

継続的な運動は一過性運動による白血球数の増加を促進する
—大学生における筋力トレーニングに着目して—

金子伊樹・高橋珠実・新井淑弘

群馬大学教育実践研究 別刷

第36号 91～100頁 2019

群馬大学教育学部 附属学校教育臨床総合センター

継続的な運動は一過性運動による白血球数の増加を促進する —大学生における筋力トレーニングに着目して—

金子伊樹¹⁾・高橋珠実²⁾・新井淑弘³⁾

- 1) 群馬大学大学教育センター
- 2) 東洋大学食環境科学部食環境科学科
- 3) 群馬大学教育学部保健体育講座

Chronic exercise promotes increase in leukocyte count after acute exercise —Focus on resistance training in university students—

Yoshiki KANEKO¹⁾, Tamami TAKAHASHI²⁾, Yoshihiro ARAI³⁾

- 1) Higher Education Center, Gunma University
- 2) Faculty of Food Life Sciences, Toyo University
- 3) Health and Physical Education, Faculty of Education, Gunma University

キーワード：運動習慣，一過性運動，白血球，筋力トレーニング

Keywords : Chronic exercise, Acute exercise, Leukocyte, Resistance training

(2018年10月31日受理)

緒言

日常生活で運動量が多い者や継続的に運動を行っている者は、生活習慣病やがんなどの罹患率や死亡率が低いこと、また身体活動や運動が身体的な面だけでなく、精神面やQOLの改善に効果をもたらすことが認められている (Gerber et al., 2014; Pate et al., 1995). 更に、高齢者においても歩行などの日常生活における身体活動が、死亡率や寝たきりの危険性を減少させる効果があるものと示されている (Hakim et al., 1998; Pate et al., 1995; Province et al., 1995). これらの研究結果から、運動が健康に良い影響をもたらすことは、既知の事実である。また近年、適度な運動は免疫システムを向上させ、感染症やがんなどの疾患予防に有効なことが明らかになっている (Freidenreich and Volek, 2012; Gleeson et al., 2004; Quadrilatero and Hoffman-Goetz, 2003). 一過性運

動による免疫システム向上の詳細なメカニズムも明らかになってきており、適度な運動により免疫システムの根幹である白血球が増加し、この応答は運動の強度と運動持続時間に依存していることも知られている (Kakanis et al., 2010). さらに1時間以内の短時間トレッドミル走行では、早期反応と呼ばれるリンパ球や好中球、単球、好酸球、特にナチュラルキラー細胞が運動強度に依存して、運動中、一過性に増加することも明らかになっている (Green et al., 2002). また、運動後には、数時間かけてリンパ球と好酸球が一過性に減少し、後期反応と呼ばれる好中球の大きな増加を示す。1時間以上の長時間トレッドミル走行では、好中球主体の白血球の増加が生じるが、これは早期反応が運動中に後期反応へ移行し、後期反応のみが顕著になることで増加がみられることも明らかになっている (Green et al., 2002).

継続的な運動習慣によっても免疫システムは変

化すると考えられており、1回45分、運動強度はHRR (heart rate reserve) の60%の運動習慣により感冒症状の発症頻度は減少すると報告されている (Pedersen and Hoffman-Goetz, 2000)。マウスを対象とした実験でも定期的な運動習慣は、感染症や腫瘍増殖に対する抵抗力が増加すると報告されている (Gleeson et al., 2004; Quadrilatero and Hoffman-Goetz, 2003)。鈴木らが健康増進のために奨励している運動条件は、有酸素運動で最大酸素摂取量の50–60%ないし、無酸素性作業閾値以下で、運動実施時間は1日20–60分までを週3回以上の頻度で継続することである (鈴木ほか, 2002)。しかしながら、運動習慣の効果を検討した研究の多くは、運動を継続した結果、対象者の感冒症状や感染症の罹患率等の変化を調査した研究であり (Pedersen and Hoffman-Goetz, 2000; Tvede, N et al., 1991)、運動習慣が与える健康への影響の詳細を解析した研究はあまり見られない。また、現代社会において健康な者が運動習慣を身に付ける、または改善を行うことは容易なものではなく、運動習慣を身に付けるためには、運動ができる環境や運動を実施できる本人の健康な身体はもちろん、運動への好意度や過去の運動経験等、数々の複雑な因子が関わっているとされている (鈴木, 2009)。しかしながら、運動習慣によって得られる免疫システムへの効果は主に感冒症状や感染症等の予防効果であり、運動している本人が効果を実感しにくいことから、運動を継続していく強い動機づけには至りにくいことが先行研究からも考えられる (鈴木ほか, 2016)。さらに、地域の大学や自治体等で開催される運動教室の多くは週1–2回であることが多い。その結果、厚生労働省の調査 (2015) では、運動習慣が週2回以上、1回30分以上、1年以上ある者は男性37.8%、女性27.3%であり、多くの人々が鈴木ら (2002) の提唱する免疫システムを向上させるための運動頻度には達していない傾向がある。週3回以上の運動を行うには、運動教室の他に自宅や運動施設などで自発的に運動を行う、あるいは複数の運動教室に通う必要がある。

運動による感冒症状等の予防効果は自覚がしにくく、また適度な運動習慣が一過性運動に比べ、より免疫システムを向上させることが明らかになっていても、これらが運動習慣のない人に運動習慣を付ける強い動機づけには、至らないことがある。また、運動習

慣が与える健康への影響を検討したこれまでの研究は、主に運動習慣そのものの結果を観察した研究であり、運動習慣が一過性運動にどのような影響を与えるかを検討した研究はあまり見られない。そこで、運動習慣が免疫システムを向上させるだけではなく、運動習慣によって一過性運動が与える影響を明らかにすることで、運動習慣の新たな知見を検証することを目的とした。本研究では、運動習慣に類似した一ヶ月の運動期間を設定し、一過性運動が血中の白血球数へ与える影響を検討した。

方法

対象者

運動を実施する上で妨げとなる傷害や疾患、また定期的な運動習慣のないG大学の学生を対象者とした。対象者の募集は、G大学内で無作為に研究参加のボランティアを依頼した。男女比と人数に考慮し、運動群とコントロール群の2群に対象者を分け、実験を行った。女性の対象者には、月経周期が正常か不順かを調査した。

形態・筋力測定

対象者の形態測定は、自動身長計付き体組成計 (DC-250: TANITA社製) を用いた。筋力測定は、肘関節右伸展と肘関節右屈曲、右膝伸展、右膝屈曲を筋力測定器 (バイオデックスシステム3: 酒井医療社製) を用いた。運動群とコントロール群は、それぞれ実験開始前、一ヶ月のトレーニング期間後の2回測定した。

採血

臨床検査技師が医師の指導の下、座位安静状態で肘正中皮下静脈より抗凝固因子入りの真空採血管を用いて行った。採血の回数は、一過性運動を行う前と直後の2回、また、一ヶ月のトレーニング期間を経て、同様の採血を2回、計4回の採血を行った。食事や水分による誤差をなくすために、採血日、対象者全員同じ時間 (12時–12時半) に同じメニューの昼食を取らせた。

心拍数測定

運動時の心拍数は運動強度に比例するといわれており、運動強度の指標の一つとして測定されている (Hilloskorpi et al., 1999)。運動前に、対象者全員にスポーツ心拍計 (POLAR社製) を装着させ、測定を行った。装着、計測方法はPOLAR社の使用説明書に則して行った。

自覚的運動強度スケール (RPE)

RPEは、運動強度を自身の感覚で測定する方法である (Borg, 1970)。対象者に筋力差があると想定し、一過性運動時の運動負荷比を対象者間で平均化するためにこのスケールを用いた。運動強度は「Hard (きつい) 15」に設定し、運動を行った。

一過性運動

対象者の実施する運動は、調節式リスト・アングルウエイト (TOEI社製) を用い、安全性を考慮したトレーニング方法 (浅川ほか, 1997) を基に全身の筋肉を使うように改変し、60分間行われた。リスト・アングルウエイトの負荷に関しては各対象者の筋力に合わせた運動強度で行うため、RPE (Borg, 1970) を用いて「Hard (きつい) 15」と感じる程度の負荷をかけて行われた。

トレーニング期間の設定

実験全体の流れに関してはFig. 1に記載した。一ヶ月のトレーニング期間に、運動群が行う運動は一過性運動と同じ運動を行った。頻度に関しては健康増進のために奨励されている運動条件 (鈴木ほか, 2002) である週3回程度を目標に設定した。また、運動回数と頻度の記録は運動記録表 (Table 1) に記録し、回収した。コントロール群は特に規制等はなく、普段と同様に過ごしてもらった。

白血球数測定

採血を行い、桜木ら (Sakuragi et al., 2013) の報告を元に白血球数の基準となる範囲を末梢血中に3000-8000cell / μ Lを正常値と設定し、この範囲を超える (>8,000) 対象者を「High」、範囲内もしくは範囲より低い場合 (\leq 8,000) は「Low」とした。白血球数は、全血を用いて自動血球計数装置 (CC-180A :

シスメックス社製) で測定した。

統計解析

得られたデータは統計解析ソフト (JMP9 : SAS社製) を用いて、解析した。身長、体重などの基礎情報は対応のある t 検定を用い、白血球数においては正常値より高い対象者を「High」とそうではない対象者を「Low」の2グループに分け、カイ二乗検定を行った。カイ二乗検定の結果は、2 \times 2 分割表におけるFisherの正確検定で結果を確認した。

倫理的配慮

本研究はG大学医学部の倫理審査要綱に基づいて倫理的配慮を行った。実施に先立ち対象者には「本研究の趣旨と内容」、「実験のスケジュール」、「実験に参加することによるメリットやデメリット」、「データの帰属と利用について」、「実験参加の中断は対象者自身の意思により可能であること」等を説明し、その内容を十分理解したことを確認したうえで、同意書にサインをしてもらい、実験を開始した。

結果

対象者

最後まで実験に参加した男性20名、女性21名、合計41名を本研究の対象者とした。各群の対象者数は運動群 (n = 21 : 男 = 10名, 女 = 11名)、コントロール群 (n = 20 : 男 = 10名, 女 = 10名) となった。月経周期が不順と回答した対象者は、運動群とコントロール群でそれぞれ2名ずつ、合計4名であった。

対象者の形態、筋力

実験前に対象者の身体情報などに偏りがないかを調べるために対象者の身体情報を測定し、解析を行った。実験開始時の運動群とコントロール群の身長、体重やその他の項目に有意な差はみられなかった (Table 2)。また、実験前の対象者の筋力についても比較したところ、実験開始前の両群に筋力の差はなかった (Table 2)。さらに一ヶ月のトレーニング期間後の対象者の筋力についても比較したところ、両群の筋力に有意な差はみられなかった (Fig. 2)。

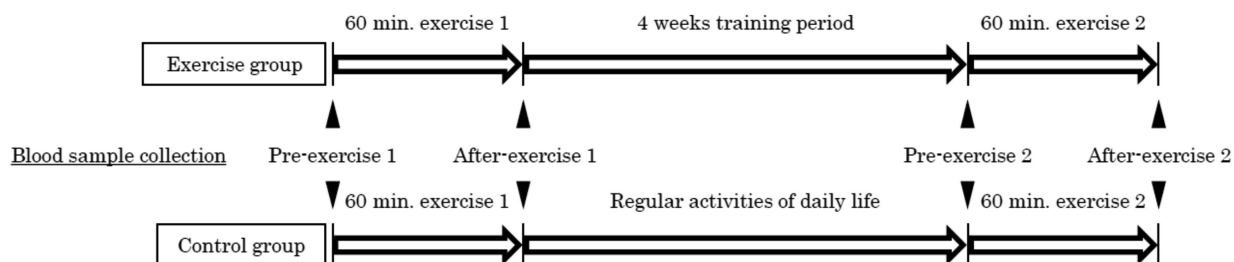


Figure 1. The schedule of exercises and blood samplings

Shown is the schematic outline of the experiment. The participants were divided into 2 groups, namely the exercise and control groups. The exercise group was assigned to undergo a 4-week exercise training program. First blood sample collections were conducted before and after the first transient exercise. Then, after the 4-week exercise period, second blood sample collections were conducted at the same time point as in the previous collections.

Table 1. Exercise checklist

運動記録

氏名()

月 日() (午前 / 午後 _____ 時 _____ 分)

*各運動初期段階では10回(秒)×3-6セット、最終目標は6セットで、運動強度スケールを参考に適正強度で行ってください。

(上肢) 運動項目・負荷		回数・セット数		(下肢) 運動項目・負荷		回数・セット数	
1. 腕①	kg	回	セット	1. 大腿四頭筋	kg	回	セット
2. 腕②	kg	回	セット	2. 足首①	kg	回	セット
3. 腕③	kg	回	セット	3. ハムストリング	kg	回	セット
4. 肩と背中	kg	回	セット	4. 股の筋肉①	kg	回	セット
5. 肩①	kg	回	セット	5. 股の筋肉②	kg	回	セット
6. 肩②	kg	回	セット	6. 股の筋肉③	kg	回	セット
7. 肩と腕	kg	回	セット	7. 下腹部	kg	回	セット
8. 腕④	kg	回	セット	8. 足首	kg	回	セット
9. 腕立て伏せ	kg	回	セット	9. スクワット	kg	回	セット
10. 腹筋・背筋	kg	回	セット	10. 腹筋・背筋	kg	回	セット

運動強度

RPEを「Hard (きつい) 15」揃えて運動を行うように指示をしたが、RPEは自覚的な運動強度であるため、実際には運動強度が異なっている事態も考えられる。そのため一過性運動時に測定した心拍数を解析することで客観的な運動強度についても解析を行った。2回の一過性運動時の最高心拍数は運動群とコントロール群で有意な差はなかった (Table 3)。RPEもそろえて一過性運動を行っていることから、本研究において、両群の一過性運動の運動強度に有意な差はなかった。

運動頻度

一ヶ月のトレーニング期間に運動群が実施した運動の回数を運動記録表 (Table 1) に記載させ、回収、集計した。運動回数の目標は鈴木ら (2002) の報告に基づいて週3回以上を目標とした。運動回数の集計の結果、運動群が運動を行った回数は一ヶ月で 17.6 ± 3.5 回で、1週間の平均は 4.2 ± 0.8 回であった。この結果から運動群がトレーニング期間に行った運動回数は免疫システムに影響を与えると報告されている運動回数に達していた。

Table 2. Information of participants

Contents (Unit)	Exercise group (n=21)			Control group (n=20)			
	Male (n=10)	Female (n=11)	Total (n=21)	Male (n=10)	Female (n=10)	Total (n=20)	
Sex(male/ female)							
Age (years)	21.1±1.5	20±1.3	20.5±1.5	19.9±1.1	19.8±1.2	19.8±1.1	n. s.
Height (cm)	169.6±7.3	160.2±7.9	164.6±8.8	169.3±5.8	158±4.9	163.6±7.7	n. s.
Weight (kg)	63.2±11.6	55.4±4.8	59.1±9.3	60.7±10.9	61.7±15.5	60.3±14.2	n. s.
Body fat (%)	18.3±7.3	25.7±3.7	22.2±6.6	19.2±6.5	27.3±8.8	23.2±8.5	n. s.
Heart rate (bpm)	74.9±11.6	77.5±5.4	76.2±8.7	78.9±14.3	78.4±6.6	78.6±10.8	n. s.
Knee extension (%/Weight)	314.3±49.4	274.3±28.2	293.3±43.7	334.8±32.9	249.4±41.7	292±57	n. s.
Knee flexion (%/Weight)	161.4±30.4	110±23.8	144.9±30.9	167.5±31	108.8±19.4	138.1±38.5	n. s.
Elbow extension (%/Weight)	67.6±9.4	44.1±6.9	55.2±14.4	72.9±7/2	45.5±10.8	59.1±16	n. s.
Elbow flexion (%/Weight)	64±7.8	39.1±4.3	50.9±14.1	65.4±13.6	37.8±8.5	51.6±17.5	n. s.

n. s.: not significant.

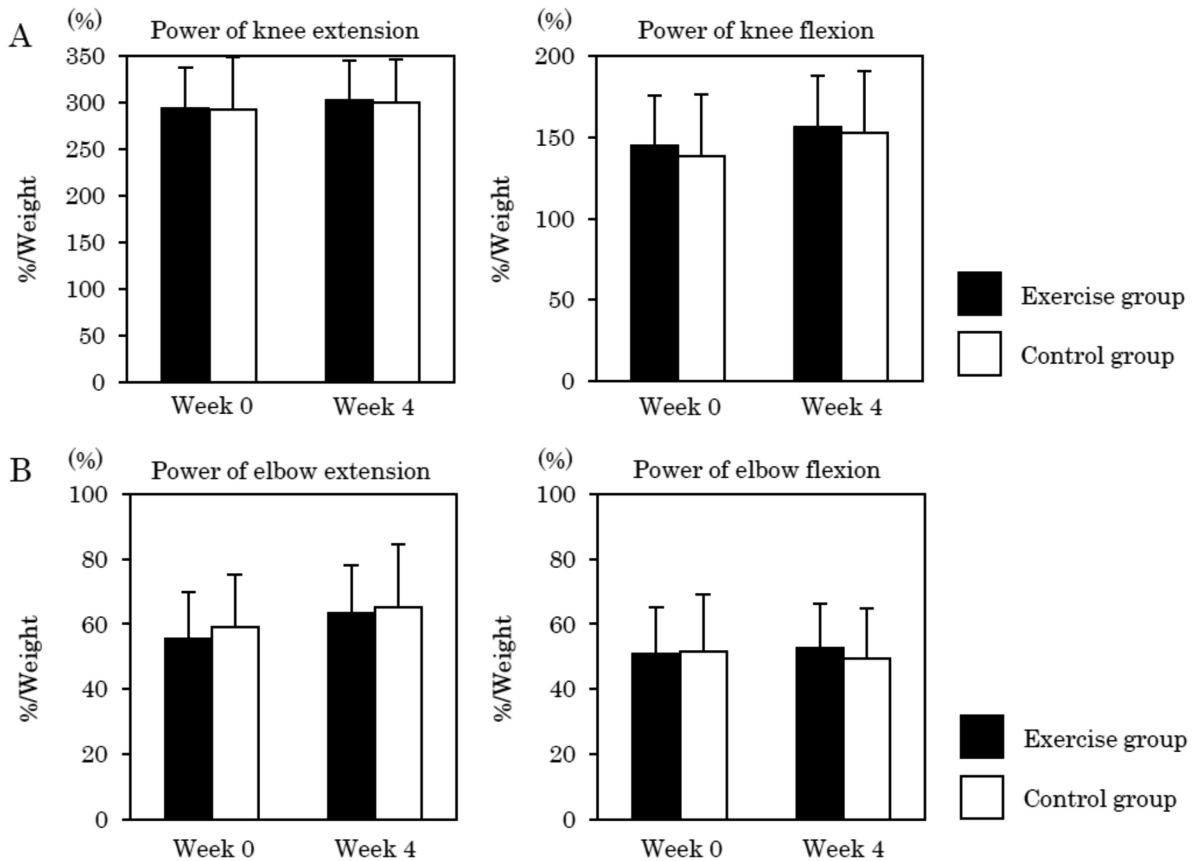


Figure 2. The leg and arm power of the participants in the exercise and control groups

To determine the leg and arm power differences between the exercise and control groups, the power of extension and flexion of both the knee and elbow were measured as leg and arm power. A : The power of knee extension and flexion in the exercise and control groups with or without the 4-week training. The black and white bars indicate the exercise and control groups, respectively. The Y-axis represents the power of the percentage of own weight. B : The power of elbow extension and flexion in the exercise and control groups with or without the 4-week training. The black and white bars indicate the exercise and control groups, respectively. The Y-axis represents the power of the percentage of own weight.

Table 3. Mean maximum heart rate during the acute exercise

Contents (Unit)	Exercise group (n=21)	Control group (n=20)	
Week 0 (bpm)	142.6±12.4	147.3±19.8	n. s.
Week 4 (bpm)	149.3±11.3	145.3±19.3	n. s.

n. s.: not significant.

Table 4. Leukocyte counts before the 4-week training period

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=5)	Low (n=15)		
Male exercise group (n=10)	2	8	0.605	n. s.
Male control group (n=10)	3	7		

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=2)	Low (n=19)		
Female exercise group (n=11)	1	10	0.943	n. s.
Female control group (n=10)	1	9		

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=7)	Low (n=34)		
Exercise group (n=21)	3	18	0.626	n. s.
Control group (n=20)	4	16		

n. s.: not significant.

Table 5. The effect of acute exercise on the number of leukocytes before the 4-week training period

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=4)	Low (n=16)		
Male exercise group (n=10)	2	8	1	n. s.
Male control group (n=10)	2	8		

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=2)	Low (n=19)		
Female exercise group (n=11)	1	10	0.943	n. s.
Female control group (n=10)	1	9		

Group	Number of leukocytes		P-value	
	High (n=6)	Low (n=35)		
Exercise group (n=21)	3	18	0.948	n. s.
Control group (n=20)	3	17		

n. s.: not significant.

Table 6. Leukocyte counts after the 4-week training period

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=1)	Low (n=19)	
Male exercise group (n=10)	1	9	0.304
Male control group (n=10)	0	10	

n. s.

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=4)	Low (n=17)	
Female exercise group (n=11)	3	8	0.314
Female control group (n=10)	1	9	

n. s.

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=5)	Low (n=36)	
Exercise group (n=21)	4	17	0.155
Control group (n=20)	1	19	

n. s.

n. s.: not significant.

Table 7. The effect of acute exercise on the number of leukocytes after the 4-week training period

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=3)	Low (n=17)	
Male exercise group (n=10)	3	7	0.06
Male control group (n=10)	0	10	

n. s.

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=9)	Low (n=13)	
Female exercise group (n=11)	6	5	0.103
Female control group (n=10)	2	8	

n. s.

Group	Number of leukocytes		P-value
	High (n=11)	Low (n=30)	
Exercise group (n=21)	9	12	0.017
Control group (n=20)	2	18	

*

n. s.: not significant. *: P<0.05

白血球数

本研究の実験開始時の一過性運動前、白血球数が「High」になっている対象者は運動群で14.3%（男

性20.0%、女性9.1%）、コントロール群で20.0%（男性30.0%、女性10.0%）であり、両群に有意な差はなかった（Table 4）。また、実験開始時の一過性運

動後、白血球数が「High」になっている対象者は運動群で14.3%（男性20.0%，女性9.1%），コントロール群で15.0%（男性20.0%，女性10.0%）であり，こちらも両群に有意な差はなかった（Table 5）．さらにトレーニング期間後の一過性運動前，白血球数が「High」になっている対象者は運動群で19.1%（男性10.0%，女性30.0%），コントロール群で5.0%（男性0.0%，女性10.0%）であり，両群に有意な差はなかった（Table 6）．しかしながら，トレーニング期間後の一過性運動後，白血球数が「High」になっている対象者は運動群で42.9%（男性30.0%，女性54.5%），コントロール群で10.0%（男性0.0%，女性20.0%）であり，運動群の方が「High」になった対象者の割合が有意に増加した（ $P < 0.05$ ）（Table 7）．この結果から，一ヶ月のトレーニング期間を経ることで一過性運動を行った際の白血球の上昇がみられた対象者数が増加した．

考 察

本研究で，一ヶ月のトレーニング期間は一過性運動後の白血球数増加に寄与していることが明らかとなった．これまで継続的な運動習慣が免疫システムを向上させる事は明らかになっているが，継続的な運動習慣が一過性運動の効果に影響を与えるのか，またどのような影響を与えているのかは明らかでなかった．本研究は週3回程度，運動強度の軽い運動を一ヶ月継続して行うことで，一過性運動後の白血球数が上昇した対象者が増加していることを観察した．これまで運動習慣の影響を検討した報告は多くあるものの（Pedersen and Hoffman-Goetz, 2000; Tvede, N et al., 1991），運動習慣が一過性運動に与える影響を検討した報告はない．本研究は，継続的な運動効果が一過性運動に与える影響を明らかにし，今までの研究とは異なる視点から運動習慣の効果を検証した報告である．白血球は免疫システムの根幹を担っており，多くの免疫系細胞は白血球系幹細胞から分化している（Artis and Spits, 2015）．さらに細菌，ウイルスなどに感染した際には白血球数が増加し，体内に侵入してきた抗原に対し抵抗することが知られている（Artis and Spits, 2015）．本研究で白血球数が増加したことから，継続的な運動習慣により一過性運動における免

疫系の反応が亢進する可能性が示唆された．このことから継続的な運動習慣を付けることで一回の運動での効果も高まることが推察される．本研究の目的の一つである“運動習慣がない人に運動習慣をつける”および“運動習慣がある人には運動を継続する”ための動機づけの一つになり得るものと考えられる．

今回，一ヶ月のトレーニング期間を設けたが，運動群とコントロール群に筋力の変化はみられなかった．しかしながら，一ヶ月のトレーニング期間を設けた他の研究では，筋力の上昇が報告されている（Boone et al., 2015）．本研究で実施した運動は，高齢者向けのもの（浅川ほか，1997）を改変したものであり，本来，筋力の低下した高齢者向けの運動である．本研究の対象者は平均年齢20歳前後と筋力の衰えている年齢ではなく，運動強度が年齢に対して低かったことから，筋力増強の効果は小さかったことが推察された．日常生活の中で，極めて長時間や高強度の運動は，運動習慣として継続することは難しい傾向にある．本研究で検証した運動は省スペースで，椅子に座って実施可能なことから安全性が高く，比較的運動習慣として継続しやすいと推察される．近年，ランニング等の軽運動が認知機能やがんに影響を及ぼすことは徐々に明らかになってきている（Inoue et al., 2015; McCullough et al., 2014）．本研究の結果も同様に，運動の筋力に差が出ない程度の運動で白血球数に影響が出たことは，これらの報告と類似している．今回，以前の報告に沿って週3回程度の運動を課したが，週3回程度の運動を継続していくのは厳しい社会状況であり，今後は週3回よりも少ない回数の運動での効果も検討していく必要がある．

以前の研究では運動の段階において，白血球の中でも好中球や好塩基球などの割合が特異的に上昇することが示唆されている（Suzuki et al., 1996）．本研究では，白血球の割合には着目していないが，以前の報告と同様に1時間程度の運動時間を設けているため，白血球数の増加と共に同様の現象が起こっているものと推察された．また，有意差はなかったもののトレーニング期間後の一過性運動前に計測した白血球数でも，運動群の方が白血球数の高値になった対象者が多い傾向にあった．実験開始前に体調が優れないと申告してきた対象者はいなかったことから，運動習慣を得ることによって，普段の状態では白血球数は高い状態になる

可能性が示唆された。白血球の恒常的高値が運動効果にどのような現象を身体に及ぼすかは明らかになっておらず、この現象は今後の研究課題である。また、免疫システムの応答は、男女で異なると報告されている (Butterworth et al., 1967; Timmons et al., 2006)。今回の現象は男女問わず認められた。Timmonsら (2006) の報告と異なり、本研究の運動は長期間であったことから、今回のような結果になった可能性が考えられる。本研究では、女性の対象者に月経周期が正常か否かのみを調査した。月経と白血球数の増加は関りが強い (Evans and Salamonsen, 2012)、今後は月経周期も含めた検討が必要であろう。また、今回は免疫系を測る指標として直接、白血球数を検討したが、免疫系には様々な因子が関わっており、今後、免疫機能の指標となる因子の検討も進めていく。

結 論

本研究で、一ヶ月間、週3回程度のトレーニング期間を経ることで、一過性運動後の白血球数が増加することが明らかとなった。この結果から、継続的に行われる運動は一過性運動時の白血球数の変化に影響を与えていることを見出した。

参考文献

- Artis, D., and Spits, H. (2015). The biology of innate lymphoid cells. *Nature*, 517 (7534): 293-301.
- Boone, C.H., Stout, J.R., Beyer, K.S., Fukuda, D.H., and Hoffman, J.R. (2015). Muscle strength and hypertrophy occur independently of protein supplementation during short-term resistance training in untrained men. *Appl Physiol Nutr Metab*, 40 (8): 797-802.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*, 2 (2): 92-98.
- Butterworth, M., McClellan, B., and Allansmith, M. (1967). Influence of sex in immunoglobulin levels. *Nature*, 214: 1224-1225.
- Evans, J., and Salamonsen, L.A. (2012). Inflammation, leukocytes and menstruation. *Rev Endocr Metab Disord*, 13 (4): 277-88.
- Freidenreich, D.J., and Volek, J.S. (2012). Immune responses to resistance exercise. *Exerc Immunol Rev*, 18: 8-41.
- Gerber, M., Brand, S., Herrmann, C., Colledge, F., Holsboer-Trachsler, E., and Puhse, U. (2014). Increased objectively assessed vigorous-intensity exercise is associated with reduced stress, increased mental health and good objective and subjective sleep in young adults. *Physiol Behav*, 135: 17-24. doi: 10.1016/j.physbeh.2014.05.047
- Gleeson, M., Nieman, D.C., and Pedersen, B.K. (2004). Exercise, nutrition and immune function. *J Sports Sci*, 22 (1): 115-125. doi: 10.1080/0264041031000140590
- Green, K.J., Rowbottom, D.G., and Mackinnon, L.T. (2002). Exercise and T-lymphocyte function: a comparison of proliferation in PBMC and NK cell-depleted PBMC culture. *J Appl Physiol* (1985), 92 (6): 2390-2395. doi: 10.1152/jappphysiol.00926.2001
- Hakim, A.A., Petrovitch, H., Burchfiel, C.M., Ross, G.W., Rodriguez, B.L., White, L.R., Yano, K., Curb, J.D., and Abbott, R. D. (1998). Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. *N Engl J Med*, 338 (2): 94-99. doi: 10.1056/NEJM199801083380204
- Hilloskorpi, H., Fogelholm, M., Laukkanen, R., Pasanen, M., Oja, P., Manttari, A., and Natri, A. (1999). Factors affecting the relation between heart rate and energy expenditure during exercise. *Int J Sports Med*, 20 (7): 438-443.
- Inoue, K., Okamoto, M., Shibato, J., Lee, M.C., Matsui, T., Rakwal, R., and Soya, H. (2015). Long-Term Mild, rather than Intense, Exercise Enhances Adult Hippocampal Neurogenesis and Greatly Changes the Transcriptomic Profile of the Hippocampus. *PLoS One*, 10 (6): e0128720.
- Kakanis, M.W., Peake, J., Brenu, E.W., Simmonds, M., Gray, B., Hooper, S. L., and Marshall-Gradisnik, S.M. (2010). The open window of susceptibility to infection after acute exercise in healthy young male elite athletes. *Exerc Immunol Rev*, 16: 119-137.
- McCullough, D.J., Stabley, J.N., Siemann, D.W., Behnke, B.J. (2014). Modulation of blood flow, hypoxia, and vascular function in orthotopic prostate tumors during exercise. *J Natl Cancer Inst*, 106 (4): dju036.
- Pate, R.R., Pratt, M., Blair, S.N., Haskell, W.L., Macera, C.A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G.W., King, A.C., Kriska, A., Leon, A.S., Marcus, B.H., Morris, J., Paffenbarger, R.S., Patrick, K., Pollock, M.L., Rippe, J.M., Sallis, J., and Wilmore, J.H. (1995). Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273 (5): 402-407.
- Pedersen, B.K., and Hoffman-Goetz, L. (2000). Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiol Rev*, 80 (3): 1055-1081.
- Province, M.A., Hadley, E.C., Hornbrook, M.C., Lipsitz, L.A., Miller, J.P., Mulrow, C.D., Ory, M.G., Sattin, R.W., Tinetti, M.E., and Wolf, S.L. (1995). The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the

- FICSIT Trials. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. *JAMA*, 273 (17): 1341-1347.
- Quadrilatero, J., and Hoffman-Goetz, L. (2003). Physical activity and colon cancer. A systematic review of potential mechanisms. *J Sports Med Phys Fitness*, 43 (2): 121-138.
- Sakuragi, S., Moriguchi, J., Ohashi, F., and Ikeda, M. (2013). Reference value and annual trend of white blood cell counts among adult Japanese population. *Environ Health Prev Med*, 18 (2): 143-150. doi: 10.1007/s12199-012-0304-8
- Suzuki, K., Sato, H., Kikuchi, T., Abe, T., Nakaji, S., Sugawara, K., Totsuka, M., Sato, K., and Yamaya, K. (1996). Capacity of circulating neutrophils to produce reactive oxygen species after exhaustive exercise. *J Appl Physiol* (1985), 81 (3): 1213-1222.
- Timmons, B.W., Tarnopolsky, M.A., and Bar-Or, O. (2006). Sex-based effects on the distribution of NK cell subsets in response to exercise and carbohydrate intake in adolescents. *J Appl Physiol* (1985), 100 (5): 1513-1519.
- Tvede, N., Steensberg, J., Baslund, B., Halkjaer, Kris-Tensen, J., and Pedersen, B.K. (1991). Cellular immunity in highly trained elite racing cyclists during periods of training with high and low intensity. *Scand J Med Sci Sports* 1: 163-166.
- フィアテロン：浅川康吉・白田滋訳 (1997). お年寄りのための安全な筋力トレーニング (第2版). 保健同人社.
- 厚生労働省. (2015). 平成27年度国民栄養調査.
- 鈴木克彦・町田和彦・栗山孝雄. (2002). Global Standardの視点からの医療 (39) 運動療法の新しい取り組み—そのメカニズムと有用性について. *治療*, 84 (12) : 3037-3041.
- 鈴木宏哉. (2009). どんな運動経験が生涯を通じた運動習慣獲得に必要か? : 成人期以前の運動経験が成人後の運動習慣に及ぼす影響. *発育発達研究*, 41 : 1-9.
- 鈴木真生・若尾あすか・松村耕平・野間春生・多田昌裕・黒田知宏. (2016). *生体医工学*, 54 (2) : 8-65.

(かねこ よしき・たかはし たまみ・あらい よしひろ)