

幼児における自転車の異なるハンドブレーキ タイプについて (第2報)

A Differential Suitability Study of Children's Bicycle Brake Types (2)

島岡みどり* 池上 康男* 松井 秀治**
桜井 佳世 青樹 和夫***

Midori SHIMAOKA* Yasuo IKEGAMI* Hideji MATSUI**
Kayo SAKURAI Kazuo AOKI***

In our preceding experiment, four types of bicycle Brakes [A (short lever grasp), B (push), C (rotation), D (normal lever grasp)] for children were examined for suitable handling of a bicycle brake, by measurement of brake reaction time and simple reaction time at static condition. In this experiment, we excepted C type which was found unsuitable for children in the preceding experiment and examined three types of bicycle brakes and four types of bicycle handles for suitable braking of a bicycle, by measurement of running speed, brake reaction time, force applied to the brake, sliding time after brake, brake force at running condition of a bicycle.

Subjects were 12 boys and 9 girls aged 3 to 7.

The results are as follows;

1. Brake reaction time at running condition was varied more widely than at static condition. Difference among types was not distinct.
2. At running condition, it was found difficult even for older children to handle both brakes simultaneously and showed a tendency to brake a right grip quicker than a left one.
3. The maximum force applied to pushed type (B) was less than lever grasp type (A and D).
4. Lever type was superior to pushed type in brake force.
5. Concerning brake efficiency, the bicycle weight should be considered, because brake reaction time and sliding time after brake increased in proportion to the total weight of a bicyclist and a bicycle. Furthermore, the children's bicycles have been too heavy for their body weight and it will be of greater importance to make a lighter bicycle.

〔は じ め に〕

幼児を含めた自転車ブレーキの研究目的の1つは、幼児にとって制御しやすいブレーキタイプを設計することにあるが、まず第1に安全性を第一義に考えなければならない。そのためには、自転車の操作性、制動性及び制御者の能力を検討する必要がある。

前回の報告では、自転車ブレーキの操作性の面

から検討するために静的な状態におけるブレーキ反応時間を測定した結果、3~4才児にとって回転式のブレーキタイプは不適當であることが示唆された¹⁾。

今回は、子供が実際に走行する自転車の制動性を検討するために幼児、児童を対象に走行速度、空走時間、制動時間、ブレーキに加えられた力、制動力の測定を行なった。

*名古屋大学総合保健体育科学センター

愛知県立大学 *名古屋 YMCA

*Research Center of Health, Physical Fitness and Sports Nagoya University

Aichi Prefectural University *Nagoya YMCA

[方法]

走行中の被検者にランプ点灯をシグナルとして

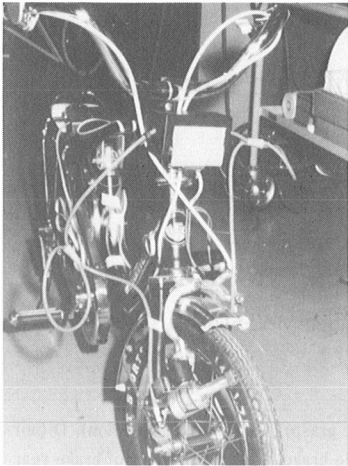


Figure 1. Measurement of running speed from an electric generator of the bicycle lighting system.

できるだけ早くブレーキを操作し最大努力で制動する試行を行なわせ、走行速度、左右にブレーキを加えられた力を測定した。

ランプは走路の中心から 1m 以内、高さ 1m の位置に置かれた。

スタートからランプまでは、約 25m あり、ランプ点灯地点までの走行距離は、10m と 15m と 2 通りあった。

試行は、被検者のランプ点灯予測をさけるため同一タイプのブレーキに対し 4 回ランダムに 10m と 15m 地点でシグナルを送った。

1. 走行速度の測定

走行速度の測定は、ライト点灯用の発電機の出力電圧をテレメーターで送信記録することにより行なった (図 1)。

速度と出力電圧の関係は、トレッドミルを用い

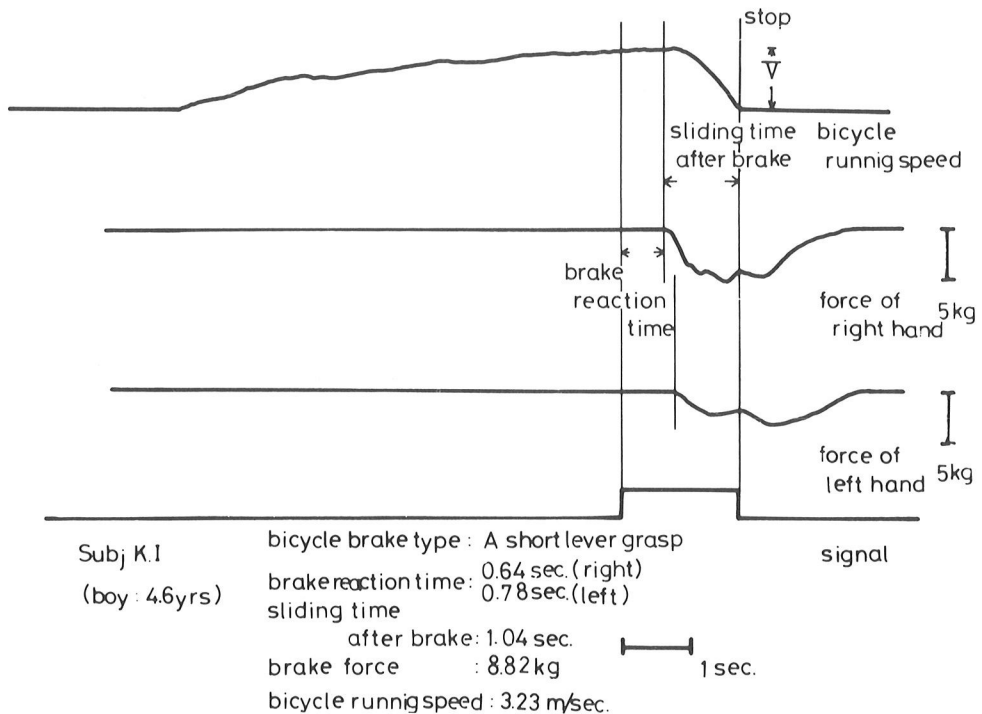


Figure 4. An example of recorded traces.

て較正した。なお用いた自転車のタイヤサイズは、すべて 16 インチであった。

2. 力の測定

ブレーキレバーに加わった力を測定するため、ブレーキワイヤーとアーチの間に力測定用のリングを装着し、加えられた力をリングのひずみとしてストレインゲージを用いて導出し有線方式にて記録した。

較正には、バネばかりを用いて直接レバーに力を加えることによって行ない、力とひずみ出力の関係を得た (図 4)。

3. 空走時間

空走時間は、ランプ点灯よりブレーキレバーに

力が加わり始めるまでの時間とした (図 4)。

測定は、報告¹⁾と同様にマイクロスイッチを装着し行なった。

4. 制動時間

制動時間は、ブレーキに力が加わり始めた瞬間から自転車が停止するまでの時間とした (図 4)。

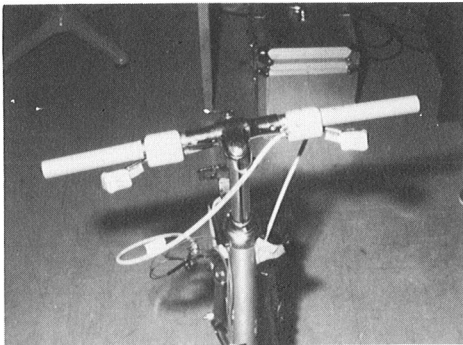
記録には、4チャンネルペン書きオシログラフ (三栄測器 8S 型振巾 80mm) を用いた。

ハンドル及びブレーキは、次のものを用いた。

I. 用いたハンドル

- ① T 字タイプ (ハンドルほぼ一直線) …… TW
- ② やや T 字タイプ (T 字より角度が狭い) TN
- ③ ドロップタイプ …………… Dr
- ④ 一般タイプ

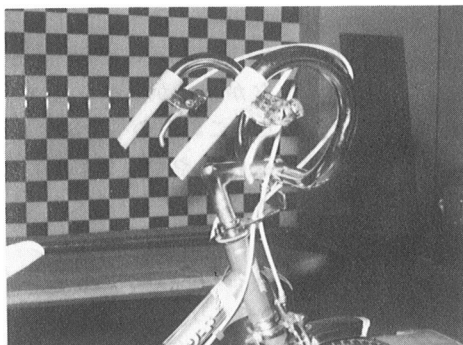
Handle type TW



Handle type TN



Handle type Dr



Normal type

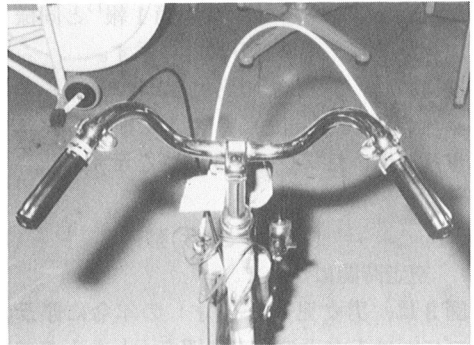


Figure 2. The handle of TW, TN, Dr and normal types were examined.

TW : T'Shape.

TN : The handle is slightly curved inside.

Dr : Drop'shape

Table 1. Characteristics of subjects and the brake handles*Types operated.

Boys	Age (yrs)	Weight (kg)	Brake Handle Type				Girls	Age (yrs)	Weight (kg)	Brake Handle Type			
1.	3.8	14.0	A	B			13.	4.9	17.7	A	B		
2.	4.1	20.9			D	ATN	14.	5.8	18.0	A	B	D	BTN
3.	4.6	14.0	A	B	D	ATW ATN ADr BTN BDr	15.	6.3	19.3	A			
4.	5.3	24.8	A	B			16.	6.3	19.5	A	B		ADr
5.	5.3	19.0			D		17.	6.3	21.0		B		
6.	5.5	19.5	A	B			18.	6.4	26.0	A	B	D	BTN
7.	6.3	22.5	A	B			19.	6.4	25.0	A	B		
8.	6.4	23.0	A	B			20.	6.4	18.0	A	B		
9.	6.4	18.9				ATW		21.	6.6	21.8			D ATN
10.	6.5	23.1	A	B								ADr BTN	
11.	6.8	22.0	A	B	D	ATW						ADr BTN BDr	
12.	7.3	23.7	A	B	D	ATW ATN						BTN BDr	

II. 用いたブレーキ

- ①握り式 (レバーの短いもの) A
- ②押しボタン式 B
- ③握り式 (従来のもの) D

以上のブレーキとハンドルの組合せの内 A, ATW, ATN, ADr, B, BTN, BDr, D の 8 種類を用いた。尚ブレーキタイプは、第 1 報¹⁾と同様であり、ハンドルタイプのみ図 2 に示す。

被検者は、3~7 才の男児 12 名と 4~6 才の女児 9 名の計 21 名である。表 1 に被検者の年令、体重及び用いたブレーキタイプを示す。

[結果と考察]

1. 空走時間について

図 3 は、男女児 (3~7 才) の年令に伴う各タイプにおける右手の空走時間を示したものである。

報告 I の静止状態での反応時間に比べて、実走時での空走時間 (反応時間) は、年令とともに顕著に減少するといった傾向はみられなかった。ま

た空走時間のバラツキは静止時の反応時間と比較して極めて大きかった¹⁾。

すべてのタイプについては、データ数が少なく比較が困難であるが、A タイプのレバー式と B タイプのボタン式の間では、3~6 才の 8 名の男女児において、A タイプの右手が 0.562 ± 0.164 秒、左手が 0.583 ± 0.155 秒、B タイプの右手が 0.519 ± 0.123 秒、左手が 0.546 ± 0.120 秒であり、有意な差は認められなかったが、やや B タイプの方が成績がよかった。これらの平均年令 5.2 ± 1.09 才の値は、実験条件はやや異なるが、松井ら^{2,3)}の小学校 1 年の値よりわずかに大きく、高令者より小さかった。

表 2 に、3~6 才の 8 名の男女児の A, B タイプにおける静止状態でのペタリング時の左右それぞれの反応時間と同一個人の走行時間の相関を示す。

両者の間には、B タイプ使用時の左手の反応時間を除いて相関はみられなかった。また A, B タイプの左右ともに走行時と空走時との間に有意な

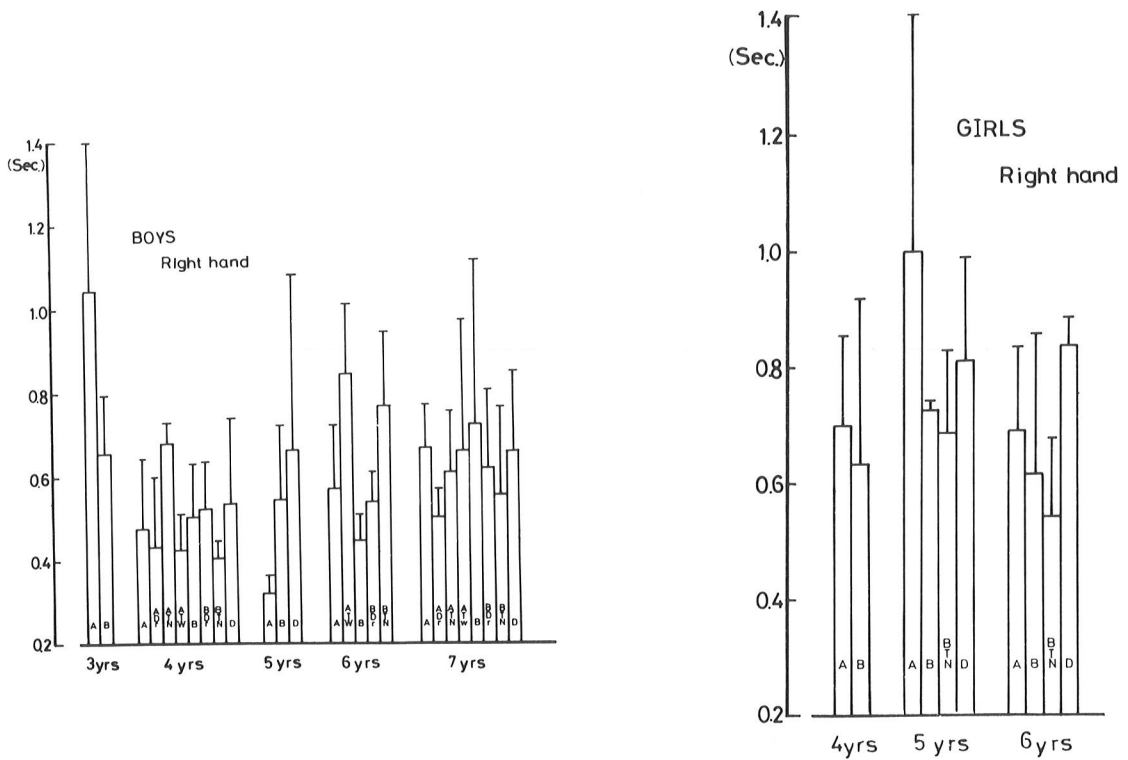


Figure 3. The brake reaction time of individual type for the right hand at running condition.

差は認められず A タイプでは、走行時の方が遅く、B タイプでは、むしろ走行時の方が早く反応を示す傾向にあった。松井ら³⁾は、静止時より走行時の方が早いと報告しているが、これらの違いは、刺激の情報量の違いか、年齢がより低かったためか明確ではない。

これらの事から幼児を対象にした静止状態と走行時での反応時間は、あまり関係がなく反応時間については、走行時の結果も考慮に入れなければならないだろう。

また男女各々 7 名の間に、A タイプにおいて左右ともに 2%、5% の水準で有意な男女差がみられ、女兒の方がおそかった。B タイプでは、有意差はみられなかったが、左右とも女兒がおそい傾向にあり、ブレーキタイプにかかわらずブレーキ

Table 2. Correlation coefficients between the brake reaction time at static condition and at running condition in brake type A and B.

A type		B type	
Right Hand	Left Hand	Right Hand	Left Hand
0.183	-0.131	0.531	0.708*

n=8 *P < 0.05

反応について男児より女児がおそい傾向を示すことは、星川ら⁵⁾の報告と一致している。これらは、静的な実験においても 5 才児から男女差がみられ女児の方がおそく、単に握力に必要な筋力か力強さよりもハンドブレーキ操作の運動様式に則した指の使い方の影響をあげたが¹⁾、自転車の走行スピードにおいて男児より女児の方が (男児 100%

Table 3. Relative values of individual type.
Force applied to A type lever is chosen as criterion (100%) for each subject.

		Type		A	B	ADr	BTN	ATN	ATW	BDr	D
		hand	force	n	9	9	2	5	1	3	3
R.H.	X			100	82.8*	94.6	66.0**	50.6	87.8	84.1	85.9
	SD				19.13	14.78	11.82		14.17	14.19	12.61
L.H.	X			100	75.4**	113.8	75.7*	86.5	76.2	106.2	93.88
	SD				18.31	49.57	17.59		28.77	59.71	21.59

* p < 0.05 ** p < 0.01

に対し 69%)とおそい傾向にもかかわらず反応時間がおそいことは、走行時での男女差も静的な状態と同様なことが考えられる。

図4は、被検者K, I (4才半男児)のAタイプによる走行時の記録の例を示したものである。右の空走時間は0.64秒、左は0.78秒である。

2. ブレーキに加えられた力とタイプとの関係

表3は各タイプにおける力の発揮を比較するためにAを100%とし、各タイプの値を相対値で示したものである。

今回の実験では、実験時間の制約等からすべての被検者がすべてのタイプでテストを行なった訳ではない。その内でAタイプは、最も多くの被検者でテストされているため比較の基準とした。

被検者5名以上で試行がなされたタイプについて比較するとBTNタイプが最も成績わるく次でBタイプ、Dタイプであり、Aタイプが最も良い成績であった。

他のタイプについては、例数が少ないため比較が困難である。統計的には、Bタイプ、BTNタイプで左右とも5%の水準でAタイプとの間に有意な差があった。同じボタン式であるBTNは、

Bに比べさらに成績が悪く、ハンドルの形態の影響があると考えられる。今回の実験の結果からだけではTタイプハンドルがブレーキ操作に特に不利であるとは断言できないが、ボタン式ブレーキとの組合せにおいては不適當であるといえるだろう。

静止時と走行時の反応時間の結果を考慮に入れるとボタン式は操作性にそれほど劣ることはないが、他の方式に比べ力の発揮が困難であるといえる。

この事は、レバー式に比べボタン式は、親指だけの操作であるため参加できる筋群が少ないことによると思われる。

3. 制動力とタイプとの関係

制動距離、制動時間は、走行速度、身体と自転車を含めた総重量及びブレーキに加えられた力に依存する。従ってこれらの量からブレーキの性能を比較することはできない。即ち走行速度や全重量が増加した場合同一のブレーキに同一の力を加えた場合であっても制動時間や制動距離は増加する。

このような理由から次式で示すような制動力を

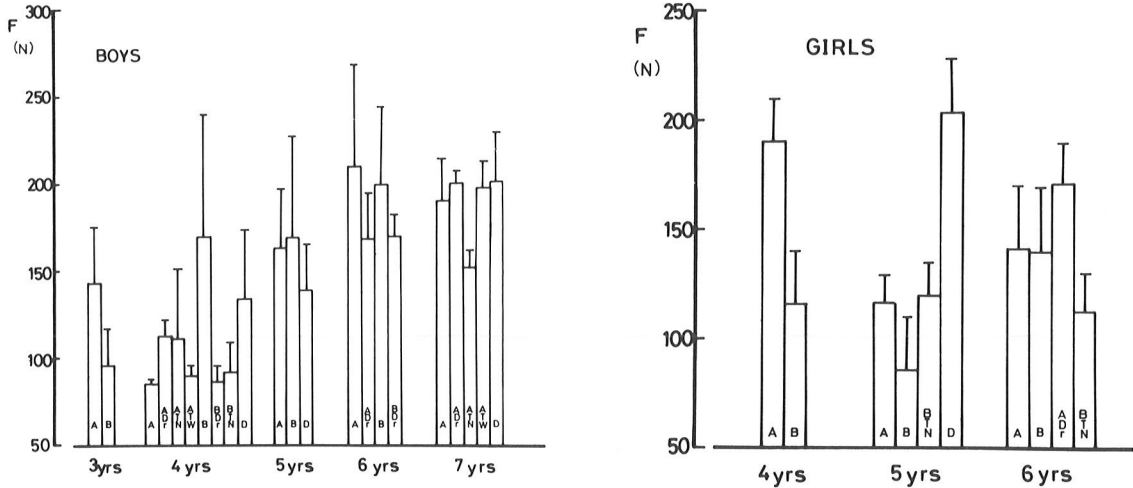


Figure 5. The brake force of individual type.

求め、異なるブレーキ間での制動性能の比較の指標とした。

$$F = \frac{M \cdot V}{T} \dots\dots\dots (1)$$

ここで F は、制動力、M は、体重と自転車重量の和、V は、制動が開始される直前の速度である。F は、制動中に自転車に加えられた水平方向の力の和と考えられる。

図 5 は、男女児の年齢に伴う各タイプにおける制動力の変化を示したものである。

男児では、加齢に伴い一般に制動力の増加の傾

向がみられたが、女兒では、男児ほど明瞭ではなかった。

表 4 は、タイプ別の制動力を比較するために A タイプを 100% とし相対値で示したものである。

被検者 5 名以上試行したタイプについて比較すると、B、BTN タイプが最も悪く A、D タイプの順であった。他のタイプについては、例数が少なく比較が困難である。

力の場合と同様に B、BTN タイプは、他のタイプに比べ劣っていた。

Table 4. Relative values of individual type.
Brake force of A type is chosen as criterion (100%) for each subject.

Type	A	B	ADr	BTN	ATN	ATW	Bdr	D
n	16	14	4	6	1	3	3	5
X	100	91.1	117.6	91.2	95.8	105.4	111.5	138.6
SD		23.06	21.67	11.29		11.95	19.12	32.59

4. ブレーキの効率

今回の走行実験では、ブレーキ機械系の操作部分であるレバーやボタンあるいはハンドルを取り変えることにより制動性能に差がでるかどうかを調べた。従ってワイヤーから後の部分が同一の構造であれば制動力は、レバーやボタンのテコ比と人間の発揮した力に依存する。ブレーキを機械系のみと考えればこの場合テコ比だけがブレーキの性能を左右することになる。しかし人間をも含めた系としてブレーキを考えると操作部の構造やハンドルの形態の違いによりブレーキ操作の様式が異なり、操作に加わる筋群も異なってくる。

ここでブレーキの効率を機械系と人間をも含めた系で考えてみることにする。

機械系においては、効率 (α) は、レバーやボタンに加えられた力 (f) と制動力 (F) との比を考慮することができる。

$$F = \alpha \cdot f$$

即ちできるだけ少ない力ですべて大きな制動力を発揮することができるものが効率の良いブレーキと考えられる。

しかしながら人間をも含めた系では、このように単純な考え方は成立しない。ブレーキを操作する人間側からみればできるだけ少ない努力でより大きな制動力を生み出せるブレーキを効率のよいブレーキと考えるのがよいであろう。従ってレバーやボタンに加え得る最大の力を f_{\max} とした時ある一定の制動力を生み出すのに f_{\max} の何%が必要であるかによって効率を考慮することができる。このように考えた効率は、ブレーキの構造と人間側のブレーキ操作様式の相方に依存することになる。従って機械系での効率と人間をも含めた系での効率は、必ずしも一致しない。

5. 最大制動力

最大努力でブレーキ操作を行ない制動した場合の制動力を最大制動力 (F_{\max}) とすれば、

$$F_{\max} = \alpha \cdot f_{\max} \dots\dots\dots (2)$$

となる。 f_{\max} は、性別、年齢、個人差に依存しているため F_{\max} もそれらに依存する。ブレーキ性能の比較を行なうには、異なるタイプのブレー

キを同一の被検者が操作し F_{\max} を比較するのが最もよい方法であろう。

今回の実験では、8種類のタイプのブレーキを用いたが、同一の被検者で全てのタイプについて実験を行なうことは、できなかった。またある種のタイプ (ATN, ATW, Dr 等) では例数が少なく、性能の比較を行なうことは、できなかったがブレーキ構造の基本的に異なるレバー式とボタン式 (A, D と B, BTN) でのデータを得ることができた。

一般的に言ってボタン式は、制動力が少なくレバー式に対して劣るといえる。

この原因は、効率に関して前述した様にブレーキ構造 (テコ比) だけでなく操作が親指のみによって行なわれるためレバー式に比べ参加する筋群が少なく発揮できる力が小さいことにあると考えられる。

ボタン式の人間をも含めた系での効率を高めるためには、機械系での効率を大きくする必要があるが、テコ比の増大は、ブレーキの遊びとの関係で親指の動作範囲を増大させることになり反応時間 (空走時間) に悪い影響を与えることも考慮されなければならない。

6. 左右差

反応時間の測定において、走行時と静止時の異なる点は、高年齢においても左右のブレーキ操作が同時に開始されることが少なく一般に左手が遅れる傾向にあった。甚しい場合には、全く操作されない場合もあり、それは、全試行 240 回のうち 17% 出現した。

力の測定において、主に右手の結果を用いたが、前述の様に幼児の場合突発的な事象に対しブレーキを操作する場合、両手を充分に使うことが困難であり、利き手でない側は、ほとんど制動力を生み出すことはできないこともあった。万井ら⁴⁾は、器用さを要しない比較的単純な動作では左右差が小さく、巧緻性を要するものほどその差は大きくなると報告しているように自転車のブレーキ操作は、多くの筋肉群の逐次的協応や時間的調整を要し幼児にとってはそれほど容易なものとは

思われない。現在の自転車の構造は、右手が前輪、左手が後輪のブレーキを操作するようになっているが、今後どちらの手がどちらの車輪を制動すべきか再検討が必要であろう。

7. 自転車の重量の影響

これまで、自転車の制動性能をブレーキの操作性や制動力から検討してきた。この制動性能に関係する要因は、ブレーキの性能以外にも存在する。の中で最も重要な因子は自転車の重量である。

いま、自転車の重量を M_B 、体重を M_M とすれば、最大努力で制動した場合（制動力 F_{max} ）の制動時間（ T_{min} ）、制動距離（ L_{min} ）はそれぞれ

$$T_{min} = \frac{(M_M + M_B) \cdot V}{F_{max}} \dots\dots\dots (3)$$

$$L_{min} = \frac{(M_M + M_B) \cdot V^2}{2 \cdot F_{max}} \dots\dots\dots (4)$$

(V は走行速度) で表わされる。 F_{max} は式(2)に示したように f_{max} に比例する。 f_{max} は最終的には筋力に依存し成長と共に増加するが体重も成長に伴って増加する。そこで極めて荒い近似ではあるが f_{max} が体重に比例すると考えると、 F_{max} も体重に比例することになる。

$$F_{max} = k \cdot M_M \dots\dots\dots (5)$$

(k は比例定数)。(5)を(3)、(4)へ代入すれば、 L_{min} 、 T_{min} はそれぞれ

$$T_{min} = \frac{1}{k} \left(1 + \frac{M_B}{M_M}\right) \cdot V \dots\dots\dots (3)'$$

$$L_{min} = \frac{1}{2k} \left(1 + \frac{M_B}{M_M}\right) \cdot V^2 \dots\dots\dots (4)'$$

となる。制動時間も制動距離も体重と自転車の重量の比に関係する。今回用いた幼児車は約13kgであり、4才児が自転車に乗ったとしその体重が16kgとすれば、 $1 + \frac{M_B}{M_M}$ は約1.81となる。これに対し大人の場合には、サイクリング車では、 M_B が約11kgで、体重を65kgとすれば、 $1 + \frac{M_B}{M_M}$ は1.17に過ぎない。したがって幼児の場合には、大人がサイクリング車に乗った場合と比較すると5割以上余分に制動時間や制動距離を必要とする。

もちろんその原因は、体重に比して、自転車が重すぎる事による。したがって、幼児車の安全性を考える場合、ブレーキ性能の向上ばかりでなく、幼児車の軽量化も大切な事であろう。

【ま と め】

- ①幼児車のブレーキの性能を操作性と制動性の面から比較検討するために3~7才の12名の男児と9名の女児を対象に走行時における走行速度、空走時間、ブレーキに加えられた力、制動時間、制動力の測定を行なった。用いたブレーキとハンドルは、静的な状態の実験で不適当となった回転式を除き3種類のブレーキ（握り式でレバーの短いもの、握り式で従来のもの、押しボタン式）と4種類のハンドル（一般型、T字型、ややT字型、ドロップ型）であった。
- ②空走時間は、ブレーキ反応時間に比べてバラツキが大きく、タイプ間の差は明瞭でなかった。そして静止時と異なる点は、高年令においても左右のブレーキ操作が同時に開始されないこともあり一般に左手が遅れる傾向にあった。
- ③ブレーキに加え得る最大力は、レバー式に比べボタン式が小さかった。
- ④制動力においてもボタン式はレバー式に劣っていた。
- ⑤自転車制動性能は、ブレーキの制動力以外に自転車の重量が重要となり、幼児自転車は、体重に比べて自転車が重すぎるため軽量化も必要であろう。

謝 辞

この研究の遂行に当り、島野工業株式会社より自転車を提供していただき多大の御協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参 考 文 献】

- 1) 島岡みどり, 松井秀治, 青樹和夫: 幼児における自転車の異なるハンドブレーキタイプについて (第1報)。総合保健体育科学 6-1, 47-55, 1983.
- 2) 松井季治, 星川保, 豊島進太郎, 浜崎健輔: 小学生の自転車制動に関する研究。自転車技術情報 No. 13, 33-37, 1981.

- 3) 松井秀治, 星川保, 豊島進太郎, 浜群健輔: 大学生, 一般成人, 高令者における自転車の制動。自転車技術情報 No.20, 25-30, 1982.
- 4) 万井正人, 谷口豊子, 伊藤一正, 菊地邦雄: 人の作業特性としての右利き, 左利きの研究。人間工学 7-2, 100-105, 1971.
- 5) 星川保, 豊島進太郎, 松井秀治: 小学1年生における自転車の制動に関する研究。学校保健研究 vol. 22-12, 594-600, 1980.

(昭和59年1月21日受付)