

胎児の酸塩基平衡と電解質代謝に関する研究

京都大学医学部婦人科学産科学教室(主任:西村敏雄教授)

山 田 順 常

概要 人胎児呼吸循環系の生理の一端を追求すべく、胎盤循環完成以降の胎児ならびに母体のガス代謝、酸塩基平衡および電解質環境を全在胎期間を通じて検索し、次のような結論を得た。

1. 胎盤循環完成以降、妊娠末期までの臍静動脈血において pO_2 , pCO_2 , pH , Na , K , Ca , Cl , HCO_3^- , HPO_4^{--} , などほとんど変動は認めなかった。
2. この際胎児の pO_2 は成人正常値のわずか $1/3$ であつたが、 pCO_2 , pH は成人正常値の生理的動揺範囲内にあつた。
3. 人胎児の酸塩基平衡は軽度の metabolic acidosis と respiratory acidosis の共存した状態で成人正常値に近似した状態にあり、胎生期間中極めて安定した状態にあつた。
4. 胎児の Gamblegram では胎生初期ほど全陽イオン濃度と陰イオン濃度の差、すなわち普通測定されない有機酸(X^-)が多く、この際在胎期間が進むにつれ血清蛋白が増加すると、 X^- は減少するという関係がみられた。すなわち血清蛋白量の変化が胎児の電解質平衡に変化を与える1つの大きな要因となつていることはほぼ確実であり、胎生の進むにつれ蛋白系の緩衝作用は強くなつていゝるものと考えられる。
5. 胎児の赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値は在胎期間が進むとともに漸増し、酸素運搬能を高めていた。

以上胎児は胎盤循環完成以降、安定した環境にあると言え、これが Feto-maternal circulation において特に酸素の胎児への充分なる補給といった点において一役かつていゝることは意義深い。

序

胎仔の血液ガスに関する研究はBarcroft(1933)が羊を使用しての実験を契機として以後諸家の報告がある。しかしながら、人胎児についての報告はみられず、胎盤の大きさ、形態などの違い、実験条件も異なる各種の動物実験の成績をそのまま人胎児にあてはめうるものではないことは当然のことである。

近年超微量法の進歩により、妊娠10カ月胎児の呼吸代謝の報告や分娩中の酸塩基平衡の変化に関する報告などが多く発表され胎児切迫仮死の実態解明とその治療についての重大な示唆が与えられつつある。しかし胎盤循環完成以降の人胎児の代謝環境そのものに関しては系統的な研究がまだなされていないのである。

そこで著者は母体および胎児の血液ガス、血清電解質、血球性状などを追求することにより、胎盤完成以降の母体と胎児の間における酸塩基平衡と電解質組成の実態を探り、酸塩基平衡の変化と

電解質組成との間における具体的な関連性について検討してみた。

実験材料と方法

妊娠4カ月以降の優生保護法の適用による人工妊娠中絶児および頸管閉鎖不全による自然流産児(49例)、早産児(34例)、妊娠10カ月经腔分娩児(30例)、腰椎麻酔による選択的帝王切開児(20例)、など計133例の胎児について児娩出直後、啼泣前に採取した。実験対象とした児は妊娠4～7カ月の場合では採血時全身皮膚の色調がよく、Cyanosisを認めず、かつ心博数が100/分以上のものであり、妊娠8～10カ月の場合ではアプガー指数8以上のものを選んだ。母体動脈血は経腔分娩の場合では排臨時に、腹式帝王切開術(以下帝切を略)の場合では執刀直前に大腿動脈より採取した。

母体動脈血および臍静、動脈血についてはまず血液ガスの測定を可及的にすみやか(30分)に行なつた。なお臍動脈血は採血量が僅少のため、血液

ガスのみの測定に止めた。血液ガス測定残余の母体動脈血と臍静脈血について、赤血球数、血色素量（以下 Hb と略）、ヘマトクリット値（以下 Hct と略）を測定、さらには血清分離をも施行して肉眼的に溶血を認めない試料について、血清電解質の測定を行なった。pO₂, pCO₂ pH は I.L. meter 113-SI 型で測定した。赤血球数は東亜自動血球計算器、Hb は cyanmetohemoglobin 法、Hct は毛細管法で測定した。血清ナトリウム値（以下 Na と略）、血清カリウム値（以下 K と略）は日立焰光光度計 FPF-2A 型、血清カルシウム値（以下 Ca と略）は柳沢法、血清クロール値（以下 Cl と略）は Schales-Schales 法にて測定した。血清重炭酸イオン濃度（以下 HCO₃⁻ と略）は Siggaard Andersen の Alignant Nomogram を利用して

pCO₂, pH より算出した。血清燐酸イオン濃度（以下 HPO₄⁻ と略）は無機燐を Taussky 法にて測定し、Gamble の式 (mg/dl × 10 ÷ 3.1 × 1.8) により算出した (Gamble, 1967)。血清総蛋白量（以下 Pr⁻ と略）は屈折式日立蛋白計により測定し、塩基当量は Van Slyke の係数 2.43 を乗じて換算した (Van Slyke, 1928)。

実験成績

母体動脈血および臍静、動脈血についての測定値は、これを妊娠 4～5 カ月群、妊娠 6～7 カ月群、妊娠 8～9 カ月群、妊娠 10 カ月群、妊娠 10 カ月帝切群の 5 群にわけて比較検討を試みた。なお各群間の比較は 5 % の危険率をもつて有意差を判定した。

A. 血液ガス

表 1 血液ガス値

	妊娠月数	PO ₂ (mmHg)	PCO ₂ (mmHg)	pH	HCO ₃ ⁻ (mM/L)
母体動脈血	4～5	12 86.6± 8.3	12 30.5± 3.0	12 7.438± 0.027	12 19.9± 1.8
	6～7	20 85.3± 5.6	20 30.9± 3.3	20 7.447± 0.042	20 20.4± 1.6
	8～9	20 84.3± 5.8	20 30.1± 3.4	20 7.441± 0.051	20 20.0± 3.4
	10	11 86.9± 5.9	11 28.0± 4.0	11 7.461± 0.037	11 18.7± 3.5
	10 (帝切)	19 86.8± 7.2	19 29.1± 3.0	19 7.436± 0.044	19 18.9± 2.5
臍静脈血	4～6	16 29.2± 5.2	17 36.6± 3.9	17 7.354± 0.022	17 20.0± 0.7
	6～7	33 29.3± 4.6	28 37.7± 3.8	32 7.370± 0.037	28 21.1± 0.8
	8～9	34 27.3± 3.3	30 39.1± 5.4	34 7.367± 0.026	30 21.5± 0.8
	10	30 26.5± 3.3	30 38.6± 4.3	30 7.356± 0.019	30 19.0± 2.5
	10 (帝切)	20 27.1± 2.5	20 39.0± 3.8	20 7.374± 0.027	19 23.0± 0.5
臍動脈血	4～5	10 18.6± 5.1	11 50.6± 6.8	11 7.284± 0.033	10 23.3± 2.1
	6～7	24 18.7± 3.4	26 46.0± 5.3	26 7.305± 0.035	24 22.7± 2.4
	8～9	32 17.9± 3.6	31 48.8± 5.5	31 7.306± 0.043	30 23.4± 2.6
	10	30 17.9± 3.4	30 47.8± 5.1	30 7.306± 0.026	30 22.5± 1.9
	10 (帝切)	18 17.8± 3.6	20 46.9± 5.9	18 7.318± 0.025	17 23.2± 2.5

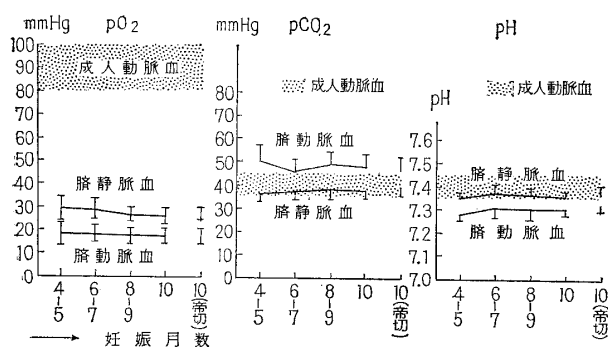
上段：例数，下段：平均値±標準偏差。

(I) 母体動脈血 (表1)

pO_2 の各群の平均値は84.3~86.9mmHgであつて、成人正常値(81~99mmHg)の生理的動揺範囲内の下限あたりにあり、各群間にほとんど差を認めなかつた。 pCO_2 については妊娠6~7カ月群では30.9mmHgと最も高く、妊娠10カ月群では28.0mmHgで最も低い、いずれも成人正常値(35~48mmHg)よりも低下していた。 pH は最も高いのは妊娠10カ月群の平均7.46で、最も低いのは妊娠4~5カ月群の平均7.43であるが、これらの値は成人正常値(7.35~7.45)の上限附近の値を示した。帝切群では血液ガスに関するかぎり妊娠10カ月経産婦群とくらべて有意差を認めなかつた。

2) 胎児一臍静、動脈血一 (表1, 図1)

図1 胎児の血液ガス値



pO_2 については臍静脈血では妊娠4~5カ月群、妊娠6~7カ月群はそれぞれ平均29.2mmHg, 29.3mmHgであり、以後妊娠8~9カ月群の平均27.3mmHg, 妊娠10カ月群の平均26.5mmHgと在胎期間が進むにつれて漸減の傾向がみられた。一方臍動脈血の pO_2 は臍静脈血のそれに比して、各群とも10mmHg前後の低値を示し、妊娠6~7カ月群の平均18.7mmHgが最高値で、妊娠8~9カ月群の平均17.9mmHgが最低値であるが、各群間に有意差をみなかつた。帝切群でもその pO_2 は臍静、動脈でそれぞれ27.1mmHg, 17.8mmHgであつて、やはり両者間に約10mmHg程度の差があり、それぞれ同月数経産婦群との間に有意差を認めなかつた。要するに pO_2 は臍静、動脈血間では10mmHg前後の差があるものの、全在胎期間を通じては常に母体の約 $1/3$ に相当する低値を示していた。 pCO_2 につ

いては臍静脈血平均で妊娠4~5カ月群の36.6mmHgが最低値で、以後妊娠6~7カ月群では37.7mmHg, 妊娠8~9カ月群では39.1mmHgと在胎期間の増加とともに漸増の傾向にあつたが、妊娠10カ月群では38.6mmHgとなり、やや減少している。一方臍動脈血の pCO_2 平均は臍静脈血のそれに比して10mmHg前後高値を示すといつてよく、値そのものでは妊娠4~5カ月群の50.6mmHgを最高とし、妊娠6~7カ月群の46.0mmHgが最低であつた。帝切群の臍静、動脈血の pCO_2 平均ではそれぞれ39.0mmHg, 46.9mmHgとやはり10mmHg程度の差があつたが、同月数経産婦群との間にそれぞれ有意差はなかつた。以上要するに pCO_2 については臍静、動脈血ともに各群の平均値間の差は僅少で、在胎期間中、あまり変動は認められないといふことができる。しかし母体の pCO_2 が成人正常値より低下していたのに対して、胎児では全在胎期間を通じて、臍静脈血の pCO_2 は成人正常値の生理的動揺範囲内にあり、しかも臍動脈血のそれは臍静脈血の場合よりも高く、成人正常値の上限か、それよりもやや高値を示す傾向にあつた。 pH については臍静脈血平均では7.35~7.37であり、各群間における差はほとんどみられず、いずれも成人正常値の下限附近の値を示した。一方臍動脈血平均では臍静脈のそれに比してやや低値であり、妊娠8~9カ月群、妊娠10カ月経産婦群の7.30が最も高く、妊娠4~5カ月群の7.28が最も低く、acidemiaにあることがわかる。帝切群の pH 平均は臍静、動脈血ともにそれぞれ7.37, 7.31と妊娠10カ月経産婦群に比してやや高値を示したが、有意差は認めなかつた。母体動脈血ではややalkalemiaの傾向にあるのに対して、胎児では全在胎期間を通じて臍静脈血では成人正常値の下限にあり、しかも臍動脈血では臍静脈血よりもさらに低値を示し、acidemiaにあるといえる。

B. 血清電解質

1) 血清陽イオン

a) 母体動脈血 (表2)

Na^+ , K^+ の各群の平均値はそれぞれ133.4~138.3mEq/L, 4.32~4.53mEq/Lであつて、い

表2 血清電解質

(単位は mEq/L)

電解質 妊娠月数		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	[HPO ₄] ²⁻	Pr ⁻
母体動脈血	4~5	12 133.4±4.6	11 4.49±0.71	11 4.3±0.3	8 106±3	12 19.9±1.8	9 1.8±0.4	10 16.0±0.7
	6~7	17 135.7±4.2	17 4.32±0.61	13 4.3±0.3	15 104±4	20 20.4±1.6	10 1.8±0.3	15 16.5±1.4
	8~9	23 138.3±6.2	23 4.50±0.55	16 4.2±0.3	17 103±5	20 20.0±3.4	15 1.6±0.4	23 16.2±1.4
	10	13 133.6±1.4	13 4.53±0.45	12 4.3±0.3	12 103±3	11 18.7±3.5	10 1.7±0.5	15 16.2±1.4
	10(帝切)	14 135.4±2.6	14 4.82±0.48	14 4.2±0.3	13 103±3	19 18.9±2.5	13 1.8±0.5	14 15.3±1.5
臍静脈血	4~5	9 139.5±5.5	7 5.30±0.60	4 4.3	3 106	17 20.0±0.7	3 2.2	5 6.8±0.8
	6~7	31 138.2±4.7	29 5.14±0.55	11 4.6±0.7	14 106±3	28 21.1±0.8	11 2.3±0.2	17 7.7±0.9
	8~9	34 136.5±3.8	34 4.86±0.67	13 4.9±0.4	20 105±4	30 21.5±0.8	13 2.3±0.4	24 10.6±2.4
	10	21 136.5±4.8	21 4.90±0.53	10 4.9±0.3	13 106±3	30 19.0±2.5	11 2.2±0.2	15 13.1±1.2
	10(帝切)	18 135.4±4.8	19 5.20±0.51	14 4.6±0.2	15 106±4	19 23.0±0.5	14 2.2±0.3	17 13.4±1.4

上段：例数，下段：平均値±標準偏差。

ずれも成人正常値（それぞれ 130～145mEq/L 4.0～5.5mEq/L）の範囲内にあつた。Ca⁺⁺ のそれは4.2～4.3mEq/L であり，成人正常値（4.2～5.5mEq/L）の下限附近の値を示した。

b) 胎児—臍静脈血—（表2）

Na⁺ は妊娠4～5カ月群の139.5mEq/L が最も高く，在胎期間が進むにつれて漸減の傾向を示し，妊娠8～9カ月群，妊娠10カ月群が最も低く，その値はいずれも 136.5mEq/L であつた。K⁺ は妊娠4～5カ月群の 5.30mEq/L が最も高く，以後在胎期間が進むにつれて漸減の傾向がみられ，妊娠8～9カ月群ならびに妊娠10カ月群ではそれぞれ4.86mEq/L，4.90mEq/L であつた。Ca⁺⁺ は妊娠4～5カ月群の4.3mEq/L を最低値として，以後在胎期間が進むにつれて漸増の傾向を示し，妊娠8～9カ月群ならびに妊娠10カ月群では 4.9mEq/L に達したが，各群間に有意差はなかつた。帝切群の Na⁺，K⁺，Ca⁺⁺ はいずれも同月数経産分娩群との間に有意差を認めなかつた。各群の Na⁺，K⁺，Ca⁺⁺ はいずれも成人正常値の範囲内

にあり，なかでも K⁺ は成人正常値の上限近い値を示した。しかも Na⁺，K⁺，Ca⁺⁺ の各群間の平均値の差はいずれも僅少であるといつてよく，在胎期間を通じて変動はほとんどみられなかつた。しかし母児間につき血清陽イオン値を比較すると，Na⁺，K⁺，Ca⁺⁺ の3陽イオンは母体動脈血に比しすべて臍静脈血で高い傾向にあり，なかでも K⁺ は胎児側では母体側に比して高く，したがって臍静脈血では母体動脈血に比して少なくとも高カリウム血症の傾向にあることがわかつた。

2) 血清陰イオン

a) 母体動脈血（表2）

Cl の各群の平均値は103～106mEq/L で成人正常値（96～108mEq/L）の上限附近の値を示した。HCO₃⁻ は群平均からみれば，18.7～20.4mEq/L であり，非妊時（23～28mEq/L）に比し，各群ともに一様に軽度の低下が認められた。HPO₄²⁻，Pr⁻ の各群の平均値はそれぞれ 1.6～1.8mEq/L，16.0～16.5と成人正常値（それぞれ 1.5～2.5

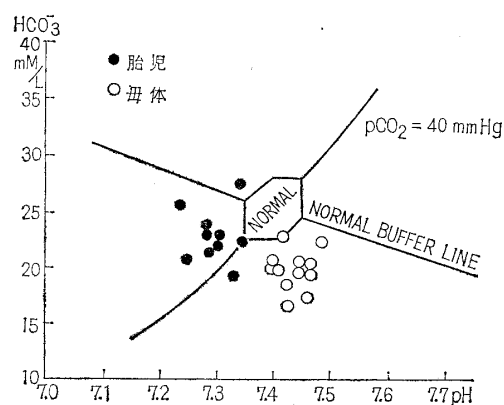
mEq/L, 15.7~20.6mEq/L) の下限近い値で, 各群間にほとんど差を認めなかった.

b) 胎児—臍静, 動脈血—(表1, 表2)

臍静脈血の HCO_3^- の各群の平均値は19.0~21.5mM/L であつて全在胎期間を通じて成人正常値より軽度の低下を認めた. 一方臍動脈血のそれは22.7~23.4mM/Lであつて, 臍静脈血より高値を示し, 成人正常値の下限附近の値を示した. 帝切群では臍静, 動脈血それぞれ23.0mM/L, 23.2mM/Lと成人正常値の下限で同月数経産分娩群に比してやや高値を示したが, 両者間に有意差を認めなかった. Cl^- , HPO_4^{--} の各群の平均値はそれぞれ105~106mEq/L, 2.2~2.3mEq/L であつて, 成人正常値の生理的動揺範囲内の上限あたりにあり, 各群間の差はほとんどなく, 帝切群でも同月数経産分娩群と有意差はなかった. Pr^- 平均は妊娠4~5ヵ月群の6.8mEq/L, 妊娠6~7ヵ月群の7.7mEq/L, 妊娠8~9ヵ月群の10.6mEq/L, 妊娠10ヵ月群の13.1mEq/Lと在胎期間が増すにつれて増加しており, 胎生中期の増加に比して胎生後期における増加の著しいことがわかる. すなわち胎児では成人に比してかなり低蛋白血症状態があり, しかも在胎期間の短いもののほど, その程度が強い傾向にあるといえる. 以上母児間を比較すると, 陰イオンでは Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{--} は胎児の方が高く, しかるに Pr^- では胎児において低値を示した.

C. 母児間の酸塩基平衡 (図2~図6)

図2 母体ならびに胎児の酸塩基平衡
(妊娠4—5ヵ月)



母体と胎児の酸塩基平衡状態を把握するために, 母体動脈血と胎児臍動脈血の HCO_3^- および pH を指標として, pH-Bicarbonate Diagram により検討した. 母体では各経産分娩群, 帝切群を

図3 母体ならびに胎児の酸塩基平衡
(妊娠6—7ヵ月)

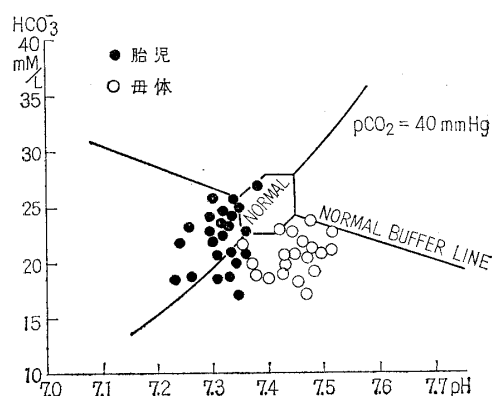


図4 母体ならびに胎児の酸塩基平衡
(妊娠8—9ヵ月)

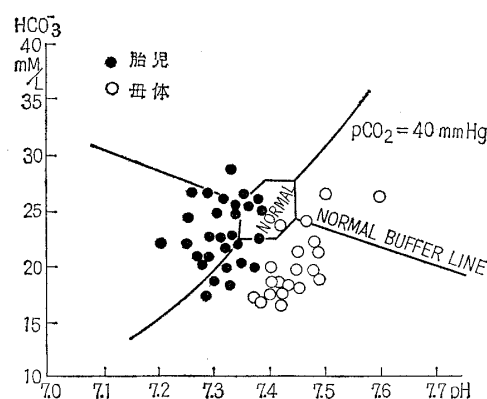


図5 母体ならびに胎児の酸塩基平衡
(妊娠10ヵ月)

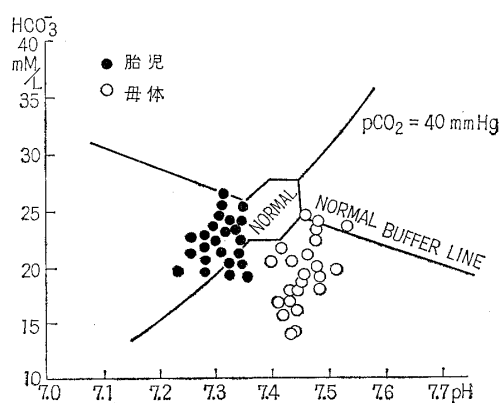
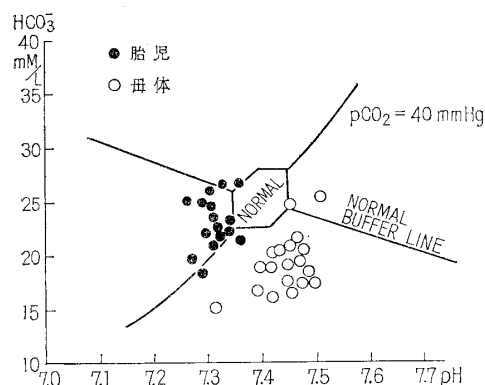


図6 母体ならびに胎児の酸塩基平衡
(妊娠10ヵ月帝切)



問わず、 HCO_3^- は軽度低下しており、pHは非妊娠成人正常値の上限あるいはこれより軽度の上昇を認め、respiratory alkalosisとmetabolic acidosisの傾向にあった。一方胎児では在胎期間、分娩様式に関係なく、 HCO_3^- が成人正常値の下限附近の値を示し、pHが軽度低下し、軽度のmetabolic acidosisとrespiratory acidosisの共存した状態で成人正常値にきわめて近似した傾向にあった。

D. Gamblegram

Gamblegramは胎児および母体の電解質組成を理解するために作製した。ここではThalme(1967)と同様に、 Mg^{++} は人体ではほぼ一定(2 mEq/L)である。全陽イオン濃度と Cl^- 、 HCO_3^- 、 HPO_4^{--} 、 Pr^- の和との差を X^- とした。 X^- は通常測定されない有機酸をあらわしている〔 $\text{X}^- =$

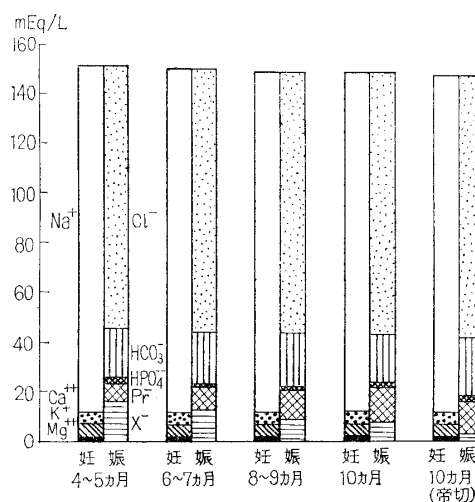
$$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{HPO}_4^{--} + \text{Pr}^-) \text{ J.}$$

1) 母体動脈血(図7)

母体は全妊娠期間を通じて、各陽イオンおよび各陰イオン構成はほとんど変動を示さなかった。全陽イオン濃度は成人正常値153.4mEq/Lにくらべて、144.4~149.0mEq/Lと軽度の低下を認めた。各群の X^- は0.49~8.20mEq/Lであった。

2) 胎児一臍静脈血一

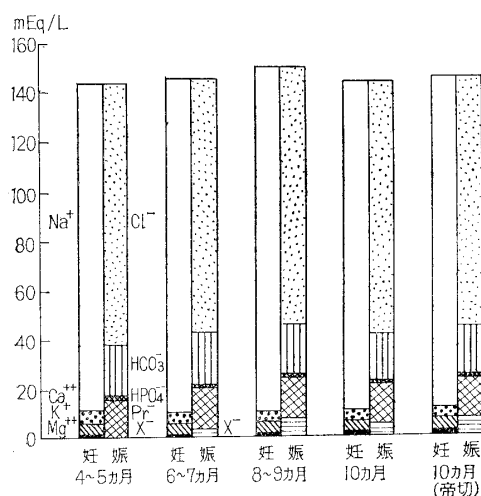
図8 Gamblegram (胎児)



全陽イオン濃度の平均値は148.2~151.1mEq/Lで、在胎期間が進むにつれて漸減の傾向にあり、帝切群は147.2mEq/Lであった。陰イオンでは Pr^- のみ在胎期間の増加とともに上昇した。 Cl^- 、 HCO_3^- 、 HPO_4^{--} の和は在胎期間を通じて127.2~129.4mEq/Lとほぼ一定であるため、 X^- は妊娠4~5ヵ月群16.1mEq/L、妊娠6~7ヵ月群12.8mEq/L、妊娠8~9ヵ月群8.8mEq/L、妊娠10ヵ月群8.0mEq/Lと在胎期間が進むにつれて減少の傾向を示した。帝切群の X^- は2.6mEq/Lで同月数経陰分娩群よりも明らかに低値を示した。各群の Pr^- と X^- の和は19.5~22.5mEq/Lとほぼ一定であり、陰イオン構成においては、在胎期間が進むにつれて Pr^- の増加分だけ X^- は減少することになる。

以上母体では全陽イオン濃度の軽度の低下を認

図7 Gamblegram (母体)



めたが、妊娠中の各イオン構成はほぼ一定であつた。一方胎児では在胎期間中、全陽イオン濃度および陽イオン構成において、ほとんど不変であつたが、陰イオン構成で Pr^- は月数とともに増量するに反し X^- では逆に減ずるという変化の存在することを認めた。他方母児間について比較すると、全陽イオン濃度では、胎児において概して高値を示し、陰イオン中 X^- では胎児 2.6~16.1 mEq/l であるに対し母体では 0.49~8.20 mEq/L であり、胎児において母体よりも高値であることが注目される。

表3 血球成分量

妊娠月数		赤血球数	ヘモグロビン値	ヘマトクリット値
		$\times 10^4$	g/dl	%
母体動脈血	4~5	13 388 $\pm$ 26	13 11.5 $\pm$ 1.7	13 34 $\pm$ 3
	6~7	19 384 $\pm$ 36	19 11.5 $\pm$ 1.2	19 35 $\pm$ 3
	8~9	24 411 $\pm$ 45	24 12.2 $\pm$ 2.1	24 35 $\pm$ 4
	10	16 402 $\pm$ 35	16 11.8 $\pm$ 1.6	14 35 $\pm$ 4
	10(帝切)	14 395 $\pm$ 33	14 11.1 $\pm$ 1.6	14 34 $\pm$ 4
臍静脈血	4~5	17 249 $\pm$ 64	16 10.9 $\pm$ 1.6	16 34 $\pm$ 6
	6~7	31 355 $\pm$ 53	28 13.0 $\pm$ 0.6	31 38 $\pm$ 4
	8~9	29 381 $\pm$ 61	29 14.8 $\pm$ 1.5	29 43 $\pm$ 6
	10	29 428 $\pm$ 47	29 15.8 $\pm$ 2.0	30 45 $\pm$ 6
	10(帝切)	18 415 $\pm$ 48	19 15.6 $\pm$ 1.6	19 46 $\pm$ 5

上段：例数，下段：平均値 $\pm$ 標準偏差。

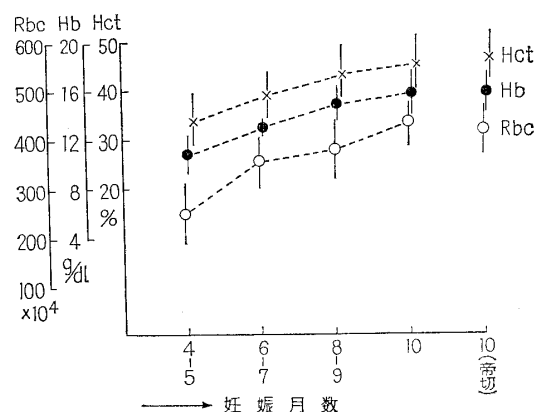
E. 胎児の血球性状(表3, 図9)

母体の血球性状の成績は表3に示したごとく、貧血は認められなかつた。

1) 赤血球数(Rbc)

赤血球数は妊娠4~5カ月群 $249 \times 10^4/\text{mm}^3$ 、妊娠6~7カ月群 $355 \times 10^4/\text{mm}^3$ 、妊娠8~9カ月群 $381 \times 10^4/\text{mm}^3$ 、妊娠10カ月群 $428 \times 10^4/\text{mm}^3$ 同月数帝切群 $415 \times 10^4/\text{mm}^3$ と在胎期間の増加につれて漸増したが、妊娠4~5カ月群より妊娠6~

図9 胎児血球成分量



7カ月群への増加は特に大きかつた。

2) 血色素量(Hb)

Hbは妊娠4~5カ月群で10.9 g/dlとすでに成人正常値の範囲内にあり、以後在胎期間が進むにつれて赤血球数と同様の傾向で漸増し、妊娠10カ月群では15.8 g/dl、同月数帝切群15.6 g/dlに達した。

3) ヘマトクリット値(Hct)

Hctは妊娠4~5カ月群でHbと同じく、すでに成人正常値の範囲内にあり、以後在胎期間が進むにつれて、Hbと同様の傾向で漸増し、妊娠10カ月群では45%、同月数帝切群46%に達した。

考案および総括

従来、胎盤循環完成以降の血液ガスに関する系統的な研究は人胎児になく、わずかに動物実験にみられるのみである。哺乳動物の種類によつて胎盤の形態は異なるので、これらの実験結果を直ちに人胎児にあてはめることはできない訳で、Bartels et al (1965)も胎盤形態の異なる多種の動物より得られた結果は相互に補足されないし、また研究条件も異なるので、比較の対照にならないとしている。しかしながら一動物に関しての在胎期間を通じての傾向はそれぞれの研究結果よりうかがえるので人胎児のそれと比較検討してみよう。

pO_2 についてみると、Kaiser et al (1957), Meschia et al (1965, b), Metcalfe et al (1962)の報告は胎生期間中 pO_2 は不変であると述べており、これは著者の人胎児における成績とほぼ

一致した。しかしながら酸素飽和度に関しては Barcroft et al (1940), Born et al (1955), Kaiser et al (1957, 1958a) Barron (1951), Metcalfe et al (1962) は分娩予定日が近づくと酸素飽和度は低下すると述べているが, Meschia et al (1965 a, b) はその低下は分娩労作および子宮内操作の影響によるものであり, 羊, 山羊の母体血管および胎児血管内に長期間カテーテルを留置した実験では, 妊娠末期における低下はみられないと述べている。pCO₂ については Kaiser et al (1957, 1958a) は胎生期間中はほぼ一定であると報告している。著者の人胎児の実験では臍静脈血において在胎期間の増加とともにある程度漸増の傾向をみたが, いずれも成人正常値の範囲内にあり, 有意差はなかつた。pHについては Meschia et al (1965a,b), Kaiser et al (1957, 1958a), Thalme (1967) は胎生期間中はほとんど変動をみながつたと述べており, 著者の成績も胎生期間中はほとんど変動を認めず, 特に臍静脈血では成人正常値の下限にあり, 従来いわれていたような胎児における acidemia は認められなかつた。

著者の以上のごとき人胎児血液ガスに関する実験結果は動物実験の成績とはほぼ同様の傾向を示したことになる。

この際著者の妊娠10カ月正常経腔分娩児の成績と諸家の報告と比較してみると, pO₂, pCO₂ では臍静, 動脈血ともに差を認めないが, pHのみやや高値を示し, 従来の報告のうちで最も高値を示すものは山本(1968)の報告で, 臍静脈血のpHは7.33であり, しかしこれとても著者の7.35よりやや低い。何れにしてもこれらの値は成人値の下限に相当していることになる。子宮内胎児の可及的生理的状态に近い状態を知るべく腰麻帝切を行なった場合, 武田他 (1968) は pO₂, pCO₂ では正常経腔分娩との間に差を認めないが, pHのみの高値, すなわち臍静脈血pH7.41と報告している。山村他 (1968) も同様症例につき子宮開窓法を行つた測定から, 子宮内胎児の臍静脈血pHの標準値は7.42と推測しており, 著者のそれも7.37と正常経腔分娩児の7.35よりやや高値の傾向にあつた。さらに

腰麻帝切よりはるかに stress の少ない Meschia et al (1965a, b) の羊, 山羊における長期間母体および胎児血管内留置カテーテル法による観察によつても子宮内胎児は acidemia でなく, 母児間の較差も僅少であることが述べられている。

以上胎児への輸入血では低 pO₂ ではあるが, pCO₂, pH は成人正常値の生理的動揺範囲内にあることがわかる。しかも代謝環境を規制する pCO₂, pH が胎児循環血そのものにおいてあまり成人と変つていないことは, 胎児が母体環境によく似たそれに依存しながらも胎児自体がかなり効率のよい代謝機能を維持していることを推想される。まして低酸素血症をも兼ね備えていることは低酸素環境の幼若動物に対する oxygenation の点から好都合であろう。すなわち急速に发育する胎児では, 血液性状および胎盤循環動態の特殊性の影響下, 低酸素環境でも自己に必要とする酸素の供給をうけているとみてよいのである。このうち血液性状についてみると高い酸素親和性を有する Hb-F が胎生早期より多量に存在するため, 成人の同一 pO₂, pH に比してはるかに高い酸素飽和度を有するとともに, 母児間のガス交換の際に Bohr 効果と Haldene 効果によりガス交換は促進され単位体積当りの酸素運搬量を増大している。次に胎盤循環動態についてみると胎盤におけるガス交換の面積は妊娠末期では14~15m² もあり(Christoffersen, 1934), 胎児心拍数はドブラー法によれば胎生早期ほど多く, 末期でも成人の約2倍であり, 事実 Dawes (1962) の羊を用いた実験によれば, 胎児側血流量は在胎期間が少ないほど増加している。人胎児では諸家の報告では技術上の困難さから一致してはいないが, Bartels et al (1965) によれば, 母体側 150ml/kg/min., 胎児側80ml/kg/min. と母体および胎児の流量比はほぼ2:1であるという。ガス交換の効率性は母体と胎児の流量比が大なるほど胎盤において母体血より胎児血に移行する酸素量は上昇する故, 人胎児臍帯血の酸素含量は母体血に比して2倍近くもあがつていることになる。すなわち胎児では血液性状および胎盤循環動態いずれの面からみても主

要臓器に十分に酸素を供給していることが推測されるのである。

母体ならびに胎児の酸塩基平衡の状態を pH-Bicarbonate Diagram で検討すると、著者の実験では分娩時の母体は metabolic acidosis および respiratory alkalosis の共存した状態にあることがわかった。これは過呼吸による respiratory alkalosis の状態に筋活動と疲労に基づく lactic acidosis が加わった状態と考えれば納得がいく。一方胎児では成人値よりわずかにずれたごく軽度の metabolic acidosis と respiratory acidosis の共存した成人正常値にきわめて近似した状態が認められるのであつて酸塩基平衡の乱れは僅少であるといえる。動物実験でも胎児は acidosis の状態でないという報告もあり (Meschia et al, 1965 a,b), 臨床例でも腰麻帝切の場合では成人正常値にきわめて近く安定した酸塩基平衡を呈するとの報告もあり (武田他, 1968), 著者の結果とも一致する。Saling (1965) の分娩開始後の児頭採血の結果で metabolic acidosis の状態にあることは胎児に分娩の侵襲が加わつてはじめて胎児の酸塩基平衡に乱れを生じたことを示唆している。

血清電解質は母体では妊娠期間中ほとんど不変で成人正常値の範囲内にあり、 HCO_3^- のみ軽度の低下をみたのは妊娠中の生理的過呼吸と考えられる。Österlund (1955) の母体の血清電解質はかなり安定しているとした報告に一致している。他方胎児 (仔) では採血量が限られるので多種の電解質にわたる検査報告は少ないようであり、これらの報告を著者の人胎児についての実験結果と比較すると、 Na^+ については Kaiser et al (1958 a,b), Thalme (1967) と同じく母児ともにほとんど不変であつた。 K^+ は以前には異常な高値が報告されていたが、これは溶血その他の人為的な影響によるようであり、著者の実験でも母体よりわずかに高値を示し、Kaiser et al (1958a,b), Thalme (1967) の成績と一致した。著者の成績では在胎期間が進むにつれて、わずかに減じており、これは Thalme と軌を一にしているが、彼はその原因を胎児細胞膜の機能的未熟性の差に求めて

いる。 Ca^{++} については母体に比して高値を持続するという Kaiser et al (1958a,b), Widdowson et al (1965) の報告とほぼ一致した。この高値は胎児骨形成のための胎児需要の増大にこたえている姿と解される。 HPO_4^{--} については母体に比してはるかに高値を持続するという諸家の報告と一致し、Widdowson et al (1965) は Ca^{++} , HPO_4^{--} などは母体より active に胎児側に移つていくと述べている。 Cl^- は Na^+ と同様に母児ともに妊娠期間中はほぼ一定値を持続するという Kaiser et al (1958a,b) Thalme (1967) の成績と一致し、この Na^+ , Cl^- という陽陰両主要イオンの安定していることが母児の電解質環境を一定に維持する要因であろう。 Pr^- は母体よりはるかに低値を示し、母体が不変であるのに対し在胎期間の進むにつれて増加していることは野村他 (1969) の人胎児の報告と一致する。胎児は胎生初期より肝で蛋白合成を行なっているが、細谷他 (1968) は母体の蛋白はそのままの形で移行せず、胎盤組織で酵素的に分解された後、遊離アミノ酸の形で胎盤を通過すると述べているように蛋白の胎盤通過には厳密な制限があるようであり、この胎生早期ほど低蛋白血症が存在する原因について桜庭 (1966) は母体からの移行不充分と肝合成能の未熟性によるとしている。

Gamblegramでも母体における全陽イオン濃度の軽度の低下は水分過多によると考えられるに対して、胎児ではただ Pr^- のみが変化して、それにつれて X^- が増減する形をとっている。すなわち Pr^- が胎生早期 6.8mEq/L より 13.1mEq/L と増えるとは逆に、 X^- は 16.1mEq/L から 8.0mEq/L と減少を示したが、 X^- と Pr^- の和は 19.5mEq/L ~ 22.9mEq/L とほぼ一定で、 Pr^- の変化が胎児の電解質平衡にかなりの変化を与えていると推測される。この際帝切児ではこの値が 16.0mEq/L で同月数経産分娩児に比して 5.1mEq/L ほどの低値を示すが、これは分娩の影響であろう。

赤血球数、Hb, Hct に関しては Schulman (1959) による三者とも同じような傾向で漸増するという成績と一致し、妊娠 4~5 カ月よりすで

に Hb, Hct は成人正常値の範囲内にあり, 在胎期間の進むにつれて増加し, 多量の Hb-F の存在などとともに低 pO_2 にもかかわらず, 急速に成長する胎児に酸素を確保する一機序が包蔵されていることが推察される。

稿を終るに臨み, 西村敏雄教授の御指導, 御校閲を深謝します。終始御指導, 御鞭撻くださいました浮田昌彦講師, 城戸国利講師, 倉敷中央病院副院長兼吉 章博士に感謝します。また種々御助言を戴いた岡山大学武田佳彦講師に厚く御礼申しあげます。本論文の要旨は第20回日本産科婦人科学会総会, 第38回近畿産科婦人科学会総会, 第4回日本新生児学会総会において発表した。

文 献

- 細谷憲政・高柳正夫：(1968)：医学のあゆみ, 64：767.
- 野村 恒・服部右子・後藤玄夫：(1969)：小児科臨床, 22：254.
- 桜庭 衛：(1966)：日産婦誌, 18：193.
- 武田佳彦・中村淳一・清水礼子・江口浩美・宮野恭一・丹羽国泰：(1968)：産婦の世界, 20：1054.
- 山本 衛：(1968)：日産婦誌, 20：29.
- 山村博三・吉田貞一・野村晃弘・岡本 淳・森山有美・佐伯勝洋・柳谷 禎・森山ソノ：(1968)産婦の世界, 20：1044.
- Barcroft, J. (1933) : The Lancet, 2, 1021.
- Barcroft, J., Kennedy, A., Mason, M.E., (1940) : J. Physiol., 97 : 347.
- Barron, D.H., (1951) : Yale J. Biol. & Med., 24: 169.
- Bartels, H., Metcalfe, J. (1965) : Proceedings of the international union of physiological sciences, (Excerpta Medicina Foundation) 4 : 34.
- Born, G.V., Dawes, G.S., Mott, J.C. (1955) : J. Physiol., 130 : 191.
- Christoffersen, A.K. (1934) : C.R. Soc. Biol. (Paris), 117 : 641.
- Dawes, G.S. (1962) : Am. J. Obst. & Gynec., 84 : 1634.
- Gamble, J.L. (1954) : Chemical anatomy, physiology and pathology of extracellular fluid, Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Kaiser, I.H., Cummings, J.N. (1957) : J. Appl. Physiol., 10 : 484.
- Kaiser, I.H., Cummings, J.N. (1958a) : Am. J. Physiol., 195 : 481.
- Kaiser, I.H., Cummings, J.N. (1958b) : Am. J. Physiol., 193 : 627.
- Meschia, G., Cotter, J.R., Breathnach, C.S., Barron, D.H. (1965 a) Quart. J. Exper. Physiol., 50 : 185.
- Meschia, G., Cotter, J.R., Breathnach, C.S., Barron, D.H. (1965 b) : Quart. J. Exper. Physiol., 50 : 466.
- Metcalfe, J., Meschia, G., Hellegers, A., Prystowsky, H., Huckabee, W., Barron, D.H. (1962) : Quart. J. Exper. Physiol., 47 : 74.
- Österlund, K. (1955) : A Comparative Investigation of the Concentration of Certain Electrolytes in Maternal and Cord Blood, Helsingfors.
- Saling, E. (1966) : Das Kind im Bereich der Geburtshilfe, 120, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Schulman, I. (1959) : Oxygen supply to the human fetus, 43, C.C. Thomas.
- Thalme, B. (1967) : Acta Obst. Gynec. Scand., XIV, suppl. 8 : 7.
- Van Slyke, D.D. (1928) : J. Biol. Chem., 79 : 769.
- Widdowson, M.E., McCance, R.A. (1965) : The pediatric clinics of North America, 12 : 595. (No. 2334 昭45・2・6 受付)