

6. 健康危険情報

特になし。

7. 研究成果による特許権等の知的財産権の
出願・登録状況

特になし。

8. 参考資料等

- Buehner, M., Krumm, S., & Pick, M. (2005). Reasoning= working memory \neq attention. *Intelligence*, 33(3), 251-272.
- Grober, E., & Kawas, C. (1997). Learning and retention in preclinical and early Alzheimer's disease. *Psychology and Aging*, 12, 183-188.
- Levy, R. L., & Loftus, G. R. (1984). Compliance and memory. *Everyday memory, actions and absent-mindedness*, 93-112.
- Oberauer, K., S, H. M., Wilhelm, O., & Wittman, W. W. (2003). The multiple faces of working memory Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, 31(2), 167-193.
- Phillips, L. H., Henry, J. D., & Martin, M. (2007). Adult aging and prospective memory: The importance of ecological validity. *Prospective memory: Cognitive, neuroscience, developmental, and applied perspectives*. Mahwah: Erlbaum.
- Rendell, P. G., & Craik, F. I. M. (2000). Virtual week and actual week: Age-related differences in prospective memory. *Applied Cognitive Psychology*, 14, 43.

- Tun, P. A., & Lachman, M. E. (2006). Telephone assessment of cognitive function in adulthood: the Brief Test of Adult Cognition by Telephone. *Age Ageing*, 35(6), 629-632.

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

学会論文集

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	ページ	出版年
大西明宏	バランス機能低下に及ぼす 人力による重量物運搬作業 の影響	第 30 回バイオメカニズム学 術講演会予稿集	145-148	2009
Akihiro Ohnishi, Yoshihiro Ehara	The Mathematical Model Analysis for Safe Stairs Dimension Based on Features of the Heel Trajectory	17th World Congress on Ergonomics(IEA2009 Beijing)	CD-ROM	2009

バランス機能低下に及ぼす人力による重量物運搬作業の影響

○大西明宏¹

¹ (独) 労働安全衛生総合研究所

○Akihiro Ohnishi¹

¹ National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

1. はじめに

平成 17 年の労働災害発生状況（死亡災害及び休業 4 日以上）を事故の型別に見ると転倒は最頻事故である¹⁾。この傾向は平成 20 年までの 4 年間も同様であり、割合はむしろ 19.2% まで高くなっている¹⁾。とりわけ全就業者数の 70% を超える第三次産業では、他業種と比較して転倒災害、無理な動作等による災害等の割合が高く²⁾、高年齢労働者（55 歳から 65 歳）の被災割合が高い特徴がある²⁾。第三次産業の業務は運輸業の宅配便集配業務や小売業の商品取扱運搬作業、旅館・ホテル業の接客・配膳作業等に代表されるように多くの時間を人力による運搬を伴う立ち・歩きながらの作業であり、転倒災害は第三次産業の特徴であると示されている²⁾。しかし転倒災害との関係について具体的に言及されていないため、現場での対策に活用しにくいと思われる。

立ち歩きや運搬作業が及ぼす転倒災害の影響の 1 つとして筋疲労によるバランス機能の低下が考えられる。Shu らは下肢の筋疲労が身体バランスを低下させることを明らかにしており³⁾、筋ポンプ作用の働きにくいこれら作業態様による下肢の易疲労性を考慮すると、作業負担の増加に伴ってバランス機能は低下しやすい状況にあると推察される。特に高年齢者の場合、加齢による筋力低下⁴⁾と作業負担が相まって、バランス機能はさらに低下しやすい状況になることが想定される。

そこで本研究では荷物の運搬作業とバランス機能低下の関係を検討するため、高年齢者を対象とする前段階として、まず若年男性を対象に

模擬的な反復の重量物運搬作業の開始前と終了後でのバランス機能を評価し、作業条件や作業量等との関係からバランス機能に及ぼす影響について検討し、今後に向けた基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は実験課題が重量物の運搬作業であることを考慮し、大学の運動部に所属する健康な男性 10 名（年齢：19.1±0.3 歳，身長：173.7±3.6cm，体重：67.0±2.9kg）とした。なお、本研究の実施については独立行政法人労働安全衛生総合研究所倫理審査委員会にて承認を得たものであり、被験者には本研究における危険性や計測内容等の説明後に同意が得てから計測を実施した。

2.2 計測課題

被験者には図 1 に示す模式図の A 点と B 点を反復する模擬的な荷物運搬作業を課した。まず A 点で荷物を持ち上げ、事前に被験者が決めた任意の方向のみにその場で 180 度回転した後、3m 先の B 点の線上に荷物を置く作業を 30 分間

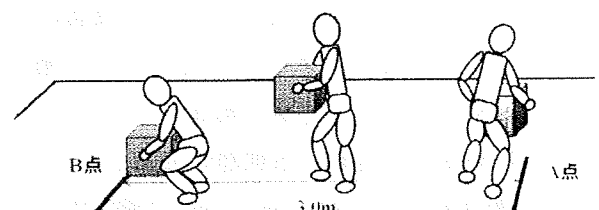


図 1 本実験における荷物運搬の模式図

繰り返すものである。実際の計測時の様子を図2に示した。動作のタイミングは被験者が床面に荷物を置いてから静止立位になり、5秒毎に鳴るアラーム音が2回目に鳴った時（5秒から10秒のインターバル）に次の動作を開始するよう教示した。荷物の重量については「職場における腰痛予防対策指針」⁵⁾の最大許容値（男性は55kg以下で体重の40%の値）の50%（ $26.8 \pm 1.2\text{kg}$ ）とし、取手付のクリアボックス（W 36cm×D 48cm×H 29cm）の底面が水平になるように砂袋を入れるように設定した。



図2 模擬荷物運搬作業の計測時の様子（例）

また動作速度は被験者が普通に作業できる条件（普通条件）に加え、無理な動作の1つとして荷物の持ち上げ・下ろし時以外は普通条件よりも素早く移動する条件（急速条件）の2つを設定した。

2.3 計測方法と計測手順

体力指標として作業開始前に背筋力と左右の握力を測定した。また、主観的な作業強度を把握するため、作業開始前・終了後に主観的運動強度（RPE）を測定した。バランス機能は、竹内らが用いた動的バランス評価法である側方へのクロスオーバーステップ動作⁶⁾（以下、CS動作）を連続して実施する課題とした。

CS動作時の肢位は上肢を体側に垂らし、足は肩幅程度に開脚し、以下の順序で繰り返す動作である。

1. バランスを崩さない範囲で側方へ片脚を踏み出す。
2. 支持脚の前で踏み出した脚を交差させて支持脚の足と水平になるように踏み出し足を接地する。
3. 1で踏み出した脚を支持脚とし、一方の脚を支持脚の後方から側方へ踏み出す。
4. 3で踏み出した足を床に接地し、開始肢位に戻す。

なお、側方移動の方向（左右）は被験者の任意とし、被験者にはステップ幅や動作がすべて同じになるよう教示し、事前に十分に練習させ、動作の再現性を確認した。本研究ではこの動作を連続して2往復する時の身体重心（以下、COG）の変位を評価の指標とした。

CS動作時のCOGは3次元動作計測装置（OptiTrack, NaturalPoint）の赤外線カメラ10台（FLEX:V100, NaturalPoint）を用いて臨床歩行分析研究会が提唱するDIFF変換をするための10ポイントを含む身体各所に貼付した直径2.5cmと1.0cmの赤外線反射マーカー位置を計測し、DIFFに対応するソフトを用いて算出した。

2.4 分析方法

背筋力と握力、RPEは各条件の開始前と終了後の平均値と標準偏差を算出した。またCS動作時のCOGは身体特性身長で除すことにより規格化した軌跡長、軌跡速度のピーク値を算出し、各条件の開始前・終了後の値を比較し、統計処理として、二元配置分散分析を行った。

3. 結果

被験者の背筋力は $126.4 \pm 13.1\text{kg}$ であり、握力は右が $45.1 \pm 6.4\text{kg}$ 、左が $45.1 \pm 4.0\text{kg}$ と左右が同じ値であった。荷物運搬回数は30分当たりで普通条件は 108.1 ± 14.5 回、急速条件では 127.2 ± 18.7 回と急速条件の方が約20回多く運搬していた。次に作業強度を表すRPEであるが両条件共に作業終了時の値は推定の心拍数にすると150~160bpmに相当する強度であり、普通条件では作業開始前に比べて作業終了後に7.3

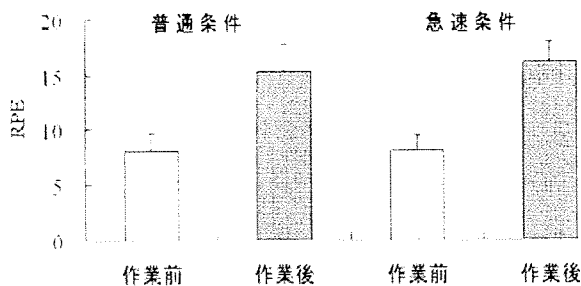


図3 荷物運搬作業の開始前・終了後のRPE

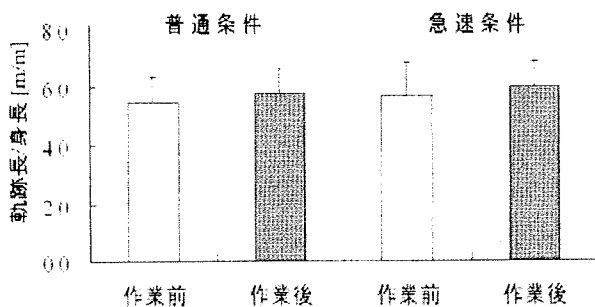


図4 CS動作時のCOG軌跡

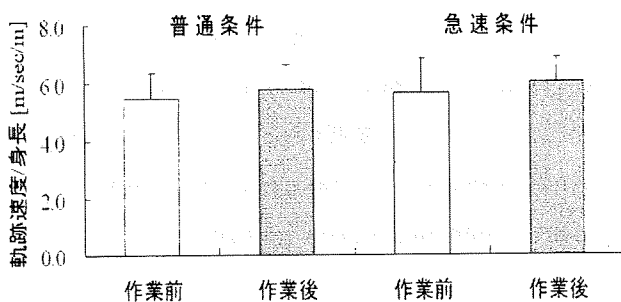


図5 CS動作時のCOG軌跡速度のピーク値

ポイント、急速条件では8ポイントの増加を示していた(図3)。

CS動作時のバランス機能を表すCOG軌跡長は普通、急速条件によらず作業開始前と終了後での値はほとんど変化がなかった(図4)。また、COG軌跡速度のピーク値についても同様の傾向であり、条件によらず作業開始前と終了後での

値に変化はなかった(図5)。二元配置分散分析の結果はCOG軌跡長、COG軌跡速度ピーク値共にすべてにおいて主効果は認められなかった。

4. 考察

今回の模擬的運搬作業は短時間に仕事が集中する状況を想定し、普通の速さに加えて急いで持ち運びする条件を設定したことで、1日を通した状況ではなくても下肢筋が疲労しやすい作業状況になると考えた。また荷物の重量は指針の最大許容値の50%であっても平均で約27kgもあり、1分間に4回程度の運搬を30分続けていたことから考えても、図3に示したとおり主観的運動強度が「かなりきつい」に相当する高い強度の課題であったことは間違いない。しかしながら、作業開始前と終了後の間にバランス機能の差異は見受けられなかった。その理由の1つとして被験者の体力水準が考えられる。今回の被験者は握力から見ると同年齢層の平均値⁷⁾を若干上回っている程度だが、日常的に運動をしている者であった。RPEの結果から見ると高い強度の作業であっても今回の体力測定値だけでは把握できない心肺機能の持久力を有しており、荷物運搬作業が全身運動に類似していたため、下肢の筋に特定して疲労状態を導くことはできなかったと考えられる。

またバランス機能の評価するために使用したクロスオーバーステップ動作であるが、今後の高齢労働者の計測に備えて従来の方法⁶⁾よりも安全面を考慮して立位姿勢を保持しにくい足が交差する状態を瞬時に解いてしまう課題に変更した。そのために作業によるバランス機能の低下を的確に見出すことができなかったことも否めない。ただし今回はCS動作の重心位置の変位を一連の動作を評価指標として分析したが、ステップ時間や立脚期と遊脚期に分割する等の手段を用いて動作を分析することで見出す余地があると考えられるため、今後の更なる分析が必要と考えている。

今後は上述したとおり評価方法の再検討に加

えて運搬作業中の動作が時間経過に伴ってどのように変化するかについても分析を進める予定である。今回のような作業前後のバランス機能評価法だけでなく、作業自体からバランス機能を低下させる特徴を検出することが可能になると、今後更に増えるであろう第三次産業の現場で把握がしやすい安全衛生教育ツールへ発展する可能性があるためである。

課題が多いだけにこれらの結果の再検証を重ねて、最終的には高齢労働者にも対応する転倒リスクの評価が可能になる方法の考案に結び付けるように進めて行きたい。

5. まとめ

第三次産業に転倒災害が多いことから、作業内容の特徴を考慮した模擬的な荷物の運搬作業を若年健常者に課し、作業による負担がバランス機能に及ぼす影響を調べるため、クロスオーバーステップ動作を用いて作業前後の影響を検討したところ、今回の条件では作業によるバランス機能の低下は見られなかった。それは今回の作業が短時間に集中していたためであり、体力水準の高い若年者では下肢が筋疲労状態に到達していなかったことが要因として考えられた。今後は模擬作業時の動作からバランス機能の低下が検出できるかについて検討すると共に、1日を通した作業の筋疲労状態を反映する評価方法を再考し、高齢労働者にも対応する手法を考案したいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、厚生労働科学研究費補助金の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

5. 参考文献

- 1) 労働災害統計, <http://www.jaish.gr.jp/user/enzen/tok/anst00.htm>
- 2) 中央労働災害防止協会編: 安全の指標 平成21年度, 22, 中央労働災害防止協会, (2009).
- 3) Shu Y et al.: The effect of a repetitive, fatiguing lifting task on horizontal ground reaction forces, *Journal of Applied Biomechanics*, 21(3), 260-70, (2005).
- 4) 中谷敏昭 他: 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する 30 秒椅子立ち上がりテストの妥当性, *体育学研究*, 47(5), 451-461, (2002).
- 5) 職場における腰痛予防対策指針, <http://www.jaish.gr.jp/enzen/hor/hombun/hor1-35/hor1-35-10-1-0.htm>
- 6) 竹内弥彦 他: 小型三軸加速度計による高齢者の動的バランス評価の有用性, *理学療法科学*, 22(4), 461-465, (2007).
- 7) 年齢と握力 (平成 19 年度版) http://akuryoku.noyokan.com/data/age_grip19.html

〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6
独立行政法人労働安全衛生総合研究所
人間工学・リスク管理研究グループ 大西明宏
Tel: 042-491-4512, Fax: 042-491-7846
E-mail: aohnish@s.jniosh.go.jp

The Mathematical Model Analysis for Safe Stairs Dimension

Based on Features of the Heel Trajectory

Akihiro Ohnishi^a, Yoshihiro Ehara^b

^aHuman Engineering and Risk Management Research Grope, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan, 1-4-6 Umezono, Kiyose, Japan

^bDepartment of Prosthetics, Orthotics and Assistive Technologies, Faculty of Medical Technology, Niigata University of Health and Welfare

The purpose of this study was to examine the safety and accessibility of stairs for elderly people. We found that the heel trajectories tended to become more linear the faster the subjects descended the stairs from motion analysis, so we developed the mathematical model to reflect the linear trajectory. Using this model, we could calculate the K value, which is the shortest distance between the heel and the stair nosing. The value varied with the dimensions of the stairs, the tread and the rise, and other foot placement parameters for average descending and descending that deviates from the average. A negative K value indicated that the heel trajectory might hit the nosing of the stair if the experimental participant descended quickly. In this study, it was assumed that such stair dimensions could be dangerous. As a result, it can clarify the dimensional threshold $R < 0.56T$ (cm) that is deemed safe during average descent and the safe dimensional threshold $R < 0.30T$ (cm) taking into consideration descents that deviate from the average to create an index useful for preventing falling accidents when descending a stairway. Therefore it can be recommended that these dimensions are safe for elderly people.

1. INTRODUCTION

Staircases are high-probably areas for a falling accident. [1,2,3]. Since stair accidents frequently occur while descend the stairs, it is important to study the safety of stairs by focusing on what happens when descending the stairs. To clarify the danger of hurriedly descending stairs, we focused on the heel clearance and identified the relationship between the shortening of heel clearance when walking quickly and the increased risk of danger and thus clarified the risk of danger when descending stairs quickly.

However, the heal clearance is normally the shortest distance at which the heel does not hit the edge of the stair, but since contacting the edge of the stair for any reason could cause the person to stumble, we developed a mathematical model that can calculate the dimensions of stairs that easily cause the heel to hit. We then entered as a parameter the foot motion of elderly people when they are actually descending stairs to calculate stair dimensions that are safe for the elderly.

2. METODS

Experimental Participants

The experimental participants were four males ages 63 to 68 and four females ages 63 to 69 for a total of eight people (Table 1). Informed consent was obtained

Table 1 The physical characteristics and the age for elderly male and female subjects

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot length (cm)
Male subjects (n = 4)	66.0 ± 2.4	165.4 ± 3.8	67.4 ± 4.9	25.8 ± 0.5
Female subjects (n = 4)	65.3 ± 2.9	155.8 ± 1.0	55.0 ± 2.9	23.6 ± 0.5

The values are mean ± standard deviation.

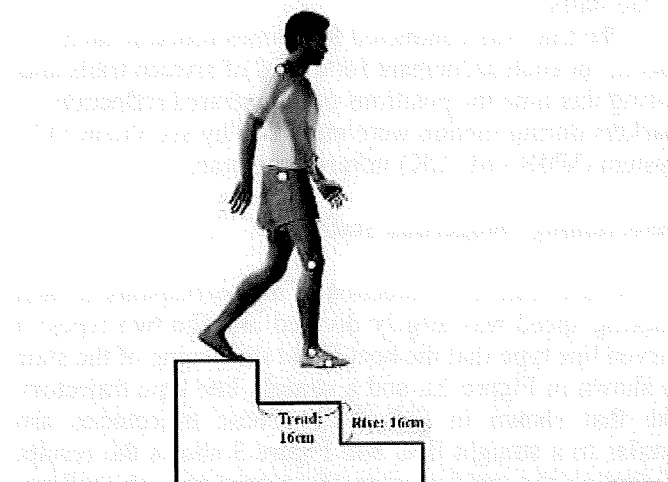


Figure 1 The condition of descending a three-step stairway

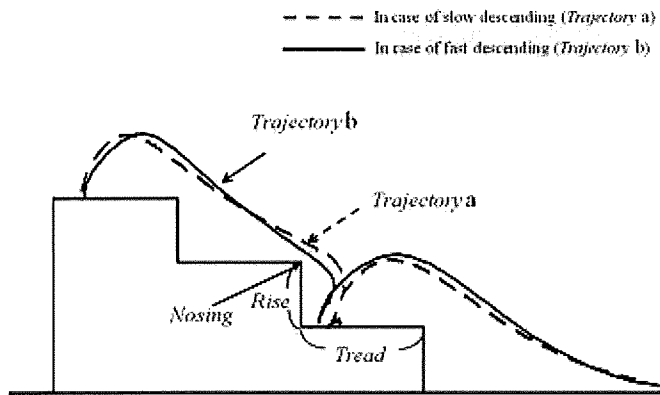


Figure 2 The feature of heel trajectories while the subjects descended the staircase

from all participants before undertaking the experiments.

Walking speed

The walking speed when descending the stairs was classified into four descending speeds using “Suitable” as the speed of participants during normal activity and then “Slow”, “Fast”, and “Very fast” in comparison to this and then the participants were verbally instructed to observe these speeds.

Measurement Procedure and Measurement Method

To measure human motion, infrared reflection markers (2.2 cm diameter) were attached on the skin in twelve locations (Right and left of shoulder, hip, knee, ankle heel and MP joint) on the body of each participant. Participants were asked to stand barefoot at the top of the stairs with both feet aligned at the edge of the first stair.

After checking the stationary position, they started off with any leg to descend a three-step stairway (Tread: 30.0 cm, Rise: 16.0 cm) (Figure 1) and then to continue walking straight for two meters after reaching the bottom of the stairs.

The trial was conducted four times (once at each speed) for each participant for a total of sixteen trials and during this time the positions of the infrared reflection markers during motion were measured by six Vicon 512 System (VMS Ltd., UK) infrared cameras.

Determining Dangerous Stairs

The heel trajectory direction of the participants at each walking speed was largely divided into the two types: a curved line type that the heel avoid the nosing of the stair as shown in Figure 2a, and a straight line type trajectory like that shown in Figure 2b. These trajectories are similar to a straight line, and Figure 3 shows the results of finding the residual sum of squares at each walking speed and dividing it by the number of frames.

The heel trajectories of both the males and females tended to become linear as the speed increases, so the trajectory linearity is shown as an expression (Figure 4).

This equation uses the edge of the second stair as the

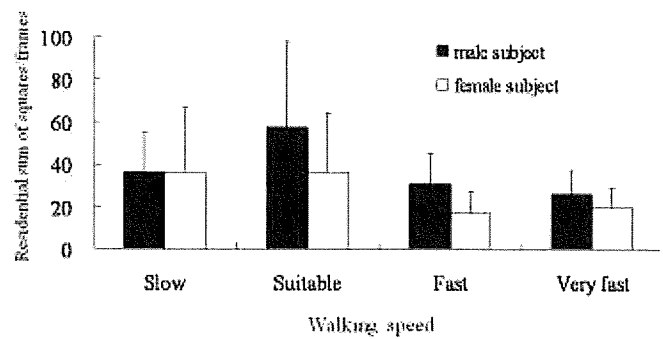


Figure 3 Residual sum of squares of heel trajectories for elderly male and female subjects

origin (0, 0), the heel position when the heel of the foot of the second step leaves the floor at the top step as Point A (x_1, y_1), and the position of the heel when the toes make contact with the tread of the first step above the floor as Point B (x_2, y_2), and then it models the line between Points A and B.

Lockwood et al. (1990) observed that the c value obtained from the measurement results using the four types of stair dimensions changed depending on the dimension of the tread and proposed the following equation (“Equation L”) [4], and this model also uses Equation L where the value of c changes depending on the tread value.

$$\begin{aligned} \text{Male } c &= 0.4086 \times \text{Tread} - 7.86 \text{ (cm)} \\ \text{Female } c &= 0.6280 \times \text{Tread} - 11.815 \text{ (cm)} \end{aligned} \quad (1)$$

Point A in Figure 4 is expressed using the nosing of the top step (Point AR), the tread, and the heel position when leaving the floor, and making the angle formed between the line that connects Point A and Point AR and the tread of the top stair to be the sole floor separation angle θ_1 and the distance between the heel and rise c , gives

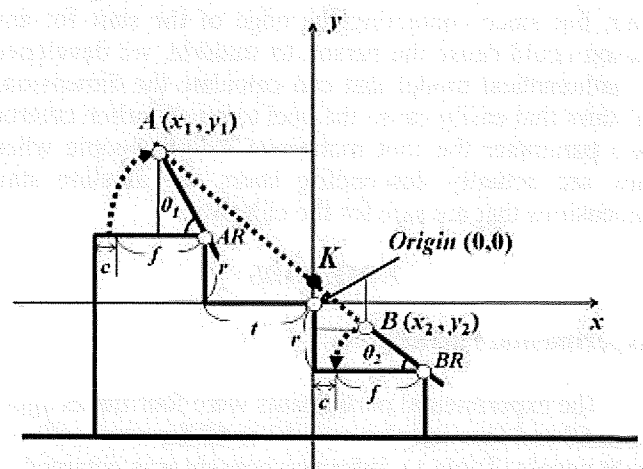


Figure 4 The mathematical model based on heel trajectories

3. RESULTS

$$\begin{aligned} \text{Point A } x_1 &= -2t + c + f - f \cos \theta_1 \\ y_1 &= r + f \sin \theta_1 \end{aligned}$$

Point B is expressed using the bottom step edge (Point BR), the tread, and the heel position at contact, and making the angle formed between the line that connects Point B to Point BR and the tread of the bottom stair to be the sole contact angle θ_2 , gives

$$\begin{aligned} \text{Point B } x_2 &= c + f - f \cos \theta_2 \\ y_2 &= -r + f \sin \theta_2 \end{aligned}$$

Expressing an equation for a straight line between Point A (x_1, y_1) and Point B (x_2, y_2) gives

$$y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x + \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} \quad (2)$$

The second term on the right side of Equation (2) is the y intercept and can be explained by the tread t , rise r , foot length F , and f, c, θ_1, θ_2 , foot position parameters. This becomes K value.

$$K = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} \quad (3)$$

When the K value in Equation is zero or less, it can be assumed that the heel will hit the nosing of the second stair and thus could cause a falling accident. In this way, this equation model can calculate the K value making it possible to calculate stair dimension combinations that could easily cause the heel to hit by entering the foot placement parameters as a constant and changing the values for the tread t and the rise r .

For the foot placement parameters, the average of the sixteen trials for both the males and females for an average descent of the stairs was set as Parameter 1. However, people do not always walk normally, so for walking that deviates from the average, the foot placement is entered into the equation as Parameter 2, which is derived by increasing by 34% the danger rate obtained by subtracting the standard deviation from the average of the respective sixteen trials for the males and females, assuming that Parameter 1 has a normal distribution.

Note that c is used as Parameter 2 and is obtained by taking 70% of the value obtained by subtracting 30% of the average value corresponding to the standard deviation of θ_1 and θ_2 from the value calculated using Equation L [4].

Relationship between Walking Speed and Heel Clearance

The relationship between stair descending speed and heel clearance was shown in Figure 5. The heel clearance was in the range of 3.50 to 4.08 cm for the males and 3.46 to 4.05 cm for the females. The results of a two-way analysis of variance showed that heel clearance is the main effect for gender ($F(1,116)9.334, p < 0.01$) and speed ($F(3,116)18.521, p < 0.01$). In addition, an interaction was observed between gender and speed ($F(3,116)19.134, p < 0.01$).

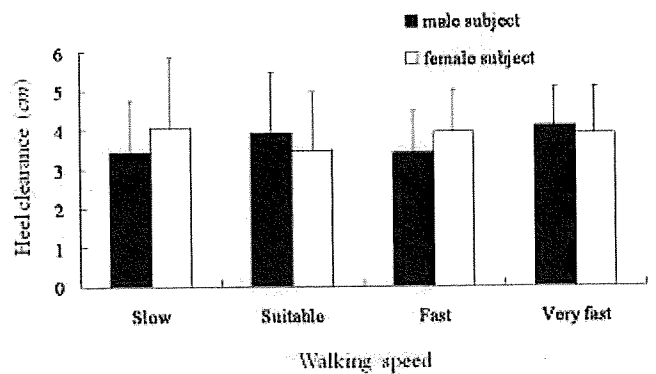


Figure 5 The relation between the four descent speeds and the heel clearance for elderly male and female subjects

Dangerous Stair Dimensions for the Elderly Calculated from the Mathematical Model

Parameter 1 for the eight males and females used in the mathematical model

$$\text{Males } F = 25.8\text{cm}, c = (0.4086) \times t - 7.860\text{cm}, \theta_1 = 59.3^\circ, \theta_2 = 26.7^\circ$$

$$\text{Females } F = 23.6\text{cm}, c = (0.6280) \times t - 11.815\text{cm}, \theta_1 = 58.5^\circ, \theta_2 = 23.2^\circ$$

Entering the above and calculating the range in which the K value is negative produced the Dangerous (Parameter 1) range shown in Figure 6. Note that entering a value of 21 cm or less for the tread in Equation L gives a c value that is zero or unrealistic, showing that a tread of 21 cm or less is unsuitable.

Next, entering Parameter 2 that takes into consideration descending that deviates from the average for both males and females, and adding the range in which the K value is negative, gives the Dangerous (Parameter 2) range shown in Figure 6.

$$\text{Males } F = 25.3\text{cm}, c = ((0.4086) \times t - 7.860) \times 0.7\text{cm}, \theta_1 = 52.5^\circ, \theta_2 = 23.0^\circ$$

$$\text{Females } F = 23.1\text{cm}, c = ((0.6280) \times t - 11.815) \times 0.7\text{cm}, \theta_1 = 54.8^\circ, \theta_2 = 19.1^\circ$$

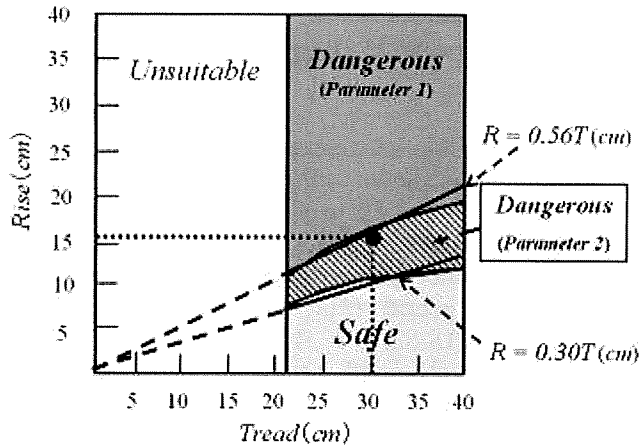


Figure 6 The safe and dangerous dimensions of staircase that was calculated with mathematical model
 (● : The stair dimension used in this study)

As can be seen from the Figure 6, taking into consideration descending that deviates from the average increases the range judged as dangerous.

4. DISCUSSION

Walking speed and heel clearance were found to be the main effects for both males and females, but the decline in body function with increased age, increased caution during descent, and the corresponding increase in close observation are also considered to have an effect.

The heel trajectories were largely divided into a linear trajectory and a curved trajectory that bulges to avoid the nosing of the stair. All of the heel trajectories were similar to a straight line with a reduction in residual sum of squares accompanying increased walking speed, and the heel trajectory was found to have a greater linear tendency when the descent was quicker, which shows the suitability of this model.

For the parameters entered into this mathematical model, the value obtained by subtracting the standard deviation from the average value was used because of the possibility of the heel hitting on the stairs when walking in a way that even slightly deviates from the average. This parameter used descending conditions that were stricter than the actual conditions to give consideration to

foot placement for which the danger rate was increased by 34% from average walking, so if the K value was positive, it could be deemed that the heel would not easily hit using the stair dimensions under consideration.

In addition, since the *c* value changed depending on the tread value, the calculation equation was used to make the parameters the same even when the participants descended stairs with different dimensions [4]. The parameters entered into the model in this way provide a method thought to be reliable in sufficiently considering descending conditions that were stricter than during normal activity.

Figure 5 shows the boundary lines for Parameters 1 and 2 and can quantitatively show the dimensional threshold $R < 0.56T$ (cm) that is deemed safe during average descent and the safe dimensional threshold $R < 0.30T$ (cm) taking into consideration descents that deviate from the average to create an index useful for preventing falling accidents when descending a stairway.

However, realizing these stair dimensions requires that capacity tolerance be considered, and since it has been reported that falling accidents by tripping on stairs during earthquake evacuation are concentrated among the elderly in Japan, it is desirable that the results from this study be proactively used for the stairs in parks and gymnasiums.

Acknowledgements

This research is being supported by the Health and Labor Science Grants in Japan.

References

- [1] Temper, J. (1992). Riser and tread geometry for comfort and safety. *The Staircase*: 25-41.
- [2] Jake, P. (2001). Life Safety Standards and Guidelines Focused on Stairways. UNIVERSAL DESIGN HANDBOOK. McGraw-Hill CHAPTER23:1-20.
- [3] Nagata, H. and Kinoshita, K. (1979). Accident Prevention on Walkways and Stairways (Second Report)—Experimental Study of Human Motion on Stairs.—RESEARCH REPORT OF THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY RR-27-3: 1-18 (Japanese)
- [4] Lockwood I., Braaksma J. (1990). Foot accommodation on various stair tread sizes, *Journal of Architectural and Planning Research*, 7:1:1-12.

