

視覚および聴覚刺激による跳躍反応時間の時系列構造

松原 周 信*

Time series structure of jumping reaction time with visual and auditory stimulus

CHIKANOBU MATSUBARA*

Abstract : To investigate the time series structure of jumping reaction time with visual and auditory stimulus, onset time of (1) M. vastus lateralis EMG amplitude, (2) motor response, (3) M. gastrocnemius EMG amplitude, (4) knee joint extension, (5) plantar flexion, respectively following stimulus and (6) jumping reaction time were measured concerning both light and sound in 46 young female subjects. Onset time of (1) was earlier at sound than light stimulus. But the time lag of (1) to (6) was larger at sound. Factor analysis was applied to time series data i.e. from (1) to (6), and 3 factors were extracted. The loading of factor 1 was large at onset time of above discribed (1) and (2) component. Then linear discriminant function on the 3 factors was obtained, and there the coefficient of factor 1 played extremely high significant contribution to discriminate data of each stimulus. As the result, it was made clear that jumping reaction time with visual and auditory stimulus was strongly featured by the onset time of M. vastus lateralis EMG amplitude and that of motor response.

(Accepted September 9, 2003)

音または光刺激に対し、フォースプレートなどの台上で跳び上がり、刺激発生後、足が台から離れるまでの時間を、全身反応時間（跳躍反応時間）として測定する体力測定種目は、よく知られている^{1, 2, 3)}。また、一般に、単純反応時間は聴覚刺激における方が視覚刺激より短いことも、よく知られている^{4, 5)}。しかし実際には、跳躍反応時間の測定は、専用の測定器具の備わった施設や研究機関以外で行われることは少なく、刺激の種類、運動構造、ならびに反応時間相互の関係など^{6, 7, 8)}については、必ずしもよく知られてはいない。それゆえ、音または光刺激に対する、膝関節伸筋と足関節足底屈筋の筋電図、両関節の角度変化、測定台への荷重変化の時間関係を分析し、跳躍反応時間の時系列構造を明らかにすることを試みた。

方 法

被験者は、大学の2年次ならびに3年次に在学する女性23人ずつの合計46人で、その身体的特徴は、第1表の

通りであった。この中には、運動部に所属する者も、そうでない者も含まれていたが、体育あるいはスポーツ等を専攻する者はおらず、運動能力に関し、全体として平均的な女子学生であった。

被験者には、右脚の外側広筋と腓腹筋に筋電図誘導用電極、同じく右脚の膝関節と足関節それぞれに、可変抵抗器を用いたゴニオメータを装着し、荷重測定台の上に立たせ、十分に沈み込んだ姿勢で待機させ、音または光刺激に応じできるだけすみやかに跳び上がるよう指示し

Table 1 Physical characteristics of the subjects

	height (cm)	weight (kg)	BMI	age (yrs)
mean	158.5	52.1	20.7	19.8
SD	3.76	5.55	2.10	0.77

Subjects were 46 females.

*京都府立大学人間環境学部食保健学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Sciences and Nutritional Health, Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural University

た。この際予め3~4回ないし数回程度、自分で十分と感じるまで練習させた。測定は、音刺激および光刺激それぞれ6回ずつ、練習効果または疲労の影響を避けるため、音₁-光₁-音₂-光₂-音₃-光₃-音₄-光₄-音₅-光₅-音₆-光₆-音₆、または、音と光を入れ替えた順序で行わせた。

音または光刺激の発生には、パーソナルコンピュータからの信号に基づき、スピーカから約1.7kHzの発振波形を約110ms間発し、あるいは、LED式の大形ドットマトリクス表示器(縦10.5cm 横7.6cm 7×5ドット 赤色)の全ドットを、光刺激と同じ時間だけ点灯させる装置(自作)を用いた。測定装置の構成⁹⁾は、第1図に概略を示した通り、筋電図アンプ(日本光電 AM-601G)2台、ゴニオメータ(自作)ならびにアンプ(自作)2組、荷重測定台(自作)ならびにストレインゲージアンプ(共立電子産業 STR-1N-05)1組の出力を、I/O拡張ボックス(アドテックシステムサイエンス ANE-4521)に装着したA-D変換ボード(カノーパス ADX-98H)に接続し、ノートタイプのパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801NX/C)に、機械語を用い⁹⁾サンプリング間隔2msで取り込み、パラレルポートに接続したレーザープリンタ(エプソン LP-9200SX)に、チャートを描画させるものであった。なお、パーソナルコンピュータには、3倍クロックのオーバードライブプロセッサ(アイ・オー・データ機器 PK-NXC75)が装着されていた。

プリントアウトされたチャートから、刺激発生後の、外側広筋筋電図振幅開始時間、腓腹筋筋電図振幅開始時間、膝関節伸展開始時間、足関節足底屈開始時間、荷重測定台の荷重増加開始時間および荷重消失時間を、目で読みとった。なお、荷重の増加開始時間は変化の現れ始めた時点、消失時間は荷重が完全に消失した時点までとした。

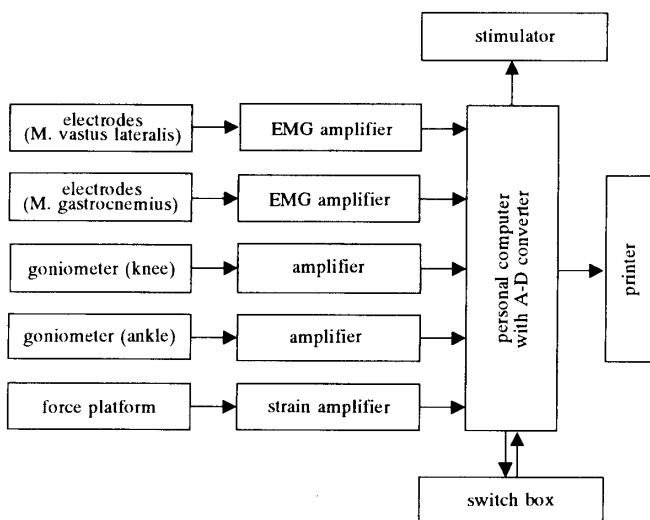


Fig. 1 Block diagram of the equipment.

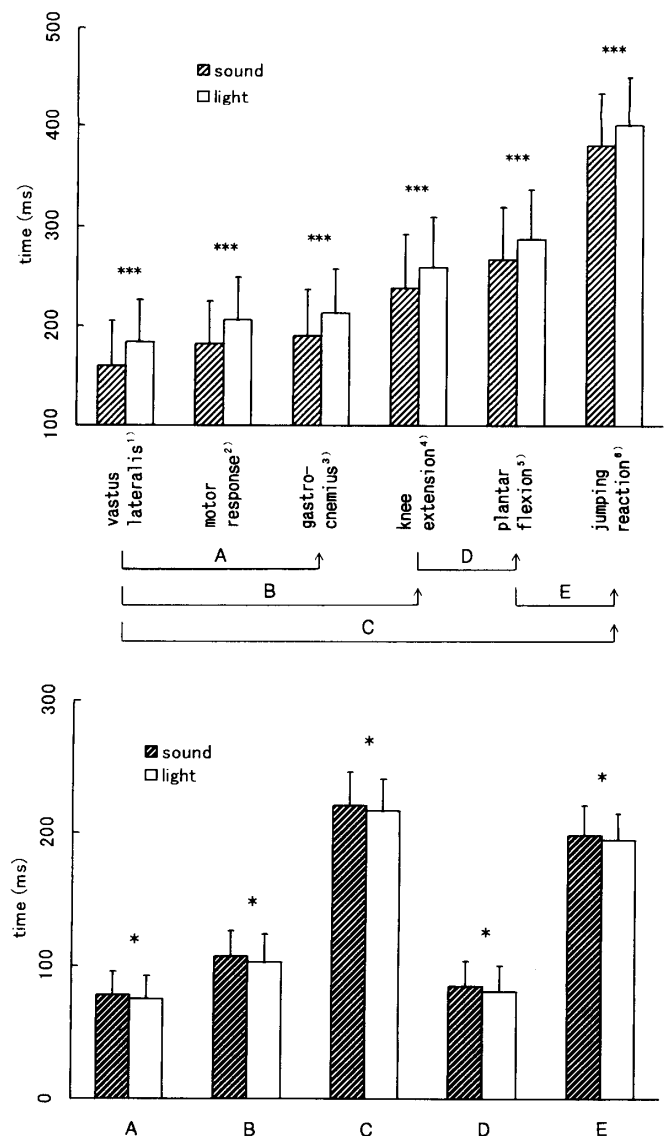


Fig. 2 Measured data (upper part) and calculated data (lower part). Concerning upper part, all mutual time lags of 6 items matrix were significant about visual, auditory, and united data, respectively. At lower part, all time lag data are shown which are significantly different between sound and light stimulus concerning 6 items matrix. * and *** represent significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively between sound and light stimulus.

- 1) onset time of M. vastus lateralis EMG amplitude following stimulus
- 2) onset time of motor response following stimulus
- 3) onset time of M. gastrocnemius EMG amplitude following stimulus
- 4) onset time of knee joint extension following stimulus
- 5) onset time of plantar flexion following stimulus
- 6) jumping reaction time

Table 2 Coefficient of linear discriminant function and other values (1)

independent variable ¹⁾	coefficient	F ₀	P
1	0.011341	1.205647	0.272681
2	0.022410	3.436857	0.064297
3	0.009319	1.485038	0.223515
4	-0.006993	0.661038	0.416549
5	-0.009820	1.199998	0.273806
6	-0.009900	1.408356	0.235847

¹⁾ Number of variables are same as shown in Fig. 2.

Table 3 Result of discrimination (1)

	correct discrimination ratio
sound	184/276 = 0.666667
light	147/276 = 0.532609
total	331/552 = 0.599638

Table 4 Eigenvalue and contribution ratio including all factors

factor	eigenvalue	contribution ratio (%)
factor 1	2.174831	38.36
factor 2	1.877264	33.11
factor 3	1.592375	28.09
factor 4	0.022956	0.40
factor 5	0.001607	0.03

Table 5 Each factor loading of 6 components concerning factor analysis with 3 factors

component number ¹⁾	factor 1	factor 2	factor 3
1	<u>0.757933</u>	0.453642	0.444766
2	<u>0.660542</u>	0.536405	0.473913
3	0.553572	<u>0.645921</u>	0.406865
4	0.487529	0.474308	<u>0.733040</u>
5	0.481093	<u>0.632080</u>	0.546802
6	0.476492	<u>0.688130</u>	0.484221

¹⁾ Number of components are same as shown in Fig. 2.

結 果

測定結果は第2図上部の通りで、音または光刺激いずれに対しても、時間的に、外側広筋筋電図振幅開始、荷重測定台の荷重増加開始、腓腹筋筋電図振幅開始、膝関節伸展開始、足関節足底屈開始、荷重測定台の荷重消失の順であった。これら6項目いずれの時間も、音刺激の方が光刺激より0.1%水準で有意に短かった。また、2種の刺激それぞれ、および両者を合わせたデータいずれについても、これら6項目相互間の時間には、すべての組み合わせにおいて、有意差が認められた。なお、荷重の増加開始時間を反応開始時間、消失時間を全身反応時間（跳躍反応時間）とした。第2図下部は、6項目相互間の時間差に、音と光の両刺激で有意差のあった組み合わせをすべて示したものである。A～Eの時間は、いずれも5%水準で光刺激の方が短かった。

つぎに、被験者46人の音および光刺激による6回ずつ、すなわち276試行ずつの、チャートから読みとったままの6種類の時間データについて、音および光刺激に関する判別分析を一般的な手順¹⁰⁾にしたがって試みた。まず、両群間に差があるかどうか検定したところ、0.1%水準で有意差が認められた。そこで、線形判別関数を求めた結果、第2表の通り、単独で判別に有意に寄与する変数はなかった。もとのデータに、得られた判別関数を適用した正答率は、第3表の通り、音刺激で66.7%、光刺激で53.3%、両者を合わせて60.0%であった。

ついで、音刺激、光刺激合わせて552試行を一緒にし、6種類の変数データをもとに、因子分析を通常よく使われる手順^{11, 12)}によって行った。すなわち、反復のある主因子解法を適用し、さらに単純構造を得るためバリマックス回転を施し、検出される全因子について固有値と寄与率を求めたところ、第4表の通り、跳躍反応時間のデータは、主要な3個の因子から構成されていることが示された。したがって、因子数を3個として同様の手順で因子分析を行ったところ、各変数ごとの因子負荷量は、第5表に示した通りであった。第1因子は、外側広筋放電開始時間・反応開始時間因子、第2因子は、全身反応時間・腓腹筋放電開始時間・足底屈開始時間因子、第3因子は、膝伸展開始時間因子と考えられた。これら3因子による説明割合は、合計94.7%であった。

ここで、抽出された3因子を軸とする3次元空間は、跳躍反応時間空間と名付けるのが適当と考えられた。552試行それぞれは、3因子別の因子得点に応じ、この空間上の一点として位置を占めることとなる。この状況を、1個の3次元グラフとして示すかわりに、3軸のうち2軸ごとで形成される平面上に各試行を、音刺激と光刺激別々のマークを用いてプロットしたものを、第3.1図、第3.2図、および第3.3図に示した。なお、第6表に、552試行のうち、音刺激276試行と光刺激276試行別の、3因子おのおのの因子得点の平均値と標準偏差を示し

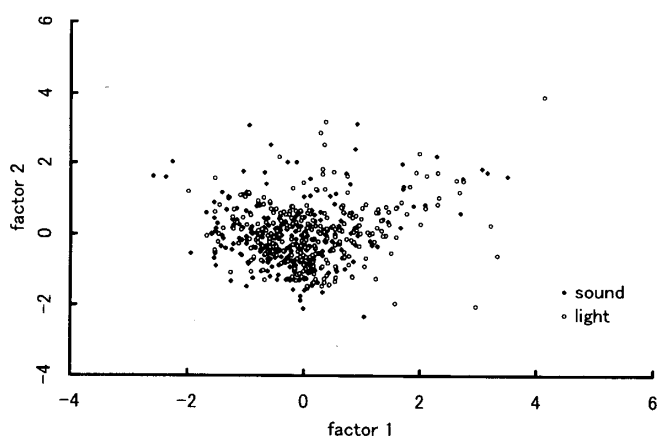


Fig. 3.1 Relationship between the score of factor 1 (onset time of M. vastus lateralis EMG amplitude and onset time of motor response factor) and factor 2 (onset time of M. gastrocnemius EMG amplitude, onset time of plantar flexion, and jumping reaction time factor) in the jumping reaction time space.

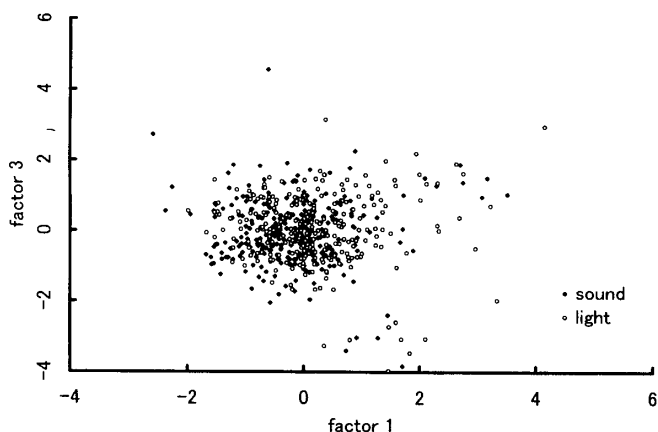


Fig. 3.2 Relationship between the score of factor 1 (onset time of M. vastus lateralis EMG amplitude and onset time of motor response factor) and factor 3 (onset time of knee joint extension factor) in the jumping reaction time space.

た。両刺激試行間に、第1因子において極めて高度な有意差があり、第2因子にも有意差が認められた。

さらに、因子分析により抽出された3因子おのこの因子得点データをもとに、音刺激と光刺激データについて判別分析を行った。さきと同じ手順により、まず、両群間に差があるかどうか検定したところ、0.1%水準で有意差が認められた。そこで、線形判別関数を求めたところ、第7表に示した通り、第1因子は、判別に関し極めて高度に有意な寄与をしていた。正答率は、第8表の通り、音刺激で68.5%、光刺激で52.2%、両者を合わせて60.3%であった。

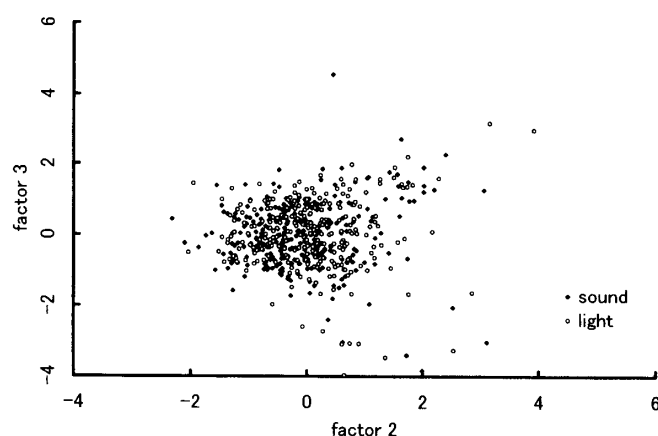


Fig. 3.3 Relationship between the score of factor 2 (onset time of M. gastrocnemius EMG amplitude, onset time of plantar flexion, and jumping reaction time factor) and factor 3 (onset time of knee joint extension factor) in the jumping reaction time space.

Table 6 Mean value and SD of factor scores

factor	sound mean \pm SD	light mean \pm SD	
factor 1	-0.200897 \pm 0.886719	0.200897 \pm 0.931946	***
factor 2	-0.069556 \pm 0.887680	0.069556 \pm 0.855558	*
factor 3	-0.031585 \pm 0.963014	0.031585 \pm 0.988967	NS

*** significantly different at $p < 0.001$

* significantly different at $p < 0.05$

Table 7 Coefficient of linear discriminant function and other values (2)

independent variable	coefficient	F ₀	P
factor 1	1.008523	24.516591	0.000000982
factor 2	0.231376	1.129891	0.288267
factor 3	0.123332	0.410268	0.522101

Table 8 Result of discrimination (2)

	correct discrimination ratio
sound	189/276 = 0.684783
light	144/276 = 0.521739
total	333/552 = 0.603261

考 察

第2図上部の通り、荷重測定台の荷重増加開始は、外側広筋の筋電図振幅開始より有意に遅く、膝関節の伸展または足関節の足底屈開始より有意に早かった。これは、筋腱複合体が全体として張力を発揮するためには一定の時間を要し、また、筋腱複合体が張力を発揮して荷重を増加させても、身体は慣性によってすぐには動かず、すなわち、その結果等尺性の筋収縮がなされるに加えて、筋は収縮するものの腱および腱膜が引き延ばされる^{13, 14)}要素にもよるものと考えられる。

また、6項目いずれの時間も、音刺激の方が光刺激より有意に短かった。この差は、6項目のうち一番早く現れる外側広筋筋電図振幅開始時間に有意差のあることが、他の項目にも影響を与えていると考えられる。なお、この差は、聴覚刺激と視覚刺激では神経伝達時間に差があるため^{4, 5)}と考えられる。

第2図下部は、6項目相互間の時間差に、音と光の両刺激で有意差のあった組み合わせをすべて示したものである。音刺激では、外側広筋筋電図振幅開始は光刺激より早いですが、第2図下部の通り、これに続いて腓腹筋の筋電図が振幅を開始するまでの時間(A)は光刺激より長く、したがって膝関節の伸展開始から足関節の足底屈開始までの時間(D)も長く、また足底屈開始後跳び上がるまでの時間(E)も長い。この結果、外側広筋筋電図振幅開始から、膝関節伸展開始(B)および荷重測定台から足が離れるまで(C)の時間いずれも、音刺激では光刺激より長くなっている。すなわち、音刺激では、刺激発生後外側広筋の筋電図が振幅を開始するまでの時間は光刺激より短いですが、外側広筋筋電図振幅開始後足が荷重測定台から離れるまでの時間は、光刺激より長い。本研究の範囲ではこの原因を特定することはできないが、音刺激と光刺激では、中枢において知覚信号の到達後、跳躍動作のためのインパルスが発せられるまでにたどる経路に違いのある可能性が考えられる。なお、被験者は全員年齢の似通った女性としたので、年齢差、および性差の有無^{6, 8)}に関する問題は回避されている。

ところで、被験者46人のチャートから読みとった6種類の時間データをもとに、音および光刺激に関する判別分析を試み、得られた判別関数をもとのデータに適用したところ、正答率は両刺激合わせて60.0%と高くはないものの、ある程度の判別はなされた。しかし、単独で有意に判別に寄与する変数は存在せず、したがってどの変数が両刺激の特徴に依存するかは、明らかでなかった。

そこで、6種類からなる時間データに因子分析を施した結果、跳躍反応時間は、前述の3因子から構成されていることが明らかとなった。抽出された3因子おのおの因子得点データをもとに、音刺激と光刺激データについて判別分析を行ったところ、正答率は全体として60.3%と、もとの時間データによる判別と同等程度であ

った。ただし、第1因子は判別に関し極めて高度に有意な寄与をしていた。このことは、音と光両刺激試行の第1因子における因子得点間に、極めて高度な有意差があったことに呼応するもので、両刺激の差異は主として外側広筋の筋電図振幅開始時間と反応開始時間に反映されていることを示すものである。また、第2因子である全身反応時間・腓腹筋放電開始時間・足底屈開始時間因子の、音と光両刺激試行間に有意差が認められたことは、刺激発生後外側広筋の筋電図が振幅を開始するまでの時間は音刺激の方が短いのに対し、外側広筋筋電図振幅開始後足が荷重測定台から離れるまでの時間は、光刺激の方が短いことに呼応するものと考えられる。

文 献

- 1) 東京都立大学体力標準値研究会(2000) 新・日本人の体力標準値2000 pp 257-260
- 2) 体育科教育研究会(1979) 体育学実験・演習概説 大修館書店 pp56-57
- 3) 体育心理学実験指導研究会(1981) 体育心理学実験実習概説 大修館書店 p87
- 4) 石河利寛(1962) スポーツとからだ 岩波書店 pp171-172
- 5) 勝浦哲夫, 佐藤陽彦, 梶原裕, 横山真太郎(1992) 人間工学基準 数値数式便覧 技報堂出版 pp163-164
- 6) D. G. Bell, Jacobs I.(1986) Electro-mechanical response times and rate of force development in males and females Med Sci Sports Exerc 18 31-6
- 7) A. Nardone, Schieppati M.(1988) Postural adjustments associated with voluntary contraction of leg muscles in standing man Exp Brain Res 69,469-80
- 8) D. Shenvi, Balasubramanian P.(1994) A comparative study of visual and auditory reaction times in males and females Indian J Physiol Pharmacol 38 229-31
- 9) 松原周信(2001) パーソナルコンピュータとプリンタによるデータレコーダの試作 京府大学術報告 人間環境学・農学 53 9-16
- 10) 松原周信, 瀧本義彦, 市村秀樹(2002) 水平面と斜面上における作業の形態別強度差と呼気による判別 京府大学術報告 人間環境学・農学 54 1-5
- 11) 松浦義行(1972) 行動科学における因子分析法 不味堂 pp90-414
- 12) 長谷川勝也(2002) Excelで楽に学ぶ これならわかる多変量解析 技術評論社 pp181-246
- 13) 川上康雄(1997) 骨格筋の形状と機能 骨格筋 山田茂 福永哲夫編 骨格筋 ナップ pp1-28
- 14) 福永哲夫(1998) 身体運動における筋収縮のバイオメカニクス 体育学研究 42 337-348