

## 〔特別掲載〕

## 外傷性頸部症候群の発症機序に関する研究

東京女子医科大学脳神経センター, 脳神経外科学教室 (主任: 喜多村孝一教授)

河野 宏  
コウ ノ ヒロシ

(受付 昭和52年9月28日)

## A Study for the Mechanisms of the Traumatic Cervical Syndrome

Hiroshi KOHNO, M.D.

Department of Neurosurgery, Neurological Institute (Director: Prof. Kōiti KITAMURA)  
Tokyo Women's Medical College, Tokyo, Japan

A study on the pathogenesis of traumatic cervical syndrome.(clinico-pathological and radiological observations of changes of the cervical spinal canal by hyperextension and hyperflexion, and measurement of intracranial and intraspinal pressure in experimental whip lash injury using a head-neck model)

The author investigated changes in the width of upper cervical canal by hyperextension and hyperflexion on X-ray films and human cadavers, and of intracranial and intraspinal pressure of an experimental craniocervical dummy which was fixed on a Hyge impact sled.

The cases with traumatic myelopathy and radiculopathy showed more narrow cervical canal than the cases without symptom or with Barré-Lieou syndrome.

According to the results of an experimental study using dummy, a large translational acceleration effected on the head with a head rest by whip lash mechanism, and an angular acceleration of 1300 rad/sec<sup>2</sup> by 20×G of sled acceleration without a head rest.

## 内容目次

第I章 緒言	第IV章 考按
第II章 研究方法ならびに対象	第V章 結論 文献
第1節 頸部X線像の検討と新鮮屍上頸部脊柱管腔の観察(形態学的研究)	第I章 緒言
第2節 ダミー実験による頭蓋内圧および脊柱管内圧の測定(力学的研究)	外傷性頸部症候群の発生機序に関して、幾多の先人により研究がなされてきた。しかしそれにも拘わらず、症状発現機序の本質は明確にされてはいない。
第III章 結果	歴史的に見ると、1928年、HE. Crowe <sup>1)</sup> が始めて“whip-lash”という言葉を用い、1945年、A.G. Davis <sup>2)</sup> が automobile head-on collision の患者の検討のなかで“whiplash”という言葉を使つた。
第1節 形態学的研究	
1. 頸部X線像の検討	
2. 新鮮屍脊柱管腔の観察	
3. 総括	
第2節 力学的研究(人頭模型実験)	

その後1953年, J.R. Gay and K.H. Abott<sup>3)</sup> が“common whip lash injuries of the neck”として50症例を報告して以来, 今日まで多くの問題を提起してきた。

本邦においては, 1958年飯野<sup>4)</sup>により「鞭打ち損傷」の名称で紹介され, その後医学的・社会的に重大な関心を集めてきた。ジャーナリズムに取り上げられてからは, 全ての頸部損傷あるいは頭頸部外傷に対して容易に「鞭打ち損傷」という診断名を用いるようになり, 社会的に混乱をまねくことになった。その後多くの学会でシンポジウムの対象として取り上げられ, 次第に「むち打ち損傷」なる診断名を使用することの不合理性が指摘されるようになり, これに代つて「外傷性頸部症候群」と呼ぶことが提唱されるに至つた<sup>5)</sup>。それと同時に社会的関心も次第に下火になつてきた。しかしながら, 自動車事故によつて発生したいわゆる「鞭打ち損傷」患者には難治例が多く, まだまだ究明されなければならない問題が数多く残されている。

外傷性頸部症候群の症状発現機序解明の困難さは一つに, いわゆる鞭打ち損傷の剖検例が皆無のため, 発生病理を明らかにできないことにある。また人体で再現させることができず, 動物実験にたよらざるを得ない。したがつて, 得られた結論も推測の域を脱し得ず, 本症候群の研究は頭打ちの状態にある。この停滞した状態を前進させるためには, 種々の観点から少しでも多くのデータを集集し, 検討する以外にないと考える。

著者<sup>7)</sup>は1969年以来, 本症候群の発症機序の解明に努めてきた。その過程でいくつかの問題点が浮び上つてきた。

その第一は, 本症候群の訴えは事故時の外力の強度とは必ずしも相関を示さず, かなり個人差が大きいということである。この点について著者は, 頭部を支える頸椎に個人差が存在するためではないかと考え, まずX線学的に頸部脊柱管の大きさと本症候群の症状との関連について個人差を検討した。

問題の第二は, 人体において whip-lash mech-

anism が働いた場合, はたして脊髄・神経根ならびに血管が損傷を受けるか否かということである。これを解明するため, 人新鮮屍において, 頸部伸展・屈曲による脊柱管腔と脊髄・神経根・椎骨動脈との解剖学的関係を追究した。これらの研究結果より whip-lash mechanism が作用した際の脊柱管容積, 換言すれば, 脊柱管内圧め変動が予想以上に大きく, そのことが本症候群め発症に関与している可能性が示唆された。

そこで人新鮮屍において, hyper-extension, hyper-flexion による脊柱管内圧の測定を行わんと努力したが, 技術的に困難なため, 一つの力学系モデルを作製して, モデル実験を行い, 前述の脊柱管内圧の変動を確認することにした。

モデル実験を行なう際には, 実験条件が人間の実際の衝突事故にどれだけ相似しているかが最大の問題となる。しかしながら, 如何に実験条件をととのえても, ヒトの衝突事故と相同のものを得ることは不可能である。そこでわれわれの実験は必ずしも十分な条件をみたしているとは言えないが, 研究の一段階として, その結果は十分意義あるものと考え, ここにその実験結果を紹介し, そのデータより頭頸部外傷における発症機序を考察する。

## 第II章 研究方法ならびに対象

### 第1節 頸部X線像の検討と新鮮屍頸部脊柱管腔の観察

頸部の椎体と脊柱管の相互関係をみる方法として, Chrispin (1913) ら<sup>8)</sup>は, 頸椎の側方向X線写真を撮り, フィルムに写つた頸椎体と脊柱管を切り抜き, その重量比を求めている。著者らは前述の目的のため, Chrispinの方法を応用したが, 誤差を少なくする目的で, 椎体をバラバラに切り離さず, 椎間板を含めて椎体の柱のままとした。また脊柱管は環椎から第6頸椎下縁までとし, それぞれの重量を測定し, 脊柱管の椎体に対する比(C/B)で表わした(注 C: 脊柱管の重量, B: 椎体柱の重量)。

対象は東京女子医大脳神経センターを訪れた外傷性頸部症候群(いわゆる鞭打ち損傷)の患者のうち, カルテにより病状ならびに検査所見が明らかなものを選択し, さらにその中から, 頸椎X線側面像において中間位, 伸

表1 外傷性頸部症候群の分類

I群	軟部組織損傷を主体とする群
II群	神経根症状を主体とする群
III群	脊髓・脳幹症状を主体とする群
IV群	Barré-Lieou 症候群
V群	その他

展位, 屈曲位ともにトレースするのに十分鮮明な像を持つ症例25例を選んだ。本症候群の症状は非常に多彩であり, それらを各型に分類することは容易なことではないが, 各症例を便宜上表1のごとく分類した。

一方, ヒトの新鮮屍において, 頸部運動時の脳幹・上位頸髄の変位を観察する目的で, 以下の操作を行なった。一つは通常の病理解剖に際して開頭を施行し, 大脳および小脳を除去した状態で, 脊柱管腔(とくに大孔付近)と上位頸髄・椎骨動脈との関係を観察した。次に新鮮屍において頸椎の laminectomy を行い, 頸部の hyper-extension・hyper-flexion 時の頸髄の状態を観察した。

第2節 ダミー実験

現存するダミーはほとんどが, 自動車あるいは飛行機事故などにおける加速度測定用のものであり, 本研究には不相当であるため, 著者らは新しく頸部を含んだ脳圧測定用人類模型(伊藤精機, SH-3DM)を作製した。使用したダミーの規格は, 頭部重量4.13kg, 頸部重量1.09kg(計5.22kg), 頸部高144mm, 全高303mmである。頸部の傾角度一曲げトルク特性は図1に示す通りである。このダミーの内部に図2のごとく, 圧力センサー(ST 研究所: ME-10021)を頭蓋内に2コ, 脊柱管内に2コ設置し, 頭頂部より蒸溜水(1.15kg)を満たし, 空気を抜いて密閉した。その人頭模型を写真1の如く日

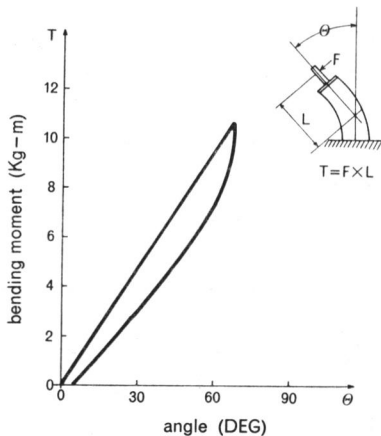


図 1

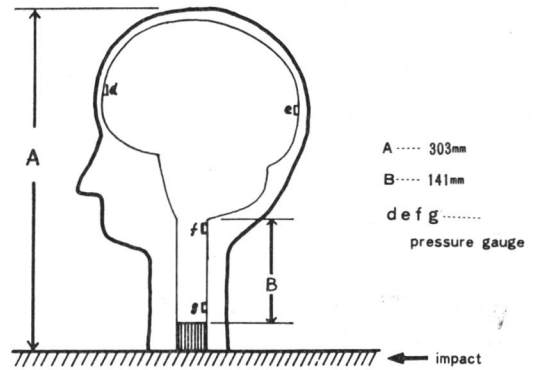
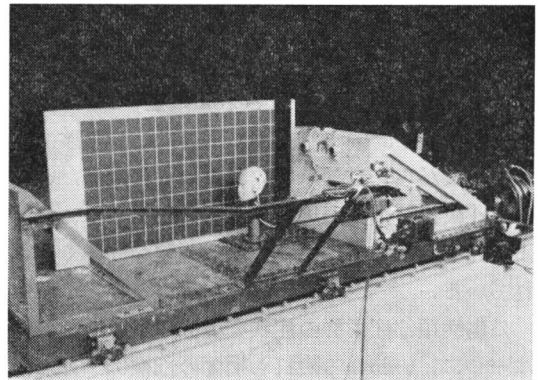


図 2



(a)



(b)

写真1 人頭模型

本自動車研究所所有の Hyge-impact sled (CVC corporation: HY-12138) 上に固定し, 後方より sled に種々の衝撃(頭部に対しては indirect impact)を与え, ダミー頭部の加速度(水平方向および重直方向), 頭蓋内・脊柱

管内の圧力変化を測定した。

sled に与える衝撃加速度の条件として、衝撃波形は sine curve 様とし、強度に関しては Hyge-impactor の圧縮ガスによつて sled を発車させ、得られる台車加速度 (以下 SFA と記す) が 5~30 G となるように圧縮ガスの圧力を調節し、さらに duration を実車追突実験に近似させるようブレーキを調節した。さらに head rest を頭部重心の高さに設置し、head rest の有無による計測値の差を検討した。head rest は人頭模型の後頭部に密着するように設置した。なお、head rest は市販のものを使用した。

衝撃により発生した電気現象を Shinko Amp SK-216 (新興通信 K.K.) で増幅し、data recorder VR-3700 B (Bell & Howell) に記録した。得られた data は NOVA data reduction system にて処置し解析を行なつた。

ダミー頭頸部の動きは耐衝撃高速度カメラ WS-1C-2073 (Swis Stalex) で撮影し、film motion analyzer No. 10-056 (NAC 社) でカメラ解析を行なつた。

### 第III章 結 果

#### 第1節 形態学的研究

##### 1. 頸部 X線像の検討

Chrispin 法による脊柱管の重量を C, 椎体柱の重量を B とすると、C/B の平均値は、中間位 (N\*c/B) において 0.86, 屈曲位 (F\*c/B) 0.95, 伸展位 (E\*c/B) 0.78 と、頸部の動きにより変化しており、脊柱管は屈曲位で大きくなり、伸展位で狭くなることが窺える (表 2)。

表 2 The mean ration of spinal canl to vertebral column on the lateral view of the cervical X-ray film.

	F*c/B	N*c/B	E*c/B	F*c/B-E*c/B
Male	0.93	0.83	0.76	0.17
Female	0.98	0.90	0.81	0.17
Average	0.95	0.86	0.78	0.17

F=flexion N=neutral E=extension

男女差についてみると、C/B 値は女性の方が大きくなつている。表 3 には各症例のグループ別と、中間位における値 Nc/B, および平均値との比較 (Nc/B-N\*c/B), さらに中間位を基点とした、屈曲・伸展における変化 (Fc/B-Nc/B), (Ec/B-Nc/B) を示している。なおここで用いた N\*c/B は男性の場合は 0.83 であり、女性の場合は

表 3 Ratios of spinal canal (C) to vertebral column (B) in 25cases with post traumatic cervical syndrome.

Name	Sex	Group	F <sup>c</sup> /B	N <sup>c</sup> /B	E <sup>c</sup> /B	N <sup>c</sup> /B-N <sup>c</sup> /B	F <sup>c</sup> /B-N <sup>c</sup> /B	E <sup>c</sup> /B-N <sup>c</sup> /B
T. K.	♂	I→IV	1.02	0.93	0.81	+0.10	+0.09	-0.12
A. Y.	♀	I→IV	0.97	0.97	0.86	+0.07	0	-0.11
F. C.	♀	I→II	1.07	0.93	0.95	+0.03	+0.14	+0.02
S. K.	♀	I→IV	1.29	1.15	0.97	+0.07	+0.14	-0.18
O. K.	♀	I	1.08	1.04	0.88	+0.14	+0.04	-0.16
K. F.	♂	I	1.11	1.00	0.92	+0.17	+0.11	-0.08
H. S.	♂	I→IV	1.03	0.91	0.80	+0.08	+0.12	-0.11
S. Y.	♂	II→IV	0.97	0.87	0.73	+0.04	+0.10	-0.14
K. D.	♂	I→IV	0.99	0.87	0.74	+0.04	+0.12	-0.13
O. T.	♂	V	0.97	0.86	0.82	+0.03	+0.11	-0.04
K. Y.	♂	V	0.93	0.85	0.80	+0.02	+0.08	-0.05
S. Y.	♂	IV	0.86	0.82	0.70	-0.01	+0.04	-0.12
S. K.	♂	II	0.88	0.83	0.79	0	+0.05	-0.04
S. M.	♂	III	0.84	0.82	0.71	-0.01	+0.02	-0.11
T. Y.	♂	II	0.93	0.82	0.77	-0.01	+0.11	-0.05
T. H.	♂	III→IV	0.91	0.82	0.79	-0.01	+0.09	-0.03
S. K.	♀	V	0.88	0.81	0.72	-0.09	+0.07	-0.09
T. N.	♀	III	0.96	0.82	0.75	-0.09	+0.14	-0.07
H. T.	♀	V	0.90	0.83	0.79	-0.07	+0.07	-0.04
I. N.	♂	III	0.83	0.67	0.65	-0.16	+0.18	-0.02
K. S.	♀	III	0.83	0.79	0.73	-0.11	+0.04	-0.06
Y. W.	♀	V	0.82	0.74	0.65	-0.16	+0.08	-0.09
Y. K.	♂	I→IV	0.86	0.75	0.73	-0.08	+0.11	-0.02
K. K.	♂	II→IV	0.88	0.73	0.74	-0.10	+0.15	-0.01
T. F.	♂	I	0.93	0.80	0.73	-0.03	+0.13	-0.07

note N\*c/B 0.83 in male 0.90 in female

表 4 Clinical diagnosis & average ratio of spinal canal to vertebral

Group	Number	Average of the ratio (N <sup>c</sup> /B)
I	10	0.94
II	5	0.84
III	5	0.78
IV	10	0.88
V	5	0.82

0.90 である (表 2)。

表 4 において、症状別各群における Nc/B の平均値をみると、I 群は 0.94 と平均値 (N\*c/B) より大きく、II・III 群は 0.84, 0.78 と N\*c/B より小さくなつている。しかし表 3 に挙げた症例の中には X線像に軽度の変形性脊椎症などの異常所見を呈するものも含まれており、そのような症例において脊柱管が平均より小さく、しかも脊髄・脳幹症状を呈するものが多いことは理解に難くない。そこで表 3 に列挙した症例の中で、X線所見

表5 Ratios of spinal canal (C) to vertebral column (B) in post-traumatic syndrome cases with normal X-ray findings.

Name	Sex	Group	F <sup>c</sup> / <sub>B</sub>	N <sup>c</sup> / <sub>B</sub>	E <sup>c</sup> / <sub>B</sub>	N <sup>c</sup> / <sub>B</sub> -N <sup>*</sup> c <sub>B</sub>	F <sup>c</sup> / <sub>B</sub> -N <sup>c</sup> / <sub>B</sub>	E <sup>c</sup> / <sub>B</sub> -N <sup>c</sup> / <sub>B</sub>
T. K.	♂	I→IV	1.02	0.93	0.81	+0.10	+0.09	-0.12
K. D.	♂	I→IV	0.99	0.87	0.74	+0.04	+0.12	-0.13
O. T.	♂	V	0.97	0.86	0.82	+0.03	+0.11	-0.04
H. S.	♂	I→IV	1.03	0.91	0.80	+0.08	+0.12	-0.11
S. Y.	♂	II→IV	0.97	0.87	0.73	+0.04	+0.10	-0.14
T. N.	♀	III	0.96	0.82	0.75	-0.09	+0.14	-0.07
K. S.	♀	III	0.83	0.79	0.73	-0.11	+0.04	-0.06
S. K.	♀	I→IV	1.29	1.15	0.97	+0.07	+0.14	-0.18
H. T.	♀	V	0.93	0.83	0.79	-0.07	+0.07	-0.04
Y. K.	♂	I→IV	0.86	0.75	0.73	-0.08	+0.11	-0.02
T. F.	♂	I	0.93	0.80	0.73	-0.03	+0.13	-0.07
S. K.	♀	V	0.88	0.81	0.72	-0.09	+0.07	-0.09

に異常を認めず、しかも臨床的に頸部の運動制限もみられない症例（有症状群）だけを取り出してみると表5のごとくである。すなわち、Barré-Lieou 症候群を呈するものでは F<sup>c</sup>/B—E<sup>c</sup>/B の差が大きいと言える。

〔小括〕

以上のことをまとめると下記の通りである。

- (1) 脊柱管腔が大きいものは、軟部組織損傷の症状を主体とする症例に多い。
- (2) 脊柱管腔が小さいものは、脊髄・脳幹症状を呈する症例に多い。
- (3) 受傷初期に軟部損傷症状のもので、後に Barré-Lieou 症候群に移行する症例では、ほとんど全例において、屈曲・伸展による脊柱管の大き

さの変動が大きい。

しかし、症例数も少なく、症例の偏りの可能性もあり得るので、この所見だけから外傷性頸部症候群の発症機転を断定することはできない。

2. ヒト新鮮屍における脊柱管腔ならびに上部頸髄の観察

通常の病理解剖に際して開頭術を施行し、大脳および小脳を除去した状態で上部脊柱管腔を観察した。頸部を過伸展させると、大孔直下の脊柱管腔は非常に狭くなる（写真2—b）。逆に過屈曲させると、上部脊柱管腔は拡大し頸髄との間で大きな空隙が生じる（写真2—a）。

次に新鮮屍において頸椎の laminectomy を行ない、頸椎をできる限り屈曲・伸展させた時の頸髄の状態を観察すると、模式図（図3）に示した

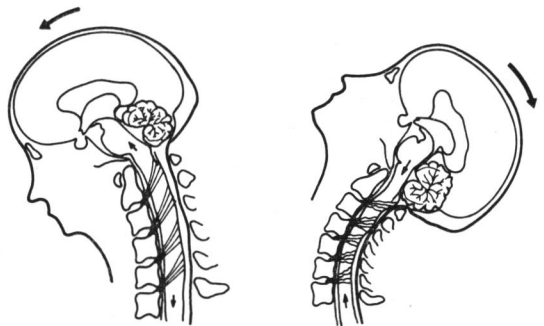


図3 ヒト新鮮屍の頸部過伸展・過屈曲時における下位脳幹、上位頸髄の状態



a. hyperflexion



b. hyperextension

- a. 頸部の過屈曲により上部脊柱管腔は拡大し、頸髄との間に空隙を生じている
- b. 頸部の過伸展により上部脊柱管腔は狭少となっている。

写真2

ごとく、伸展により上部頸髄は弛緩し、圧縮される。椎骨動脈は、硬膜を貫通して頭蓋内に進入する所で硬膜に固定されており動かないが、頸部過伸展により椎骨動脈も圧迫され、断端より血液が圧出されるのが観察された。神経根は屈曲により頭側に引張られ緊張し、伸展によつて弛緩する。

〔小括〕

(1) 頸部の伸展・屈曲により頸部脊柱管腔の狭少・拡大が生じることが確認された。

(2) hyper-extension により頸部脊柱管腔は狭少となり、頸髄は弛緩し圧縮される。椎骨動脈も圧縮される。

(3) hyper-flexion により頸部脊柱管腔は拡大し、頸髄の圧迫は解除され、頸髄は伸張される。椎骨動脈の圧迫も取れ伸張されるが、頭蓋内進入部で硬膜に固定され動かない。

### 3. 形態学的研究の総括

頸椎X線像の検討とヒト新鮮屍における下位脳幹・上位頸髄の観察より、外傷性頸部症候群の発症機序の理解に手掛りを得た。

すなわち、頸部の鞭打ち現象により、上部頸髄・脳幹ならびに神経根が弛緩・圧迫あるいは伸張される。一方、椎骨動脈は動かず、しかも脳幹の動脈は主幹動脈から直角に分岐している。このため神経組織と血管との間にずれ (neurovascular friction) を生じ、これが発症の原因の一つとなる可能性、さらに過伸展によつて狭くなつた脊柱管腔が過屈曲により拡大される際に、上部脊柱管内圧の急激な変動をもたらす、この圧変動によつて、二次的に脳幹の循環障害をきたすのではないかという可能性である。そしてこれが後に Barré-Lieou 症候群の発症の一因となり得ることは否定できないものとする。

以上の結論は、頸部の static な状態すなわち頭位の変化における観察に基づくものであり、衝撃による短時間内の急速な変化を再現したものではない。したがつて、このまま外傷性頸部症候群の発症機序と結びつけることは早計のそしりを免れない。しかし、少なくとも、脊柱管腔の狭少な個体や、潜在的に変形性脊椎症の存在する症例で

は、過伸展により神経組織の損傷を受けやすいことを容易に推測せしめる。

### 第2節 人頭模型実験 (力学的研究)

人頭模型の内部に設置した4個の圧力センサーにより、前頭部内圧 (HFP)・後頭部内圧 (HOP)・上頸部脊柱管内圧 (NUP)・下頸部脊柱管内圧 (NLP) を、衝撃から頸部の to-and-fro movement が完了するまで連続的に測定した。その結果ならびに頭部加速度 (HG)・台車加速度 (SFA) との関係は下記の通りである。

#### 1. 台車加速度 (SFA) と頭部加速度 (HG)

図4のごとく台車に衝撃を与え、その時の頭部加速度を人頭模型側頭部に取り付けた加速度計 (伊藤精機 K.K. GHA 3-200) により水平方向 (G-X) と垂直方向 (G-Z) の2方向で測定した。衝突時の台車加速度 (以下 SFA と略す) は表6に示すごとく、多少のばらつきはあるが、ほぼ目標通りの加速度を得る事ができた。

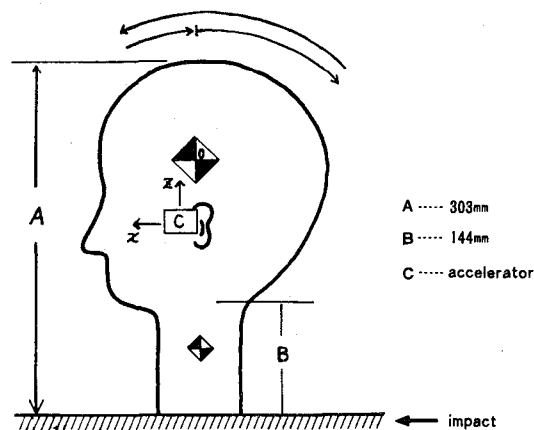


図 4

SFA と G-X とは良く相関し図5に示すごとく回帰直線  $y=2.02x-5.09$  (HR: YES),  $y=0.76x+2.96$  (HR: NO) が得られた。すなわち、head rest のない群 (以下 A 群と略す) においては、SFA とほぼ同様の HG が生じるのに対し、head rest を使用した群 (以下 B 群と略す) では、SFA の約2倍の HG が発生する。これら回帰直線間の相関をみると、統計学的にも有意の差 ( $p<0.01$ )

表 6

Exp. No.	SFA (g)	Duration of impact (msec)	Head Rest	G-X (g)	G-Z (g)	HFP (kg/cm <sup>2</sup> )	HOP (kg/cm <sup>2</sup> )	NUP (kg/cm <sup>2</sup> )	NLP (kg/cm <sup>2</sup> )
13-08	5.2		NO	5.7	2.8	-0.110~+0.160	+0.035~-0.039	+0.038~-0.039	+0.048~-0.036
13-09	5.0	45.9	"	5.9	3.0	-0.106~+0.168	+0.031~-0.037	+0.032~-0.039	+0.046~-0.038
13-12	6.5		"	8.5	7.0	-0.128~+0.143	+0.042~-0.024	+0.061~-0.022	+0.081~-0.023
13-13	6.4	80	"	8.2	2.9	-0.119~+0.097	+0.041~-0.021	+0.058~-0.019	+0.085~-0.021
14-16	9.9		"	10.4	7.0	-0.120~+0.465	+0.068~-0.034	+0.175~0	+0.252~0
14-17	10.2	67	"	10.8	7.5	-0.121~+0.471	+0.067~-0.033	+0.169~-0.006	+0.245~-0.005
14-07	15.1		"	15.6	10.6	-0.184~+0.357	+0.092~-0.044	+0.286~-0.023	+0.409~-0.021
14-08	14.6	85	"	15.1	12.6	-0.154~+0.390	+0.097~-0.042	+0.281~-0.017	+0.421~-0.016
14-12	18.8	72	"	17.7	20.5	-0.167~+0.640	+0.113~-0.049	+0.398~-0.019	+0.467~-0.009
14-13	16.5		"	17.5	21.3	-0.147~+0.542	+0.121~-0.053	+0.475~0	+0.665~0
14-14	19.0	73	"	13.4	22.3	-0.151~+0.701	+0.125~-0.054	+0.458~-0.010	+0.470~-0.012
13-06	5.1		YES	5.9	2.8	-0.095~+0.159	+0.032~-0.040	+0.018~-0.012	+0.042~-0.034
13-07	5.0	57	"	6.0	1.1	-0.130~+0.071	+0.026~-0.018	+0.019~-0.015	+0.026~-0.017
13-14	6.5		"	7.4	4.0	-0.200~+0.060	+0.030~-0.010	+0.020~-0.010	+0.031~-0.010
13-16	6.4	82	"	8.9	1.6	-0.204~+0.053	+0.033~-0.011	+0.023~-0.007	+0.033~-0.009
14-18	10.3		"	13.0	5.6	-0.380~+0.096	+0.047~-0.014	+0.030~-0.006	+0.051~-0.009
14-19	9.8		"	13.9	6.3	-0.380~+0.100	+0.050~-0.010	+0.020~-0.010	+0.070~+0.010
14-03	15.7		"	22.6	5.2	-0.594~+0.143	+0.068~-0.020	+0.039~-0.020	+0.073~-0.025
14-04	9.6	74	"	17.8	4.5	-0.406~+0.088	+0.089~-0.018	+0.057~-0.009	+0.123~-0.017
14-10	19.0	72	"			-0.818~+0.176	+0.089~-0.019	+0.054~-0.011	+0.121~-0.018
14-11	20.6		"	36.4	27.0	-0.828~+0.166	+0.090~-0.017	+0.053~-0.013	+0.116~-0.012
14-20	28.4	46	"	54.2	26.7	-1.000~+0.280	+0.149~-0.020	+0.206~-0.018	+0.382~-0.026

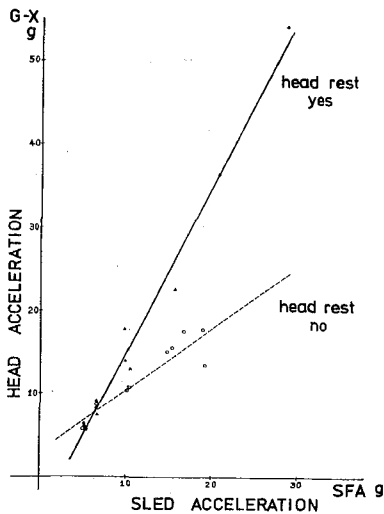


図 5

が認められた。

SFA と G-Z に関しては、A 群・B 群ともによく相関し、それぞれ  $y=1.31x-4.46$  (A 群)、 $y=1.17x-5.30$  (B 群) の回帰直線が得られたが (図 6)、A 群と B 群との間に有意差を認めなかった。

## 2. 台車加速度 (SFA) と前頭部内圧 (HFP)

前頭部の圧力波形は図 7 に示すごとく、初め陰圧を示し次に陽性となる二相性を呈するが、SFA の大きさおよび head rest の有無により異つた波形を示す。A 群の場合には SFA が 5~6 G までは、陰圧も陽圧もほぼ同程度の圧変化を示すが (図 8-a)、SFA 10G を境として陽圧が主成分となる (図 8-b)。B 群の場合には SFA の大きさに関係なく陰圧が主成分であり、SFA が高くな

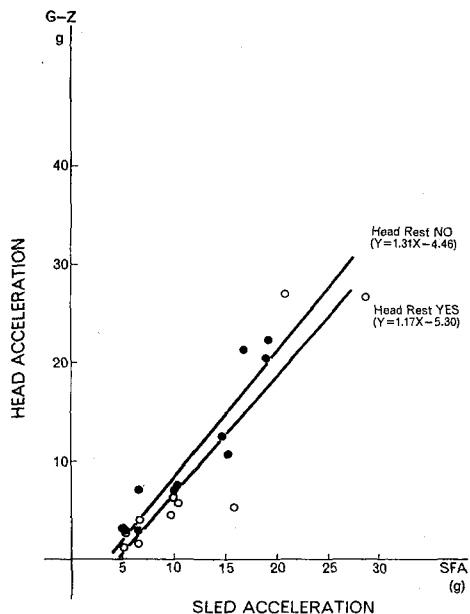


図 6

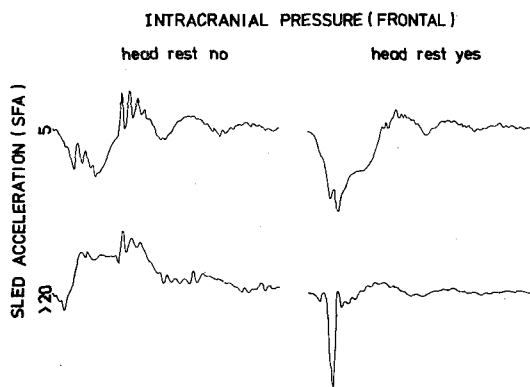


図 7

ると陰圧が大きくなり、duration が短くなる (図 8-c-d)。

SFA と HFP とは A 群・B 群ともによく相関し ( $p < 0.01$ )、回帰直線はそれぞれ  $y = 0.03x - 0.03$  (A 群),  $y = -0.04x + 0.04$  (B 群) で表わされる (図 9)。

ここで前頭部に発生した圧力の値をみると、群では SFA 20G で  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  の陽圧が、B 群では SFA 20G で  $-0.8 \text{ kg/cm}^2$ , 30G で  $-1 \text{ kg/cm}^2$  と非常に大きな圧変動を示したことは注目に値す

る。

### 3. 台車加速度 (SFA) と後頭部内圧 (HOP)

後頭部内圧 (HOP) の波形は sine curve に近似しており、とくに A 群でその傾向が強い (図 8)。B 群では SFA が大きくなると initial positive component が鋭く立ち上がり、その後 A 群と同じく sine curve を描き減衰する。

その際生じた圧力は、A 群では SFA 5G で  $+0.03 \text{ kg/cm}^2$ , 10G で  $+0.07 \text{ kg/cm}^2$ , 20G で  $+0.12 \text{ kg/cm}^2$ , 30G で  $+0.15 \text{ kg/cm}^2$  と、A 群の方が高値を示している (図 10)。しかし両群の間には有意の差は認められないようである。

### 4. 台車加速度 (SFA) と上頸部内圧 (NUP), 下頸部内圧 (NLP)

上頸部内圧 (NUP)・下頸部内圧 (NLP) の圧力波形は HOP のそれと同様の形状を呈し、陽圧成分が主体を成す (図 8)。しかし圧力は HOP よりも大きく、NUP の場合には B 群で HOP の約 2 倍、A 群で約 3~4 倍と高値を示す (図 11)。NLP では NUP よりさらに大きくする傾向にある (表 6)。

### 5. 高速度カメラ (1000 fps) による頭部運動の解析

側頭部に取り付けたマークの動きを NAC 社製の film motion analyzer No. 10-066 にて解析した。

点 0 (図 4) の水平方向の動き X を縦軸に、時間を横軸にプロットすると図 12 のごとく sine curve が描かれる。またマークの縦線の傾き ( $\theta$ ) を衝突前を基準として計測し、時間を横軸にプロットすると、図 13 のごとく点 0 の動きと極めて相似している。水平方向の動きの最大値 ( $X_{\max}$ ) および回転角 ( $\theta$ ) の最大値 ( $\theta_{\max}$ ) と台車加速度 (SFA) との相関をみると、 $p < 0.01$  でよく相関している (図 14)。

これら二現象間における head rest 非使用群 (A 群) と使用群 (B 群) との差をみると、両者間に有意差 ( $p < 0.01$ ) を認め、head rest の使用により頸部の動きは明らかに抑制されている。



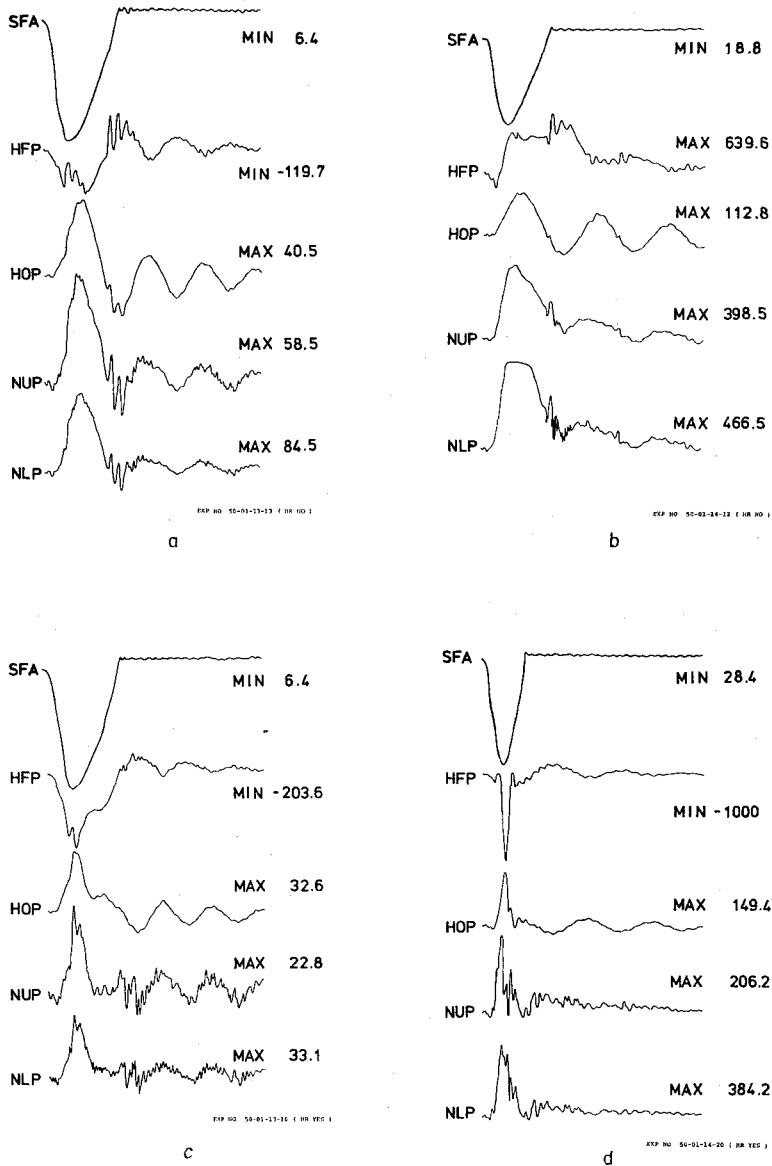


図 8

6. Duration of acceleration

台車に与えられる加速度の duration は45~85 msec であつた。ダミー頭部が maximal extension に達するまでの時間は、A群の場合40~50 msec, B群では25~30msec であつた。maximal flexion に達するにはA群で75~105msec, B群で

65~105msec を要した。

7. 回転角速度・回転角加速度

角速度ならびに角加速度は表7に示すごとく、両者ともA群において高値を示した。角加速度はダミー実験ながらA群では1,000~1,300rad/sec<sup>2</sup> という高値が得られた。

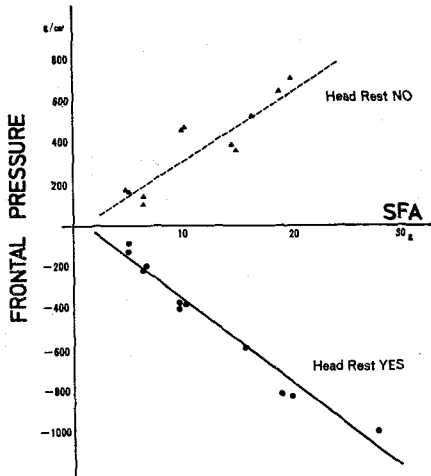


図 9

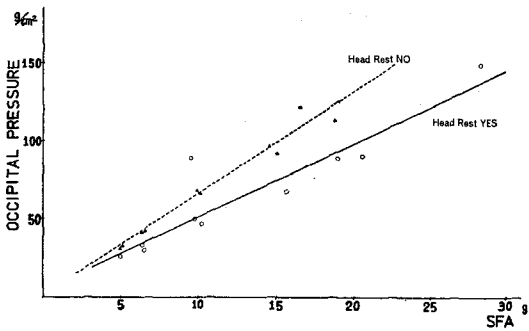


図 10

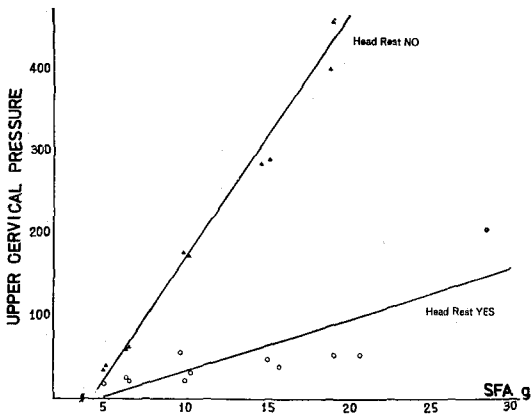


図 11

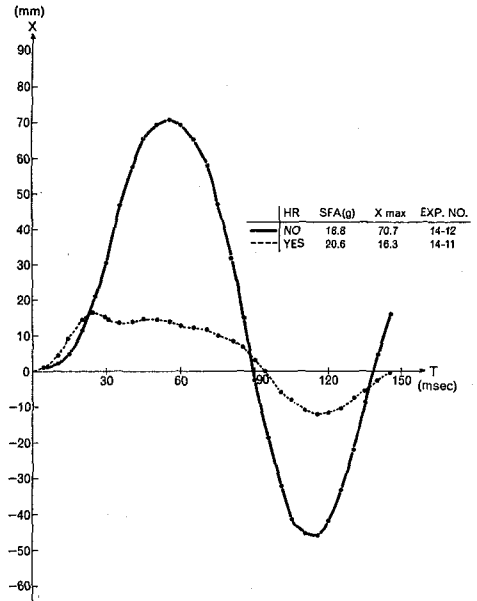


図 12

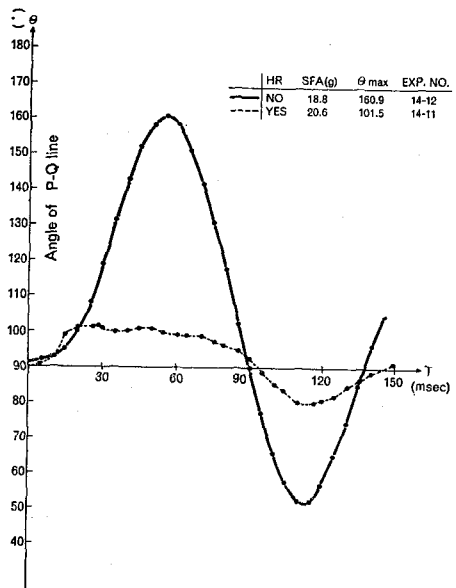


図 13

表7 ダミー頭部に発生した角速度ならびに角加速度

No.	SFA	H. R.	角速度 (rad/sec)	角加速度 (rad/sec <sup>2</sup> )
13-13	5	NO	88.12	1050
13-16	5	YES	2.96	398
14-12	20	NO	20.30	1295
14-10	20	YES	9.94	911

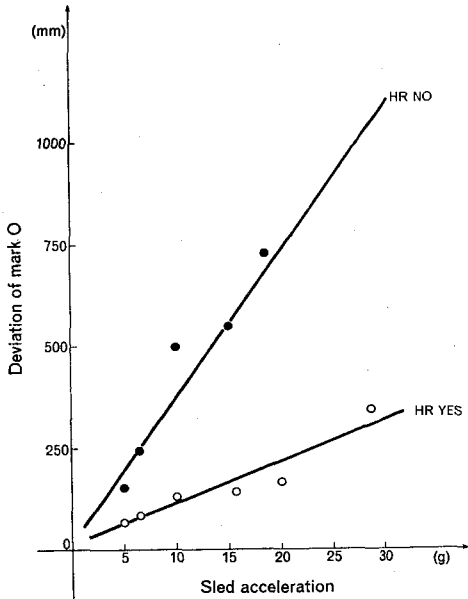


図 14

第VI章 考 按

従来「so-called whip-lash injury」の本態は不明であり難治である」と考えられてきた。その症状は器質的異常を認めないにもかかわらず多彩であり、しかも被害者意識と賠償問題により容易に修飾されることなどから、難治例は神経症と考えられがちであった。ところが、種々の臨床的研究<sup>12) 13) 16) 17) 19) 20) 33) ~36)</sup>がなされるにつれ、そのような難治例にも何らかの異常所見を認めるようになり、異常所見が明瞭な場合には、それに応じた病名が付けられ、いわゆる鞭打ち損傷から分離されるようになった。一方、精神科医により明らかに神経症と判断されるものもある。

しかしながら、それらの中間に位置し、多彩な不定愁訴が続き、しかも明瞭な他覚所見がなく治療に窮する症例が多い。外傷性頸部症候群の発生機転に関しては幾多の研究<sup>7) 9) 10) 11) 14) 15) 18) 21) 23) 24)</sup>

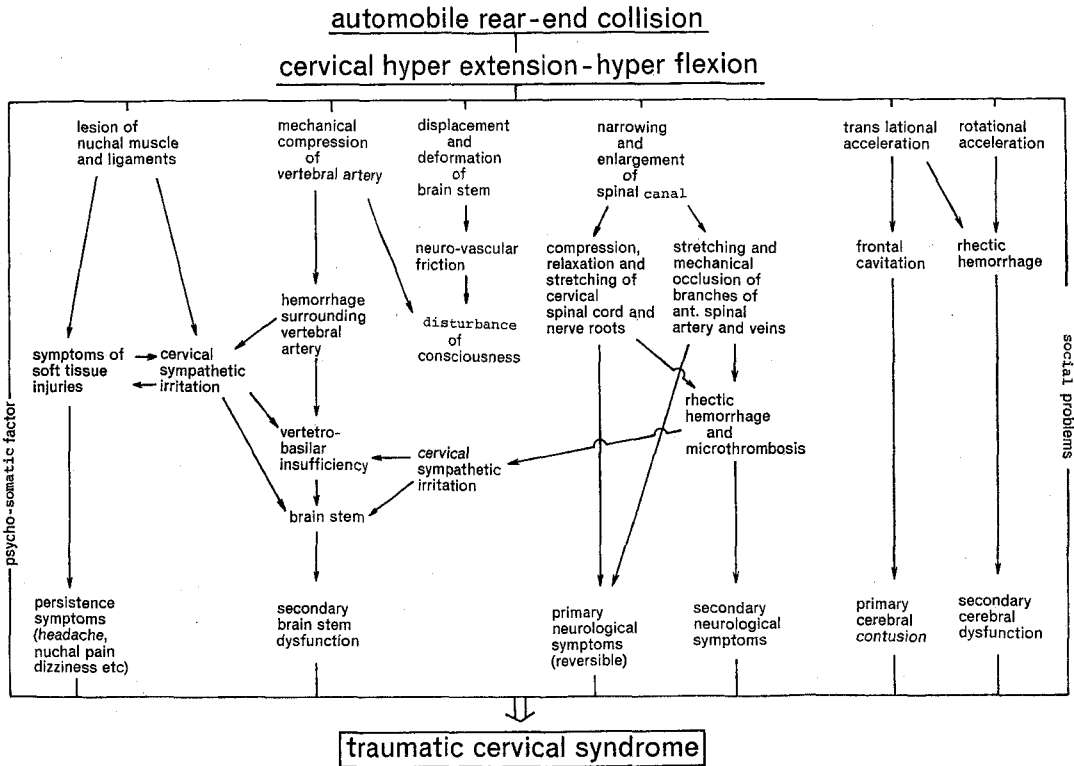


図 15

<sup>29)32)</sup>があるが、未だに不明の点が多い。それは一つに前述したごとく、人体に即した研究が困難であることに因る。

### 1. 脊柱管腔の個人差について

著者が Chrispin 法というやや古い手法を用いた理由は、第一に手技そのものは煩雑であるが、研究材料としての頸部単純X線写真は何処の施設でも簡単に入手可能であり、また研究の結果を臨床に応用しやすいと考えたからである。第二は A.R. Chripin その他の研究者が変形性頸椎症に対して用いた結果より、本研究の目的に対しても応用できると判断したからである。

indirect impact により whip-lash mechanism が働くと、頭蓋内および脊柱管内の構造物に偏位・変形・圧力の変動が生じる。hyperextension により頸部脊柱管は短縮し狭少となり、その内容物である脊髄・神経根・前脊髄動脈を圧迫する可能性がある。その際脊髄を圧迫するか否かは、その個体の脊柱管腔の大きさ、形（骨発育異常・後縦靭帯骨化症・変形性頸椎症など）に因るところが大きい。

著者が行なつた頸部単純X線写真側面像の検討（chrispin 法）では、脊柱管の椎体柱に対する比（C/B）が、平均値より小さい者に脊髄症状が出現し易く、逆に平均値より大きい者では、軟部組織損傷を主体とするもの、あるいは“いわゆる Barré-Lieou syndrome”に移行する症例が多いという結果が出た。

### 2. hyperextension-hyperflexion における形態学的・力学的検討

新鮮屍の観察によれば、hyperextension-hyperflexion によつて脊髄・神経根が弛緩・伸張・圧迫され、損傷を受ける可能性が大きい。特にそれらの関連血管の弛緩・伸張により小出血が起り、二次的に循環障害が惹起されて、神経症状を呈することが考えられる。

A. Breig<sup>31)</sup>, H. Vakiri<sup>32)</sup>は屍体において頸部の過伸展・過屈曲により脊髄の位置変化が起ることを認めている。また J.D. Reid<sup>33)</sup>は屍体において脊髄を前後方向に動かして見て、次のような結果

を報告している。頸部中間位では脊髄を脊側に 3mm 持ち上げるのに 2lb/inch<sup>2</sup>の力で足りるのに、屈曲位においては 30~40lb/inch<sup>2</sup>が必要であるとされている。

一方、著者の観察では hyperextension によつて椎骨動脈が圧縮され、一時的血流遮断が起り、短時間の意識障害をきたしたり、また椎骨動脈周囲の出血を起し、血管挛縮による vertebro-basilar insufficiency<sup>12)20)</sup>が生じ、あるいは頸部交感神経刺激により二次的脳幹障害を生じ、頭痛・項部痛・耳鳴・めまいなどの遷延性の不定愁訴が発症してくるものと考えられる。本症に頭部外傷後遺症と同様の脳幹機能障害<sup>8)18)20)33)34)35)</sup>が存在するという多くの臨床所見と一致している。

### 3. ダミー実験の意義

動物実験では頭頸部とくに頸部が形態学的にヒトと大きく異なるため、実験結果を直ちにヒトに適用することはできない。しかしながら他に方法がないので、動物を用いての研究が幾つかある<sup>8)11)14)23)24)</sup>。

一方、ダミーもその頸部の特性が人間の頸部とは全く異なるという理由から、ほとんど実験に使用されていない。

ヒトとダミーの相違の第一は、人間の頸部では衝突加速度が非常に小さい場合には、頸部筋群の収縮による防御反応が起り、頭・頸部の動きを制限し得る点である。しかし一定の加速度以上の強力な衝撃になると、人間の筋肉の耐性の限界を越え、ダミーとほとんど同じ態度を示すことが考えられる。

ところで人間が情報をキャッチしてから行動を起すまでの反応遅れは 200msec である。D.R. Foust<sup>37)</sup>によればヒトの頸部に外力が加わつてから頸部筋群が反応し始めるのに 60~90msec を要し、頸部の動きをとめるのに十分な反応を示すのにさらに約 60msec を要すると述べている。しかもこの実験では頭部に与えられた加速度は 1 G である。しかるに実際の自動車事故において、自動車同士あるいは、自動車と障害物が接触している時間は 100~200msec<sup>22)</sup>であり、また池田ら<sup>23)24)</sup>

のウサギの実験によれば、過伸展・過屈曲に要する時間は280msecである。このことから推察して人間においても過伸展・過屈曲に要する時間は短く、300msecを越えないと考えられる。すなわち、追突による頸部の hyperextension-hyperflexion movement は、人間の反応態勢が起きるまでに完了してしまうことになる。そうになると、衝突後の頸部筋群の作動はほとんど問題にならず、事前に衝突を予知して衝突時に既に頸部筋群が作働状態にあるか否かが損傷程度を左右することになる。しかしながら人間の頸部筋群の衝撃耐性にも限界がある。H.J. Mery and L.M. Patrick (1971)<sup>10)</sup>によれば、extension において損傷を起さない限界は35ftlbである。

一方、ダミーの頸部は、人間に例えれば衝突前からある程度頸部筋群に力を入れているのに等しい。したがって人間が突然後方より追突された場合には、頭頸部の回転速度、回転角加速度はダミーより高値に出る可能性があるが、力学的現象はほぼダミーと同じと考えて大きな誤りはないと思われる。

ヒトとダミーの相違点の第二は、小脳テントの存在である。小脳テントが存在することにより、衝撃時の前頭部圧には著変は来さないが、後頭部圧は全く異なる可能性がある。同時に脊柱管内圧も異なってくるのが予想される。著者の実験では、小脳テントが存在しないため、大孔を介して後頭部圧および脊柱管内圧が容易に逃げてしまい、圧変化が緩和されている可能性がある。したがって人間において同様の条件で測定したとすると、おそらく後頭部の圧力はダミー実験のデータよりも高値となり、脊柱管内圧も hyperflexion においてより大きな陰圧を発生するものと考えられる。

相違点の第三は、内部に脳および脊髄が存在することである。これら内容物の存在が、各データ上にどのように影響してくるかは、実際に実験してみないと分らない。

上に述べた如く、本研究に使用したダミーと人間の頭頸部とは構造ならびに静的・動的特性にお

いて相違点がみられる。しかしながら rear-end collision による whip-rash phenomenon そのものが、人間の反応遅れ以内に終了する super-rapid phenomenon であるので、本研究で得られたデータは、人体の頭蓋腔および脊柱管腔に近似させた一つの力学系モデルのデータとして、他の研究者の知見を参照とするならば、外傷性頸部症候群の発症機序考察の一助として意義あるものと考えられる。

#### 4. 外傷性頸部症候群の発症機転としての、頭蓋・脊椎管内各部の圧力変動の意義

head rest がない状態では、SFA 10~15G までは前頭部圧は0.35~0.47kg/cm<sup>2</sup>、頸部脊柱管内圧力は0.17~0.42kg/cm<sup>2</sup>であるが、SFA が20Gになると前頭部圧も0.7kg/cm<sup>2</sup>となる。このデータを考察するにあたって参考となるような資料は文献上見あたらないが、おそらく0.5kg/cm<sup>2</sup>ぐらいまでは脳・脊髄に器質的にも機能的にも障害を与えないが、0.7~0.8kg/cm<sup>2</sup>以上になると脳に直接損傷は被らなくとも、瞬間的に当該部位に循環障害が生じ、concussion を惹起する可能性が出てくると考えられる。

一方、head rest があると SFA 20G 以下では陰圧もそれ程強くないが、SFA が30Gになると前頭部圧は-1気圧に達し、cavitation による前頭部脳挫傷が発生し、direct impact による頭部外傷におけると同様の症状を惹起する可能性が考えられる。

#### 5. 頭部回転角加速度について

A.K. Ommaya は一連の実験的頭部外傷の研究<sup>26)~30)</sup>のなかで、cervical collar で頭部の rotational displacement を抑制することにより、脳振盪発症の閾値が高くなることに気づき、1968年 experimental cerebral concussion without direct impact to the head なる entity を発表した<sup>8)</sup>。

A.K. Ommaya<sup>9)</sup>は50頭以上の rhesus monkey に air-compression device を用いて whiplash injury を与え種々検討した結果、頭頂部傍矢状部を中心にくも膜下出血を認めた。その他、大脳半球正中面、前頭・側頭葉先端部、脳幹、上位頸髄にも同

様の出血を認めたと報告している。そしてそれらの猿のうち、concussionを起した猿では rotational acceleration が40,000radians/sec<sup>2</sup>であり、持続時間が10msec 以上であつたとしている。

さらに A.K. Ommaya<sup>11)30)</sup>、江守<sup>25)</sup>は脳重量の異なる三種類の動物(りす猿、アカゲ猿、チンパンジー)における脳振盪を起し得た回転角加速度から、人間における脳振盪レベルは1,600radians/sec<sup>2</sup>であろうと推定している。

著者の実験では、SFA 10G で head rest のない状態において約1,300radians/sec<sup>2</sup>の角加速度が発生していた。このことは、前述したようにダミーの頸部がヒトに例えれば、衝撃前にすでに頸部筋群を収縮させ防御態勢をとつているのに等しいことを考慮するならば、人間においてはおそらく1,600radians/sec<sup>2</sup>前後の角加速度が発生しているものと考えられる。

さて、以上に述べたごと著者の研究結果を基に、外傷性頸部症候群の発症機序を図示すると、図15のように考えられる。

人間において whip-lash mechanism が作用すると、頭頸部には以下のごとき現象が惹起される。

1) 頸部軟部組織の損傷により、項部痛・頭重などの症状が出現するが、これは適切な治療により全治し得る。しかし治療が適切に行なわれないと頸部交感神経刺激との間に悪循環をくり返し、次第に難治性の多彩な不定愁訴を呈するようになる。

2) 椎骨動脈が頸部で機械的に閉塞され、意識障害の原因となり得る。それと同時に椎骨動脈周囲に小出血を起し、それが頸部交感神経刺激と複雑に絡み合つて、二次的に脳幹障害を惹起し、症状をさらに複雑にする。

3. 脳幹自身にも primary の変化が起り得る。頸部の hyperextension-flexion movement に伴い、脳幹および上部頸髄に変位・変形が生じ、脳底動脈から直角に脳幹に入り込んでいる血管との間にズレ(neuro-vascular friction)を起し、これが瞬間的意識障害(concussion)の原因と成り得る。

4) 脊柱管の狭少・拡大に伴い頸髄・神経根ならびに関連血管が圧迫・弛緩・伸張され、一次性的神経障害とともに静脈性出血あるいは micro-thrombosis などにより、二次的に神経症状の悪化・再発を来たす。

5) 頭部においては、脳に並進加速度衝撃が加わり前頭部に相当大きな陰圧を発生し、外力が非常に大きい場合には cavitation が発生して primary cerebral contusion (frontal) が招来される可能性がある。また回転角加速度衝撃により脳に shear strain が働き、脳の表面に出血を起し、secondary cerebral dysfunction の原因となる。

6) 以上に述べた5つの機序により、種々の程度の障害が惹起されるが、これらの症状をさらに複雑にするものとして、患者自身の持つ性格から来る psycho-somatic factor と、加害者との関係から生じる social problems がある。

## 第V章 結 論

(1) ヒト新鮮屍の観察より、頸部の過伸展・過屈曲によつて、頸部脊柱管の狭少・拡大・短縮・伸張が起り、それによつて頸髄・頸神経根の圧迫・弛緩・伸張が惹起されることを確認し、この現象により primary neurological symptoms (reversible) が生じると考えた。

(2) 頸部過伸展・過屈曲により脳幹の変位・変形が起ることを確認した。椎骨動脈は硬膜に固定されており、しかも脳幹の動脈は脳底動脈から直角に分岐している。このため頸部の過伸展・過屈曲によつて脳幹部の神経組織と血管との間にズレ(neurovascular friction)を生ずる。この現象が concussion の原因と考えた。

(3) 椎骨動脈は頸部の過伸展により圧迫されやすく、意識障害の原因となるとともに、椎骨動脈周囲の出血を起し、後に椎骨動脈の牽縮あるいは頸部交感神経刺激により二次的脳幹障害および頭痛・項部痛・耳鳴・めまいなどの遷延性の症状が招来されると考えた。

(4) ダミー実験の結果、head rest を装着(後頭部に密着して)することによつて頸部の過伸展が抑制され、頸部軟部組織の損傷を防止できると

ともに、過伸展に伴う頸髄・椎骨動脈の損傷を減少させることができることを知った。しかし頸部過屈曲は抑止できないので、それによる神経根の障害は防止できない。

(5) head rest 装着により頭部に大きな translational acceleration が発生し、それによつて前頭部に cavitation が発生し、primary cerebral contusion (frontal) が生じる可能性もある。

(6) ダミー実験によれば、台車加速度(SFA)が20G(台車速度59Km/h)で1,300rad/sec<sup>2</sup>の高い回転角加速度が得られた。

(7) 頸部X線側面像において脊柱管腔と椎体柱との重量比(C/B)を測定し、頸部中間位における値(C/B)が男性で0.83, 女性で0.90より小さければ、hyperextension による脊髄の圧迫が起ることが想定された。その値が男性で0.83, 女性で0.90より大きい場合でも、hyperextension-flexion により神経根の障害は起り得る。

稿を終るに臨み、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜わった恩師喜多村孝一教授に深甚なる謝意を表しますと共に、ご指導いただきました第一病理学教室今井三喜教授ならびに法医学教室平瀬文子講師に心から謝意を表します。

また本研究に対し終始ご協力いただきました日本自動車研究第一部の皆様ならびに脳神経外科教室の諸先生にお礼申し上げます。

本論文の要旨は第35回日本脳神経外科学会総会にて報告した。なお本研究は財団法人日本自動車研究所人間工学研究委員会衝突傷害分科会より研究費の一部の援助を受けた。

#### 文 献

- 1) Crowe, H.E.: Injuries to the cervical spine. Presented at the Annual Meeting of the Western Orthopaedic Association, San Francisco, 1928. by I. Macnab, The whiplash syndrome. Ch 19. C.N.S. 20 232~241 (1973)
- 2) Davis, A.G.: Injuries of the cervical spine. J.A.M.A 127 149~156 (1945)
- 3) Gay, J.R. and K.H. Abbott: Common whiplash injury of the neck. J.A.M.A 152 1698~1704 (1953)
- 4) 飯野三郎・他: 頸椎部のいわゆる whiplash injury について, 整形外科 9 153~161 (1958)
- 5) Chrispin, A.R. and F. Lees: The spinal canal in cervical spondylosis J Neurol Neurosurg Psychiat 26 166~170 (1963)
- 6) 喜多村孝一: いわゆる鞭うち症, 脳神経外科の立場から, 第18回日本医学会総会 東京 (1971)
- 7) 河野 宏・他: 外傷性頸部症候群の発症機序に関する一考察—頸部レ線像の検討と新鮮屍脊柱管腔の観察から, 脳・神経外傷 4 473~477 (1972)
- 8) Ommaya, A.K. et al.: Whiplash injury and brain damage. J.A.M.A: 204 285~289 (1968)
- 9) Clemens H.J. and Burow: Experimentelle Untersuchungen zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule beim Frontal- und Heckaufprall, Arch Orthop Unfall-chir 74 116~145 (1972)
- 10) Merz, H.J. and Patick L.M.: Strength and response of the human neck. In 15th Stapp Car Crash Conference Proceedings Society New York of Automotive Engineers. 207~255 (1971)
- 11) Ommaya, A.K. and A.E. Hirsh: Tolerances for cerebral concussion from head impact and whiplash in primates. J Biomechanics 4 13~21 (1971)
- 12) Yagi, M.: Clinical studies on so-called whiplash injury, especially on the significance of retrograde brachial arteriography. Nagoya J. Med Sci 30 177~192 (1967)
- 13) Cammack, K.V.: Whiplash injuries to the neck. Amer J Surg 93 663~666 (1957)
- 14) Unterharnscheidt, F. and L.S. Higgins: Traumatic lesions of brain and spinal cord due to non-deforming angular acceleration of the head, Texas Reports on Biology and Medicine, 27 127~166 (1969)
- 15) Reid, J.D.: Effects of flexion-extension movements of the head and spine upon the spinal cord and nerve roots. J Neurol Neurosurg Psychiat 23 214~221 (1960)
- 16) Macnab, I.: Acceleration injuries of the cervical spine. J Bone Joint Surg 46-A 1797~1800 (1964)
- 17) Ommaya, A.K. and P. Yarnell: Subdural hematoma after whiplash injury. Lancet 2 237~239 (1969)
- 18) 土屋弘吉・他: 実験的鞭打ち損傷の深部脳波パターンについて, 日整会誌, 42 1057~1065 (1968)
- 19) 田中 衛・他: 頸部症候群とくに“鞭打ち損傷”に伴う眼症状についての検討, 脳と神経 21 637~642 (1969)
- 20) 檜 学: Whiplash injury, 診断と治療, 外科治療 22 660~667 (1970)
- 21) Stapp, J.P.: “The problem: biomechanics of injury” The Prevention of Highway Injury, Highway Safety Res. Inst., Univ. Michigan, 159~164 (1967)
- 22) Emori, R.I.: Analytical approach to automobile collisions. Soc of Automotive Engineers # 680016

- 680016 (1968)
- 23) 池田亀夫・他：いわゆる鞭打ち損傷の発生機序ならびに病態. 臨整外 2 272~277 (1968)
- 24) 池田亀夫・小林和昭：いわゆる鞭打ち損傷の発生機序ならびに損傷機転. 臨床外科 22 1655~1659 (1967)
- 25) 江守一郎：事故における人間の特性, 自動車事故工学 (1974) 19頁
- 26) Ommaya, A.K. et al.: Experimental concussion A first report. J Neurosurg. 21 249~267 (1964)
- 27) Ommaya, A.K. et al.: Cerebral concussion in the monkey, An experimental model. Scidnce 153 211~212 (1966)
- 28) Ommaya, A.K.: Trauma to the nervous system, A clinical and experimental study. Ann Roy Coll Surg Eng 39 317~347 (1966)
- 29) Ommaya, A.K. et al.: "The role of whiplash in cerebral concussion" in proceedings of the Tenth Stapp Car Crash Conference, New York: Society of Automotive Engineers 197~203 (1966)
- 30) Ommaya, A.K. et al.: "Scaling of experimental data in cerebral concussion in sub-human primates to concussive thresholds for man", in Proceeding of the 11th Satapp Car Crash Conference, New York: Society of Automotive Engineers, 47~52 (1967)
- 31) Breig, A.: Biomechanics of the central nervous system, Some basic normal and pathological phenomena concerning spine, discs and cord. Almgvist and Wiksew, Stockholm (1960)
- 32) Vakili, H.: The spinal cord, New York, Intercontinental Medical Book Corp. (1967)
- 33) 檜 学・他：神経耳科からみたいわゆるむちうち損傷, むちうち損傷, 伊丹康人編 金原出版 (1972) 65~118頁
- 34) 長島親男・他：いわゆる「鞭打ち損傷」の後遺症. ことに radiculopathy, myelopathy, vertebro-basilar insufficiency の3つの病型を中心として. 脳と神経 20 394 (1968)
- 35) 榎崎嗣郎：眼科の立場から, 外傷性頸部症候群の診断と治療. 武田薬品工業株式会社, 110~127 (1972)
- 36) Schutt, C.H. and F.C. Dohan: Neck injury to women in auto accidents, a metropolitan plaque. J.A.M.A 206 2689~2692 (1968)
- 37) Foust, D.R. et al.: Cervical range of motion and dynamic response and strength of cervical muscles. SAE 730975 285~308 (1973)