

誘因系列及び強化基準強度の関数として の新生児の吸引反応リズム

Sucking Rhythm as a Joint Function of Fluid Delivery Order and Response Requirement in Neonates

白岩義夫*

Yoshio Shirowa

Abstract The purpose of the present study was to determine whether the heart rate increase can be attributed to increased sucking amplitude for sweeter fluids of 40 full-term neonates. The sucking amplitudes were controlled by the sucking force requirement for the reinforcement. Ss were divided into 4 groups depending upon 2 reinforcement criteria (High and Low) and 2 fluid-orders (Sucrose-No Fluid-Water-No Fluid and Water-No Fluid-Sucrose-No Fluid). The results were as follows: heart rate was higher for sucrose than for the other fluid conditions, and sucking rates within bursts were slowest for sucrose and fastest for no fluid. There were more criterion-responses and responses per burst, longer sucking bursts, and less time between successive bursts under the sucrose condition. Significant effect of reinforcement-criterion was reflected only on the sucking response amplitude. There was, however, no relationship between heart rates and response amplitude. No significant fluid-order effects were found in the heart rate and all sucking response parameters. A hedonic explanation of the sucking response of neonates to sweetness is reaffirmed.

1. はじめに

吸引反応は出生直後の新生児に最も必要とされる適応能の一つであるといっても過言ではない。しかも、出生直後に十分にかつ効果的に機能を果たし得る反応であることも大きな特徴である。この新生児の吸引反応がもつ様々な特徴が、Lipsittやその共同研究者らによる長年にわたる数多くの精密な研究によって明らかにされている。それらの中の代表的な研究では、例えば、各吸引ごとに与えられる強化としての蔗糖液の量¹⁾や濃度²⁾の違いが新生児の吸

引反応リズムに変化を生じさせること、また出生直後に少なくとも24時間以上の間隔をあけて測定された2回の吸引反応リズムの個体内変動が極めて小さく、いわばこのような反応リズムは生得的であることが見出だされている³⁾。同時に、これらの研究で共通して認められているのは、蒸留水の吸引時に比べて、蔗糖液の吸引中に、吸引速度が遅くなるにも拘らず、新生児に心拍の加速が生じていることである。Lipsittはこの現象を、新生児にも蔗糖液の甘さの“風味を楽しむ”行為の在ることの表れであると説明し、“快の情動”の芽生えであると考えられるとした⁴⁾。

* 愛知工業大学基礎教育系人間科学教室

Ashmead ら⁵⁾は、この蔗糖液の吸引に伴って生起

する心拍加速が、吸引反応の構成要素である「吸引 (suction)」と「絞取 (expression)」、並びに口中に溜まった蔗糖液の嚥下反応に起因する運動要因によって起こる可能性について、統計的な手法を使用した詳細な分析を行った。その結果として、彼等は新生児の蔗糖液の吸引中に見られる心拍加速はこれらの運動要因とは無関係で、Lipsitt らの提唱する「快の原理」の説明の妥当性を再確認することになった。

そこで本実験では、この Ashmeadらの心拍加速と吸引反応の運動要素との否定的関係を明らかにした実験をさらに検討するため、ネズミのレバー押し反応の運動負荷に用いられる手法^{6,7)}を応用し、強化が与えられるに必要な吸引強度を変化させることによって、蔗糖液吸引中の新生児の心拍加速と運動要因の関係を確かめることにした。

本実験の目的は Lipsittらの、新生児の吸引反応の特徴についての一連の実験結果の再検討と、特に蔗糖液吸引中の心拍加速の現象と吸引反応に付随した運動要因との関係を確かめることである。

2. 方 法

被験児：本実験の対象児は米国ロードアイランド州の Women and Infant Hospital of Rhode Island で出生した男女それぞれ20名ずつ、計40名の新生児であった。これらの被験児の出生から実験時までの平均時間齢は67.0時間 (SD = 14.6 時間, range = 46 ~ 108時間) であった。平均出生時体重は3.50kg (SD = .40kg, range = 2.81~4.45kg)、出生1分後及び5分後のアプガー指数の平均は、それぞれ 8.1 (SD = .9, range = 5~9) と 8.9 (SD = .5, range = 8~10) であった。すべての被験児は自然分娩で生まれた満期出産児で、出生後の状態が良好な児ばかりであった。なお、実験開始時には、被験児の親の一方あるいは両方から自分の児が実験の対象になることについて書面で承認が得られていた。

吸引反応測定装置：本実験で使用された吸引反応測定装置の構造及び機能については DeLucia の論文⁸⁾で詳述されているので、ここでは簡単に記す。金属製のホルダーに固定された市販の乳児用乳首の内部に、3本の細いポリエチレンチューブが取り付けられている。この内2本は誘因の供与のためのチューブで、中間に電磁弁を介して誘因溶液の瓶に連結

されていた。残り1本のチューブは圧力トランスデューサーを經由してひずみ圧力増幅機に接続され、乳首に加えられた吸引圧がポリグラフ記録紙上に記録された。また、このポリグラフ紙上には吸引圧の記録以外に、実験中の被験児の呼吸、心拍、吸引反応並びにスタビリメーターを活用して得られる身体的な動きが継時的に同時記録されていた。

手続：上の被験児は吸引反応に対して与えられる誘因溶液の供与系列2条件 (15%蔗糖液-無溶液-蒸留水-無溶液条件、以下SNWN系列と、蒸留水-無溶液-15%蔗糖液-無溶液条件、以下WN SN系列) と、誘因が与えられるのに要する吸引反応強度2条件 (低強化基準強度群、以下L群と、高強化基準強度群、以下H群) から成る4群に、各群の男女児数が同じになるように組み分けられたことを除いて、無作為に分けられた。

4実験群の等質性の確認のために実験開始時までの時間齢、出生体重並びに生後1分後と5分後のアプガー指数の平均値を用いて分散分析が行われた。その結果、全ての要因について群間に有意差は見い出だせなかった (時間齢 : F = 1.70, 出生体重 : F = .11, アプガー指数1分 : F = .84, 5分 : F = .23, 全てdf = 3と36)。なお、この4群の計40名の被験児以外の数名の児に関し、実験開始時や実験中に眠ってしまったり、むずかかったりしたために実験を中止し、本実験の結果の分析から除外された。

各群の被験児は看護婦により一人ずつ病院内の実験室に連れてこられ、腹部に呼吸反応測定用のベルトを、胸部と脚部に心拍測定のための電極を取り付けられた後、しっかりとおくみの布でくるまれ、コットに左側臥位の状態で、口中に実験用の乳首が挿入され、実験が開始された。この段階で被験児の吸引反応が現れない場合には、その頬が優しく撫でられ、吸引反応の出現が促された。なお、実験用乳首は金属製のホルダーの重さの軽減のため小さなクッションで支えられていた。

全ての被験児は初めの数回の吸引反応中にポリグラフ上の吸引反応波形の較正 (各被験児の最大吸引強度がポリグラフ上50mmのペンの振幅の調整する) が行われた後、1分間ずつの蒸留水と空の乳首の吸引訓練を受けた。そしてこの吸引訓練期間を利用して強化基準強度の設定が行われた。すなわち、吸引反応強度の大きい高基準群のH群は吸引反応がポリグラフ上の35mmを越えた反応に対し、一方吸引反応

強度の小さい低基準群のL群では25mm以上の反応に対して、1回の反応につき0.02mlの蔗糖液あるいは蒸留水が強化として口中に供与される条件であった。

H、L両群の各被験児はこのような吸引訓練の終了後、上述の誘因供与系列の異なる誘因吸引反応実験に入った。吸引系列の時間は、S（2分）N（1分）W（2分）N（1分）とW（2分）N（1分）S（2分）N（1分）の、それぞれ計6分間であった。

吸引反応指標：

Heart Rate—吸引反応バースト中の平均心拍数を心拍計より1分単位として算出

Criterion Response—L群ではポリグラフ上25mm、H群では35mmを越えた吸引反応

Response Amplitude—吸引反応バースト中の各波形の長さを計測し、強度(mm Hg)に変換

Sucking Burst—反応間間隔が2秒未満の吸引反応の塊

IRT(inter-response time)—吸引反応バースト内の反応間間隔時間

Pause Time—吸引反応バースト間の時間、休止時間

3. 結 果

3・1 蔗糖液と蒸留水の吸引反応の個体例

Fig. 1は一人の男児被験児の蔗糖液（図上部）と蒸留水（図下部）の吸引反応のポリグラフ記録を示したものである。蔗糖液の吸引の場合、呼吸反応の中間に見られる小さな呼吸反応の休止は口中に溜まった蔗糖液の嚥下反応を示している。蒸留水の吸引の際にはこのような嚥下反応は明瞭に現れてはいない。また、蔗糖液の吸引反応は一旦始まると休止の介在がなく持続するのに対して、蒸留水の吸引反応バースト間には、この事例の場合には、約20秒の休止が見られている。

さらに、蔗糖液と蒸留水の吸引中に見られる著しい違いは心拍反応にある。心電図及び心拍計の結果にも明らかなように、同じ吸引反応であっても、蒸留水の吸引時の心拍数は蒸留水の吸引時に比べて多い。

3・2 吸引反応リズム

Table 1は吸引リズムを表す心拍数と7個の吸引反応パラメーターの群平均を、強化基準条件のL、

H群別、及びSNWNとWNSN系列別に1分単位で示したものである。

Table 2はこれらの反応指標の平均値について、誘因供与系列×強化基準強度×誘因×被験児の分散分析⁹⁾を用いて検定した結果である。この表で明らかなように、全ての吸引反応リズムの反応指標において、誘因供与系列の要因の主効果に有意差が認められなかった。強化基準強度に関しても、反応強度の測度を除く他の反応指標の主効果は有意でなかった。

そこで、これらの反応指標の分散分析結果を背景に、SNWNとWNSN系列の要因を無視して、Table 1の結果を詳しく見てみることにする。

3・2・1 心 拍

蔗糖液吸引時の心拍数を最大に、蔗糖液吸引後の空乳首吸引、蒸留水吸引、蒸留水吸引後の空乳首の吸引時の順に小さくなっている。また、誘因供与系列と誘因の要因の有意な交互作用に表れているように、同じ空乳首の吸引でも先行する誘因溶液の吸引の違いによって心拍数が異なっている ($t = 6.436$, $p < .01$, $df = 108$)し、蔗糖液吸引後の蒸留水吸引時の心拍数が蔗糖液吸引前の蒸留水吸引時の心拍数を有意に上回る ($t = 3.301$, $p < .01$, $df = 108$)。

3・2・2 強化基準反応

強化基準強度の小さいL群が、全ての誘因条件で強化基準強度の大きなH群に比べて、強化基準強度を越える反応が多い。しかし強化基準強度群間の差は有意でなかった。わずかに、蔗糖液吸引の強化基準反応数が他の誘因吸引の基準反応を上回った。

3・2・3 反応強度

強化基準反応数とは逆に、H群の反応強度が4つの誘因条件において有意に大きかった。しかも、蒸留水吸引後の空乳首の吸引強度を除き、H群内の3誘因吸引反応強度、L群内の3誘因吸引反応強度は共にほとんど同じであった。

3・2・4 吸引反応バースト

有意差が見出されたのはわずかに誘因条件のみであった。蔗糖液吸引の反応バーストの数が、数的に同じ他の3誘因吸引反応バースト数より少ない。

3・2・5 1反応バースト内の反応数

空の乳首及び蒸留水吸引下の1バースト内の反応数が10個程度であるのに対し、蔗糖液吸引の反応数は3倍から3倍半の多さである。しかし、基準強度群の間には差はない。

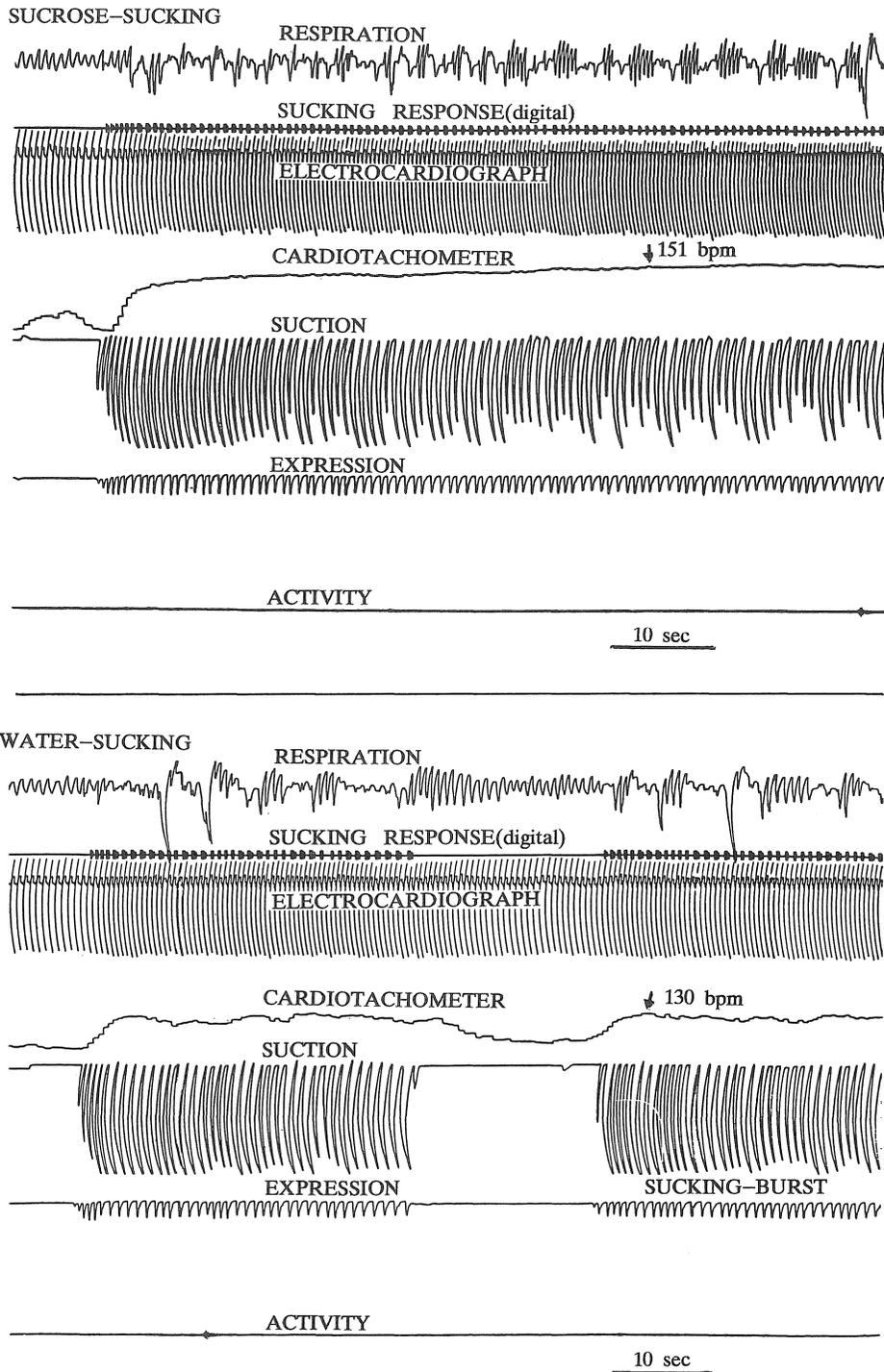


Fig. 1. Exemplary polygraph records of sucrose-sucking (above) and water-sucking (below) from 56-hr-old male neonate

Table 1. Means and SDs of Heart Rate and 7 Sucking Parameters

Response indices \ Fluid-order		Suc.--> NNS --> Wat.--> NNS		Wat.--> NNS --> Suc.--> NNS		
LOW-CRITERION	Heart Rate	Mean	141.6	134.6	130.2	123.8
		SD	12.4	12.0	13.0	14.5
	Criterion Responses	Mean	63.2	40.9	34.1	18.3
		SD	14.3	14.1	11.2	10.8
	Response Amplit.(mm Hg)	Mean	50.7	48.2	47.8	43.0
		SD	3.8	4.5	4.9	6.5
	No. of Sucking Burst	Mean	2.7	4.2	4.4	3.1
		SD	1.0	.9	1.2	1.2
	Responses/Burst	Mean	36.9	10.1	9.9	7.0
		SD	18.4	4.6	4.2	4.5
	Mean IRT(msec)	Mean	813.9	705.5	727.3	606.0
		SD	96.7	96.1	117.7	106.8
	IRT > 2 sec	Mean	2.5	4.0	4.4	3.0
		SD	1.2	1.0	1.2	1.3
Pause Time(sec)	Mean	13.4	34.8	39.0	48.4	
	SD	8.7	8.8	9.0	10.8	
HIGH-CRITERION	Heart Rate	Mean	147.1	139.7	136.1	126.7
		SD	7.9	7.5	13.9	10.8
	Criterion Responses	Mean	58.0	40.9	37.1	23.1
		SD	16.0	9.2	12.1	11.9
	Response Amplit.(mm Hg)	Mean	55.1	54.0	54.0	45.8
		SD	4.0	4.0	3.4	5.1
	No. of Sucking Burst	Mean	3.2	5.3	4.3	4.4
		SD	1.6	1.9	1.4	1.8
	Responses/Burst	Mean	35.5	10.1	11.7	7.5
		SD	23.2	5.0	7.5	4.2
	Mean IRT(msec)	Mean	793.1	690.6	722.5	655.9
		SD	56.3	52.0	46.8	76.2
	IRT > 2 sec	Mean	3.5	5.3	4.3	4.0
		SD	2.1	1.9	1.4	2.1
Pause Time(sec)	Mean	15.9	32.1	35.4	46.6	
	SD	12.3	5.5	9.0	8.7	

Suc.:15%-Sucrose Wat.:Distilled Water NNS:Non-nutritive

Table 2. Analysis of Variance of Heart Rate and 7 Sucking Parameters

		Heart Rate(bpm)		Crit. Response		Response Amplit.	
Source	df	MS	F	MS	F	MS	F
Between-Ss	39						
Fluid-order(1)	1	373.50	1.00	211.31	<1.00	273.20	2.34
Criterion(2)	1	448.75	1.20	656.09	1.25	763.42	6.54*
1 × 2	1	94.00	<1.00	884.06	1.68	10.64	<1.00
Error(b)	36	375.01		524.93		116.73	
Within-Ss	120						
Fluid(3)	3	3124.08	91.33**	8933.15	92.80**	371.62	24.83**
1 × 3	3	96.33	2.82*	138.66	1.44	14.95	1.00
2 × 3	3	22.58	<1.00	7.68	<1.00	26.09	1.74
1 × 2 × 3	3	6.17	<1.00	171.06	1.77	4.13	<1.00
Error(w)	108	34.21		96.26		14.96	
Total	159						

		No. of Burst		Responses/Burst		Mean IRT(msec)	
Source	df	MS	F	MS	F	MS	F
Between-Ss	39						
Fluid-order(1)	1	.30	<1.00	12.42	<1.00	44848.00	1.98
Criterion(2)	1	.50	<1.00	65.94	<1.00	200.00	<1.00
1 × 2	1	13.81	2.90	87.17	<1.00	13.82	<1.00
Error(b)	36	4.75		279.74		22609.60	
Within-Ss	120						
Fluid(3)	3	17.04	11.01**	6109.39	52.93**	205141.00	38.34**
1 × 3	3	2.37	1.53	80.94	<1.00	178.67	<1.00
2 × 3	3	3.71	2.39	71.95	<1.00	13858.03	2.59
1 × 2 × 3	3	2.91	1.88	20.20	<1.00	5464.00	1.02
Error(w)	108	1.55		115.42		5350.59	
Total	159						

		IRT > 2 sec		Pause Time(sec)	
Source	df	MS	F	MS	F
Between-Ss	39				
Fluid-order(1)	1	.16	<1.00	532.90	2.14
Criterion(2)	1	2.76	<1.00	36.17	<1.00
1 × 2	1	11.56	2.07	220.91	<1.00
Error(b)	36	5.59		249.35	
Within-Ss	120				
Fluid(3)	3	12.72	6.03**	6555.19	134.57**
1 × 3	3	2.74	1.33	67.42	1.38
2 × 3	3	5.61	2.66	8.16	<1.00
1 × 2 × 3	3	1.37	<1.00	68.56	1.41
Error(w)	108	2.11		48.71	
Total	159				

3・2・6 吸引反応間隔時間

蔗糖液の吸引の際の反応間隔が一番長く、次いで蒸留水、蔗糖液後の空乳首、蒸留水後の空乳首の吸引の順で反応間隔が有意に短くなる。しかし、2秒を越える反応間隔の数は逆に蒸留水の吸引時が一番少なく、残りの誘因条件はほぼ同じである。

3・2・7 反応休止時間

蒸留水の吸引中の平均休止時間が約15秒程度であるのに対して、蒸留水吸引後の空乳首の平均吸引時間が、これとは反比例の関係で、約15秒である。蔗糖液吸引後の空乳首及び蒸留水の吸引時間と吸引中の休止時間は丁度半々である。

4. 考 察

以上のような本実験の結果は次のようにに要約される：

(1) 蔗糖液の吸引時には他の誘因及び空の乳首の吸引の場合よりも、有意に心拍が加速した。蔗糖液吸引後の空乳首吸引時の心拍数が蒸留水吸引後の空乳首吸引時の心拍数を上回った。また、蒸留水の吸引時の心拍数は蔗糖液吸引後の方が蔗糖液吸引前より有意に多かった。

(2) 吸引反応の強化基準強度は反応強度を高めるのに有意な効果をもった。蔗糖液吸引後の空乳首吸引時の吸引強度は、蔗糖液及び蒸留水吸引時と同じほど強かった。しかし、強化基準強度を満たす反応数に関しては効果がなかった。

(3) 蔗糖液の吸引時には、他の誘因の吸引時に比べて吸引反応リズムが異なる。すなわち、1吸引反応バースト当たりの反応数が多くなり、反応速度がゆっくりとなり、かつ、吸引反応間の反応休止が少なくなる。

蔗糖液吸引と心拍加速の関係や、蔗糖液の吸引時に見られる一連の吸引反応リズムに関する本実験の結果は、これまでに行われてきた Lipsitt や彼の共同研究者らによる一連の実験結果¹⁻⁵⁾と一致した。同時に、この蔗糖液吸引時の心拍加速とゆっくりとした吸引反応リズムを、新生児にも“風味を味わう”行動があるとする、Lipsitt の、情動的な“快の原理”による説明を支持するものであった。

蒸留水の吸引後の空乳首の吸引時と、蔗糖液吸引後の空乳首の吸引の際に見出された結果の違い、つまり、後者の事態での心拍加速と吸引反応強度の増大は、一種のフラストレーション効果の現れであると考えることができよう。蔗糖液吸引に対する要求の阻止がフラストレーションを起こし、一種の攻撃的反応が生まれた結果と解釈できよう。この様な先行する誘因溶液の違いによって生じる吸引反応の対比的効果については Kobre と Lipsitt¹⁰⁾ によって吸引反応に差が出てくることが確かめられている。本実験の結果はこの研究結果と一致している。

心拍加速の原因の一つとして考えられる吸引反応に伴う運動要因として、本実験では強化が与えられるに要する吸引反応強度を操作し、強度の高い基準群の被験児に、より強い吸引反応といった運動的努力を要求した。その結果、強化基準強度の大きい群

の全ての誘因吸引反応強度が有意に高くなった。一方、心拍の結果には強化基準強度条件の有意な効果が見られていなかった。この両反応測度を合わせて考えると、本実験でも蔗糖液吸引中の心拍加速が運動的要因ではなく、吸引する誘因の違いによって起こっていると言える。そして、この本実験の結果は、運動的要因の取扱い方は異なるけれども、Ashmead らの研究と同様、“快の原理”の説明の妥当性を再確認したものであった。

最後に本実験の結果で最も注目される一つは、強化が得られるのに要する吸引反応基準強度に新生児期にある被験児が十分に応え、その吸引反応強度を基準条件に合わせていることである。しかも、誘因供与系列で最初の誘因溶液が蔗糖液であれ、蒸留水であれ、それぞれの被験児に求められた基準強度条件での反応強度が系列の最後の空乳首の吸引まで持続している。これはまた、いったん強化を受けた反応の強度が条件づけられて、その強度の反応が続くことができるであろう。この結果は、ネズミを用いてレバー押し反応強度を条件として反応が強化される実験で得られた Notterman の結果^{6, 11)}の一部と一致していると言える。

以上のような本実験の結果は、出生直後の新生児の行動が、吸引という限られ範囲の行動とは言え、適応能の一つとして十分に統合された機能を持っているものであることが分かる。我々は先に吸引反応の未熟な低出生体重児の吸引反応の特徴と¹²⁾、新生児特別治療施設に入院中の低出生体重児に対して行われた経管授乳中の空乳首の吸引訓練が経口授乳への移行の時期を早めること、を明らかにした¹³⁾。本研究と我々の低出生体重児の研究を合わせて考えると、満期産新生児の行動発達水準に関する研究が、外挿法的に乳児・幼児の行動発達を理解するのに役立つと共に、内挿法的には、胎児行動の解明と低出生体重児の発達助長に役立つものであると言えよう。

5. 要 約

本実験では新生児の誘因吸引時の心拍と吸引反応リズムに誘因供与系列と強化を得るに必要な反応基準強度の要因がどのような影響を及ぼすのかについて、40名の被験児を対象に、検討された。その結果、誘因供与系列の効果は明確でなかった。また、吸引に伴う運動要因として設けられた強化基準強度はわ

ずかに吸引強度を高める効果にしか見られなかった。しかし、蔗糖液の吸引時には、他の誘因の吸引時とは違い、心拍の加速が認められると共に、吸引反応バースト当たりの反応数が多く、反応休止が少なく、吸引反応速度が遅くなった。このような結果は、「快原理」によって説明された。

文 献

- 1) Crook, C. K. : Neonatal sucking: Effects of quality of the response-contingent fluid upon sucking rhythm and heart rate. *J. Exp. Child Psychol.*, 21, 539-548, 1976.
- 2) Crook, C. K. , & Lipsitt, L. P. : Neonatal nutritive sucking: Effects of taste stimulation upon sucking rhythm and heart rate. *Child Dev.*, 47, 518-522, 1976.
- 3) Lipsitt, L. P., Reilly, B. M., Butcher, M. J., & Greenwood, M. M. : The stability and interrelationships of newborn sucking and heart rate. *Dev. Psychobiol.*, 9, 305-310, 1976.
- 4) Lipsitt, L. P. : The synchrony of respiration, heart rate, and sucking behavior in the newborn. In J. C. Sinclair, J. B., J. B. Warshaw, & R. S. Bloom(eds.), *Mead Johnson symposium on perinatal and developmental medicine : Biological and clinical aspects of brain development.*, 6, 67-72, 1975.
- 5) Ashmead, D. H., Reilly, B. M., & Lipsitt, L. P. : Neonates' heart rate, sucking rhythm, and sucking amplitude as a function of the sweet taste. *J. Exp. Child Psychol.*, 29, 264-281, 1980.
- 6) Notterman, J. M. : Force emission during bar pressing. *J. Exp. Psychol.*, 58, 341-347, 1959.
- 7) Notterman, J. M., & Mintz, D. E. : Exteroceptive cueing of response force. *Science*, 135, 1070-1071, 1962.
- 8) DeLucia, C. A. : A system for response measurement and reinforcement delivery for infant sucking research. *J. Exp. Child Psychol.*, 5, 518-521, 1967.
- 9) Lindquist, E. F. : Design and Analysis of Experiments. Boston, Mass., Houghton Mifflin, 1953.
- 10) Kobre, K. R., & Lipsitt, L. P. : A negative contrast effect in newborn. *J. Exp. Child Psychol.*, 14: 81-91, 1972.
- 11) Notterman, J. M., & Mintz, D. E. : Dynamics of Response. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1965.
- 12) 白岩義夫、鈴木えり子、中野千秋他 : 未熟児における空乳首の吸引反応パターン—吸引訓練による変化と安定性— *NICU*, 4, 470-476, 1991.
- 13) 鈴木えり子、中野千秋、小林ゆかり他 : 未熟児における経管授乳中の口腔刺激が早期コット移床に及ぼす効果 *NICU*, 3, 459-464, 1990.

(受理 平成7年3月20日)