

2019 年度 修士論文

飲料の違いが陸上長距離選手の体内に及ぼす影響

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5017A019-4

金 銀辰

研究指導教員： 鈴木 克彦 教授

I 緒言	1
1. 生化学検査	3
2. サイトカイン	5
II 方法	7
1. 対象者	7
2. 研究のデザイン	7
3. 本研究で用いた飲料	9
4. 測定項目	10
5. サンプルリング	11
6. サンプルの分析	11
7. 統計分析	14
III 結果	13
1. 1000m パフォーマンステスト	13
2. 生化学検査	14
3. サイトカイン	24
IV 考察	32
1. 1000m パフォーマンステスト	32
2. 生化学検査	33
3. サイトカイン	34
4. 本研究の限界点	36
V 結論	37
VI 謝辞	38
VII 参考文献	39

I 緒言

スポーツ飲料はスポーツによる発汗によって体から失われた水や塩分などの電解質を効率よく吸収できる機能性飲料である。商品によって脱水症に対する補水効果は異なる。また、スポーツ飲料は味を優先することが多く、糖や電解質などの組成は厳格に定められていない。そのため、塩味を抑えナトリウム濃度を低くしている。また、甘くするために糖濃度を高くし、が高くなり、胃に貯留する時間が長くなる。その結果、胃、小腸からの体内への移動が遅くなる。さらに、浸透圧が高いため小腸からの吸収も遅くなる¹⁰⁾。

スポーツ飲料に関する先行研究では、被験者に自転車エルゴメーター等で運動を負荷し、発汗による体重減少と水分摂取量から水分出納を求め脱水状態の評価が行われることが多い¹⁾。また、女子バスケットボール選手を対象にした研究では、糖質を含む飲料を摂取することで運動時における心拍数や最高血圧の上昇が抑えられ、さらにブドウ糖のほうが果糖より効果があると報告されている²⁾。また、暑熱環境下の相撲稽古の研究では、塩分の多い経口補水液のほうがスポーツ飲料より血液中のタンパクやナトリウムの変動が小さく細胞外液と血漿浸透圧の維持に優れていることが報告されている³⁾。さらに、暑熱環境下の自転車運動に対する水分摂取と生体応答に関する研究では、純水、等張飲料、低張飲料を自由摂取した際に、体液の浸透圧よりも低い低張飲料の方が、アスリートが運動中に摂取しやすく脱水を防ぎ、運動に対する炎症反応を軽減することが明らか

になった^{1) 5)}。これらの先行研究から、浸透圧や糖質の種類などにより飲料の吸収性は異なり、脱水改善や体調の回復に異なる影響を及ぼすことが明らかになった。

日本のスポーツ現場では、従来小児や高齢者の脱水の治療に使われてきた経口補水液をスポーツ飲料として用いるチームや選手が増えている。経口補水液(Oral rehydration Solution: ORS)とは脱水症の改善及び治療を目的にした水と電解質を補給できる飲料である。日本では2000年頃より臨床現場で活発に活用されるようになった。高齢者における飲水及び喫食量による慢性的な脱水症の治療、手術前後の輸液療法、熱中症の治療に用いられている⁹⁾。スポーツ飲料より素早く体内に吸収されるので脱水によるパフォーマンスの低下を予防できるのではないかという考え方がその背景にある。しかし、経口補水液の特有の塩味により多くのアスリートは経口補水液をスポーツ飲料として摂取することに関しては飲みづらいと評価している。

本研究では、実際の陸上競技長距離種目の練習後に、塩分、糖分、浸透圧が異なる飲料を摂取した際の生体反応の比較検討を行い、どれが脱水や体調の回復に効果的かについて明らかにする。また、飲料摂取後のパフォーマンスの変化も評価し、その結果に基づいてスポーツ現場で経口補水液をスポーツ飲料として使用する可能性について検討することを目的とした。

1. 生化学検査

本研究における生化学検査による結果は表1¹³⁾と表2¹³⁾に基づいて評価した。

表 1-1 尿検査¹³⁾

項目	正常値	高値	低値
尿浸透圧	50~1400 (mOsm/kg)	ADHの過剰分泌、脱水 症、腎不全など	中枢性尿崩症など
尿pH	5.0~8.0 (pH)	細菌尿、血尿、植物食 多食時、膿尿など	糖尿病、腎疾患、強酸の 塩類摂取など
尿比重	1.002~ 1.030	水分摂取不足、脱水、 糖尿病など	尿崩症、腎炎末期、腎硬 化症など
尿酸	7.0 (mg/dℓ)	高尿酸血症、腎疾患、 糖尿病など	腎性低尿酸血症など
尿グルコース	170~180 (mg/dℓ)	糖尿病など	腎性尿糖など
尿素窒素	8~21 (mg/dℓ)	腎疾患、心不全、脱水 など	肝障害、拒食症、尿崩症 など
尿タンパク	40~120 (mg/day)	腎疾患、ネフローゼ症 候群、尿管結石、妊娠 中毒症	—

表 1-2 尿中無機成分¹³⁾

項目	正常値	高値	低値
クレアチニン	0.4~0.8 (mg/dℓ)	腎不全、糸球体腎炎、 尿毒症、先端肥大症 など	妊娠、尿崩症、重症筋 ジストロフィー症、 長期臥床など
ナトリウム	135~150 (mEq/ℓ)	水分摂取不足、体水分 喪失、浸透圧調節機構 の障害、体液量調節機 構の障害など	ナトリウム欠乏、水分過 剰投与、水分排泄障害、 浸透圧受容器調節低下、 血漿の希釈など
カリウム	130~150 (mEq/ℓ)	腎不全、圧挫症候群、 溶血性疾患、 副腎不全など	摂取不足、細胞不均衡、 消化性管喪失、内分泌疾 患、腎疾患など
クロール	3.5~5.5 (mEq/ℓ)	過剰摂取、脱水症、過 呼吸、腎盂腎炎、内分 泌疾患など	水分過剰投与、摂取不 足、消化液喪失、腎性喪 失、内分泌性疾患など
NAG	0.97~4.17 (U/ℓ)	尿細管間質性腎炎、急 性尿細管壊死、糸球体 腎炎、糖尿病性腎症 ネフローゼ症候群など	—
カルシウム	4.3~5.1 (mEq/ℓ)	甲状腺機能亢進症、 ビタミンD中毒など	副甲状腺機能低下症、 慢性腎不全など
無機リン	3~4.5 (mg/ℓ)	重症溶結、横紋筋融解 症、腎不全など	ビタミンDの欠乏、吸収不 良症候群、甲状腺機能低 下症など

2. サイトカイン(炎症関連物質・臓器傷害マーカー)

ELISA測定によるサイトカインの測定項目は表2-1¹²⁾と表2-2¹²⁾疾患との関連をまとめている。

表2-1 サイトカインの測定項目¹²⁾

指 標	特 徴
IL-2	抗原刺激によりT細胞から分泌されるサイトカイン。様々な自己免疫疾患や骨髄増殖性疾患で上昇。
IL-4	Th2リンパ球から産生される抗炎症性サイトカインで。炎症性サイトカインの産生を抑制するため、強力な抗炎症性作用を有する。
IL-6	多発性骨髄腫の悪性細胞増殖因子で、さまざまな炎症性疾患や自己免疫疾患に関与。
IL-8	炎症性サイトカインなどの刺激により産生される白血球遊走因子。非感染性の炎症性疾患とも関連。
IL-10	Th2細胞で産生される抗炎症性のサイトカイン。Th1細胞のサイトカイン産生を抑制する働きを持つ。

表2-2 サイトカインの測定項目¹²⁾

指 標	特 徴
MCP-1	動脈硬化症、遅延型アレルギー、関節リウマチ、あるいは肺疾患といった各種炎症性疾患において単球およびT細胞の組織浸潤に関与する。
MPO	急速進行性腎炎、巣状壊死性腎炎、半月体形成性腎炎など予後不良な血管炎の診断、経過観察に用いられる自己抗体。
C5a	抗体および貪食細胞を補助する免疫システムを構成するタンパク質。好中球を炎症部位に呼び寄せる。
TNF- α	腫瘍壊死作用をもつサイトカイン。炎症反応のメディエーターの一つ。
INF- γ	T細胞やNK細胞から分泌されるサイトカインで、白血球による炎症を強化する作用をもつ。マクロファージや樹状細胞を刺激して細菌を貪食殺菌させる作用もある。
Calprotectin	カルシウム・亜鉛結合タンパク質。腸管炎症のバイオマーカー。
L-FABP	ヒト腎臓の近位尿細管細胞の細胞質にある脂肪酸結合蛋白。 エネルギー産生・恒常性の維持に寄与する。尿細管の血流不全や酸化ストレスの状態を反映する特徴を持つバイオマーカーである。

II. 方法

1. 対象者

日常的に陸上競技長距離種目の練習に取り組んでいる男性（年齢20±3歳）を対象とした。

表3 被験者の身体組成（平均値±SD、n=6）

	年齢	身長	体重	体脂肪率	BMI
	(歳)	(cm)	(kg)	(%)	(kg/m ²)
平均	21.0	171.0	56.8	10.2	19.4
標準偏差 (±)	1.3	3.5	3.8	3.3	0.8

2. 研究デザイン

被験者に陸上競技長距離種目の練習メニューであるペースランニングの運動様式で6000mを走ってもらった。その際、1000mを3分40秒ペースにした。その後、グループごとに純水（以下D1と表記する）、スポーツ飲料（以下D2と表記する）、経口補水液（以下D3と表記する）、スーパーH₂Oと同じ浸透圧で経口補水液からNaClを減らした試供品（以下D4と表記する）をそれぞれ1回につき500mL摂取してもらった。図2のタイミングで体重、心拍数、血圧を測定した。また、ペースランニング前と30分後に採尿し、尿の成分を調べ比較した。ペースランニング30分後の採尿後に1000m走のパフォーマンステストのタ

イムを計測し、パフォーマンスの変化を評価し、さらに30分後に採尿した。同様に、別の日にペースランニングを計3度行ってもらい、それぞれ違う飲料を摂取してもらった。研究デザインはクロスオーバー試験とし、同一の被験者にランダムに4種類の飲料を摂取してもらい影響を比較した。

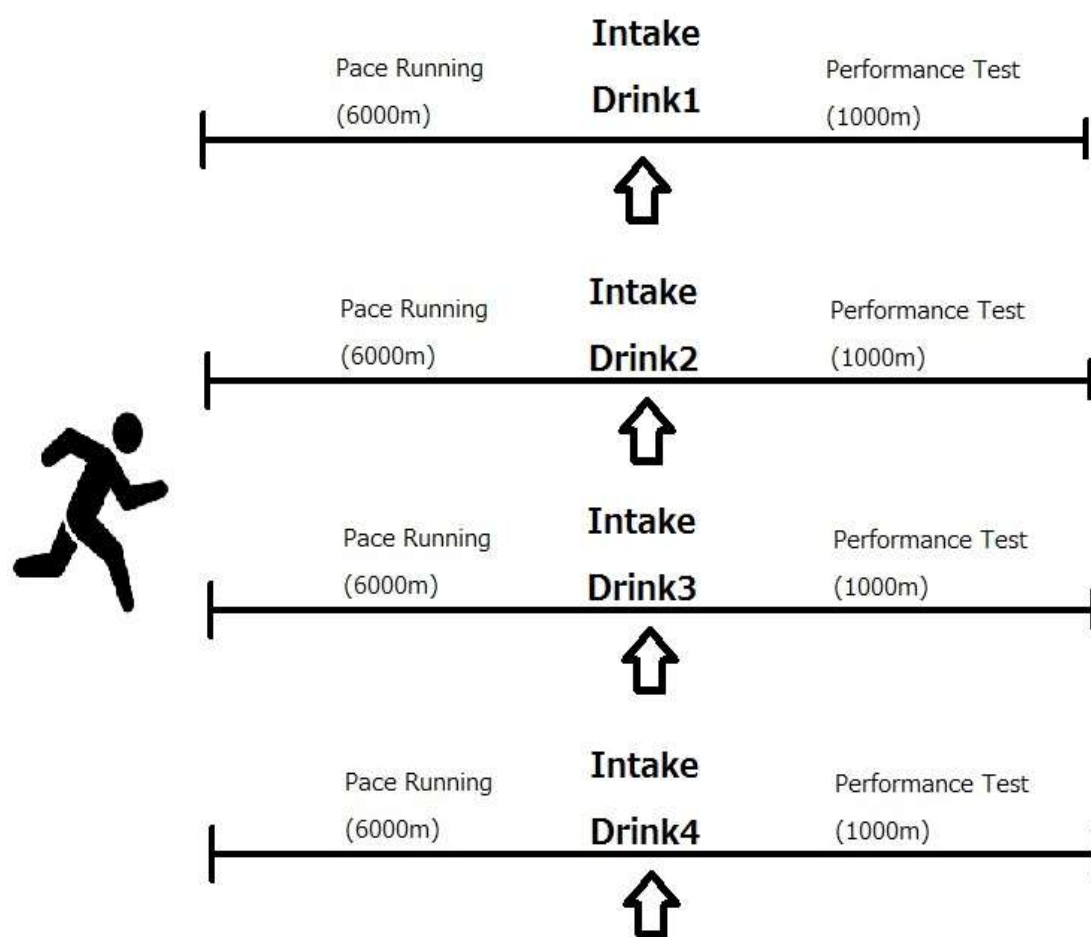


図1 実験のプロトコール

3. 本研究で用いた飲料

本研究で用いた飲料は以下の4種類である。①D1(純水)、②D2(スポーツ飲料:スーパーH₂O, アサヒ飲料株式会社)から白濁香料を抜き透明化した試供品、③D3(経口補水液:OS-1, 大塚製薬会社)、④D4:D2と同じ浸透圧にNaClを減らした経口補水液の試供品)である。

表4 本研究で用いた飲料の組成

飲料名	D2	D3	D4
	果糖ブドウ糖液糖	ブドウ糖	ブドウ糖
	塩化Na	果糖	酸味料(リン酸、
	酸味料	食塩	クエン酸Na)
	香料	クエン酸(Na)	塩化Na
原料組成	乳酸Ca	塩化K	塩化K
	アセスルファムK	リン酸Na	アセスルファムK
	塩化K	塩化Mg	アスパルテーム
	塩化Mg	スクラロース	香料
	ビタミンC	香料	

表5 本研究で用いた飲料の成分組成

飲 料 名	② ス ー パ ー H ₂ O	③ OS1	④ 経 口 補 水 液 試 供 品	
	(D2)	(D3)	(200mOsm/L)	
炭 水 化 物	2.9 g	2.5 g	1.5 g	
成 分 祖 成	Glu	39mmol/L	100mmol/L	81mmol/L
	Na ⁺	17.4mmol/L	50mmol/L	41mmol/L
	Ca ²⁺	0.6mmol/L	—	—
	Cl ⁻	13mmol/L	50mmol/L	31mmol/L
	K ⁺	1.2mmol/L	20mmol/L	20mmol/L
Mg ²⁺	0.5mmol/L	1.0mmol/L	—	
浸 透 圧	200mOsm/L	270mOsm/L	200mOsm/L	

pHはすべて4.0未満

4. 測定項目

安静時に心拍数、体温、体重、主観的疲労度（RPE）を測定した。また、6000mのペースランニング後、1000m走のパフォーマンステスト後にも心拍数、体温、体重、RPEを測定した。ただし、体重は排尿後に測定した。採取した尿サンプルを冷凍保存し、炎症関連物質・臓器傷害マーカーを測定した。

5. サンプルリング

安静時、6000mペースランニング(飲料摂取後)、1000m パフォーマンステスト後に排尿を行った。採取した尿は、凍結し分析まで -80°C で冷凍保存した。

6. サンプルの分析

生化学検査による尿分析は、江東微生物研究所(Ibaraki、Japan)に依頼した。

尿中サイトカインは解凍後、酵素免疫測定法で測定した。IL-2、IL-6、8、10、C5aはBD社(New Jersey, USA)、MCP-1、TNF- α はR&D Systems社(Minnesota, USA)、MPOはHycult Biotech(Pennsylvania, USA)のキットを用いて測定した。

7. 統計解析

生化学検査およびサイトカインの測定結果はすべて平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。統計処理にはSPSS(Ver.23、IBM、Tokyo、Japan)を用いた。パフォーマンステストおよびRPEについては一元配置分散分析を行い、以下の方法で解析を行った。

① 実測値

② 実測値の6000m走後と1000m走のパフォーマンス後（飲料を飲む前後）のデータの変化率

③ 時間当たりの排泄量

④ 時間当たりの排泄量の6000m走後と1000m走のパフォーマンス後（飲料を飲む前後）のデータの変化率

①，③については時間とドリンクの繰り返しのある二元配置分散分析を行った。また、②，④は一元配置分散分析を行い、有意差がある場合はTukeyの方法で事後検定を行った。

Ⅲ 結果

1. 1000mパフォーマンステスト

4種類の飲料間で統計的な有意差は見られなかったものの、D2を飲んだ後の1000mパフォーマンステストで良い記録が見られた。

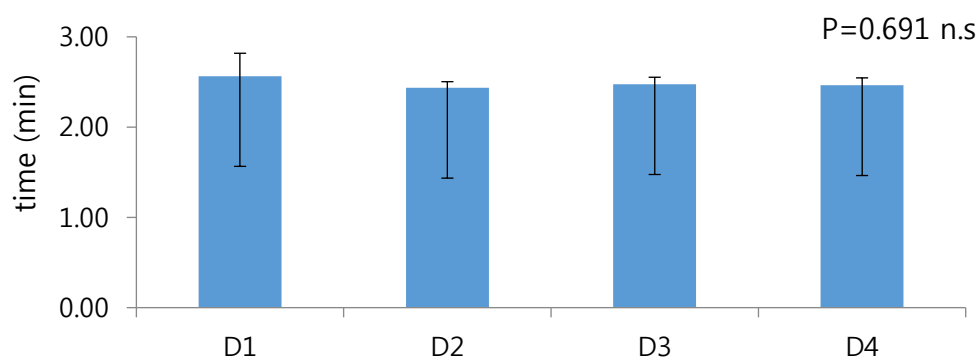


図2 1000mパフォーマンステストのタイム

表6 1000mパフォーマンステストのタイム (min)

	D1	D2	D3	D4
A	3:07	2:53	2:56	2:58
B	2:36	2:35	2:36	2:36
C	2:47	2:45	2:44	2:49
D	2:48	2:38	2:54	2:38
E	2:51	2:41	2:43	2:47
F	2:50	2:49	2:52	2:50
平均	2:57	2:44	2:48	2:46
標準偏差	0:25	0:07	0:08	0:08

2. 生化学検査

1) 尿浸透圧

尿浸透圧と尿浸透圧変化率の飲料間の有意差は認められなかった。

尿浸透圧は時間によって有意に低下した ($P < 0.001^{***}$) (図3)。

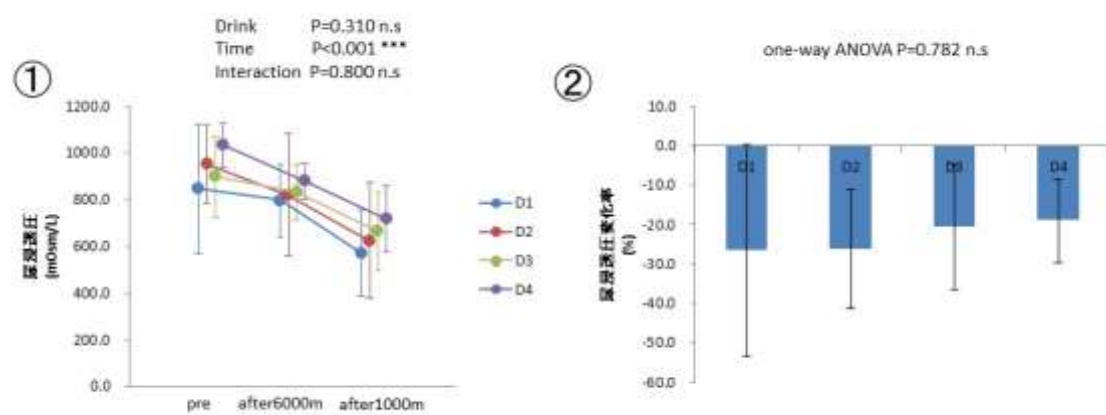


図3 尿浸透圧の推移

2) 尿pH

尿pHと尿pH変化率の飲料間の有意差は認められなかった。尿pHは

時間によって有意に低下した ($P < 0.001^{***}$) (図4)。

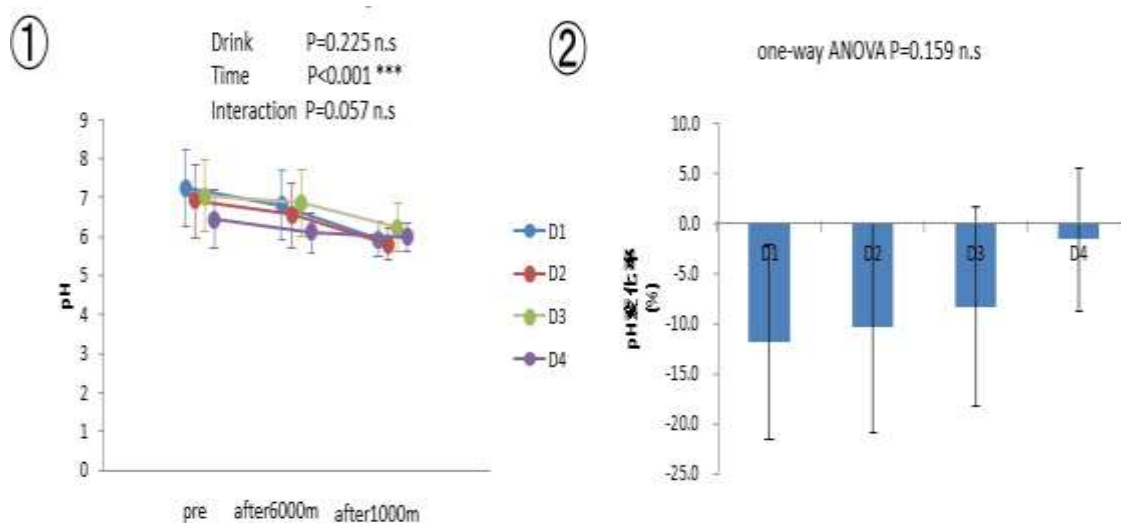


図4 尿 pH の推移

3) 尿比重

尿比重と尿比重変化率の飲料間の有意差は認められなかった。尿浸比重は時間によって有意に低下した ($P<0.001$ ***) (図5)。

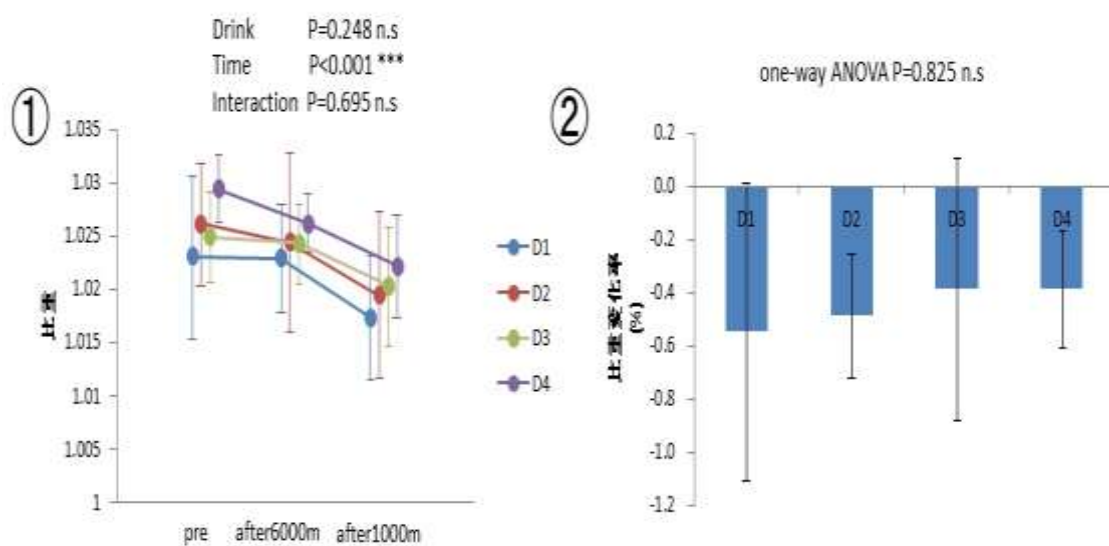


図5 尿比重の推移

4) 尿酸

尿酸の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。尿酸の濃度と排泄量は時間経過とともに有意に低下した ($P < 0.001^{***}$) (図6)。

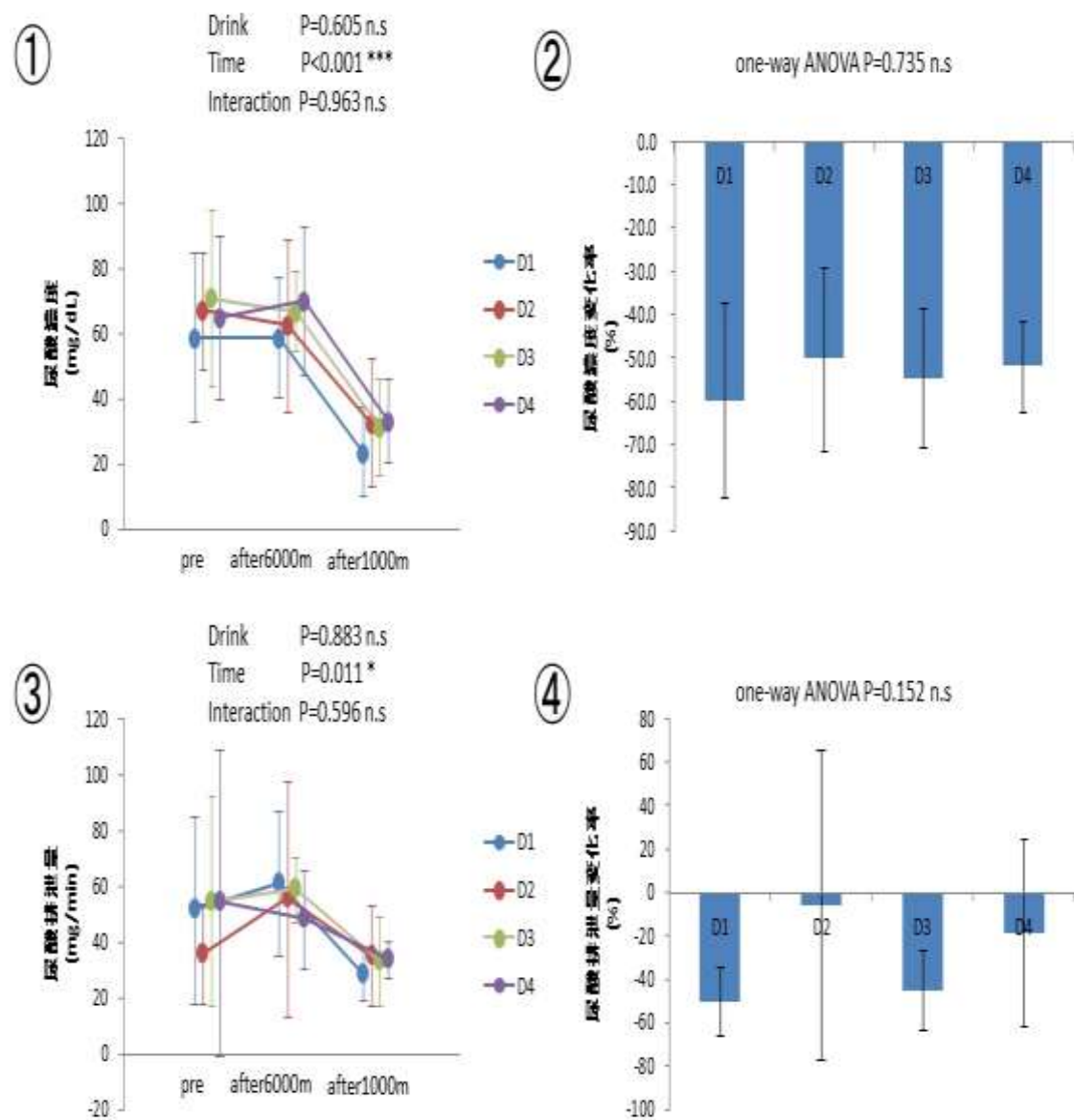


図6 尿酸の推移

5) 尿 グルコース

尿グルコースの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。尿グルコースの濃度 ($P=0.035^*$) と排泄量 ($P=0.019^*$) は時間について有意な変化がみられた。尿グルコースの濃度と尿グルコースの排泄量は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後に低下した(図7)。

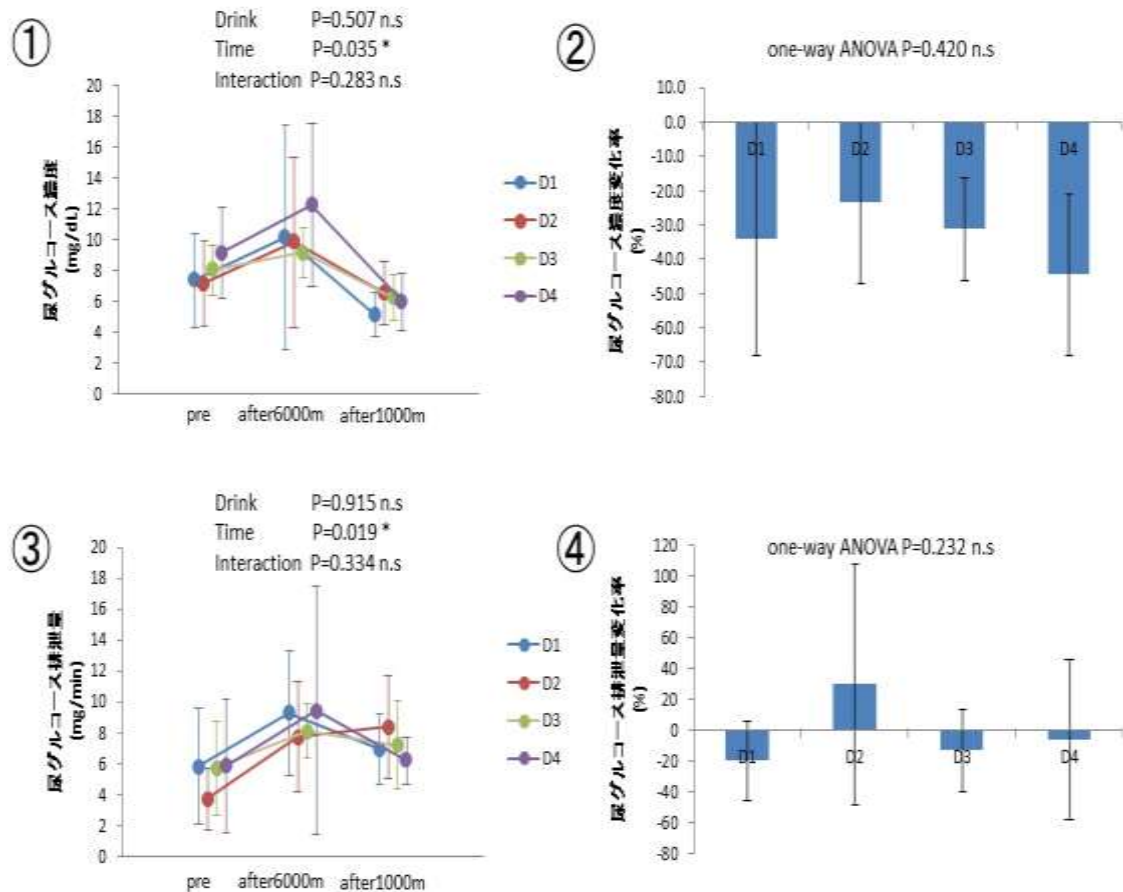


図7 尿グルコースの推移

6) 尿素窒素

尿素窒素の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。尿素窒素の濃度は時間について有意に低下した ($P < 0.001^{***}$) (図8)。

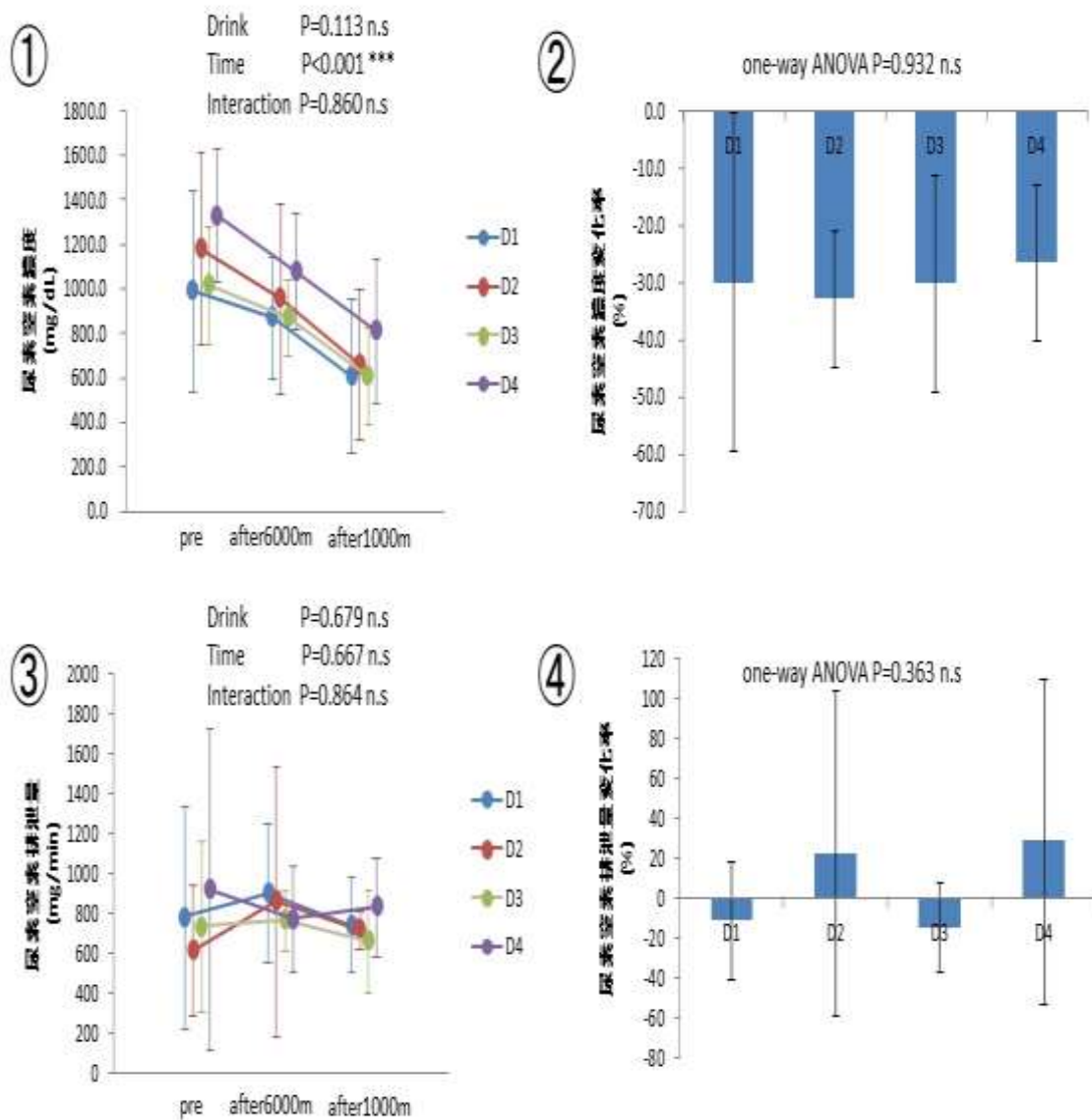


図8 尿素窒素の推移

7) 尿蛋白

濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。尿蛋白の濃度 ($P=0.001^{**}$) と排泄量 ($P=0.001^{**}$) は時間について有意に上昇した (図9)。

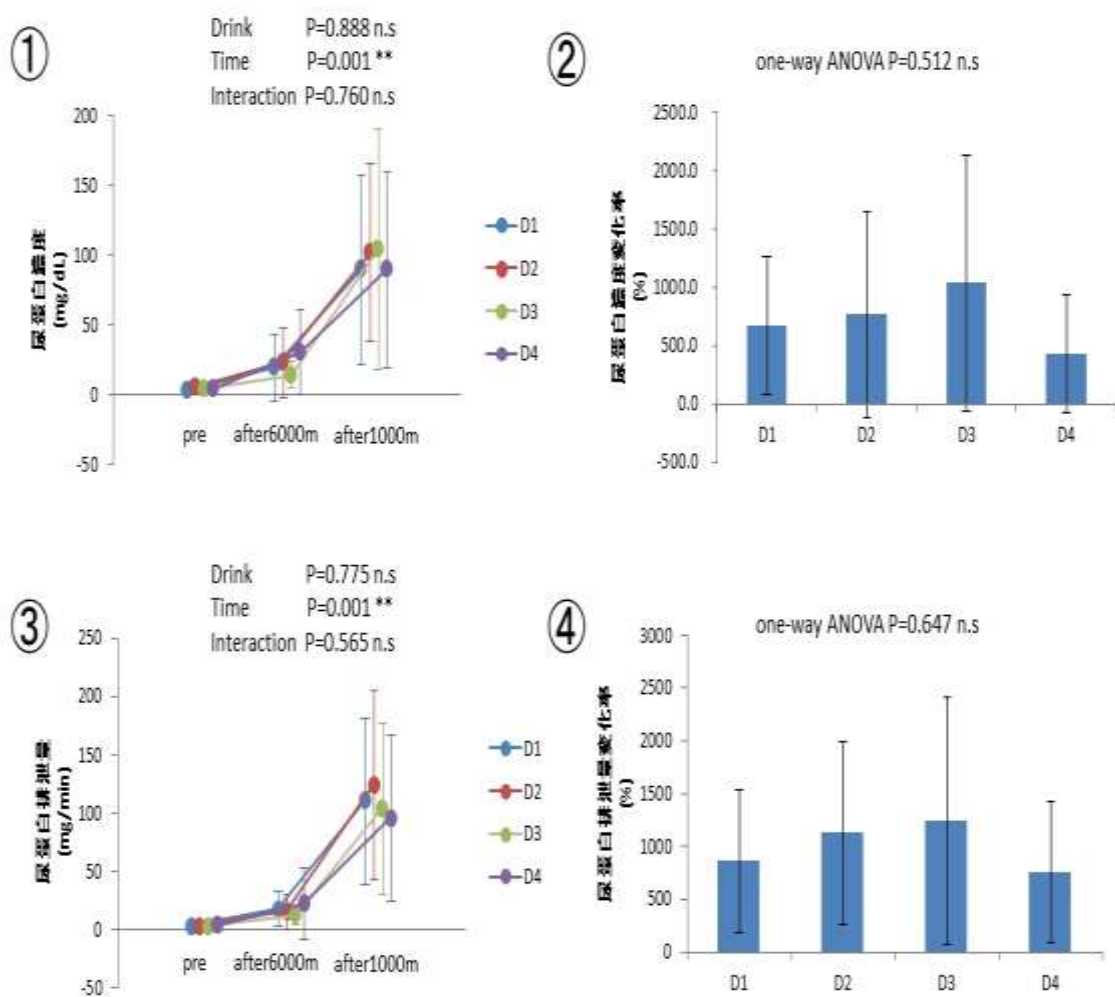


図9 尿蛋白の推移

8) クレアチニン

クレアチニンの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。クレアチニンの濃度 ($P < 0.001^{***}$) と排泄量 ($P = 0.006^{**}$) は時間について有意な変化がみられた。クレアチニンの濃度との排泄量は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後に低下した(図10)。

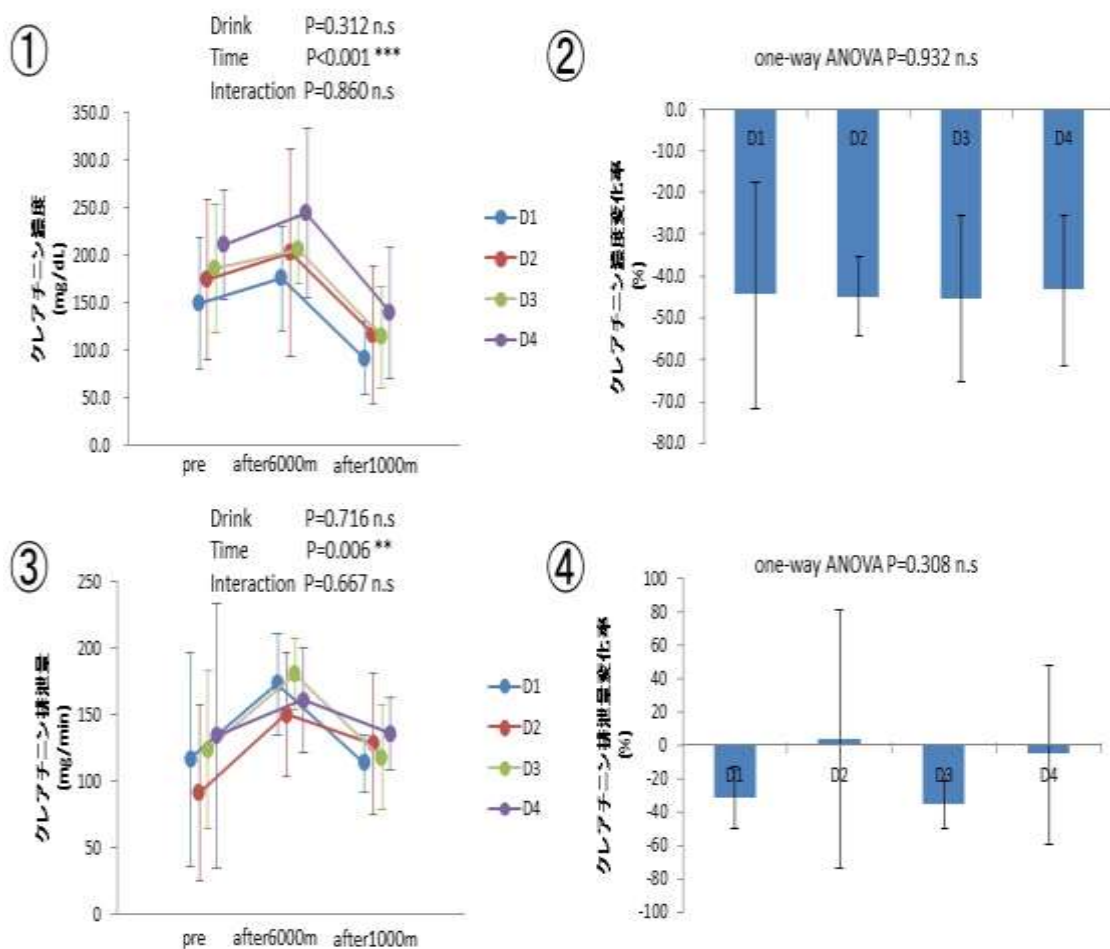


図10 クレアチニンの推移

9) ナトリウム

ナトリウムの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。ナトリウムの濃度は時間について有意に低下した ($P=0.002^{**}$) (図11)。

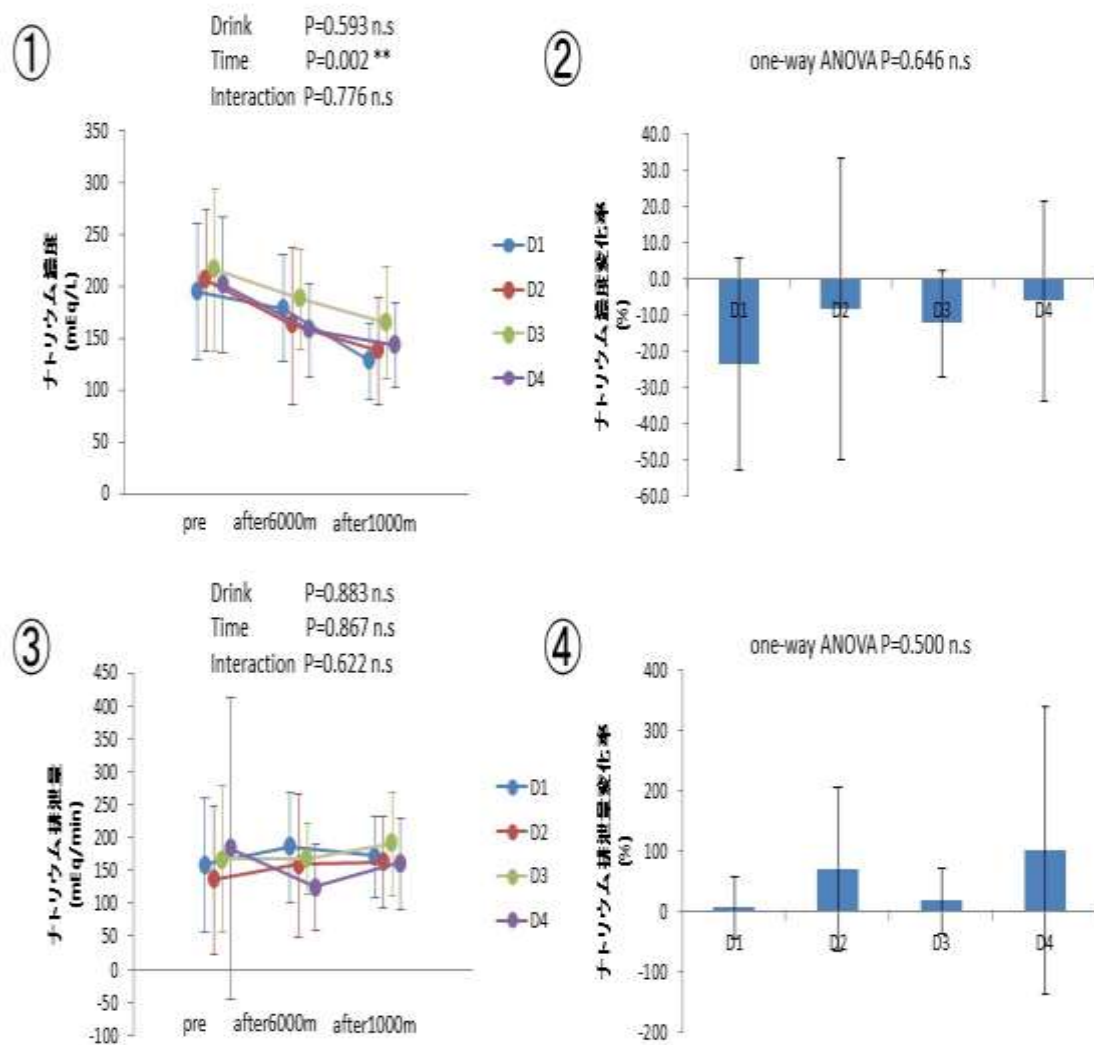


図11 ナトリウムの推移

10) カリウム

カリウムの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。カリウムの濃度 ($P < 0.001^{**}$) と排泄量 ($P = 0.009^{**}$) は時間について有意な変化がみられた。カリウムの濃度との排泄量は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後に低下した(図12)。

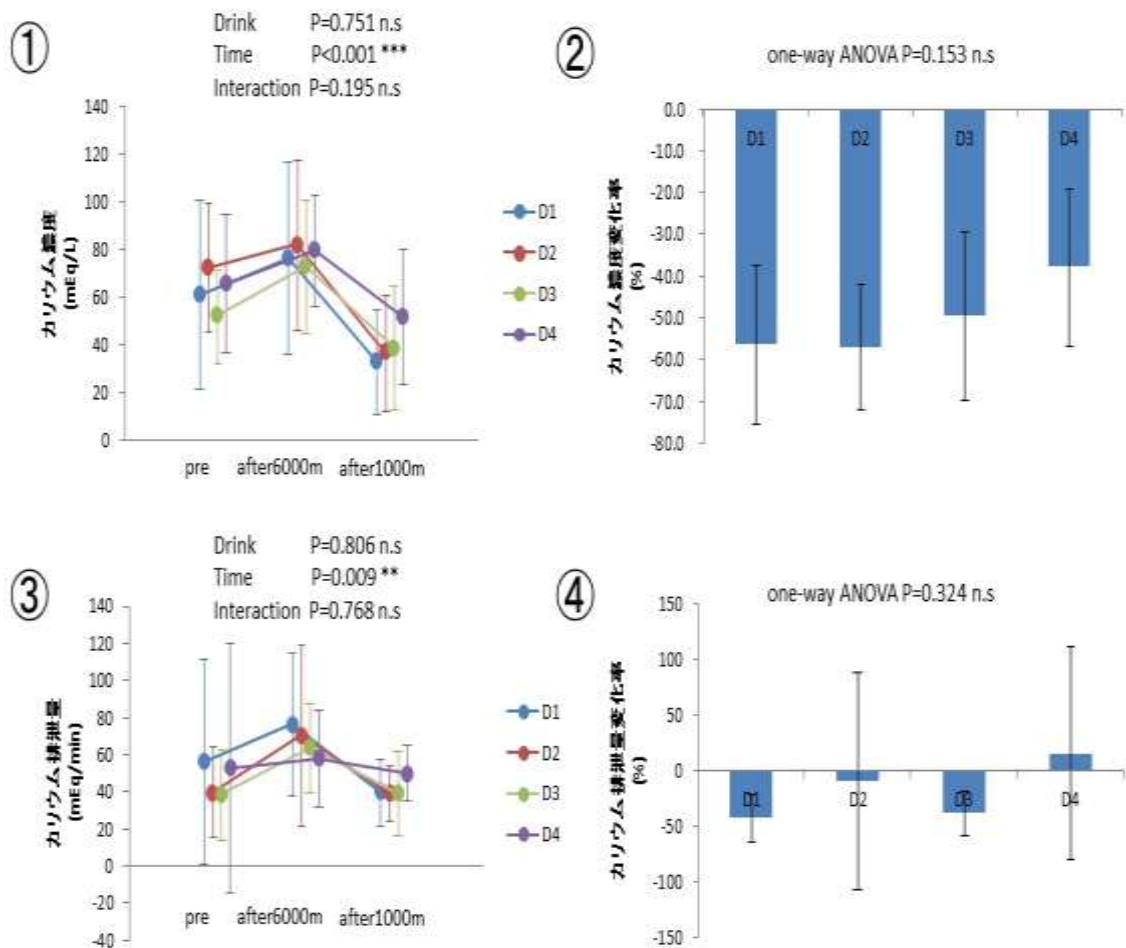


図12 ナトリウムの推移

11) クロール

クロールの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。クロールの濃度 ($P < 0.001^{**}$) と排泄量 ($P = 0.005^{**}$) は時間について有意な変化がみられた。クロールの濃度は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)、1000mパフォーマンステスト後も低下したが、クロールの排泄量は6000mペースランニング後に上昇し、1000mパフォーマンステスト後に低下した(図13)。

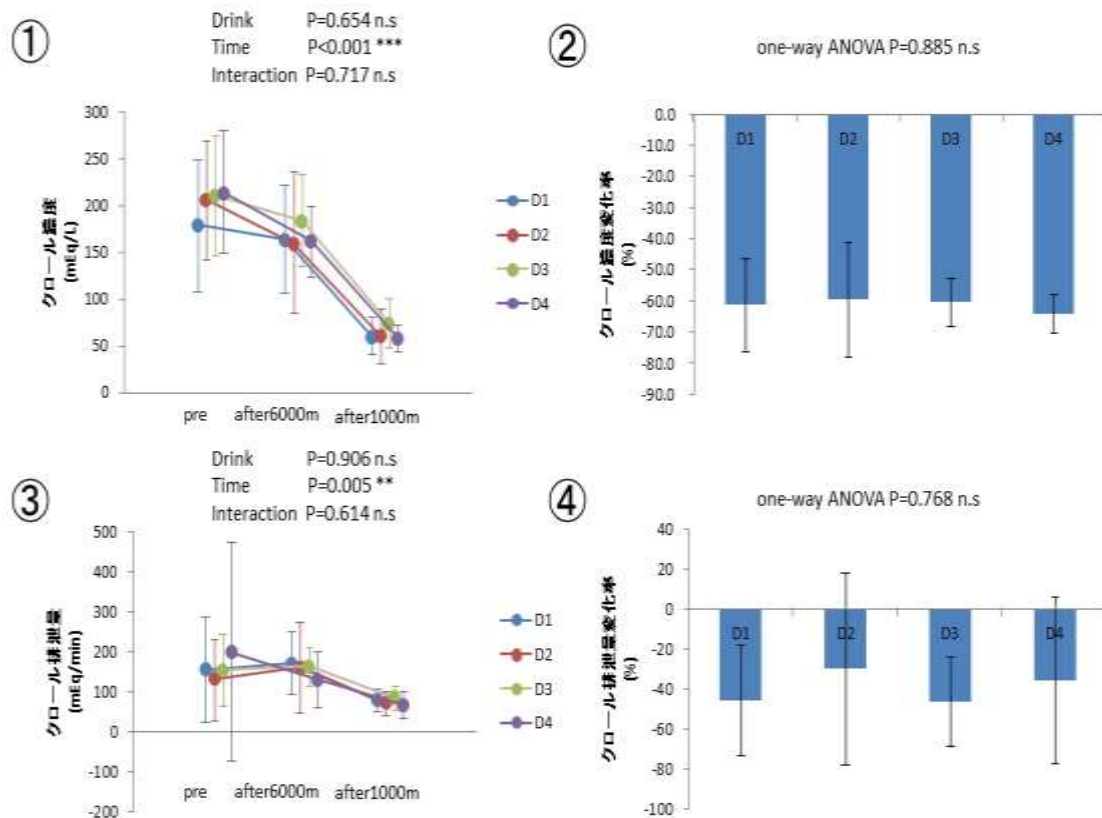


図13 クロールの推移

3. サイトカイン

1) IL-2

IL-2の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。IL-2の排泄量は時間について有意に低下 ($P=0.002^{**}$) した (図14)。

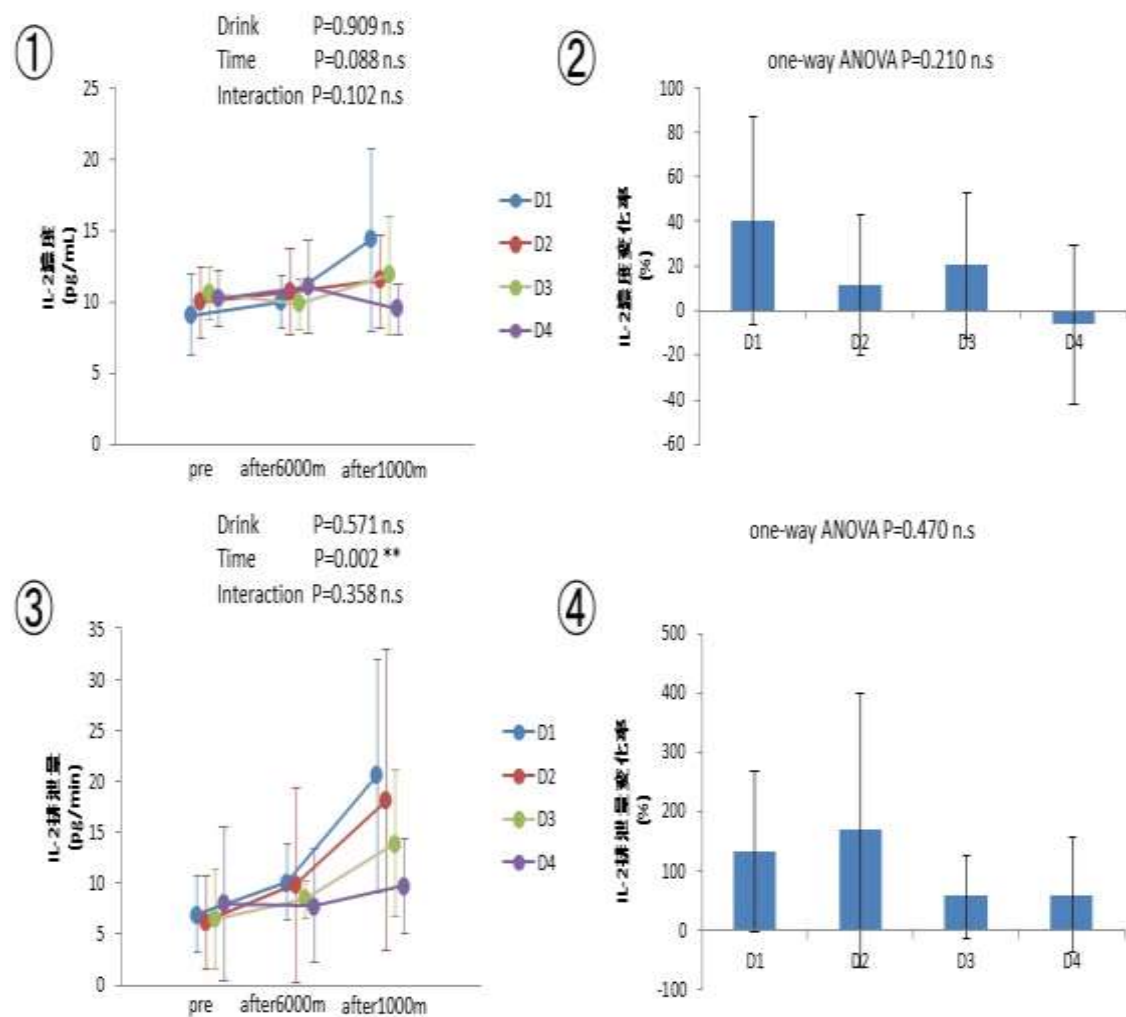


図14 IL-2の推移

2) IL-6

IL-6の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。IL-6の濃度 ($P=0.027^*$) と排泄量 ($P=0.003^{**}$) は時間について有意な変化がみられた。IL-6の濃度は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後も低下した。排泄量は6000mペースランニング後、1000mパフォーマンステスト後に上昇した(図15)。

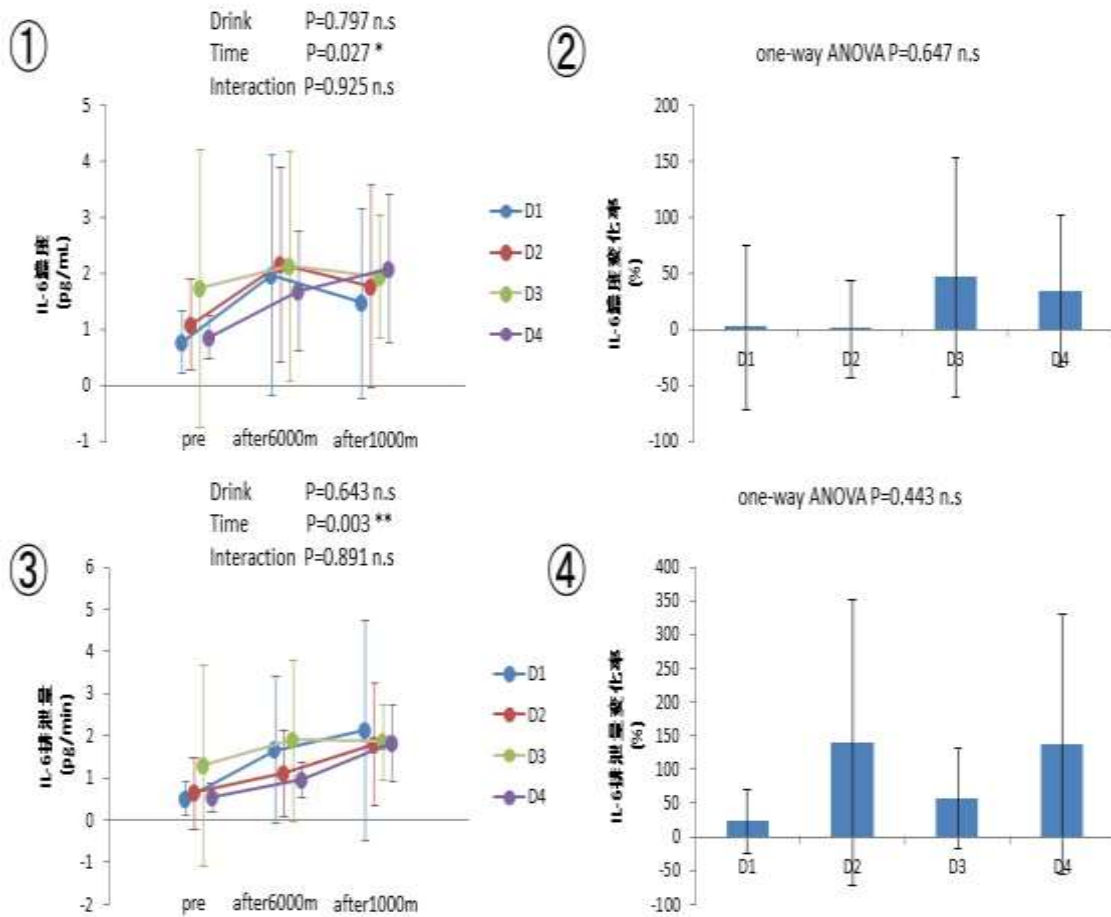


図 15 IL-6 の推移

3) IL-8

IL-8の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。IL-8の濃度 ($P=0.048^*$) と排泄量 ($P=0.014^*$) は時間について有意な変化がみられた。IL-8の濃度と排泄量は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後も低下した(図16)。

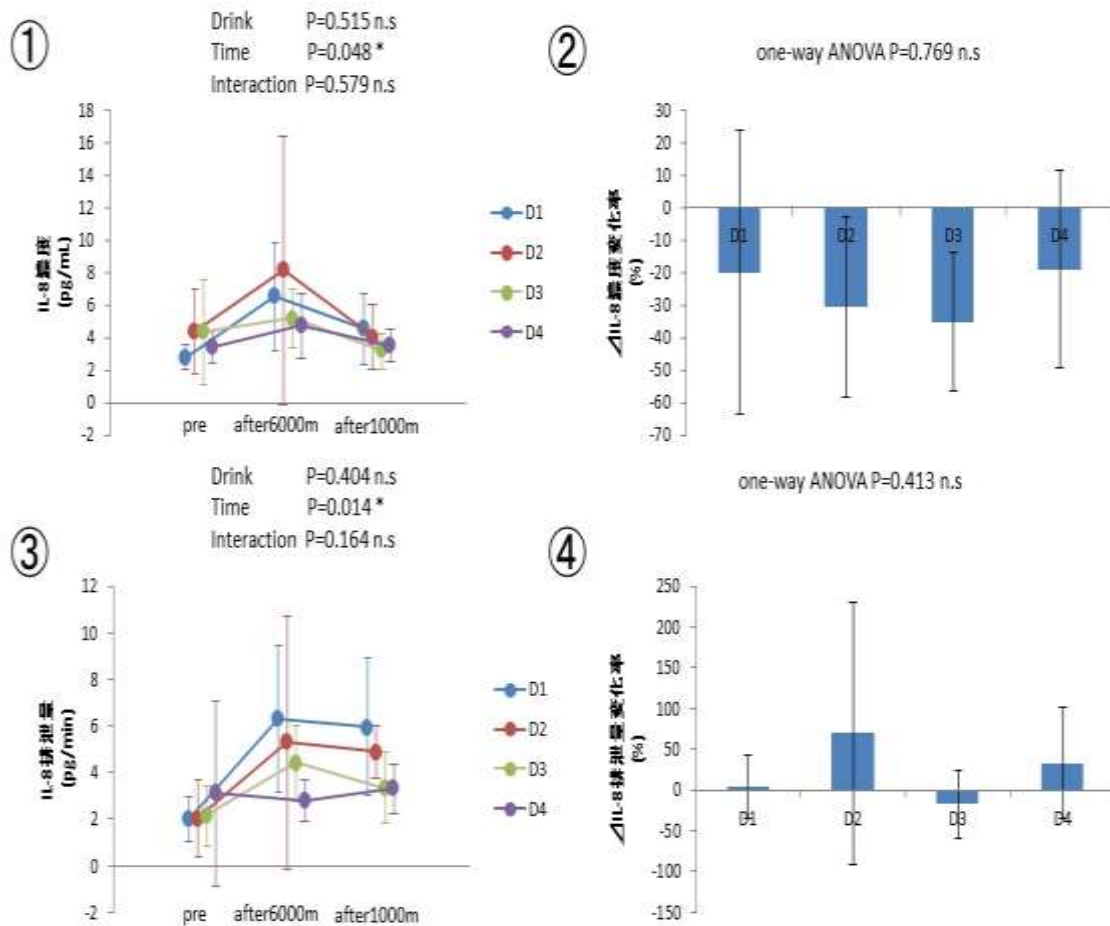


図16 IL-8の推移

4) IL-10

IL-10の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。IL-10の濃度は($P=0.048^*$)は時間について有意な変化がみられた(図17)。

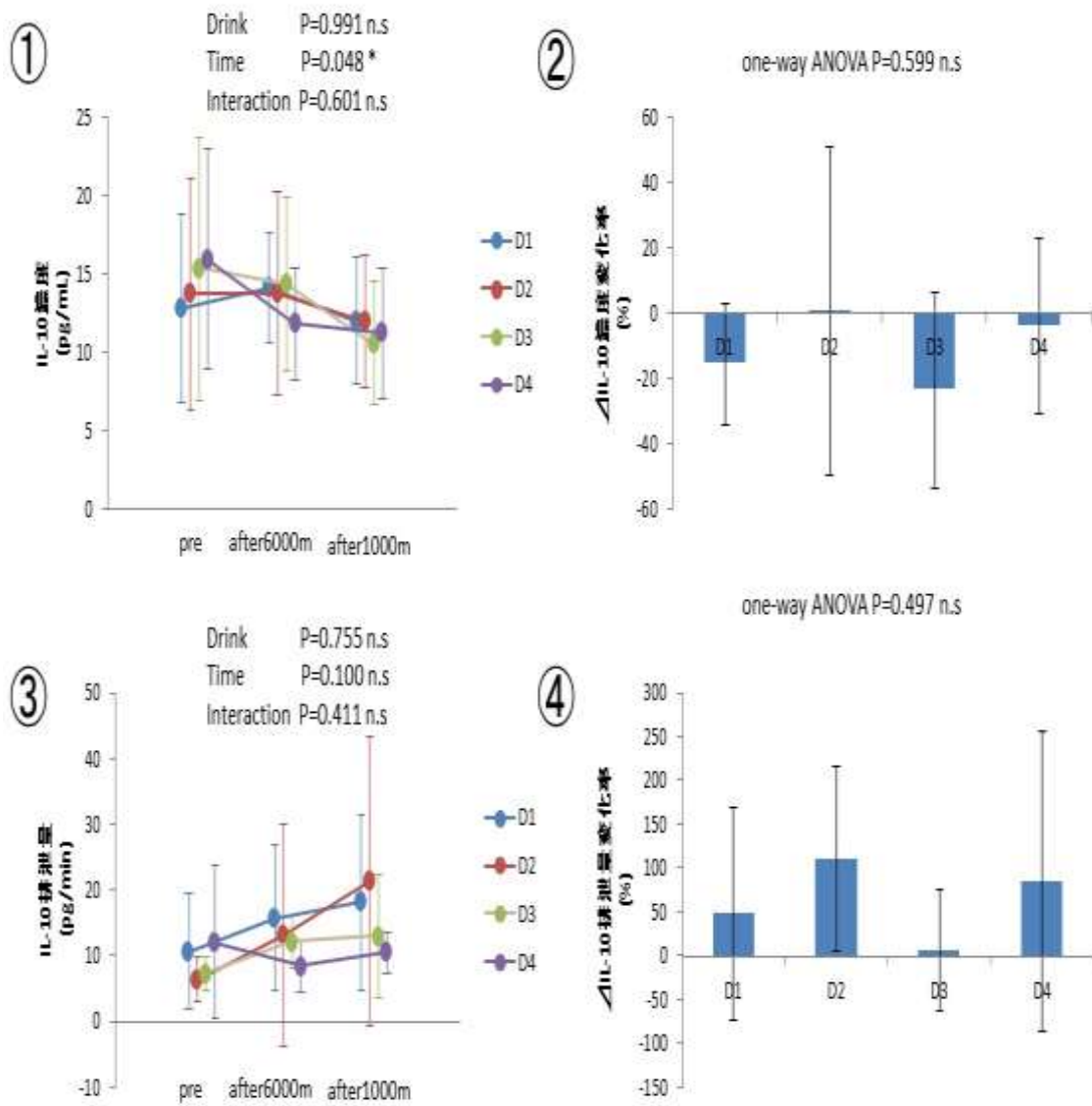


図 17 IL-10 の 推 移

5) MCP-1

MCP-1の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。MCP-1の濃度 ($P=0.010^*$)と排泄量 ($P=0.048^*$)は時間について有意な変化がみられた。MCP-1の濃度は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)に上昇し、1000mパフォーマンステスト後も低下した。MCP-1の排泄量は6000mペースランニング後(飲料摂取直後)、1000mパフォーマンステスト後に上昇した(図18)。

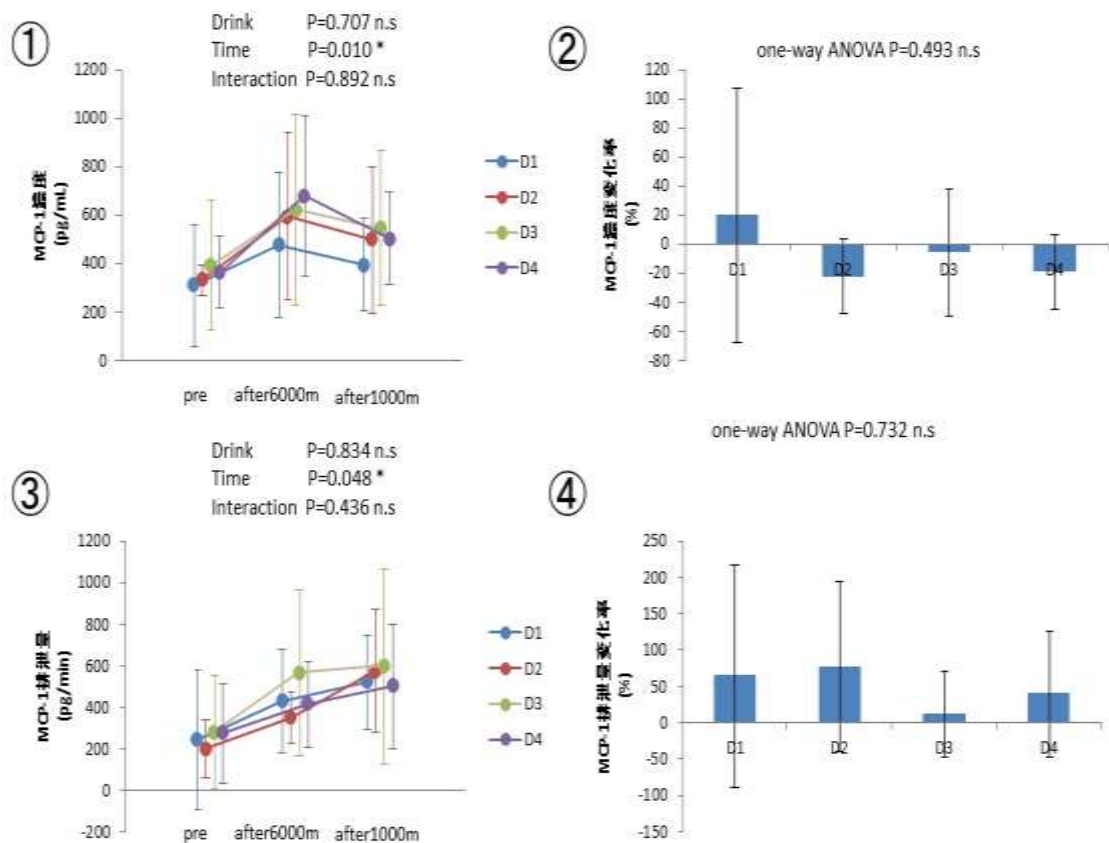


図18 MCP-1の推移

6) MPO

MPOの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間の有意差は認められなかった。MPOの排泄量は時間について有意に上昇した(図19)。

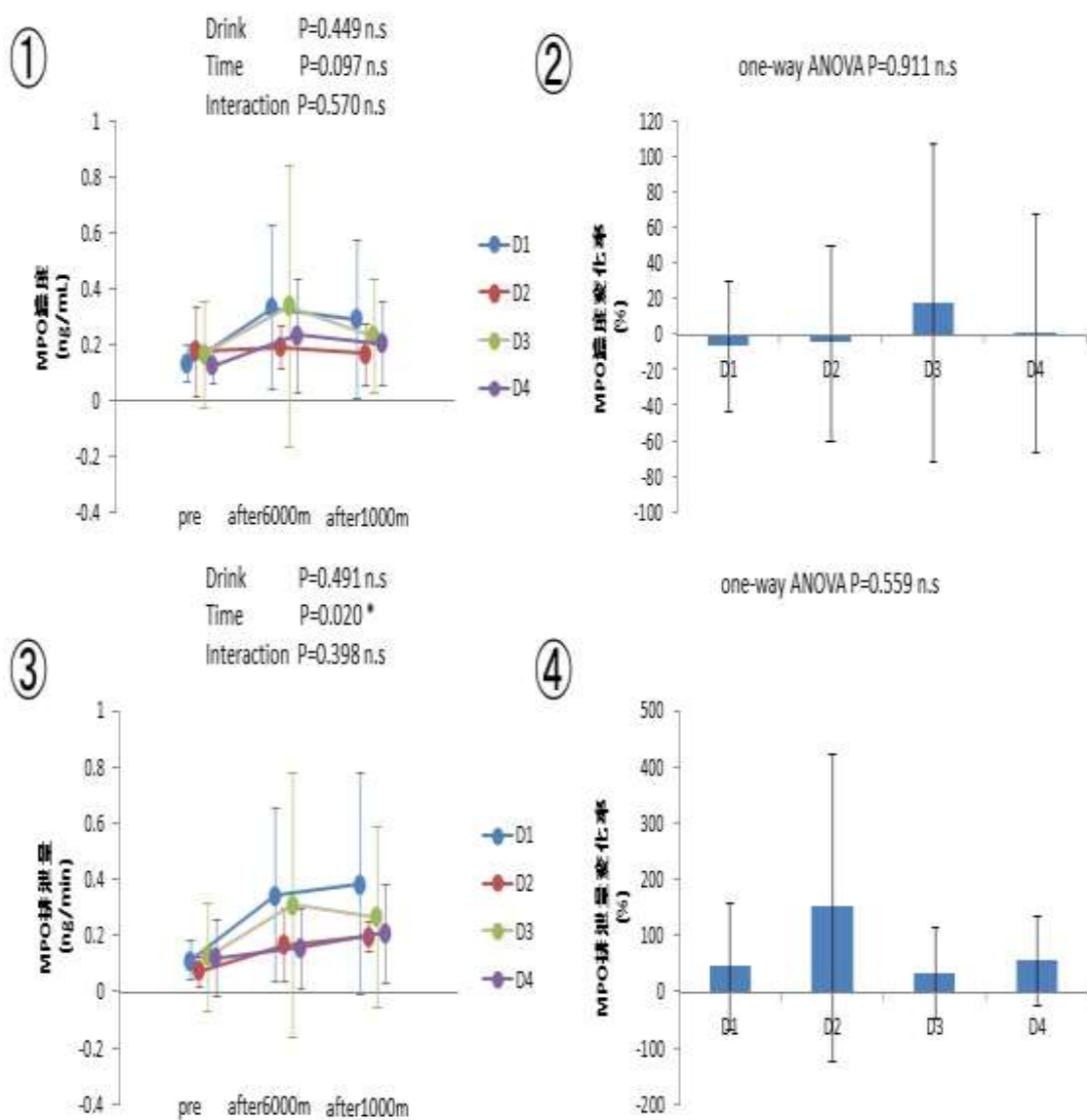


図19 MPOの推移

7) TNF- α

TNF- α の濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。TNF- α の排泄量は時間について有意に上昇した ($P < 0.01^{**}$) (図 20)。

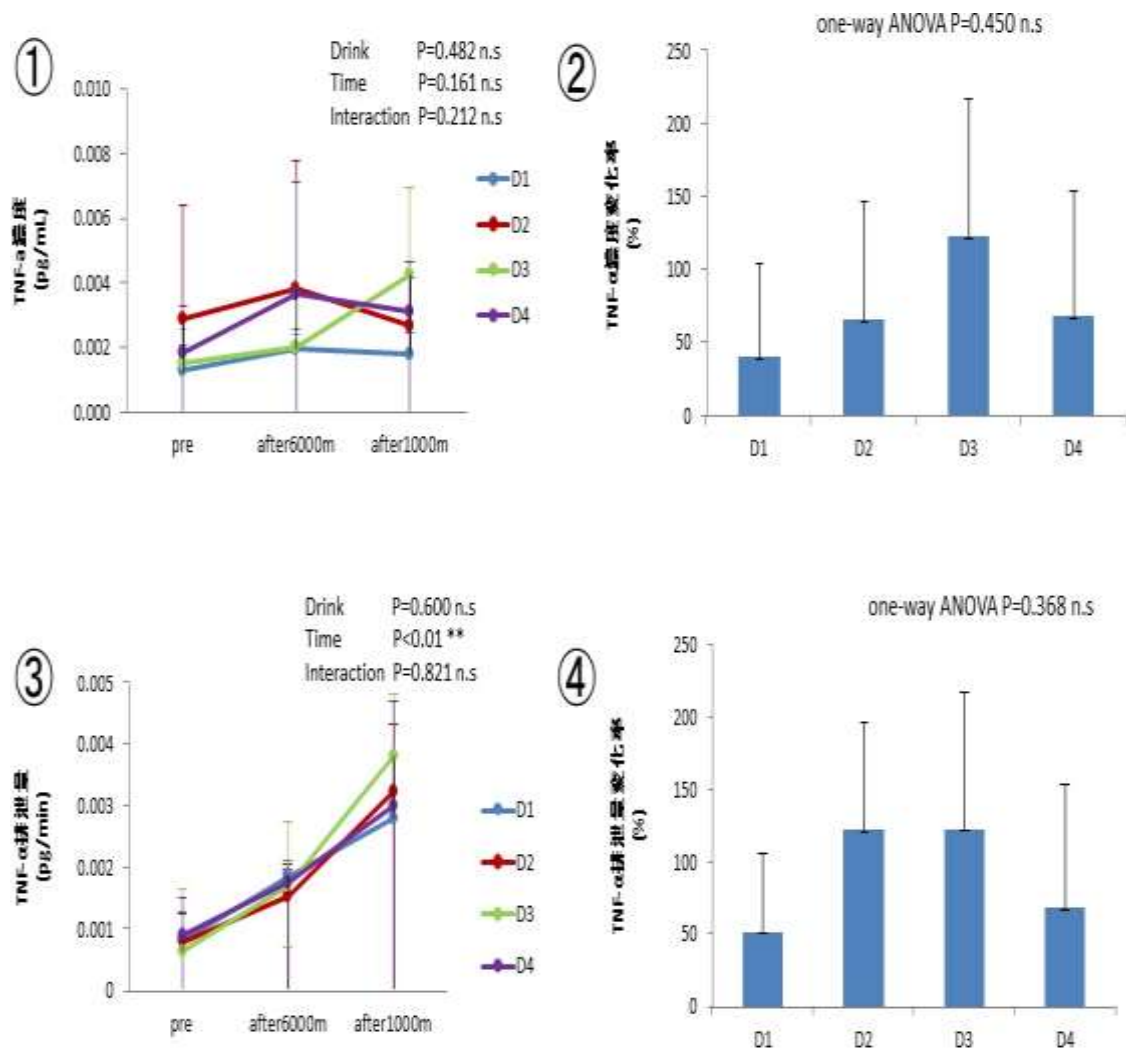


図 20 TNF- α の推移

8) C5a

C5aの濃度、排泄量、濃度の変化率、排泄量の変化率について飲料間に有意差は認められなかった。C5aの濃度 ($P=0.008^{**}$) と排泄量 ($P=0.006^{**}$) は時間について有意に上昇した (図21)。

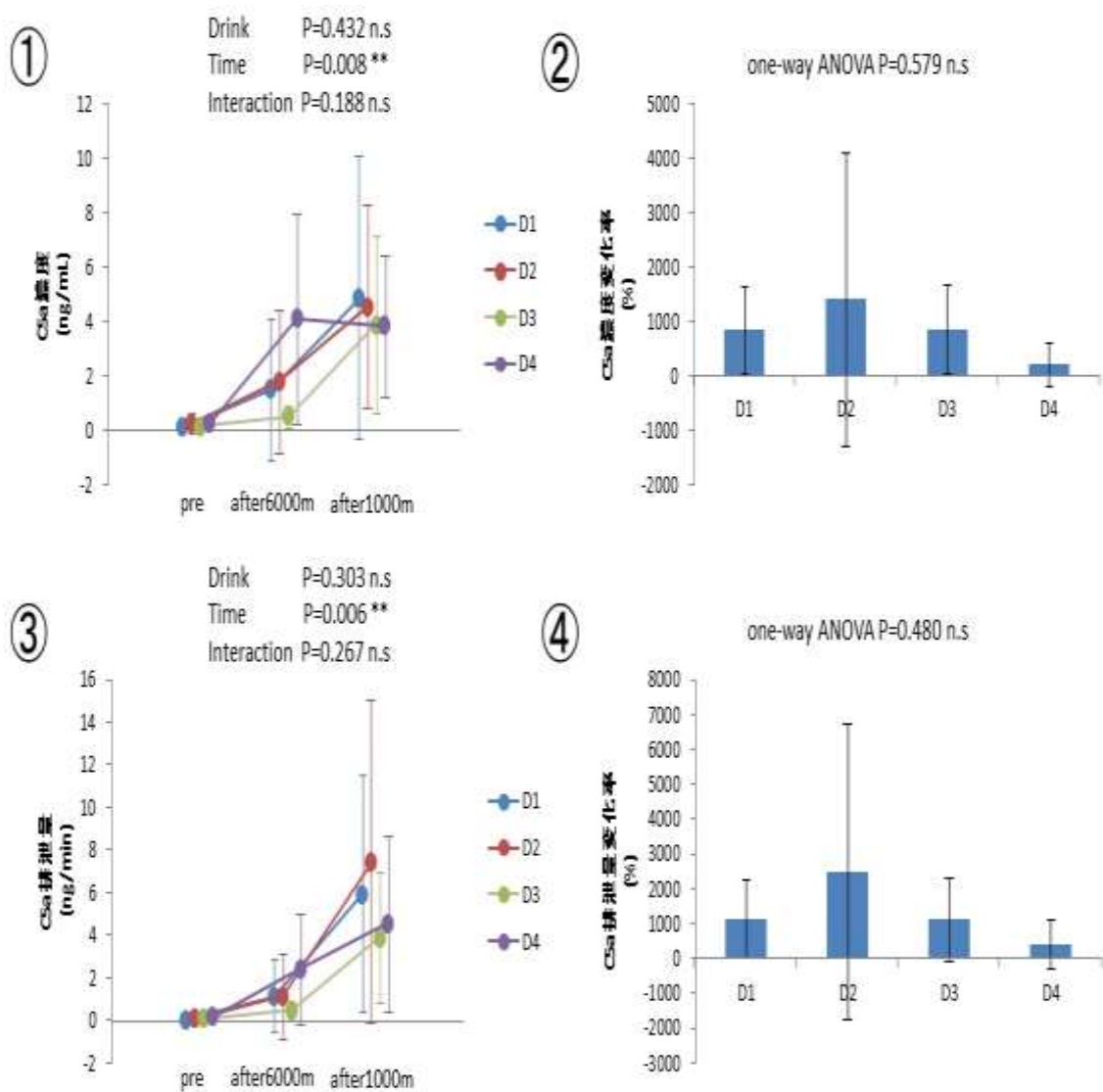


図 21 C5a の 推 移

IV 考察

1. パフォーマンステスト

4種類の飲料間で統計学的な有意差は見られなかった。しかし、D2摂取後の1000mパフォーマンステストでは有意ではないもののタイムの短縮が見られた。

飲料の浸透圧に関する先行研究では浸透圧200mOsm/Lに近いほど小腸への吸収がよいことが報告されている²⁾が、D2とD4の浸透圧は200mOsm/Lであり、6000mペースランニング後に飲料を摂取し、1000mのパフォーマンステストの前(約1時間)まで吸収できたと予想される。

D2とD4は同じ浸透圧であるが、D2で1000mパフォーマンステストのタイムが短縮する理由として、糖質を多く含有するスポーツ飲料であるため、糖質の量の違いが影響している可能性が考えられた。体内の有酸素的エネルギー源は筋肉と肝臓に蓄えられたグリコーゲン、血糖、脂肪であり、持久性運動時は脂肪より糖質の依存度が高くなると言われている¹⁴⁾。そのため、スポーツ現場ではランナーの多くがマラソンなどのレース前に糖質の多い食事をしっかりとって筋グリコーゲンを充足することを意識している。また、マラソンの完走者と途中棄権者を比較した先行研究では、完走者はレース後糖質を体内に残し、脂肪のみ減少していたのに対し、途中棄権者は糖質が枯渇した可能性を示唆している¹⁵⁾。

本研究においては糖質が比較的に多く含まれているD2を飲んだ群

は血糖値を増加させることで筋グリコーゲン貯蔵量を維持し、良い記録を出すことができた可能性が考えられる。しかし、この結果に関しては今後のさらなる研究が必要である。

2. 生化学検査

本研究では生化学検査における飲料間の有意差は見られなかった。しかし、運動による有意な変化は見られた。飲料の違いによる尿中の浸透圧およびナトリウム、カリウムの変化はみられなかったことは先行研究¹⁶⁾と一致している。先行研究では60% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で90分間自転車エルゴメーター運動を行ったが、カリウムの濃度は運動直前に比べて運動45分後の方が有意に高い¹⁶⁾という結果になった。しかし、本研究では6000mのペースランニング後は有意に高かったが、その後1000mパフォーマンステストでは有意に低下した。これは、1000mパフォーマンステストにより腎臓の傷害が起きたことが予想される。また、尿pHと尿比重については運動によって低下する先行研究¹⁶⁾と一致している。

本研究においてクレアチニンの濃度は6000mのペースランニング後に増加し、1000mのパフォーマンステスト後に低下する傾向がみられた。これは駅伝競走時の走前後のクレアチニン濃度の変動を調べた先行研究¹⁷⁾や10マイル走の尿中クレアチニンの変化の研究¹⁸⁾でも同じ傾向がみられている。クレアチニン、尿酸、尿素窒素の尿中濃度

が運動後減少することから腎機能の低下が示唆される。

本研究では運動により尿蛋白の濃度と排出量が上昇しているが、これはマラソンレース後の尿タンパクを調べた先行研究²⁰⁾との結果と一致している。運動によって尿中に円柱とともに上皮細胞が排出されるといわれる²¹⁾が、尿蛋白には腎組織由来の部分が明らかになっている。本研究では運動により被験者は腎臓の傷害を受けている可能性が示唆されているが、これは陸上長距離のアスリートは普段の練習により腎臓障害によりパフォーマンスの低下を経験する可能性も考えられる。そのため、日々の練習による腎臓の傷害を防ぐ方法を見つけることができれば、パフォーマンスを維持することができると考えられる。

3. サイトカイン

本研究では飲料間の有意差は見られなかった。しかし、持久性運動により、ケモカインであるIL-8、MPOの排泄量を増加させ、白血球活性化マーカーであるMCP-1の排泄量が有意に上昇した。これらの結果は先行研究²⁴⁾と合致している。また、マラソンのような激しい運動ではC5aの血中濃度が上昇するが、通常運動処方レベルでは補体はほとんど影響受けないと報告されている²⁶⁾。しかし、本研究では長距離選手にとっては中強度レベルの運動でも尿中C5aの濃度が上昇した。これらの結果から、陸上長距離選手において中強度の練習

は好中球と単球が活性化され様々な炎症反応を起こすことが考えられる。これらの炎症反応は競技パフォーマンスの低下をもたらす可能性がある。

また、本研究では運動により炎症性サイトカインであるTNF- α の排泄量が有意に上昇したが、尿中濃度は上昇しなかった。その理由として先行研究²⁷⁾ではTNF- α は激運動の数時間後に数倍上昇すると報告しているため、実験終了後の数時間後に上昇した可能性がある。

好中球の動員、抗体産生促進、TNF- α の産生を抑える多機能性サイトカインであるIL-6は本研究では運動による排泄量の上昇がみられた。これは先行研究²⁷⁾の結果とも一致する。

激しい運動により、免疫調節性サイトカインであるIL-2の濃度は不変ないし低下するという報告が多い¹²⁾が、本研究においても運動によるIL-2の濃度の変化はなかった。

体液性免疫やアレルギー反応を促進する抗炎症性サイトカインのIL-10は、激しい運動により濃度が上昇すると報告されている²⁷⁾。本研究でも運動によりIL-10は有意に上昇している。一部のアスリートでは運動性喘息、アナフィラキシー反応など運動誘発性アレルギーがみられるが、これは日々のトレーニングによってIL-10などの抗炎症サイトカインの産生から起きる症状の可能性も考えられる。

4. 本研究の限界点

本研究では4種類の飲料による水分補給の試行間では検討項目について統計学的な有意差が認められていなかった。本研究では被験者6名のデータで統計処理を行ったため、十分なサンプル数ではなかった。被験者の数を増やすことができれば統計学的な有意差がみられる可能性がある。

陸上の競走種目においては、レースの当日の気温や湿度、風の強さなども繊細にタイムに影響をもたらすことがある。そのため、より正確なデータを得るには無風で気温や湿度を一定に保つことができる室内の陸上競技場を使用し、測定することが望ましい。

V 結論

本研究では成分が異なる飲料の違いによる変化は見られなかった。しかし、生化学検査とサイトカインの測定により、運動による変化がみられた。これらの結果から、日々のトレーニングによりアスリーの体内では臓器損傷と炎症が起きてパフォーマンスの低下を経験する可能性が考えられる。コンディショニングやサプリメントの摂取などで運動による臓器損傷と炎症を防ぐことができれば、アスリートは大切な試合で各自のパフォーマンスを十分に発揮できる可能性が考えられる。

VI 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた鈴木克彦先生、樋口満先生、宮下政司先生に感謝致します。貴重な時間を割いて研究に協力してくださった早稲田大学陸上同好会の皆様、アサヒ飲料株式会社の皆様に感謝致します。協力していただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

VII 参考文献

- 1) Hashimoto, H., Oh, T., Ishijima, T., Mitsuda, H., Peake, J. M., ... & Higuchi, M. The effects of sports drink osmolality on fluid intake and immunoendocrine responses to cycling in hot conditions. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 59, 206-212, 2013.
- 2) RA Wapnir et al, Fima Lifshitz. Osmolality and solute concentration-their relationship with oral hydration solution effectiveness: an experimental assessment. *Pediatr Res*, 19(9), 894-898, 1985.
- 3)樋口満編. スポーツ現場に生かす運動生理学. 61-71, 市村出版, 2010.
- 4)村岡功編. 新・スポーツ生理学. 95-105, 市村出版, 2015
- 5)鉄口宗弘. 大学生女子バスケットボール選手における運動前の水分摂取が生体に及ぼす影響, *Memoirs of Osaka Kyoiku University.* IV, Education, psychology, special education and physical culture. 54(2), 25-33, 2006.
- 6)南和文. 暑熱下の相撲稽古における経口補水液摂取の有効性の比較, *日本臨床スポーツ医学会誌*, 19(4), 211-211, 2011.
- 7)Suzuki K, et al. The effect of a sports drink based on highly branched cyclic dextrin on cytokine responses to exhaustive endurance exercise. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 54, 622-630, 2014.

- 8) 山下真紀．暑熱環境下の身体活動時に摂取する飲料のナトリウム濃度の違いが生体に与える影響．Journal of UOEH. 31(1), 118, 2009.
- 9) 谷口英喜．経口補水療法．Jpn J. Biometeorology, 52(4), 151-164, 2015.
- 10) 谷口英喜．「脱水症」と「経口補水液」のすべてがわかる本．44-79, 日本医療企画, 2018.
- 11) WAPNIR Raul A et al. Osmolality and solute concentration-their relationship with oral hydration solution effectiveness: an experimental assessment. Pediatric research, 19(9), 894, 1985.
- 12) 菅村和夫編．サイトカイン・増殖因子用語ライブラリー．1-117, 羊土社, 2005.
- 13) 臨床検査すすめ方とよみ方．1-123, 文光堂, 1986.
- 14) 石井直方 et al. ストレングス&コンディショニング．59-69, 大修館書店, 2013.
- 15) 倉掛重精．冬季のマラソンが選手の生体に及ぼす影響ー完走者と非完走者の血液成分の比較ー体力・栄養・免役学雑誌 17(2), 100-112, 2007.
- 16) 呉泰雄, et al. 運動中のハイポトニック飲料の自由摂取が体液および電解質バランスに及ぼす影響．スポーツ科学研究, 8, 144-154, 2011.

- 17) 吉田 春雄. 尿中クレアチニン量に影響を及ぼす諸要因に関する研究. PhD Thesis, 熊本大学, 1960.
- 18) 小郷 克敏 et al. 運動性尿タンパクの尿中酵素活性による評価. 体力科学, 27(2), 73-80, 1978.
- 19) 山田 哲雄, 村松 成司, 高橋 徹三. 運動時の汗および尿中ナトリウム, カリウム排泄量の一過性の変動に及ぼす運動強度の影響. 日本栄養・食糧学会誌, 46(1), 39-46, 1993.
- 20) Poortmans, J. R. Influence of physical exercise on proteins in biological fluids. Biochemistry of Exercise. Karger Publishers, Vol3, 312-327, 1969.
- 21) 有江 醇子. 物質代謝的見地からみた運動負荷示標に関する研究第4 報 非トレーニング者 12 分間走時の尿成分の消長タンパク, 乳酸, ピルビン酸, クレアチニン, アルカリホスファターゼについて. 93-104, 1977.
- 22) 高橋 将記, et al. 中等度強度以下の持久性運動が血中の活性酸素生成および白血球活性化マーカーに及ぼす影響. 日本補完代替医療学会誌, 8(1), 25-28, 2011.
- 23) 石渡 智子, et al. 運動による自覚的疲労度とストレスホルモン・サイトカインとの関連性. 日本補完代替医療学会誌, 8(2), 67-73, 2011.
- 24) SUZUKI Katsuhiko et al. Systemic inflammatory response to

exhaustive exercise. Cytokine kinetics. Exercise immunology review, 8, 6-48, 2002.

25) Bruunsgaard et al. Exercise - induced increase in serum interleukin - 6 in humans is related to muscle damage. The Journal of physiology, 499(3), 833-841, 1997).

26) CAMUS Gérard et al. Are similar inflammatory factors involved in strenuous exercise and sepsis?. Intensive care medicine, 20(8), 602-610, 1994.

27) FEBBRAIO Mark A et al. Muscle-derived interleukin-6: mechanisms for activation and possible biological roles. The FASEB journal, 16(11), 1335-1347, 2002.