自由落下刺激による筋電図反応†

坂 田 義 治・久 保 武*・松 永 亨*
越 宗 麻 子**・酒 井 俊 一**

平衡機能検査によって内耳前庭障害の有無を知ることができるが、多くの検査は三半規管、特に外側半規管の機能を調べるもので、平衡斑の機能を調べる検査は限られている。

意図していないときに突然体が自由落下すると、恐懼反射により全身の筋肉の活動亢進が起こることが知られている¹⁾。この反射は迷路機能廃絶者ではみられないことや²⁾³⁾、動物実験の結果から、平衡斑が刺激された結果起こることが明らかになってきている⁴⁾。今回我々は、自由落下刺激装置を試作し、健康成人における筋電図反応を解析したので報告する。

対象及び方法

被験者は、平衡機能障害、運動障害のない健康成人で、年齢は、19歳から40歳の男性である。被験者はマグネットで保持されているハンドルにぶら下がり（図1）、被験者の予期しないときに約20 cmの高さから突然落下させ、この際の筋電図の変化を解析した。各被験者毎に、機械操作による突然の落下刺激5回、被験者自身の意志によってハンドルより手を離しての落下5回を行い、落下開始より各筋の初期活動までの潜時を計測した。今回測定した筋は、眼輪筋、前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋の4種で、筋電図用皿電極を約2 cm離して双極にて用い記録した。

図2に測定装置のブロックダイアグラムを示す。ヘッドバンドにて頭部に加速度計を固定し、落下時の頭部の加速度を計測した。着地のタイミングは足底と着地点に電極をおき電気的接点により記録した。筋活動電位、頭部にかかる加速度、接地タイミングを一旦データレコーダに記録し、off lineにてシグナルプロセッサ 7T18（日本電気三栄）を用い解析した。

図1 被験者と落下刺激装置

ブロック・ダイアグラム

図2 測定装置のブロックダイアグラム

†Reflex EMG Activities Induced by Sudden Free Fall in Normal Human Subjects

Yoshiharu Sakata, Takeshi Kubo*, Touru Matsunaga*, Asako Koshimune** and Shunichi Sakai**

大阪船員保険病院耳鼻咽喉科

*大阪大学医学部耳鼻咽喉科学教室

**香川医科大学耳鼻咽喉科学教室

結 果

図3(A)に突然の落下刺激による眼輪筋筋電図の記録例を示す。上段より右及び左眼輪筋筋電図、次いで着地タイミング、頭部加速度の記録である。この例では落下開

図3 機械操作による突然の自由落下時の筋電図記録 (A) 左右の眼輪筋筋電図 (B) 右側腓腹筋およびヒラメ筋の筋電図; (A)(B)とも上段より2列が筋電図波形, 次いで落下のタイミング, 頭部垂直方向の加速度を示す。(F: 落下開始, Do: 眼輪筋の筋活動潜時, Dg: 腓腹筋の筋活動潜時, Ds: ヒラメ筋の筋活動潜時, L: 着地)

始より足底が着地する約 120 msec の間に両眼輪筋に 29.5 ms の潜時で筋活動が認められ, それに続き潜時 73 ms で後期の活動がみられ, 左右差はない。このような二相性の反応は全試行の約20%で明瞭に認められた。

図3 (B)に同じ刺激による下肢筋の反応を示す。上段は右腓腹筋, 2段目に右ヒラメ筋の筋活動を示している。この例では一相性の反応がみられ, 両者とも落下開始後

潜時約 66 ms で筋活動が始まっている。

各被験者とも5回の落下刺激を行ったが各試行毎の反応潜時のばらつきは小さく安定した反応が得られた。検査日を代え同一被験者で検査を行った場合にもほぼ同じ反応が得られ, 再現性にも優れていると考えられた。また, 各筋とも反応に左右差はほとんど認められなかった。

図4 被験者の意志による落下時の筋電図記録 (A) 左右の眼輪筋筋電図 (B) 右側腓腹筋およびヒラメ筋の筋電図

図4に被験者が自分の意志によってハンドルより手を離しときの反応を示す。(A)は右眼輪筋、右前脛骨筋、(B)は右腓腹筋、右ヒラメ筋の反応を示しているが、着地までは筋活動は認められず、着地に一致した下腿の筋活動が認められるのみである。

表1は被検者18名で、各5回の突然の落下刺激の際の筋活動潜時の平均、標準偏差を計算したものである。各被検者間のばらつきは眼輪筋で最も少なく、下腿の筋ではやや多い傾向にあるが、ほぼ一定の潜時が得られてい

表1 活動電位潜時の平均値および標準偏差値
Nは、18人の被験者で、各々数回の試行を行なった合計を示す。

	response latency (ms)	SD (ms)	N
orb.	29.2	3.5	94
tib. ant.	67.7	9.3	84
gastro.	73.8	9.2	61
soleus	71.8	9.4	74

る。

考 察

予期せぬ時に突然体が自由落下すると、驚愕反射により全身の筋活動が亢進する。Jones & Watt (1971)⁵⁾は、人で自由落下刺激による腓腹筋の筋活動を記録している。腓腹筋は、落下開始より一定の潜時 (75 ms) で筋活動の亢進を示し、落下の高さには影響されなかったと報告している。Halmagyi & Gresty (1983) ら³⁾は、仰臥位でベッドごと落下する装置を試作し、眼輪筋に39.3 msの潜時で筋活動がおこることを明らかにしている。今回、我々が行なった実験の結果では、眼輪筋 29.2 ms、前脛骨筋 67.7 ms、腓腹筋 73.8 ms、ひらめ筋 71.8 msの潜時であった。腓腹筋での潜時の値は、Jones & Wattの報告とほぼ一致するが、眼輪筋の反応潜時は Halmagyi & Gresty らの結果よりやや短い傾向にある。この違いは、落下刺激時の頭位が二つの研究で異なっていることに起因している可能性がある。

今回用いた自由落下刺激による筋活動の亢進は、耳石器への体軸方向への加速度刺激をトリガーとする反射であると推定されるが、半規管への刺激の影響や頸反射の関与も否定しきれない。これに関し Greenwood & Hopkins (1976)²⁾は4例の半規管機能廃絶者の落下刺激を行い、2例では無反応、2例では正常反応が得られたと報告している。Halmagyi & Gresty³⁾は先天性梅毒による迷路機能廃絶例では筋活動は認められず、ゲンタマイシン中毒による迷路機能廃絶例では正常な反応が得られたと述べている。先天性梅毒患者では内耳及び前庭神経などに広範囲に萎縮が認められる⁶⁾のに対し、アミノグリコシド中毒では迷路機能廃絶例でも比較的耳石機能が保たれる例がある⁷⁾ことから、落下刺激に対しても反応が得られたのではないかと考察している。Watt (1975)⁴⁾は猫を用いた実験を行ない、半規管を栓塞した場合は落下刺激による筋活動がみられ、迷路破壊術を行なって初めて筋活動が消失することより、この反応は平衡斑刺激による反応であると結論づけている。

このような点から、本刺激装置による筋電図反応は耳石機能を反映するものと考えられ、再現性も優れているので、耳石機能検査として臨床応用が可能だと思われる。今後、本刺激装置を用いて、さらに検討を重ねて行きたいと考えている。

文 献

- 1) Greenwood R, Hopkins A : Muscle responses during sudden falls in man. *J Physiol* 254 : 507-518, 1976

- 2) Greenwood R, Hopkins A : Landing from an unexpected fall and a voluntary step. *Brain* 99 : 375-386, 1976
- 3) Halmagyi GM, Gresty MA : Eye blink reflexes to sudden free falls. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 46 : 844-847, 1983
- 4) Watt DGD : Responses of cats to sudden falls ; An otolithoriginating reflex assisting landing. *J Neurophysiol* 39 : 257-265, 1976
- 5) Melvill JG, Watt DGD : Muscular control of landing from unexpected falls in man. *J Physiology London* 219 : 729-737, 1971
- 6) Karmody CS, Schuknecht HF : Deafness in congenital syphilis. *Arch Otolaryngol* 83 : 18-27, 1966
- 7) Lindeman HH : Regional Differences of vestibular sensory epithelium to ototoxic antibiotics. *Acta Otolaryngol* 67 : 177-189, 1969

Abstract

Recent studies have shown that when normal human volunteers are subjected to a sudden free fall, EMGs of truncal and limb muscles are activated due to the startle reflex originating in the otolith organs. In this study, muscle activities during sudden free fall and voluntary fall were recorded in 18 healthy human subjects. Monophasic or biphasic EMG responses could be recorded from all subjects during sudden free fall ; the average latency of initial activity was 29.2 msec (SD 3.5 msec) in the orbicular oculi muscle, 67.7 msec (SD 9.3 msec) in the anterior tibial, 73.5 msec (SD 9.2 msec) in the gastrocnemius and 71.8 msec (SD 9.4 msec) in the soleus muscles. On the other hand, such initial activities did not appear in voluntary falls, and only activity which coincided with landing could be recorded. It is suggested that free fall stimulation can be used as a diagnostic tool in disorders of otolithic function.

Key words : sudden free fall, otolith organ, EMG, human

(原稿到着 : 平成1年3月31日
別刷請求先 : 坂田義治
〒552 大阪市港区築港1丁目8番30号
大阪船員保険病院耳鼻咽喉科)