

家兎球海綿体筋反射の電気生理学的研究

—健常家兎および脊髄損傷家兎での検討—

竹中 晋

球海綿体筋反射 (Bulbocavernosus reflex, BCR) は末梢神経障害や脊髄損傷時の各種指標として臨床的に用いられている。しかし、動物モデルを対象とした電気生理学的研究についての報告は数少ない。この研究では23羽の健常家兎を用いて BCR の誘発筋電図の記録を試みた。さらに、このうち22羽の家兎では第12胸椎レベルでの脊髄損傷を作製し、BCR に及ぼす影響について検討した。

健常家兎の BCR には潜時の異なる2種類の波形を認めることができた。8.4~19.4 msec の潜時を持つ短潜時波形 (SLW) は、仙髄を介した多シナプス性反射であり、50.0~94.0 msec の潜時を持つ長潜時波形 (LLW) も脊髄損傷後に残存することより損傷部以下に存在する反射回路からの放電と考えられた。

核上性脊髄損傷後早期より BCR は出現し、誘発筋電図で明らかな脊髄ショックの時期を認めることができなかった。SLW は脊髄損傷後2週間、4週間で潜時、持続時間、振幅に有意な変化は認めなかった。LLW は健常家兎に比べ脊髄損傷後4週間で潜時が短縮し持続時間が延長する傾向が認められた ($p < 0.1$)。損傷部以下の後肢筋には著明な痙縮と筋萎縮を生じたが、陰部神経支配筋群には明らかな変化は認められなかった。家兎の BCR は上位中枢の影響を受けにくい反射と考えられた。

(平成7年9月26日採用)

Electrophysiological Investigation of the Bulbocavernosus Reflex (BCR) in Rabbits

—BCR of Normal Rabbits and Spinal Cord-Injured Rabbits—

Susumu TAKENAKA

The bulbocavernosus reflex (BCR) is used clinically as an indicator of peripheral neuropathy or spinal cord injury. However, there have been few reports about electrophysiological examination of the BCR in animals. In this study, the BCR in 23 normal male rabbits was recorded by electrical stimulation of the dorsal area of the penis. Spinal cord transection at Th.12 was then performed on 22 of these rabbits, and the BCR in these spinal cord-injured rabbits was recorded at two weeks and four weeks after operation.

The BCR was induced in all normal rabbits and two kinds of waves were differentiated. The short latency wave (SLW) was a polyphasic wave with a latency

of 12.7 ± 2.6 msec (mean \pm SD). The mean duration and the mean amplitude were 31.5 ± 9.6 msec and $294.0 \pm 172.9 \mu\text{V}$, respectively. Following SLW, the long latency wave (LLW) was recorded, the latency of which was 50.0 to 94.0 msec. The mean latency, the mean duration, and the mean amplitude were 70.2 ± 12.8 msec, 413.2 ± 84.8 msec, and $122.8 \pm 42.3 \mu\text{V}$, respectively. It is suggested that SLW is a polysynaptic reflex occurring through the sacral spinal cord and LLW is a discharge from the reflex arc existing below Th.12.

The BCR was induced in all spinal cord-injured rabbits at Th.12 within 30 min. after spinal cord transection. The BCR of rabbits is thought to be a reflex which is resistive to spinal shock. No change was observed in the parameters of SLW at two weeks and four weeks after operation. At four weeks after operation, the latency of LLW was shorter and the duration of LLW was longer than normal ($p < 0.1$).

Severe muscle atrophy and spasticity appeared in the lower leg muscles below injured spinal level, whereas pudendal nerve-innervated muscles appeared to be in a normal condition. It is suggested that the BCR of rabbits is little influenced by spinal cord transection. (Accepted on September 26, 1995) *Kawasaki Igakkaishi* 21(3): 139-148, 1995

- Key Words**
- ① Bulbocavernosus reflex
 - ② Electrophysiological examination
 - ③ Spinal cord injury

はじめに

球海綿体筋反射 (Bulbocavernosus reflex, 以下 BCR と略す) は糖尿病や慢性アルコール中毒などで生じる末梢神経障害の診断や脊髄損傷時の損傷レベルや損傷程度の指標などに臨床上用いられている。しかし、健常者でも陰性となる場合があり、その評価も検者の主観に負うところが大きいため、漏れなく神経学的変化を検出するには信頼性に乏しいと思われる。客観的評価方法として BCR を電気生理学的に検討した報告はいくつかあり^{1)~10)}、神経因性膀胱やインポテンツの診断に有用であることが示されてきている。イヌや家兎などの動物モデルでもヒトと同様に BCR を誘発することが可能であるが、今まで動物モデルを対象とした基礎的な電気生理学的研究は少数の報告を見出すのみである^{11),12)}。また、前に述べたように脊髄損傷後の各種指標

に用いられるが、核上性脊髄損傷後に生じる仙髄反射弓の状態を調べるのに BCR の誘発筋電図は利用できる可能性がある。しかし、現在まで著者の検索した範囲では詳細な検討をしたという報告は探しえなかった。この研究では動物モデルとして家兎を用い、BCR の誘発筋電図によりその特性を調べ、核上性脊髄損傷後に生じる変化を検討した。

対象と方法

A. 表面電極による BCR の導出

1. 実験動物

体重 2.5~3.6 kg の成熟雄家兎23羽を用いた。家兎は神経因性膀胱のモデルとして過去にも用いられ¹¹⁾、陰茎亀頭部の急激な圧迫で BCR を容易に誘発することが可能である¹²⁾。

2. 実験方法

Somnentyl™ 0.5 ml/kg (Pentobarbital

sodium として32.4 mg/kg) 静脈内投与による全身麻酔を行い、背臥位に固定した。実験室内温度は約26度で、20分またはそれ以上実験室においてから全身麻酔を行い、以下に述べる実験を行った。

全身麻酔後の口腔内体温変化は0.5°C以下で、麻酔前後での変化は認められなかった。なお、麻酔深度の時間的な変化による影響を少なくするために、麻酔から20分以内に終了するように実験を行った。筋電計は日本光電製 Neuro-pack Four (MEM-4104) を使用し、高域フィルタ 3 kHz, 低域フィルタ 100 Hz に周波数帯を設定した。記録電極にはディスプレイスプルスフィンクター電極 (DANTEK, 13L81, Fig. 1a) の円形表面電極部分 (直径 6mm) を半円形に切り家兎の肛門内に挿入できる大きさにしたものを独自に作製した。なお、電極間には表面電極部分と同じ大きさのスポンジがあり、電極が肛門内に固定されやすいように作り替えた (Fig. 1b, 2a)。接地電極は大腿上部に固定した。刺激電極には市販のセイリン[®] 鍼灸針 2 本を用いて極間距離 4 mm の双極とし、先端部分をフック状に曲げ (Fig. 2b)、陰茎背面に取付け経皮的に電気刺激を行った (Fig. 3)。電気刺激には持続時間 0.2 msec, 刺激頻度 1 Hz の矩形波を用い、徐々に刺激強度を増していった。そして安定した波形となったところで連続した 8 掃引を記録した。

また、以下の a~b の追加実験を行った。

a. 慣れ現象 (habituation) の

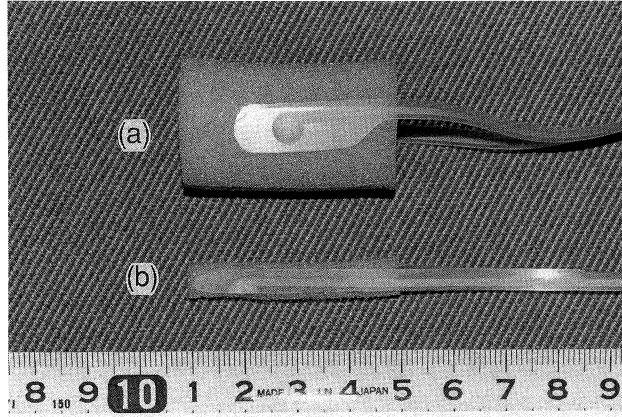


Fig. 1. (a) Human sphincter electrodes
(b) The surface electrodes were modified from human sphincter electrodes for insertion into the rabbit's anal canal.

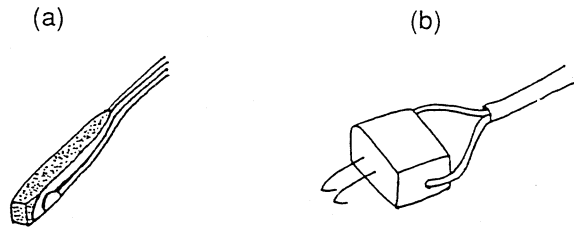


Fig. 2. (a) Surface electrodes (b) Stimulating electrode

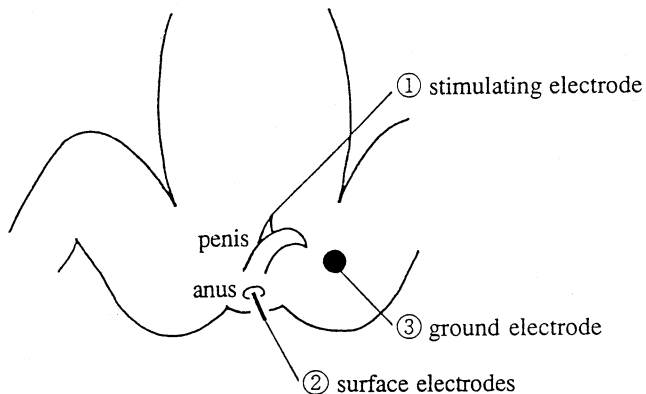


Fig. 3. Bulbocavernosus reflex recording technique.
① The stimulating electrode was placed on the dorsal area of the penis and stimulated with a frequency of 1Hz and a duration of 0.1 msec.
② The surface electrodes were held in the anal canal.
③ The ground electrode was placed on the thigh.

検討

持続時間 0.2 msec, 刺激頻度 1 Hz での刺激後に, 持続時間 0.2 msec, 刺激頻度を 5 Hz に変更して連続刺激を行い, 誘発電位の持続時間, 振幅の変化を観察し, 慣れ現象について検討した.

b. 針電極による誘発電位の導出

誘発電位が後肢筋からの体積伝導ではなく, 陰部神経支配筋群からのものであることを確認するため, 記録電極として針長 20 mm の同心型針電極 (NM-120T) を用いて, 経皮的に外肛門括約筋および坐骨海綿体筋に刺入し, 表面電極と同様の方法で誘発筋電図を記録した. 後肢筋としては大腿筋膜張筋, 腓腹筋からの誘発筋電図記録を試みた.

B. 脊髄損傷後の BCR の記録

健常な状態で BCR を記録した 23 羽の家兎のうち 22 羽に対して第 12 胸椎レベルでの脊髄損傷を作製し, 術後 2 週間, および 4 週間の時点で BCR の記録を行った. 記録は健常家兎と同様の方法で行った. なお, 最初の計画には含まれていないが, 実験の途中で脊髄損傷直後の BCR の有無の検討も必要と考え, 9 羽については手術直後にも BCR の記録を行った. 脊髄損傷作製から BCR の記録までは遅くとも 30 分以内であった. また, 残り 1 羽で反射の消失を確認するため第 5 腰椎レベルで脊髄損傷を作製し同様の実験を行った.

a. 第 12 胸椎レベルでの脊髄損傷作製

Somnopentyl™ 0.5 ml/kg (Pentobarbital sodium) として 32.4 mg/kg) の静脈内投与により全身麻酔を行い, 腹臥位に固定した. まず, 第 12 胸椎を目印として, その上下 1 椎体にわたり皮膚切開を加え傍脊柱筋群を露出した. 傍脊柱筋群を脊椎から剝離し, 丸のみ鉗子で第 12 胸椎の棘突起・椎弓を除去し硬膜を露出した. そして硬膜とともに脊髄を電気メスで一気に横断し脊髄損傷を作製した. 脊髄横断時に出血するためポーンワックスによる止血を行い, 生理食塩水で洗浄後に筋肉, 筋膜, 皮膚の順に縫合を行った. このレベルでの脊髄損傷は核上性の脊

髄損傷となる.

b. 第 5 腰椎レベルでの脊髄損傷作製

第 12 胸椎レベルでの脊髄損傷作製と同様の方法で, 第 5 腰椎の棘突起と椎弓を切除し, 露出した硬膜上から電気メスで脊髄を一気に切断した. 術後の処置も第 12 胸椎レベルでの脊髄損傷と同様の方法で行った. このレベルでの損傷は核性の脊髄損傷となる.

c. 術後管理

術後管理として褥瘡, 関節拘縮の予防に 1 日最低 2 回の体位変換と後肢の丁寧な他動的関節可動域訓練を行った. 排尿は膀胱の反射性収縮が回復するまで 3 Fr ネラトンカテーテルによる 1 日 2 回の間欠導尿を行った. 排便は自然排便に任せた. 飼料は家兎用の固形飼料を与えた. 給水はケージに固定した給水瓶を用いたが, 飲水できない場合には, 直接給水瓶を家兎の口元にあてがい飲水させた.

結 果

1. 健常家兎の BCR

(1) 誘発筋電図のパラメーター

全身麻酔後, 陰茎背部に電気刺激を加えると潜時が 8.4~19.4 msec と 50.0~94.0 msec にある 2 種類の波が出現した. 潜時の短い波を短潜時波形 (short latency wave, 以下 SLW と略す), SLW に引き続き出現する持続時間の長い波を長潜時波形 (long latency wave, 以下 LLW と略す) と呼ぶ. SLW は刺激強度を増すに従い潜時が短縮し, 持続時間が延長し, 多相化し, 振幅も増大する傾向を示した (Fig. 4). さらに刺激を増していくと安定化した波形が得られるようになった. そこで安定化したところで連続した 8 掃引を記録し, Figure 5 のように重畳させて潜時, 持続時間, 振幅をパラメーターとして計測した. 従って, 潜時は最短潜時, 持続時間は最長持続時間, 振幅は最大振幅を意味する. SLW の潜時は 12.7 ± 2.6 msec, 持続時間は 31.5 ± 9.6 msec, 振幅は 294.0 ± 172.9 μ V (それぞれ mean \pm SD) であった. LLW は

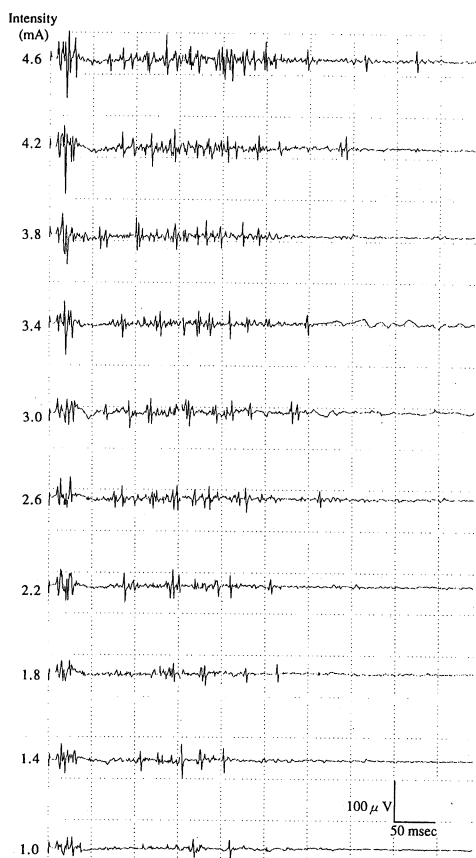


Fig. 4. Consecutive recordings of the bulbocavernosus reflex. The latency was gradually diminished and the duration was prolonged as the stimulation was increased.

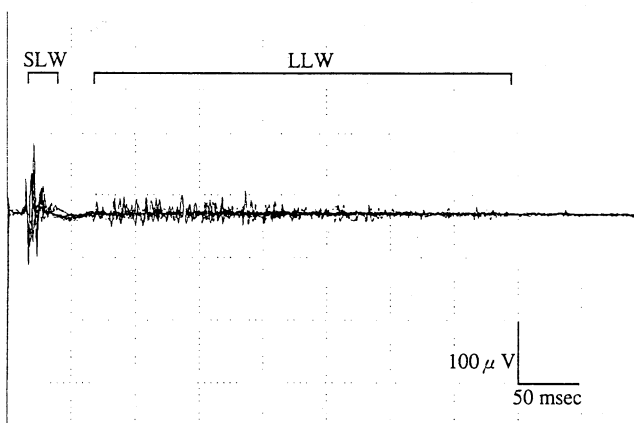


Fig. 5. Eight consecutive responses were recorded and superimposed. The latency, the duration, and the amplitude of SLW and LLW were measured.

SLW に比べて波の出現が不安定で、刺激毎に潜時と持続時間がかかなり変動した。波に2, 3個のピークが存在する場合もあった。SLWと同様に刺激強度を増すに従い潜時が短縮し持続時間が延長する傾向を認めた。振幅も増大する傾向を認めたが、多くの場合、SLWより低振幅を示していた。LLWのパラメーターをSLWと同様の方法で計測したところ、潜時は 70.2 ± 12.8 msec, 持続時間は 413.2 ± 84.8 msec, 振幅は $122.8 \pm 42.3 \mu\text{V}$ (それぞれ mean \pm SD)であった。

(2) 慣れ現象の検討

5 Hzの刺激頻度で20~40回の連続刺激を与えたところ、振幅の低下や持続時間の短縮など明らかな慣れ現象による減衰は認められなかった。逆に、連続刺激によりSLW, LLWともに振幅増大を示す個体が認められた。

(3) 針電極を用いたBCRの記録

外肛門括約筋、坐骨海綿体筋の両筋から誘発筋電図を記録することが可能であった。針電極による誘発筋電図の記録では表面電極のものと同様の性質を示した。外肛門括約筋浅層の誘発電位は外肛門括約筋深層や坐骨海綿体筋に比べ導出しにくく、振幅も低い傾向を示した。なお、同時に記録した大腿筋膜張筋、腓腹筋からの誘導は電気的にsilentであった。

2. 脊髄損傷モデルについて

(1) 術後状態

生存率・死亡原因：第12胸椎レベルで脊髄損傷を作製した22羽中15羽は術後2週間生存、そのうち11羽が4週間生存した。4週以内に死亡した11羽の死亡原因は脊髄切断直後のショック死と思われる例が1羽、術後食餌摂取不良のための衰弱死が5羽、残り5羽は尿路感染、膀胱出血が引き金となり死亡したものと思われた。

体幹・後肢の状態：第12胸椎レベルでの脊髄損傷家兎は全例とも手術直後には全身麻酔の影響もあり後肢

は弛緩性麻痺を呈していた。しかし、手術の翌日には後肢の他動的関節可動域訓練を行う際に大腿部前面の筋群で筋緊張が亢進しているのを認めた。後肢の筋緊張は日ごとに増強し、術後2週間を過ぎた時点で全例に足関節のクローヌスを認めた。2週以上生存した例は後肢全体に著明な筋萎縮を呈していた。また、4週生存例では主に後肢屈曲位での関節拘縮を認めた。第5腰椎レベルでの脊髄損傷家兎は術後、後肢は弛緩性麻痺の状態が持続した。

手術創、褥瘡：1羽で手術部の感染により創の離開を生じたが、他はすべて明らかな創部の感染は生じなかった。膝、骨盤部に褥瘡と思われる表皮剝離を7羽に認めたが、直径1 cm以上の褥瘡を形成した例はなかった。

排泄：第12胸椎レベルの損傷では術後より尿閉の状態が続き、1日2回の間欠導尿を行った。2週間以上生存した15羽中13羽では術後5日目から2週間に間欠導尿の間にも尿失禁を生じ、また、腹部の刺激や後肢の伸展により反射性排尿を認めた。排便は全例とも手術翌日には自然に糞便が排出されるのが確認できた。排便時、健常家兎と同様に肛門には収縮と弛緩のリズミカルな運動が認められた。

第5腰椎レベルでの脊髄損傷家兎も術後より尿閉を来したが、腹部を圧迫することにより容易に排尿させることができた。また、2週間の期間中に導尿間に尿失禁は認められなかった。

(2) 脊髄損傷家兎のBCR

第12胸椎レベルでの脊髄損傷では手術直後に家兎の陰茎を手指で圧迫すると、筋電図上に群化した放電が認められた。陰茎背部の電気刺激を行うことにより、健常家兎と同様にSLW, LLWの両波を確認できた。なお、SLWは術後2週間、4週間の時点で全例に認めることができた

が、LLWは術後2週間では15羽中2羽に、4週間では11羽中1羽に認めることができなかった。SLWは術後2週間で潜時 11.7 ± 3.4 msec、持続時間 28.1 ± 5.9 msec、振幅 $239.1 \pm 166.1 \mu V$ であり、健常家兎と有意差は認められなかった。術後4週間では潜時 13.6 ± 3.4 msec、持続時間 27.8 ± 5.9 msec、振幅 $266.1 \pm 257.6 \mu V$ で、健常家兎と比較してどの値も有意な変化は認めなかった(Table 1)。LLWは術後2週間で潜時 66.8 ± 33.6 msec、持続時間 439.7 ± 63.1 msec、振幅 $121.1 \pm 56.8 \mu V$ 、術後4週間では潜時 61.3 ± 11.7 msec、持続時間 489.4 ± 146.3 msec、振幅 $119.9 \pm 58.4 \mu V$ で、有意水準を $p < 0.1$ とすれば健常家兎と術後4週間とで潜時、持続時間に有意差がある。振幅は術後有意な変化は認めなかった(Table 2)。第5腰椎レベルの脊髄損傷では陰茎背部の電気刺

Table 1. Parameters of short latency wave (SLW) in normal rabbits and spinal cord-injured rabbits

	latency (msec)	duration (msec)	amplitude (μV)
① normal	12.7 ± 2.6	31.5 ± 9.6	294.0 ± 172.9
② 2 weeks	11.7 ± 3.4	28.1 ± 5.9	239.1 ± 166.1
③ 4 weeks	13.6 ± 3.4	27.8 ± 5.9	266.1 ± 257.6

① normal rabbits (n=23)

② spinal cord-injured rabbits at 2 weeks after operation (n=15)

③ spinal cord-injured rabbits at 4 weeks after operation (n=11)

Table 2. Parameters of long latency wave (LLW) in normal rabbits and cord-injured rabbits

	latency (msec)	duration (msec)	amplitude (μV)
① normal	70.2 ± 12.8	413.2 ± 84.8	122.8 ± 42.3
② 2 weeks	66.8 ± 33.6 *	439.7 ± 63.1 *	121.1 ± 56.8
③ 4 weeks	61.3 ± 11.7	489.4 ± 146.3	119.9 ± 58.4

* $p < 0.1$

① normal rabbits (n=23)

② spinal cord-injured rabbits at 2 weeks after operation (n=13)

③ spinal cord-injured rabbits at 4 weeks after operation (n=10)

激を行っても手術直後より明らかな誘発筋電図は得ることができず、術後2週間でも同様の結果であった。

考 察

BCRは陰茎亀頭部を圧迫することにより球海綿体筋や坐骨海綿体筋など陰部神経支配筋群が収縮する反射である。临床上、球海綿体筋や坐骨海綿体筋の収縮を皮膚上から確認するのは難しいため、肛門内に示指を入れて同じ陰部神経支配の外肛門括約筋の収縮を調べる方法がよく用いられている。しかし、健常者でも反射の陽性率が男性で98%、女性で81%との報告もあり¹⁾通常の検査手技ではBCR陽性者が陰性と判定される可能性がある。また、主観的な検査手技であるため、漏れなく神経学的変化を検出するには信頼性に乏しいと思われる。臨床的手技とは別に、筋電図検査としてRushworth²⁾はヒトBCRを誘発筋電図として記録し、健常者では潜時が35~40msecであったと報告している。Sirokyら³⁾はRushworthと同様の方法でBCRの潜時を求め、健常者で 35.2 ± 2 msec、陰部神経病変を有する患者については潜時が延長していたと述べている。さらにBCRの誘発筋電図は末梢神経障害による神経因性膀胱やインポテンツの診断に有効であり、さらに脊髓誘発電位を併用すればより詳細な検討も可能であるといわれる^{4),5)}。

一方、BCRが動物モデルで誘発されることはよく知られている。中新井¹²⁾は家兎の陰茎亀頭部に触刺激を加え、球海綿体筋に著しい収縮が生じ、筋電図上で著明な群化した放電が得られたことを報告している。Pescatoriら¹³⁾は脊髓損傷ラットの陰茎背神経を電気刺激し球海綿体筋からの活動電位を導出した。しかし、動物モデルでBCRの誘発筋電図を詳しく検討した報告は著者の検索した範囲内では認めなかった。著者は家兎用の表面記録電極と刺激電極を作製し、家兎BCRの導出を試み、2種類の波形を記録することができた。

まず、SLWについて考察を加える。SLWは陰茎亀頭部への刺激後、最初に出現する潜時の短い波で、いくつかの点でヒトBCRと似通った性状を有していた。すなわち、波形は多相性を示し、刺激毎に波形が変化し、刺激強度を増強するに伴い潜時が短縮した。また、連続刺激による慣れ現象も認められなかった。ヒトBCRは仙髄を介した多シナプス性反射であると述べられており⁵⁾、著者の記録したSLWもヒトBCRと以上のような点で似通った性状を有していたことより仙髄を介した多シナプス性反射の可能性が大である。今後、反射弓の伝導速度測定などにより確認していく必要がある。

次にLLWについて考察する。四肢の屈曲反射と同様に陰部神経の刺激により長ループ反射が存在しても不思議ではない。ヒトBCRにも長ループ反射を想定させる波が出現するという報告はあるが^{6),7)}、常時出現するものではなく、潜時も一定しないため誘発筋電図のパラメーターについての詳細な検討は行われていない。著者の行った家兎BCRの誘発筋電図においてもSLWに引き続き持続時間の長い放電(LLW)を健常家兎では常に認めることができた。

LLWには2, 3個のピークを認める場合もあるため、さらにいくつかの成分から構成されている可能性がある。その中に長ループ反射が存在する可能性もあるが、脊髓損傷後でも消失しないことよりLLWを構成している主な成分は損傷部以下に存在する反射回路からの放電であると思われる。このような持続時間の長い放電が出現する生理的な意義は不明であるが、興味深い反応である。

BCRは脊髓損傷患者の診察において重要な検査のひとつである。損傷レベルの推定や脊髓ショックからの回復の指標に利用される。

脊髓損傷後、損傷部位以下には脊髓ショックが出現する。ヒトの脊髓ショックの期間、程度は個体間で非常に異なるが、受傷後3, 4日から6週間程度続くと言われる。この期間は動物種によっても異なり大脳の発達と比例するとも言われている¹⁴⁾。平泉ら¹⁵⁾は家兎の胸髄損傷モデ

ルでは術後1～2日で後肢の痙縮が出現し脊髄ショックの期間がヒトに比べて著しく短かったと報告している。脊髄ショック後、深部腱反射よりも早く下肢屈曲反射やBCRは回復すると言われているため^{14),16)}、著者は脊髄損傷作製直後にBCRの誘発筋電図導出を試みたところ、記録を行った全例で術後30分以内にBCRを認めることができた。今回の結果より家兎のBCRは脊髄ショックの影響を受け難く、反射は消失しないか、消失したとしても非常に短時間であることがわかった。

脊髄ショックからの回復に伴い、損傷部以下の後肢筋では筋緊張が亢進し、痙縮を呈するようになる。既に述べたように家兎では術後1、2日で痙縮が出現し始め、徐々に増強し、著者の観察でも2週間以上経過観察できた個体では後肢に著明な足クローヌスを確認できた。後肢の著しい痙縮と筋萎縮と比較し核上性脊髄損傷家兎の肛門部は外観上明らかな萎縮は認められず、排便時には外肛門括約筋のリズミカルな収縮と弛緩を認めることができ、健常家兎と何ら変わりはないように思われた。

脊髄損傷患者においてBCRを電気生理学的に検討した報告は数少ない。Blaivasら¹⁾は仙髄の完全病変患者全例でBCRが消失し、上位病変患者では93%で筋電図上にBCRを認めたと述べている。Ertekinら⁸⁾はBCRの潜時について脊髄病変を有する患者で健常者と有意な差は見られなかったと報告しているが、Bilkey⁹⁾は潜時が短縮したと報告している。

以上のように脊髄損傷後のBCRを潜時について検討した報告はあるが、その他の値について評価し、脊髄損傷後のBCRの状態について詳細に検討した報告は著者の検索した範囲内では認めなかった。

延髄、橋を反射中枢とする瞬目反射のR2成分を例にとると、多シナプス性反射の興奮性を評価するパラメーターとして振幅、持続時間、EMG活動が用いられている¹⁷⁾。瞬目反射と同様に多シナプス性反射と思われる家兎BCRのパラメーターとして著者は潜時の他に、持続時間、振

幅を用いて核上性脊髄損傷後のBCRの評価を試みた。その結果、SLWの潜時、持続時間、振幅ともに術後2週間、4週間の経過で各値ともに有意な変化を認めなかった。

このようにSLWの各パラメーターに変化を認めなかった原因について考察を加える。まず第一に考えられることは、家兎BCRは上位中枢の影響を受けにくく、核上性脊髄損傷によっても仙髄反射弓に影響を生じなかったということである。脊髄損傷後でも排便機能に明らかな変化が認められなかったことは上記の仮説の説明となるかも知れない。第二には仙髄の反射性が亢進していたとしても、SLWのパラメーターに直接反映されなかったのかも知れない。但し、LLWの変化に関連していた可能性も残っている。

各種神経筋疾患で四肢の骨格筋と陰部神経支配筋群とで障害の程度が大きく異なっていることはよく知られている¹⁸⁾。脊髄損傷後の排泄機能を検討する際にも外肛門括約筋など陰部神経支配筋群の特異性について考慮する必要があると思われた。

結 語

動物モデルとして家兎を用いて、球海綿体筋反射の誘発筋電図記録を試みた。更に脊髄損傷モデルを作製して誘発筋電図の変化を検討し、以下の結果を得た。

1. 健常家兎の全例で誘発筋電図を記録することができた。
2. 家兎BCRの誘発筋電図には潜時の異なる2種類の波形、すなわちSLWとLLWを識別できた。
3. 健常家兎のSLWは潜時 12.7 ± 2.6 msec、持続時間 31.5 ± 9.6 msec、振幅 $294.0 \pm 172.9 \mu V$ 、LLWは潜時 70.2 ± 12.8 msec、持続時間 413.2 ± 84.8 msec、振幅 $122.8 \pm 42.3 \mu V$ (それぞれmean \pm SD)であった。
4. SLWはヒトBCRと似通った性質を有しており、仙髄を介した多シナプス性反射と考

えられた。

5. 核性脊髄損傷家兎では誘発電位は消失したが、核上性脊髄損傷家兎では全例で手術直後から誘発筋電図を記録することができた。家兎 BCR は脊髄ショックの影響を受けにくい反射であると思われた。
6. 核上性脊髄損傷後、4 週間の経過で SLW のパラメーターに有意な変化は認めなかった。LLW は潜時が短縮し、持続時間が延長する傾向を示した。
7. 核上性脊髄損傷家兎では後肢筋に著明な

筋萎縮と痙縮を認めたが、排便状態は健常家兎と明らかな変化は認めなかった。

8. 以上より家兎 BCR は上位中枢の影響を受けにくい反射であり、脊髄損傷後の排泄機能を検討する際に、陰部神経支配筋群の特異性を考慮する必要があると思われた。

稿を終えるにあたり、ご指導ならびにご校閲を賜りました川崎医科大学リハビリテーション科 明石 謙教授に深謝いたします。

文 献

- 1) Blaivas JG : The bulbocavernosus reflex in urology : a prospective study of 299 patients. J Urol 126 : 197-199, 1981
- 2) Rushworth G : Diagnostic value of the electromyographic study of reflex activity in man. Electroenceph Clin Neurophysiol suppl 25 : 65-73, 1967
- 3) Siroky MB, Sax DS, Krane RJ : Sacral signal tracing : the electrophysiology of the bulbocavernosus reflex. J Urol 122 : 661-664, 1979
- 4) Opsomer RJ, Zorola CF, Pesce F, Rossini PM : Neurophysiological evaluation of central-peripheral sensory and motor pudendal fibres. Electroenceph Clin Neurophysiol 74 : 260-270, 1989
- 5) Ghezzi A, Callea L, Zaffaroni M, Montanini R, Tessera G : Motor potentials of bulbocavernosus muscle after transcranial and lumbal magnetic stimulation : comparative study with bulbocavernosus reflex and pudendal evoked potentials. J Neurol Neurosurg Psychiatry 54 : 524-526, 1991
- 6) Mehta AJ, Viosca SP, Korenman SG, Davis SS : Peripheral nerve conduction studies and bulbocavernosus reflex in the investigation of impotence. Arch Phys Med Rehabil 67 : 332-335, 1986
- 7) Dressler D, Schonle PW, Neubauer H : Central motor conduction time to bulbocavernosus muscle : evaluation by magnetic brain stimulation and testing of bulbocavernosus reflex. J Neurol 237 : 239-241, 1990
- 8) Ertekin C, Reel F : Bulbocavernosus reflex in normal men and in patients with neurogenic bladder and/or impotence. J Neurol Sci 28 : 1-15, 1976
- 9) Bilkey WJ : Clinical application of sacral reflex latency. J Urol 129 : 1187-1189, 1983
- 10) Moon JH, Kang SW, Chun SI : Pudendal somatosensory evoked potential and bulbocavernosus reflex testing in erectile dysfunction. Yonsei Med J 34 : 71-77, 1993
- 11) Hiraizumi Y, Hisamitsu T, Ichikawa S, Fujimaki E : Long term observation of micturition by spinal cord transected rabbits. Physiol Behav 41 : 331-339, 1987
- 12) 中新井邦夫 : 膀胱外括約筋の筋電図に関する研究 第3報. 泌尿紀要 18 : 353-362, 1972
- 13) Pescatori ES, Calabro A, Artibani W, Pagano F, Triban C, Italiano G : Electrical stimulation of the dorsal nerve of the penis evokes reflex tonic erections of the penile body and reflex ejaculatory responses in the spinal rat. J Urol 149 : 627-632, 1993
- 14) Guttmann L : Spinal Cord Injuries. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 1973, pp 219-236
- 15) 平泉 裕, 藤巻悦夫, 副島和彦 : 脊損家兎による痙性麻痺と弛緩性麻痺の比較. リハビリテーション医学 25 : 459-465, 1988

- 16) Austin G : The Spinal Cord. ed by Austin G, 2nd ed. Springfield, Charles C Thomas. 1972, pp 265—267
- 17) 栢森良二：瞬目反射の臨床応用. 東京, 医歯薬出版株式会社. 1993, pp 55—56
- 18) 作田 学：外肛門括約筋の筋電図. 臨床脳波 20 : 251—257, 1978