スポーツ選手の運動性貧血とその対策について (第2報)

Studies of the "Sports-anemia" on the Athletes and Its Countermeasures (Report 2)

運動性貧血に対するアミノ酸投与の効果

Effect to the Supplement of Amino-acid for the "Sports-anemia"

(昭和36年3月20日受理)

* 吉 村 寿 人 (Hisato Yoshimura)	** 山 岡 誠 一 (Seiichi Yamaoka)	* 平 松 戊 辰 (Shigeyoshi Hiramatsu)
* 森 島 正 彦 (Masahiko Morishima)	* 蜂須賀 弘 久 (Hirohisa Hachisuka)	* 吉 岡 利 治 (Toshiharu Yoshioka)
* 池 田 嘉 代 (Kayo Ikeda)	* 立 石 睦 子 (Mutsuko Tateishi)	* 田 中 典 子 (Noriko Tanaka)
** 斎 藤 晋 哉 (Shinya Saito)	** 服 部 加 代 子 (Kayoko Hattori)	

In order to study the preventive and therapeutic effect of the amino acids administration for the sports-anemia caused by excessive sports trainings, the exercising albino-rats and sports-players in training were administered with amino-acids, and its effect on their blood composition was examined. The results obtained were as follows:

When the albino-rats were forced to keep running for 14 days the "sports-anemia" appeared; progress of this anemia could be inhibited by the administration of threonine or its ferrous salt.

Sports-players taking hard training can be prevented or recovered from the anemia by the long-period administration of composite amino-acids or threonine ferrous salt.

緒 論

一般に鍛錬を重ねた優れたスポーツ選手の血液性状を観察すると、赤血球数が多く血色素濃度の高いことは、Herxheimer¹⁾やDill²⁾によって認められ、Dillはスポーツマンの赤血球数を調べることによって鍛錬の度が判断できるという。脇坂³⁾らによるアジア大会に出場した日本選手の血液性状の所見においても、全血比重や赤血球数、あるいは血色素濃度が標準値よりも一般に高いことを報告している。われわれも日本的な熟練選手の血液性状が普通人より優れているが、しかし鍛錬途上のスポーツ選手の血液性状を観察すると、それらの水準が一般人よりも低い場合の多いことを前報⁴⁾において指摘した。このことはアジア大会出場選手についての脇坂らの資料においても、平均値では一般水準よりはるかに優位にあるが、個人差が大きく低水準にある選手も相当数みられるのである。

スポーツ選手の血液所見において、一般水準より優位

にあるものから貧血症状に至るまでその範囲の広いことは、強度の身体訓練による赤血球の破壊と、それが刺激となって赤血球の新生との量的関係の不均衡にあることは明らかで、吉村⁵⁾山地⁶⁾宇佐美⁷⁾らは、自転車労作による蛋白代謝についての一連の実験成績から初期の運動鍛錬によって破壊された赤血球や減少した血清蛋白などの血液蛋白は作用筋の肥大、発育のために動員されるものと考え、運動鍛錬時、ことにその初期には体重1kg当り2g以上の蛋白の補給によって予防しうることを説き、Iokovleu⁸⁾らもスポーツ選手の蛋白栄養についての論説で、スポーツの種類により若干の相違はあるが体重1kg当り1.7~2.5gの蛋白栄養を要求しているのである。

そこで著者らは上部の事実にかんがみ、合宿訓練期や鍛錬途上のスポーツマンにみられる運動性貧血の予防ないしは回復に、蛋白栄養の補給によって効果があるのではないかと考え、スポーツ選手や運動負荷動物にアミノ酸栄養を補給して、2, 3の調査研究を行なったのでその

結果を報告する。

実験方法

1) 白鼠についての実験

動物実験には13匹の成熟した白鼠（体重 200～250g）を用い、標準食としてオリエンタル酵母飼料を体重 200g 当り 20g/日（蛋白 4.87g, 熱量 82Cal）の割合で与えて飼育箱にて安静飼育した。その間に体重、赤血球数、血色素濃度、網状赤血球などを測定し、その値がほぼ安定したところでこれを平常安静値とした。

次いで13匹中の2匹の白鼠は対照として標準食で安静飼育を続け、他の11匹に対しては、山田⁹⁾の作製した treadmill を用いて毎日 900m/時 の速度で1時間づつ走行運動を行わしめ、これを2週間連続した。

運動期間の食餌としては、上記の標準食のほかに体重 200g 当り 5g/日 の澱粉を与えて運動時のカロリーを補ない、さらにこの11匹を5群に分け、そのうちの4群にはそれぞれスレオニン、トリプトファン、リジンおよびスレオニンに鉄を結合させたもの（以下スレオニン鉄と略称する）を標準食期の0.1%増になるように投与した。残り1群には澱粉のみを補給して運動を荷し、アミノ酸投与の運動群の対照とした。

第1表は各群の白鼠の標準食および運動期間の必須アミノ酸の投与量（飼料 20g 中）を示したものであって、アミノ酸投与群の白鼠は、対照に比べて体重 200g 当り 20mg/日 の余剰のアミノ酸を摂取したことになる。

これらの各群の白鼠に対し、2週間の運動期間中に安静時と同様の測定を4回（運動開始後第2日、第5日、第7日、第14日目）繰り返して行ない、運動によるそれら

第1表 各群の飼料中のアミノ酸含有量
(飼料 20g 中) (単位 mg)

	標準食	0.1% スレオ ニン鉄 添加	0.1% スレオ ニン添 加	0.1% トリプ トファ ン添加	0.1% リジン 添加
総 N 量	778	779	778	780	780
リ ジ ン	92	92	92	92	112
トリプトファン	27	27	27	47	27
フェニールアラニン	77	77	77	77	77
メチオニン	21	21	21	21	21
シ ス チ ン	42	42	42	42	42
ス レ オ ニ ン	67	79	87	67	67
ロ イ シ ン	94	94	94	94	94
イ ソ ロ イ シ ン	89	89	89	89	89
バ リ ン	101	101	101	101	101
鉄	14.6	17.54	14.6	14.6	14.6
蛋 白 価	19	19	19	19	19

各群の血液性状の変動を観察した。血液性状の測定は各鼠とも尾部から採血し、赤血球は Thoma の計算盤により、血色素濃度は Heilmeyer¹⁰⁾ の還元法に従い、網状赤血球数は超生体染色法¹¹⁾を用いて行なった。

2) スポーツ選手についての試験

被検者として、毎日2～3時間過激なスポーツ訓練を続けている中、長距離選手24名（17～24才）を選び、昭和34年7月末より35年4月中旬までの長期間にわたってアミノ酸投与の栄養試験を行なった。

各被検者は家庭または寮において普通の日常食餌を摂っている学徒および社会人で、これらの各被検者の摂取栄養は日によって変動が大きく、1日 2500Cal から 3300 Cal, 蛋白は体重 1kg 当り 1g 強から 2g 余にわたり、その摂取量は、日によって相当な幅をもっていた。栄養試験としては一定の基準食の上に被検栄養を補給するのが本態であって、このような異なった日常食事の選手に栄養補給をして比較検討することは当をえないが、長期間の栄養試験であるため一定の食餌を摂らすことは困難なことであり、また実験の目的が広く運動選手の貧血予防としてのアミノ酸栄養添加の効を考察するためであるので、あえて日常食餌を摂っているスポーツ選手を被検者とした。

第2表 1日当り投与量
(単位 mg)

	A 対 照	B 不足し や すい アミ ノ 酸 群	C 総合ア ミ ノ 酸 群	D スレオ ニン 鉄 群
ア ミ ノ 酸	リ ジ ン	-	450	66
	スレオニン	-	DL 225	42
	トリプト ファン	-	DL 60	18
	メチオニン	-	DL 66	165
	バ リ ン	-	-	-
	フェニール アラニン	-	-	14
	ロ イ シ ン	-	-	250
	アルギニン	-	-	117
	ヒスチジン	-	-	77
	シ ス チ ン	-	-	若干
ビ タ ミ ン	イ ソ ロ イ シ ン	-	-	若干
	鉄	-	-	-
	A	4000	1000	-
	B ₁	4.4	9.0	3.0
	B ₂	1.2	9.0	1.2
ニ コ チ ン 酸	C	60	60	-
	ニコチン酸	12	18	6.0

24名の被検者を4群に分け、第1群(7名)は対称としてビタミン剤のみを補給し、第2群(5名)には日本人に不足しやすいリジン、スレオニン、トリプトファンおよびメチオニンを、第3群(6名)には総合アミノ酸剤を投与し、第4群(6名)にはスレオニン鉄を補給した。各群の被検者に対する1日の投与量は、第2表のようであって、第4群のスレオニン鉄群では最初の2ヵ月は表中に()で示した量(半量)を与え、副作用の現れないことを認めたので後半の3ヵ月は前半の倍量を服用させた。

これらの被検者に対して、アミノ酸投与前の7月下旬10月中旬、1月中旬および4月末の5回にわたって採血を行ない、血液の諸性状の変動を観察するとともに、体重測定、尿一般検査や体力測定を行なった。血液性状については第一報に述べた測定方法によって全血および血清比重、赤血球数、血色素濃度、血清蛋白濃度、ヘマトクリット値および網状赤血球数を測定した。

実 験 成 績

1) 白鼠についての成績

13匹の強制走行運動および対照の白鼠について測定した体重ならびに血液性状の推移を図示すると第1図のようであって、各鼠とも運動による消費熱量を澱粉で補っ

たがために、体重ではほとんど変動を示さなかった。しかし、赤血球数、血色素濃度および網状赤血球数では安静白鼠には変化がなかったのに対し、運動白鼠群では運動開始後2日目において赤血球数および血色素濃度の減少を示し、日を経るに従ってその度が増し、一方網状赤血球の増加が見られ、明らかに運動性の貧血症状が観察できる。

そこで、第1図に示した各群の赤血球数や血色素濃度の減少および網状赤血球の増加を比較するために、各群別の平均値について、運動負荷前の安静期の値に対する増減の比率を求めて描画したのが第2図である。図によって血液性状の変化の様相を眺めると、何れの群とも体重では1.5~2%程度の変動であるので、体重においてはまず変化ないと見てよい。しかし、赤血球数については運動を負荷しない対照群ではほとんど変動はないのであるが、運動群では著しい低下を示し、網状赤血球の数が著明に増加していることが観察できる。すなわち、赤血球数においては運動群は運動負荷第2日目より低下を示し、以後直線的に減少して運動2週間目には、リジン、トリプトファン、および澱粉のみの投与群では安静時の25~30%も低下している。これに対しスレオニン、ことにスレオニン鉄投与群では減少の傾向が少なく、その値は実験2週間目で、14%程度で、他の5つの運動群の成

第1図 強制運動時の貧血とアミノ酸投与の影響(白鼠)

第2図 強制運動時の貧血とアミノ酸投与の影響(白鼠平均値)

績と比較して推計学上有意に赤血球の減少の少ないことを示している。同様なことは血色素濃度の測定成績についてもいえることで、アミノ酸無投与の運動群に低下率が最大で、運動2週間目には40%以上減少しているのであるが、スレオニン鉄添加群では低減率が他の群よりも有意に少なく20%程度に留まっている。

2) スポーツ選手についての成績

24名の中、長距離選手について7月下旬に測定した血液性状は本稿の第一報に示したが、これらの選手は毎日強度のトレーニングを続けているために、ほとんどが運動性貧血の症候を呈していた。これらの選手を4群に分け第2表に示したアミノ酸剤を毎日服用させ、10月中旬、1月中旬および4月末に測定した成績を試験群ごとに平均して示したのが第3図である。各群とも体重は漸増しているの、被検者の熱量出納はほぼ適当であったと思われる。しかし、血液性状の推移を眺めると相当な変動がみられ、総合アミノ酸投与群では全血や血清比重、赤血球数、血色素濃度、血清蛋白濃度など何れも月をうるにしたがって増大の傾向を示しているが、対照群および日本人に不足しやすいアミノ酸投与群では10月には血液についての各測定項目は最低を示し、服用前の7月下旬よりも運動性貧

第3図 アミノ酸投与による血液性状の推移(平均値)(スポーツ選手)

●—● 総合アミノ酸投与群 ○---○ スレオニン鉄投与群
△.....△ 不足しやすいアミノ酸投与群 ×—× 対照

第3表 運動選手の貧血に対するアミノ酸投与の効果

	総合アミノ酸投与群と対照群との比較					スレオニン鉄投与群と対照群との比較				
	対照群 (1)		総合アミノ酸投与群 (2)		(2)と(1)の増減	対照群 (3)		スレオニン鉄投与群 (4)		(4)と(3)の増減
	投与前 (7月)	投与前から4月までの増減	投与前 (7月)	投与前から4月までの増減		投与前 (10月)	投与前から4月までの増減	投与前 (10月)	投与前から4月までの増減	
全血比重	1.0551	-0.0005	1.0544	+0.0018*	+0.0023	1.0534	+0.0012	1.0523	+0.0034*	+0.0022
血清比重	1.0254	+0.0002	1.0255	+0.0007	+0.0005	1.0248	+0.0008	1.0242	+0.0013**	+0.0005
赤血球数 万/mm ³	465	-25	435	+22	+47	430	+10	430	+0.43*	+33
血色素濃度 g/dl	14.27	-0.38	13.81	+0.53	+0.91	13.27	+0.62	13.25	+1.16*	+0.54
血清蛋白濃度 g/dl	6.829	-0.056	6.857	+0.260	+0.204	6.607	+0.278	6.338	+0.519**	+0.241
ヘマトクリット値%	41.87	-0.83	40.78	+1.90	+2.73	39.70	+1.35*	38.89	+3.91*	+2.56
網状赤血球 %	16.0	-1.4	15.0	+5.0	+6.4	22.9	-8.3	27.7	-3.5	-4.8

* および ** 印はそれぞれ5%, 1%の危険率で有意の差を示してある。

血の傾向が著しくなっていた。しかし、この2群とも1月～4月には試験前の水準にほぼ回復している。赤血球数において対照群のみが試験前の測定値が高いのは、試験群の分け方に当をえたとはいえないが、最初に計画した被検者のうち数名が栄養試験の途中で挫折したためでやむをえないことである。

スレオニン鉄群は貧血の傾向の著しい10月より投与を始めたが、各血液性状とも著しい上昇ないしは貧血から回復の傾向がみられる。第4図は各被検者の試験前の測定成績からの増減量について、実験群別に示したものである。血液性状の変動には個人差の大きいことを示しているが、総合アミノ酸投与群とスレオニン鉄投与群では、投与後上昇の傾向にあることが観察できる。そこで、これら2群と対照群との試験前および試験末期の成績を比較したのが第3表であって、総合アミノ酸投与群とスレオニン鉄投与群では大多数の測定項目について、推計学上有意の差で上昇しているのに対し、総合ビタミン剤を投与した対照群ではやや上昇はみられるが有意ではなく、上記2群と対照群との血液諸性状の変動の比較においては、総合アミノ酸やスレオニン鉄投与群の方が推計学的に有意ではなかったが増加の傾向が大きい。

考 察

以上は強制走行運動によって運動性貧血が惹起すると思われる白鼠および平素過激なスポーツ訓練を続けている貧血傾向の中、長距離選手に、アミノ酸栄養を補給した場合の血液性状の推移について述べてきたのであるが、激しい運動を続けることによって赤血球が減少し、網状赤血球が著明に増大して貧血の性状を呈することは、前報に

第4図 アミノ酸投与による血液性状の推移 (スポーツ選手)

も述べたように Brown によって唱えられ、吉村はこれを運動性貧血¹²⁾ (Sports anemia) と命名し、最近山田¹³⁾や平松¹⁴⁾もこの課題について追求し、運動による赤血球破壊の要因や運動休止後の赤血球新生の機転について考察を加えているのである。また、吉村を始め山地¹⁵⁾

宇佐美⁷⁾らの重労働時の蛋白代謝に関する一連の研究において、重労働者の訓練時の貧血や血清蛋白濃度の減少の原因は、破壊された赤血球や血清蛋白が固定蛋白として体(筋)組織に蓄積されるためであり、重労働時の血液蛋白(色素および血清蛋白)の欠乏を防止するためには、蛋白摂取量を体重1kg当り2g/日(動物性35%)以上にし、労働に慣れていない状態においてはさらに多くの食蛋白の必要を述べている。スポーツ選手の蛋白栄養として、最近ソ連邦においても体重1kg当り1日1.7~2.5gの蛋白を要求しているのである。

今回の白鼠の実験において赤血球や色素濃度が減少して貧血症状を呈したのは、明らかに強制的走行運動を続けて行なったがために惹起した運動性貧血であると考えられる。この予防のために蛋白栄養としての個々のアミノ酸を投与したのであるが、2週間の運動によって進行した貧血の程度、すなわち赤血球数や色素濃度の減少、網状赤血球の増加の率は、運動白鼠でアミノ酸の投与しなかった対照群において最大を示したが、しかしトリプトファンやリジン投与した群との間には有意の差は示していない。スレオニン投与群では赤血球の減少率は対照群よりかなり少ない値であったが、アミノ酸投与によって幾分でも貧血の進行を防ぎ得たとすると、それは蛋白栄養の補給の効果であると考えられる。しかし投与したアミノ酸量は第1表に示したように、極めて少量であって、しかもその量は蛋白価(人体についての理想蛋白の考えを鼠に用いるのは無理であるが)を変えるだけの量を与えていないのであるから、この実験において蛋白(アミノ酸)栄養の補給の効がなかったと考えることは当を得ないであろう。ただスレオニン鉄を投与した群において貧血の進行が対照群より少ないことは、色素の成分である鉄の補給が赤血球新生に参与して新生能力が旺盛になったためと思われる。

次にスポーツ選手についての数ヵ月にわたるアミノ酸補給試験について考えると、まずこれらの中、長距離選手が体重に若干の変動はありながらほぼ正常な増加を示したことは、激しい練習によるエネルギーの消耗は空腹感に応じての補食によって補ったがためであると考えられるが、1日体重当り1g強ないし2g強という不規則な蛋白の摂取量が血液蛋白(色素および血清蛋白)の欠乏をきたし、慢性的な運動性貧血を惹起したものと思われる。これらの選手群のうち対照として総合ビタミン剤を投与した群では、10月に著しい貧血の進行を認めたが、以後回復し、試験末期の4月には有意ではないが試験前の7月よりやや低い値を示していた。

また蛋白価を高める意味で、日本人の習慣食に不足勝ちなリジン、スレオニン、トリプトファンおよびメチオ

ニンを投与した群においても個人差は相当認められるが全体として対照群とほぼ同様な傾向を示した。

試験開始後3ヵ月目の10月に、対照群および不足がちなアミノ酸投与群において著しい貧血症状を示したのは、冬季の駅伝競争に備えてさらに激しい練習を行なったがためであるが、総合アミノ酸投与群ではこの激しい練習期にもかかわらず血液の諸性状は、10月の測定成績において7月下旬の水準の維持またはやや上昇が認められその後も漸増を示し、試験前の7月と試験末期の4月との間には推計学的に有意で貧血からの回復が認められることは総合アミノ酸、ひいては蛋白栄養の長期間の補給が、蛋白摂取量が不規則で比較的少ないスポーツ選手の運動性貧血ないしは蛋白欠乏症の予防、回復に明らかに効を示したものと思われる。

また11月から試験を始めたスレオニン鉄投与群は試験前の血液性状は、対照群の10月末の値とほぼ同様の著しい貧血症状を呈していたが、その後次第に回復の傾向を示し、試験前と試験後では有意の差で増加したことがみられるのである。スレオニン鉄の投与が運動性貧血の予防に効果のあることは先の白鼠の実験結果からも明らかであり、最近臨床的にも貧血の治療に著効あることが認められている。

以上の結果を総合すると、過激な鍛錬によって惹起する運動性貧血や、鍛錬途上のスポーツ選手にみられる運動性ないしは摂取蛋白不足から惹起する貧血症状は、総合アミノ酸剤やスレオニン鉄の長期間の補給によって予防あるいは回復に効果があると考えられる。

総 括

過激なスポーツ訓練時に起る運動性貧血の予防ないしは回復の方策を検討する目的で、運動白鼠およびスポーツ選手にアミノ酸を補給し、血液性状の変動を観察し、次の結果を得た。

1) 14日間の強制走行運動を白鼠に負荷すると、何れも運動性貧血の発生を認めたが、貧血症状の進行は、スレオニン、ないしはスレオニンに鉄を結合させたものの投与によって抑制される。

2) 毎日過激なスポーツ練習を続けている鍛錬途上のスポーツ選手にみられる貧血症状は、総合アミノ酸剤やスレオニンに鉄の結合物の長時間にわたる投与によって予防ないしは回復させることができる。

この研究は文部省科学試験研究費(吉村寿人、山岡誠一)によって行なったものである。なお研究に当り御協力を賜った田辺製薬KK、大五栄養KKならびに被検者諸君に対し厚く感謝いたします。

文 献

- 1) Herxheimer H: Grundriss der Sportmedizin (1933)
- 2) Dill D. B.: The Physiology of Muscular Exercise (1930)
- 3) 脇坂一郎 外: 体力科学, **8**, 6, 301 (1959)
- 4) 吉村寿人 外: 本誌, 予定
- 5) 吉村寿人: 本誌, **2**, 199 (1955)
- 6) 山地廉平: 日本生理誌, **13**, 476 (1951)
- 7) 宇佐美駿一: 日本生理誌, **19**, 468 (1957)
- 8) Iakovlev K. N. N.: 体育とスポーツ, No. 6,

368 (1958)

- 9) 山田敏男: 体力科学, **8**, 81, 92 (1958)
- 10) Heilmeyer L.: Medizinische Spektrophotometrie, (1933)
- 11) 金井 泉: 臨床検査法提要, 金原出版, (1958)
- 12) 吉村寿人: 体力科学, **8**, 4, 167 (1959)
- 13) 山田敏男: 体力科学, **7**, 5, 231 (1958)
7, 5, 242 (1958)
- 14) 平松戊辰: 日本血液学会誌, **23**, 843, 853, (1960)

* (京都府立医大第一生理)

** (京都学芸大学)

イソマルトールの調製とその性質

この化合物は Backe (1910) によりパンの水蒸気蒸溜物から初めて微量が分離されたものであるが、ここではラクトースから出発して25%という比較的高い収率で合成を行なった。すなわち、アルコール第三アミン緩衝液中でピペリジンアセテートによるグルコース部分の脱水を行なうとイソマルトールの β -D- ガラクトシドができるから、これを水解すればイソマルトールが得られる。マルトースから出発すると、同じ条件でまず 1-deoxy-1-piperidino-maltulose になり、これからはラクトースの場合に相当するイソマルトールのグルコシドは生じ

ない。こうして得たイソマルトールはフラン誘導体と考えられ、パンでは Backe の考えたような発酵生産物としてでなく、メヤール型かつ変反応により生じたものとしている。

Preparation and Properties of Galactosylisomaltol and Isomaltol.

by J. E. Hodge & E. C. Nelson

Cereal Chem., **38**, (3) 207 (1961)

(安 永)

パン内相から得た水溶性多糖類の組成

パンのいわゆる“可溶性でんぷん”区分にはペントザンがかなり含まれ、古くなったパンでは新鮮なものにくらべて“可溶性でんぷん”量はかなり減るにもかかわらず抽出されるペントザン量にはほとんど変化がない。このペントザンはアミロースの老化をおさえる働きがある。これをアセチル化し分別沈でんしたフラクションの分析値から、キシロース、アラビノース、グルコースがそれぞれ、5, 4, 3 のモル比で含まれていることがわかった。メチル化やそのほかのいろいろな方法でさらに検

討した結果、この水溶性区分は非常に枝分かれの多い構造を持っており、原料粉ペントザンのそれとよく一致している。

The Carbohydrates of the Gramineae XI: The Constitution of the Water-Soluble Polysaccharides Derived from Bread Crumb.

by K. A. Giller et al

Cereal Chem., **38**, (3) 229 (1961)

(安 永)