EGAMI, Yoshiyuki, On the Determination of the Centre of Gravity of the Human Body: A Simplification of Okuyama's Procedure.

生体の重心決定に關する研究への補遺

——奥山氏の方法の簡易化に就て——

東京大学医学部生理学教室坂本研究室

故 江 上 義 之

本篇の著者江上義之氏は昭和20年召集されて郷里の連隊に入隊するため研究室を去られるに当り、本篇を本誌編集部へ寄託され当時の印刷事情が好転したあかつきには本誌に掲載を希望する旨、申し残して行かれた。

そしてまもなく広島軍病院に勤務中あたらしい有為の資を以て原子爆弾の犠牲となられたものである。編集部には本篇の内容を考え、更に適切な掲載方法の可能性を調べていたが、やはり本誌に掲載することが最もよく故人の意に沿うことだと考え、ここに印刷したものである。

——編集幹事

生体に於ける重心の決定は一面に於て種々なる体位に於ける身体の安定条件を見出すという静力学的問題を提供すると共に、他面に於ては又歩行、疾走等運動状態に於ける安定性及び Energetik 等幾多の重要な題目を包蔵する。

従つて生体重心測定は古くより試みられはしたものの、其の多くは屍体を対象として施行せられたもので、その最も広汎にして精細な研究を Braune und Fisher (1) の業績に求める事が出来る。之に反し直接生体を目指す重心測定法は du Bois-Reymond (2) に初まる槓杆原理を利用する方法及びその流れを汲む一連の変法を除いては取りたてて挙ぐべきものもない。

然るに先年奥山氏 (3) は物理振子の特性を巧に駆使されて極めて漸新な重心測定法を案出された。夫れは創意に満ち満ちたもので着想の非凡さ觀念の單純さに於て生体重心測定分野に卓絶せる地位を占めるものである。

本論文に於て筆者は奥山氏の指示された線に沿いつゝ該方法の簡易化を企図し若干の知見に到達したるを以て其の概要を此処に報告する。

奥山氏の方法

本節に於ては先づ奥山氏の方法の概説を試みる。記号は適宜に変更し必ずしも氏の使用されたものを其の儘踏襲しない。

i) 装置は第1図に示す。図中 M_1 は測定に使用する一つの定型の台（鞆）で、之は水平支軸 O に吊して軽く振動させ、物理振子として特性を見るのを目的とする。

第 1 圖

さて次の諸記号を導入する：

O ：水平支軸，

S_1 ：台（支持網を含む）の重心，

M_1 ：台（支持網を含む）の質量，

h_1 ：支軸より重心までの距離，

d_1 ：支軸より台下部までの距離，

I_1 ：支軸に対する台の慣性能率。

周知の如く、台のみ吊した場合の振動の周期 T_1 は次式で与えられる。

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{M_1 g h_1}} \quad (1)$$

従つて相当振子の長さ l_1 は

$$l_1 = \frac{I_1}{M_1 h_1} \quad (2)$$

なる値を持つ。

次に台の下部に半径 r 、質量 M_2 なる金属球を吊した場合の振動の週期を求める（第2図参照）。

第 2 図

再び記号：

S_2 ：全体（台及び金属球）の重心

h_2 ：支軸より重心までの距離

I_2 ：支軸に対する全質量の慣性能率

を更に附加すれば、其の振動の周期 T_2 は

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{(M_1 + M_2) g h_2}} \quad (3)$$

で表示され相当振子の長さ l_2 は

$$l_2 = \frac{I_2}{(M_1 + M_2) h_2} \quad (4)$$

となる。

次に両振動間の関係を調べる。先づ I_1 , I_2 の間には次の関係式が成立つ。

$$I_2^* = I_1 + \frac{5}{2} M_2 r^2 + M_2 (d+r)^2 \quad (5)$$

上式右辺に於ける I_1 を除いた爾余の項は支軸に対する金属球の慣性能率であつて、これは平行軸の定理より容易に算出される。

次に重心 S_2 の廻りの廻転能率は当然零なる事が要請される。従つて

$$M_1 (h_2 - h_1) = M_2 (d+r - h_2) \quad (6)$$

が成立する。

以上で吾々は4個の未知数 I_1 , I_2 , h_1 , h_2 の間に聯立すべき4個の方程式 (1), (3), (5), (6) を導き得た訳であるから、振動周期 T_1 , T_2 の測定に依つて相当振子の長さ l_1 , l_2 を算出し之を使用して問題を完全に解決し得る。

試みに其の中の一つ h_1 の値を書き下せば

$$h_1 = \frac{\frac{2}{5} M_2 r^2 + M_2 (d+r)^2 - M_2 (d+r) l_2}{M_1 (l_2 - l_1)} \quad \dots\dots (7)$$

が得られることは容易に判る。

ii) 次に上述の原理に基いて生体の重心を決定する方法を述べる。

先づ金属球を附さざる試験台上に生体を乗せ其の時の振動周期を測定して相当振子の長さ l_1^* を決定する。次に金属球を附加して再び振動周期を測定し之に対応する相当振子の長さ l_2^* を見出す。然る時は生体の質量を M とすれば、支軸より生体+台の重心 S^* までの距離 h^* は (7) 式に依り

$$h^* = \frac{\frac{2}{5} M_2 r^2 + M_2 (d+r)^2 - M_2 (d+r) l_2^*}{(M_1 + M) (l_2^* - l_1^*)} \quad \dots\dots (8)$$

で与えられる事になる。

最後に吾々は支軸より生体の重心 S までの距離 h を算出せねばならない。夫れには S^* の廻りの廻転能率を考えて次式

$$M_1 (h^* - h_1) = M (h - h^*) \quad (9)$$

の成立する事を利用する。之より直ちに

$$h = h^* + \frac{M_1}{M} (h^* - h_1) \quad (10)$$

が出て来るが、上式右辺の各項は既に (7), (8) の両式に依つて決定済であるから、吾々は上

式に立脚して簡単に生体の重心を算定し得る事になるのである。

筆者の方法

本節では奥山氏の方法を簡易化せる筆者の測定法を述べる。(第3図参照)

第3図

測定装置は前節で解説したものと同一であるが、只台の下部の支持板が可動装置になっている点が違う。

i) 先づ支持板を最下部に固定して軽く振動させれば、其の周期 T_1 は明らかに (1) 式:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{g}}, \quad I_1 = \frac{M_1 h_1}{M_1 h_1} \quad (11)$$

で与えられる。次に支持板を上部に移動して下端より σ の高さの位置に固定して再び振動の周期 T_2 を計測すれば

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{g}}, \quad I_2 = \frac{M_1 h_2}{M_1 h_2} \quad (12)$$

となる。

其処で台を二つの構成体：支持板及びそれ以外の部分に分割して考え、その質量を夫々 M_1^0, M_1^1 とすれば

$$M_1 = M_1^0 + M_1^1 \quad (13)$$

で慣性能率 I_1, I_2 の間には次の関係式が成立つ:

$$I_1 - I_2 = M_1^0 [d^2 - (d - \sigma)^2] \quad (14)$$

又、一方に於て h_1, h_2 の間には

$$h_1 - h_2 = \frac{M_1^0}{M_1^0 + M_1^1} \sigma = \frac{M_1^0}{M_1} \sigma \quad (15)$$

という簡単な性質が見られる。

従つて (11), (12), (13), (14) より h_1 を求めれば

$$h_1 = \frac{M_1^0}{M_1} \frac{d^2 - (d - \sigma)^2 + \sigma I_2}{I_1 - I_2} \quad (16)$$

となる。

ii) 次に本法に依る生体重心測定の概略を述べる。先づ支持板を最下端に固定して此の上に生体を乗せ其の振動の周期を観測し相当振子の長さ l_1^* を求める。夫れより支持板を σ 丈上に昇げて此の上に生体を乗せ再び振動の周期を測定して相当振子の長さ l_2^* を決める。此の操作に依つて支軸より生体+台の重心 S^* までの距離 h^* (但し $\sigma = 0$ に該当する場合) は (16) 式に依つて次の如く与えられる。

$$h^* = \frac{M_1^0 + M}{M_1 + M} \frac{d^2 - (d - \sigma)^2 + \sigma l_2^*}{l_1^* - l_2^*} \quad \dots\dots (17)$$

又支軸より生体の重心 S までの距離 h は前節と全く同様な考察から

$$M_1 (h^* - h_1) = M (h - h^*) \quad (19)$$

を満足せねばならない。故に

$$h = h^* + \frac{M_1}{M} (h^* - h_1) \quad (20)$$

上式に (16), (17) の両式を代入すれば重心の座標は直ちに決定される。

考察及び摘要

奥山氏の測定法の原理は物理学的に見て極めて示唆に富んだもので、筆者の方法はその根本意匠に於て奥山氏法の範囲を一步も出るものではない。公式の誘導過程に若干の差異は見られるが、それとても本質的のものではなく、計算の煩雑さにも大した逕庭は見られない。

只奥山氏の 方法に於ては 金属球という余分の装置を必要とするが、筆者の方法に於ては斯かる附加物の導入が避けられ、此点は現下の如き資材入手難に 悩む時局に 適応するものとして一つの特色たり得るかにも考えられる。

尙、若干の事項に就て論及すれば、筆者の方法にあつては支持板の可変装置に依つて σ を自由に 調整しつゝ h_1 計測の感度を適宜に増大せしめる事が出来る。此の事は奥山氏法に於ては異なる 質量の金属球を 幾つか用意する事を意味する。勿論 h_1 の計測は只一個の金属球で充分であるが、何等かの必要に迫られて異なる質量の金属球が要求され事態に立ち到つた場合には此の方法はやゝ不便であるを免れない。

又、金属球を支持板下面に吊して振動を与えた場合、金属球の固定が周到嚴密に行われないと、金属球が吊点を支軸として振動する危険性があり従つて此の時は台及び金属球は一つの聯成振子を形成しその為誤つた周期を観測する結果となる。

文 献

- 1) Braune, W. und O. Fischer (1895-1904): Der Gang des Menschen, I-VI.
Braune, W. und O. Fischer (1889): Abhandl. d. math.-naturw. Klasse d. Sächs. Akad. d. Wissensch., 15, 561-672.
Braune, W. und O. Fischer (1895): Ibid., 21, 153-322.
Fischer, O. (1895): Ibid., 22, 55-197.
Fischer, O. (1899): Ibid., 25, 1-130.
Fischer, O. (1900): Ibid., 26, 87-170.
Fischer, O. (1901): Ibid., 26, 471-556.
Fischer, O. (1902): Ibid., 27, 485-588.
Fischer, O. (1904): Ibid., 28, 321-418.
Fischer, O. (1904): Ibid., 28, 533-617.
- 2) du Bois-Reymond, R. (1903): Spezielle Muskelphysiologie der Bewegungslehre. Berlin.
du Bois-Reymond, R. (1914): Physiologie der Bewegung in Wintersteins Handbuch der vergleichenden Physiologie, 3, I, 1.
- 3) 奥山美佐雄 (1930): 労働科学研究 7, 565.

Circulatory system	3.9%
Miscellaneous	11.6

Couples of consanguineous marriage—mostly marriage between cousins and some between remoter relations—amounted to 20.2% of the existing families.

For a quarter of a century, annual birth-rate was recorded 28-23‰, death-rate 10-14‰, natural increment being 12-16‰ annually. Actual population of the village, however, remained fairly stationary, for the increment, about 40, was balanced by the number of people leaving the village to settle down in other places.

Living standard of the villagers is quite low, as the annual income and expenditure show. Housing condition has remained deplorable from long past. Clothing is said to have improved recently, and has become nearly the same as in neighboring villages, although about a generation ago, it is said, one could identify the villagers of Miwa by their shabby clothes.

With small acreage of the farming field, the villagers obviously cannot afford to raise the living standard, and there is no reserve of arable area left, hence the constancy of the population. Thus the Miwa village may be regarded as a specimen of Japanese farming villages, where population capacity is virtually saturated.

This survey has been done under the supervision of Professor Kunizo Hukuda of University of Tokyo Medical School, to whom the author owes much in carrying out the study.

(Department of Physiology, University of Tokyo Medical School, Hongo, Tokyo)

ON THE DETERMINATION OF THE CENTRE OF GRAVITY OF THE HUMAN BODY: A SIMPLIFICATION OF OKUYAMA'S PROCEDURE.

By

Yoshiyuki Egami †

A modification of Okuyama's pendulum method was suggested. Although there is some difference in the derivation of the calculation formula, the idea is the same as that of the late Dr. Okuyama.

The author, however, simplified the device, dispensing with the metal ball, which is required in Okuyama's original procedure.

(Department of Physiology, University of Tokyo Medical School, Hongo, Tokyo)