格系に対し軀幹径に反映される腹部臓器の発育及び、大腿径に表われる筋肉の発達・脂肪の蓄積が27週頃及び32週頃より加速されることが示唆された。胎児の比重は34~35週頃まで増加

表2 胎児各部計測値の回帰式

BPD	$Y = 0.5082x - 3.815x^4 \times 10^{-9} - 9.821x^5 \times 10^{-13} - 22.5$	$p < 0.001$
APTD × TTD	$Y = 9.618x^3 \times 10^{-6} - 1.982x^4 \times 10^{-8} + 1.791$	$p < 0.001$
LV	$Y = 1.575x - 5.150x^2 \times 10^{-3} + 6.772x^3 \times 10^{-6} - 101.22$	$p < 0.01$
FL	$Y = 1.336x^2 \times 10^{-3} - 7.028x^4 \times 10^{-9} + 8.813$	$p < 0.001$
HL	$Y = 4.061x^2 \times 10^{-3} - 1.791x^3 \times 10^{-5} + 2.405x^4 \times 10^{-8} - 11.78$	$p < 0.001$
FOD	$Y = 1.162x - 2.045x^2 - 63.76$	$p < 0.001$
FTT	$Y = 2.012x^2 \times 10 - 0.942$	$p < 0.001$
Fetal body weight	$Y = 0.1448x^2 + 6.050x^4 \times 10^{-6} - 1.421x^5 \times 10^{-8} + 1867.83$	$p < 0.001$

し、その後は低下する(図8)。胎児の身体が、比重の重い骨組織と軽い脂肪組織及び比重が水に近い組織の3要素から成っていると考えると、比重が34~35週頃まで増加するのは骨格が発育し化骨が進むためであり、その後の比重の減少は脂肪の蓄積が加速されるためと考えられた。

B. その臨床

(1): 躯幹径/大横径比をIUGRの原因別に比較すると、36週以降の分娩例では、染色体異常・奇形群を除くすべての群で躯幹径/大横径比の低値を認めた(図9)。

(2): 妊娠中毒症群では、早期に分娩に至った症例は発育遅延が早く発症し、また重症化するが、後期の分娩例は発症が遅く、発育遅延の程度も軽い傾向がみられた(図10)。それに対し、染色体異常、奇形群では分娩時期別の各群に顕著な差はなく、どの群も躯幹の計測値は妊娠早期より低値を示し、発育過程は正常曲線とほぼ平行した発育経過を示した(図11)。正常例における肺、肝、腎臓の発育曲線は躯幹の発育曲線と類似した勾配を示したが、妊娠中毒症群などMalnutrition TypeのIUGRでは、これら臓器の計測値は明らかな低値を示した(図12)。

(3): 比重と体積の計算に基づく新しい児体重推定式は 1) $1.07 \times \text{BPD}^3 + 2.91 \times \text{APTD} \times \text{TTD} \times \text{LV}$, 2) $1.07 \times \text{BPD}^3 + 3.42 \times \text{APTD} \times \text{TTD} \times \text{FL}$ となった。従来の式では、低出生体重児、特にSFD児の体重が実際より重く推定されるのに対し、新しい式は、その偏りがなく、IUGR症例においても精度の高いことが確認された(図13)。

(4): 胎児体表の自動認識と三次元表示が可能となり、これが胎児発育の新しい評価法となり得る可能性が示された(図14)。

II. 胎児循環機能の成熟

(1): 胎児心1回拍出量は右室優位を保ちながら妊娠が進むにつれ急峻な増加を示した(図15)。1回拍出量をその時期の平均出生児体重で割った1回拍出量係数は25~30週に最高値を示した(図16)。この時期は、胎児体重増加率の最も高い時期と一致し、1回拍出量係数は単位重量あたりの組織が必要とする血流量を表わす指標であり、この時期の胎盤及び胎児の各組織に豊富な血液が必要なことを示唆するものと考えられた。両心室の短縮率は妊娠20週頃高く、その後妊娠末期まで徐々に低下する(図17)。このことより、胎児の心臓は20週頃には既に相応のポンプ機能を有している

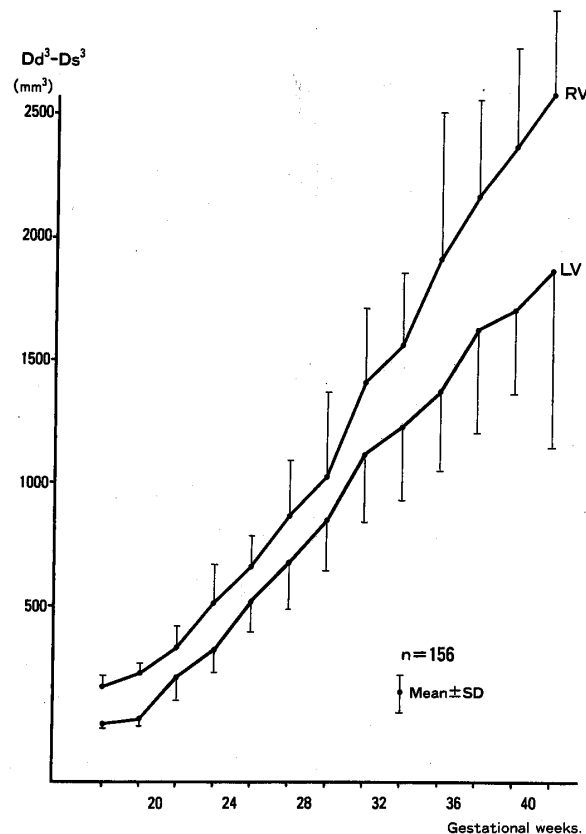


図15 両心室1回拍出量の妊娠経過に伴う変化

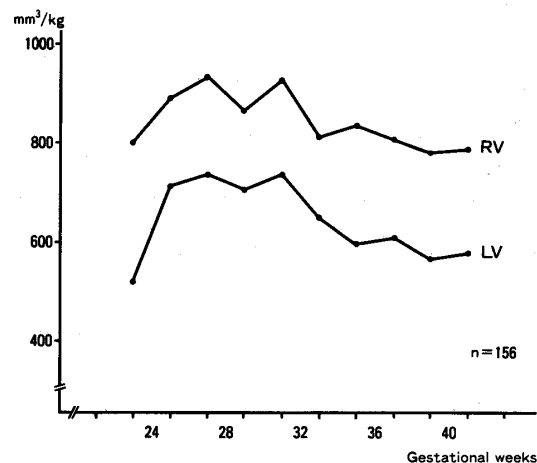


図16 両心室1回拍出量係数の妊娠経過に伴う変化
※ 1回拍出量係数 = 1回拍出量/体重

ことが示唆された。

(2): 抵抗係数は妊娠各期を通し変化なかったが(0.75~0.79), 収縮期最高血流速度は妊娠32週まで増加し、それ以後はほぼ一定の値を示した(図18)。このことから、血流速度を決定する因子である血管径、末梢血管抵抗、心収縮力及び1回拍出量などの関係が、妊娠32週頃、ほぼ完成した状態となることが示唆され

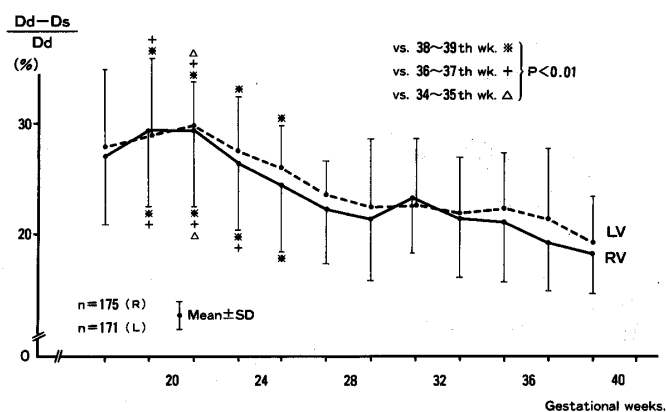


図17 両心室短縮率の妊娠経過に伴う変化

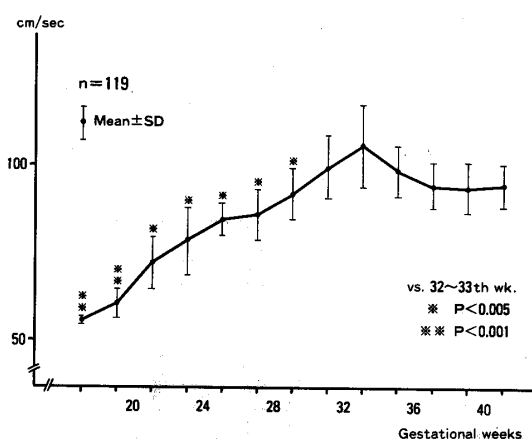


図18 胎児腹部大動脈の最高血流速度の妊娠経過に伴う変化

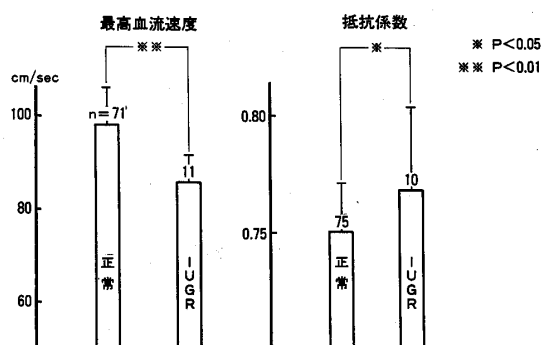


図19 Malnutrition Type の IUGR 児における腹部大動脈血流

た。

(3): 妊娠中毒症などの Malnutrition Type の IUGR では腹部大動脈の最高血流速度の低下と抵抗係数の増加を認めた(図19)。これは、IUGR においては、腹部大動脈の血流量及び最大灌流部分である胎盤の血流量が減少している可能性を示唆し、IUGR で臍帯動

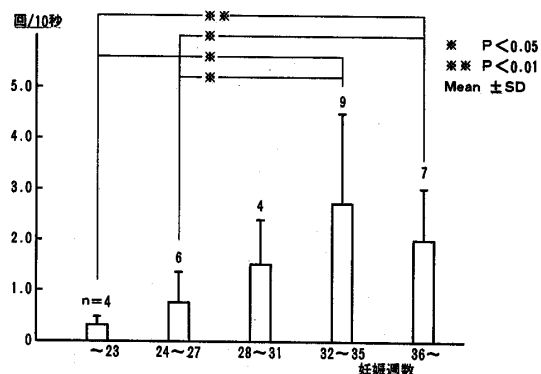


図20 呼吸様運動出現度数の妊娠経過に伴う変化

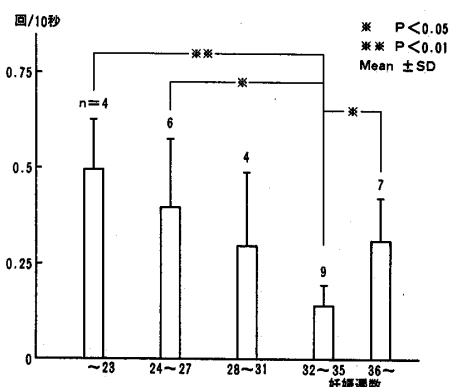


図21 軀幹運動出現度数の妊娠経過に伴う変化

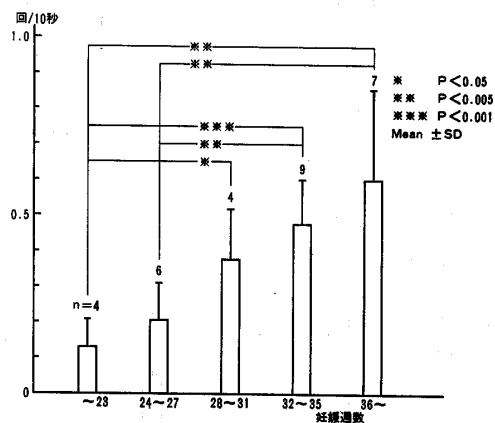


図22 急速眼球運動出現度数の妊娠経過に伴う変化

脈血流が減少しているとの報告⁷⁾⁸⁾と一致する。

III. 胎児行動から見た神経系の発達

(1): 呼吸様運動の出現度数が妊娠32~35週頃まで増加しその後増加を認めないことから、呼吸中枢の発達はこの時期までにほぼ完成することが示唆された(図20)。これに対し、軀幹運動、頭の動きの出現度数は32~35週の時期まで減少した(図21)。このことから、胎動を誘発する下位中枢は早期から発達しており、妊娠24週以降はそれを制御する上位中枢の発達する時期

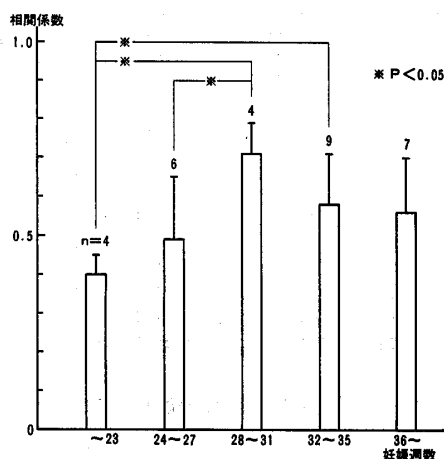


図23 呼吸様運動と急速眼球運動の相関の妊娠経過に伴う変化

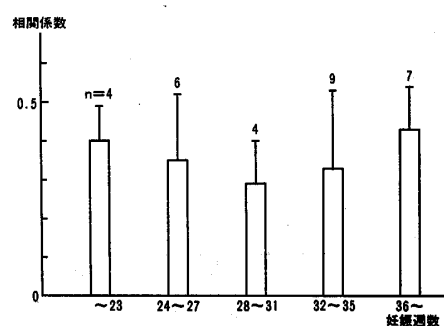


図24 軀幹運動と急速眼球運動の相関の妊娠経過に伴う変化

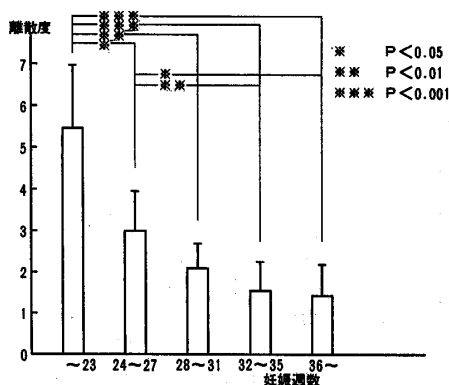


図25 急速眼球運動の離散度の妊娠経過に伴う変化

であると推察された。急速眼球運動の出現度数は妊娠経過に伴って増加し(図22), 緩速眼球運動も同様であったことから, 眼球運動中枢が妊娠末期まで発達し続けることが示唆された。

(2): 呼吸様運動と急速眼球運動の相関性は妊娠28~31週まで高まるが, 軀幹運動と急速眼球運動の相関性には妊娠経過による有意な変化は認められなかった(図23, 24)。呼吸様運動と急速眼球運動出現の相関

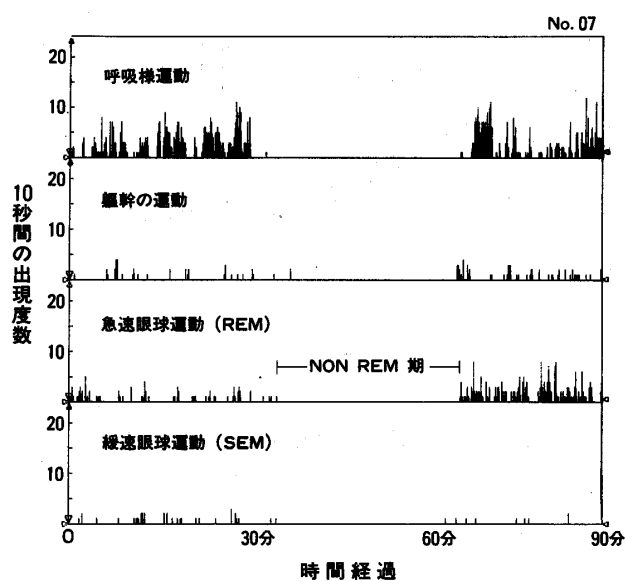


図26 妊娠36週例における胎児行動出現度数の時系列

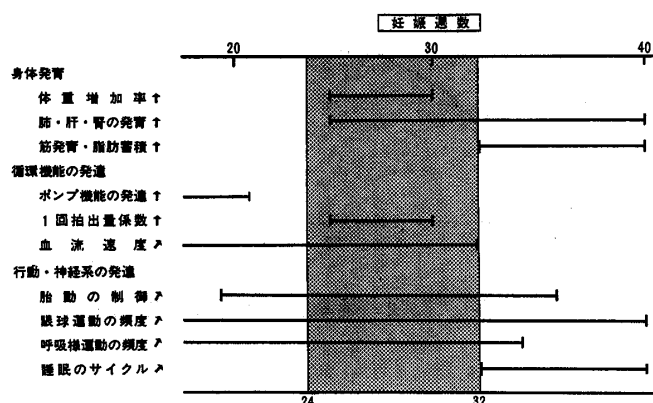


図27 胎児の発育と成熟のまとめ

表3 人工子宮のシステム別にみた胎仔平均生存時間

システム	例数	平均生存時間 (最長)	胎 齢
I	6	3時間21分 (8時間22分)	115.7日
II	9	45時間52分 (165時間5分)	123.3日
III	6	83時間48分 (143時間44分)	110.0日

I: 直結回路, II: リザーバ付加回路,
III: リザーバ・透析装置付加回路

性はREM睡眠中枢からのインパルスが眼球運動を引き起こすのと同時に呼吸中枢を刺激し, 呼吸様運動を誘発する³⁾ことにより生じると考えられ, 従つて, この相関性の高まりは眼球運動を同時に引き起こすREM睡眠の発達を示唆するものと思われる。一方, REM睡

眠の発達に伴って躯幹運動と急速眼球運動の相関性が高まらないのは、REM睡眠期には身体の大きな動きが抑制され、四肢の俊敏な動きのみが出現する傾向が強い⁵⁾⁶⁾ためと考えられる。

(3)：眼球運動の離散度は妊娠週数に伴い漸減し(図25)、呼吸様運動の離散度も妊娠28～31週の時期まで低下し、これら行動の群発傾向が妊娠後期に向かい強まっていくことが示された。また、32週以後の例では、各行動の出現する時間帯と出現しない時間帯が明瞭に識別されるようになる(図26)。この時期から急速眼球運動、呼吸様運動、躯幹の運動が全く出現しない時間帯が明瞭となるのは、Non-REM睡眠が発達してくることと関連するものと考えられる。

IV. 人工子宮による胎仔哺育

胎仔動脈とポンプを直結したシステムIでは全例9時間以内に死亡したが、貯留槽を付加したシステムIIでは早期の心不全がなくなり、平均45時間の生存時間が得られた。さらに透析回路を付加したシステムIIIでは、平均生存時間を83時間に延長できただけではなく、それまでの長期生存例で出現した全身浮腫を防止することが可能となつた(表3)。また、人工肺血流量が保たれている時は、ガス流量を調節することによつて、血液ガスレベルを自由に設定でき、子宮内の胎仔と同様の条件で生存させ得る事が確認された。さらに本システムは種々の生理機能モニターが容易で、胎児行動と脳波の関係など従来の方法では解明困難であつた胎児生理の分野における新しい動物実験モデルとして利用できる事が確認された。

結論及び総括

以上の成績をもとに、妊娠24～32週の時期を胎児の発育、成熟のプロセスの内に位置づけると、

① 身体発育においては、体重増加率が最も高く、肺、肝臓、腎臓などの臓器は発育を加速し始めるが、筋肉の発達や、予備能としての脂肪の蓄積はまだ不十分な時期である。

② 循環機能においては、既に発達をとげた心ポンプ機能を利用して1回拍出量係数を高め、胎児発育を促しつつこの間に血流速度も一定のレベルに達し、循環機能が成熟に向かう時期である。

③ 行動と神経系の発達においては、胎動の制御、眼球運動中枢、呼吸中枢は発達過程にあり、睡眠のサイクルを司る中枢の機能は未だ発現していない時期であると定義づけることができる(図27)。

従つて、この時期を通過した胎児とその前の胎児で

は発育・成熟の程度に大きな差があり、この時期の初めにあたる妊娠24～25週前後の胎児は、個体として独立する能力を獲得する以前の状態と考えられる。

人工子宮による胎仔哺育の実験は、このような発育・成熟段階で分娩を余儀なくされた胎児を、新生児としてではなく、胎児として、母体内に近い環境で哺育することを目指しており、本研究の成績は、人工子宮が、将来の超未熟児哺育の一法となり得る可能性を示唆するものである。

謝 辞

本シンポジウムに際し、研究発表の機会を与えて下さつた加藤 俊前会長、中山徹也会長並びに会員各位、また、座長の労をおとり頂いた武田佳彦教授、神保利春教授に謹んで謝意を表します。医療機器並びに研究用器材などを御提供頂き本研究に御協力下さつた、トーイツ工業、日本電気三栄、アロカ、持田製薬、泉工医科工業、クラレ、並びに明治乳業の各社に深謝致します。また、貴重な症例を提供して頂いた以下の研究協力施設並びに研究助手の堀越節子、山田めぐみ、松永久美子の諸姉に心からお礼申し上げます。

研究協力施設

愛育病院、稲田登戸病院、関東中央病院、関東労災病院、公立昭和病院、国立病院医療センター、三栄病院、中央鉄道病院、同愛記念病院、東京厚生年金病院、都立青山病院、都立築地産院、長野赤十字病院、日立総合病院、焼津市立総合病院

本研究の費用の一部は、文部省科学研究補助金59440069、59570701、及び循環器病研究委託事業59公一7による。

付図説明

図3 胎児体重、体重増加及び体重増加率の妊娠週数に対する回帰曲線。

図4 児頭大横径及び脊椎長の計測値とその妊娠週数に対する回帰曲線及び90パーセンタイル幅
※症例数が多い場合は、計測値が重なるので、グラフ表示の例数は減らしてある。

図5 大腿骨長及び上腕骨長の計測値とその妊娠週数に対する回帰曲線及び90パーセンタイル幅

図6 軀幹(前後径×横径)及び大腿(長径×短径)の計測値とその妊娠週数に対する回帰曲線及び90パーセンタイル幅

図7 大腿径/大腿骨長比及び軀幹径/脊椎長比の妊娠週数に対する回帰曲線

※大腿径 = $\sqrt{\text{長径} \times \text{短径}}$ (大腿横断面)、
軀幹径 = $\sqrt{\text{前後径} \times \text{横径}}$ (軀幹横断面)

図8 胎児各部の超音波計測値と平均出生時体重とから計算した胎児比重の妊娠経過に伴う変化

図9 IUGR症例の軀幹径/大横径比一妊娠36週以後

の分娩例—

図10 妊娠中毒症群 IUGR 児の躯幹計測値

※緑：36週～の分娩例，黄：32～35週の分娩例，白：28～31週の分娩例，赤：～28週の分娩例，青：躯幹の回帰曲線及び90パーセンタイル

図11 染色体異常・奇形群 IUGR 児の躯幹計測値

図12 胎児左肺横断面積の計測値とその妊娠週数に対する回帰曲線

※黄：正常例，青：正常例の回帰曲線，赤：Malnutrition Type の IUGR，白：原因不明の IUGR，緑：IUGR 以外の胎児異常

図13 新しい児体重推定式の external check の成績

※横軸：実際の体重，

縦軸： $\frac{\text{推定体重} - \text{実際の体重}}{\text{実際の体重}} \times 100$

黄：AFD，赤：SFD，緑：LFD

図14 超音波による胎児三次元表示の1例

文 献

1. 岡井 崇，上妻志郎，坂元正一，箕浦茂樹：胎児発育異常の診断，産婦人科の実際，30：747，1981.
2. 岡井 崇，上妻志郎，箕浦茂樹，椋棒正昌，坂元正一：未熟児の予知法 A. 超音波断層法を用いて，産婦人科の実際，30：1361，1981.
3. 鳥居鎮夫：行動としての睡眠，青土社発行，1984.
4. Ma. Trinidad R. Vera, Okai, T., Mukubo, M., Kozuma, S., Baba, K., Shih, C.T. and Mizuno,

M.: Ultrasonic assessment of fetal thigh thickness—An index of intrauterine fetal growth and nutrition, 日本超音波医学会第45回研究発表会講演論文集，333，1984.

5. Salzarulo, P., Fagioli, I., Salomon, F., Ricour, C., Raimbault, G., Ambrosi, S., Oicchi, O., Puhomel, J.F. and Rigoard, M.T.: Sleep patterns in infants under continuous feeding from birth. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 49: 330, 1980.
6. Ellingson, R.J., Jon, F. and Peters, J.F.: Development of EEG and daytime sleep patterns in normal full-term infants during the first 3 months of life: Longitudinal observations. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 49: 112, 1980.
7. Thompson, R.S., Trudinger, B.J. and Cook, C.M.: Doppler ultrasound waveforms in the fetal umbilical artery: Quantitative analysis technique, Ultrasound in Med. & Biol., 11: 707, 1985.
8. Cohen-Overbeck, T., Pearce, J.M. and Campbell, S.: The antenatal assessment of utero-placental and feto-placental blood flow using doppler ultrasound: Ultrasound in Med. & Biol., 11: 329, 1985.

岡井他論文付図 I

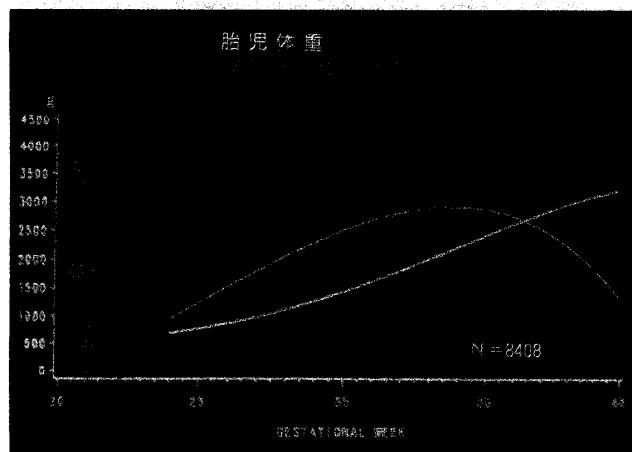


図 3

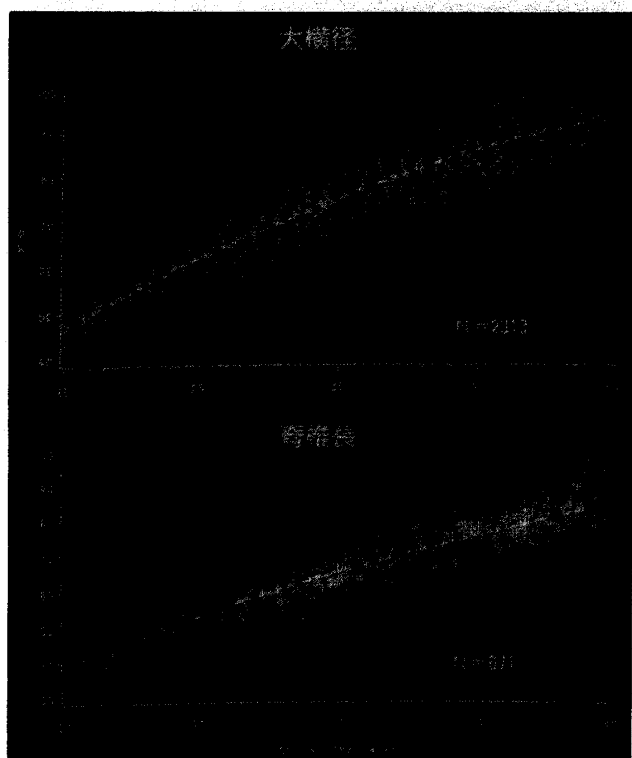


図 4

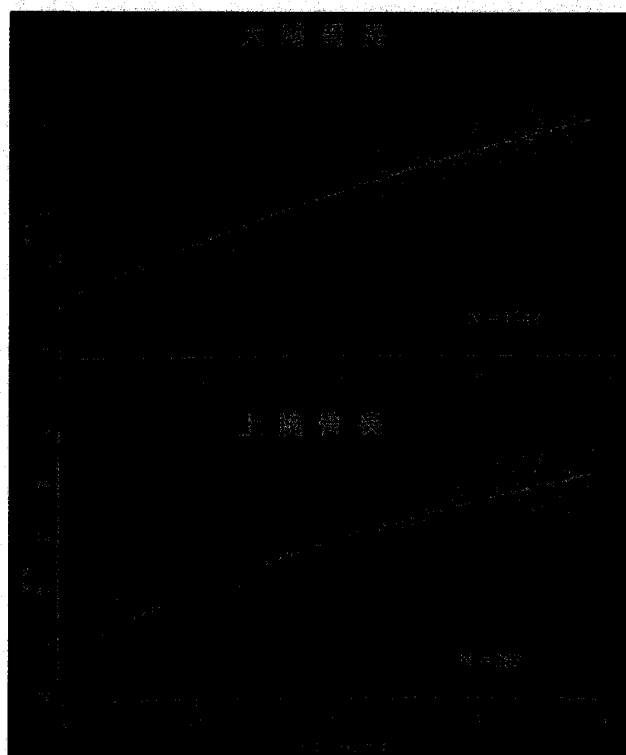


図 5

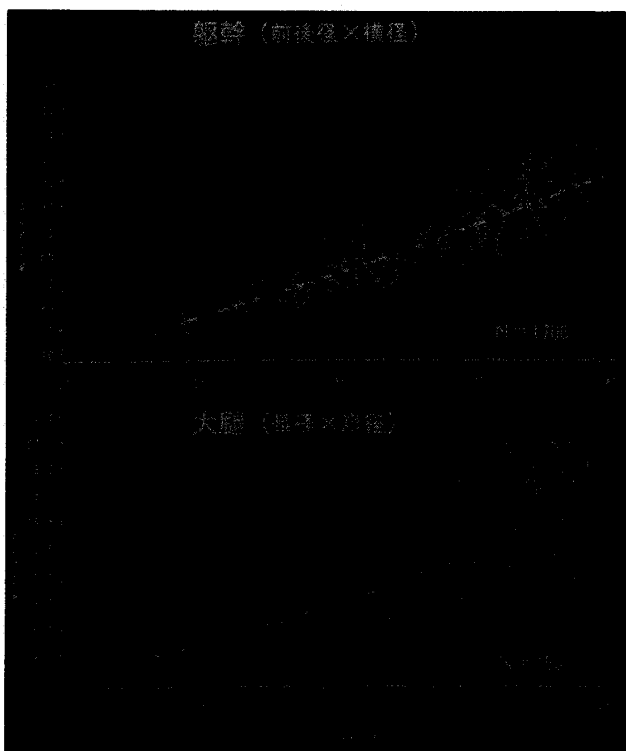


図 6

岡井他論文付図II

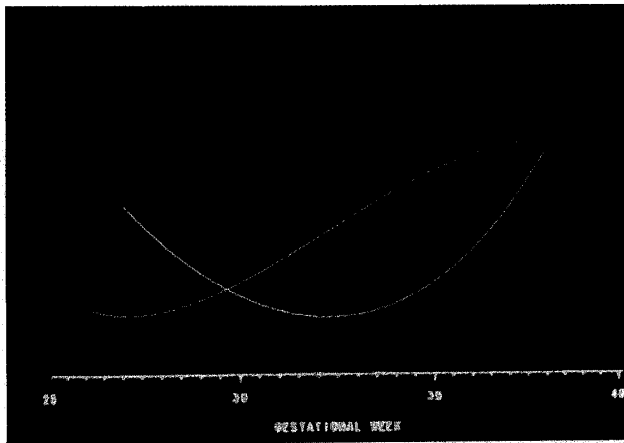


図 7

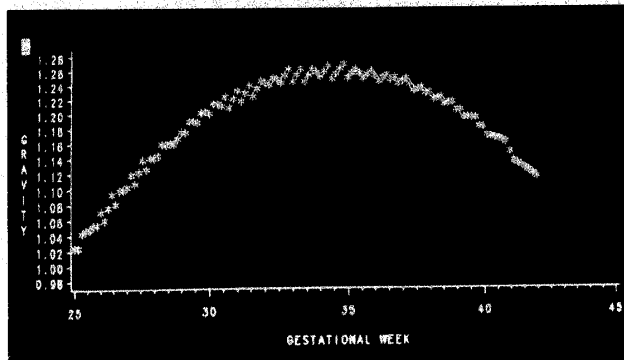


図 8

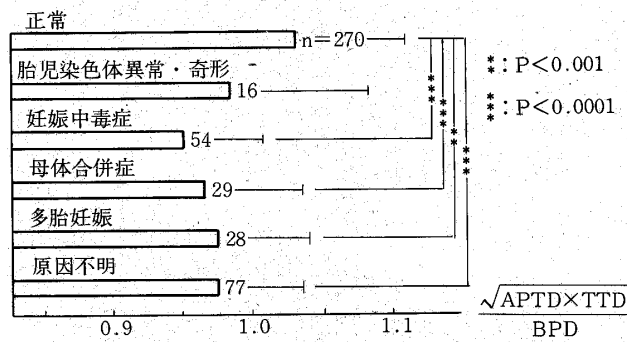


図 9

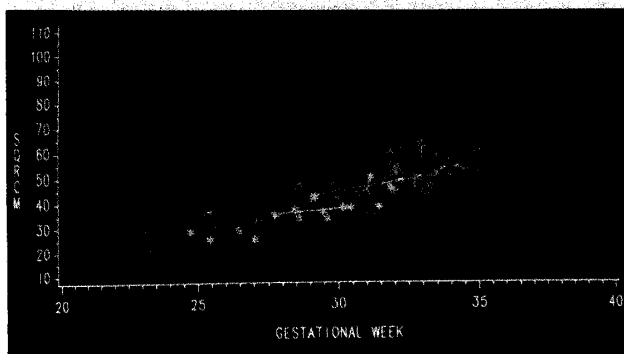


図 10

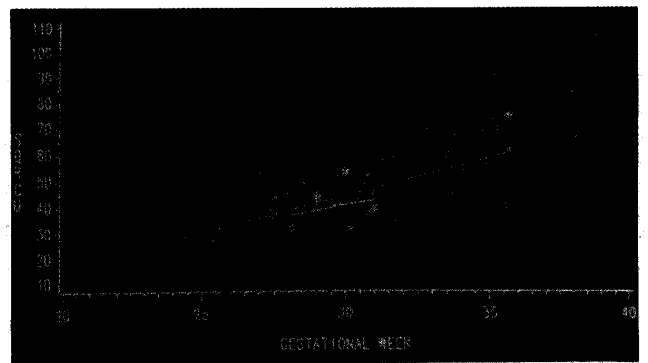


図 11

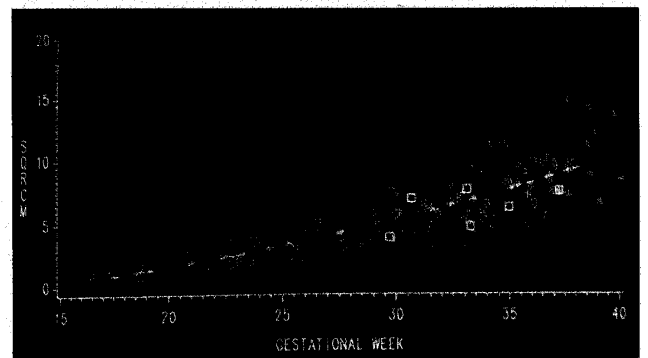


図 12

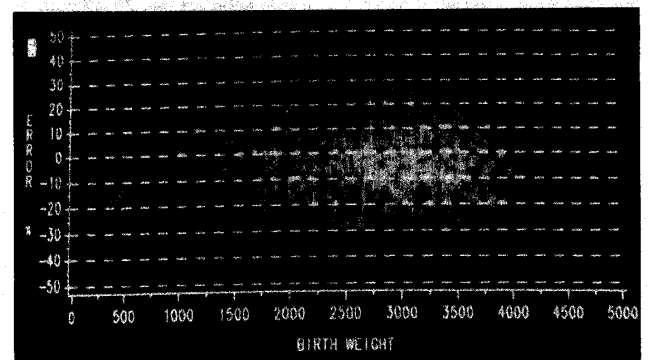


図 13



図 14

Synopsis

The characteristic process of fetal growth and the developments of cardiovascular function as well as fetal behaviors were studied.

The size of fetal head, trunk, limbs, lung, liver and kidney were measured using ultrasonography and the process of fetal growth was analyzed with a computer. Fetal cardiovascular functions were assessed by M-mode echocardiography and pulsed Doppler ultrasound. Fetal behaviors such as rapid and slow eye movements, breathing movements and movements of head, trunk and limbs were simultaneously observed using three ultrasonic real-time scanners and the occurrence, the correlation and the cyclicity of each movement were analyzed with the specially programmed signal processor.

The results were as follows:

1) Fetal growth—The growth rate of fetuses (weight gain/day•fetal weight) was maximum at 25~30 weeks of gestation(W). Skeleton grew linearly until 30W, then decelerated the growing speed. The growth of organs such as lung, liver and kidney, which showed the same pattern as that of trunk, was accelerated after 26~27W. The thickening of skeletal muscle and the deposit of fat remarkably increased after 32W. The specific gravity of a fetus which was calculated according to the formulae for estimation of fetal weight and fetal volume showed maximum value at 32~34W. These results suggest that the growth of skeleton is accelerated first, organs next and muscle and fat deposit finally in a fetus.

2) Cardiovascular function—Stroke volume indices of fetal bilateral ventricles showed maximum values at 25~30W, which correspond to the peak of the growth rate of a fetus. Fractional shortenings of bilateral ventricles gradually decreased after 24W. The maximum blood velocity in fetal abdominal aorta increased until 32W, but no significant change was found after that. Resistance index obtained from the Doppler waveform of fetal aorta was constant during 20 to 40W. These results suggest that the contractility of fetal heart itself and peripheral resistance become mature before 20~24W and a fetus grows vigorously with high stroke volume indices at 25~24W but the maturation of the circulating system which includes the vessel diameter, arterial elasticity and so on is completed around 32W.

3) Fetal behavior—The occurrence of fetal eye movements both rapid and slow, increased until 40W. Breathing movements increased until 32~36W, then no significant change was found. The number of body and head movements decreased until 32~36W. The correlation between the occurrence of breathing movements and rapid eye movements became high after 28W, but those of rapid eye movements to body and head movements were low. The cyclicity of the occurrence of breathing movements and rapid eye movements became remarkable after 32W. These results suggest that (1) the activity of fetal body is high before 24W and the regulation of body movements by the central nervous system develops until 32~36W, (2) the center of breathing movements matures at 32~36W, but that of eye movements continues to develop until 40W, and (3) the waking—sleeping rhythm becomes remarkable after 32W.
