

条件を設定するのは困難な状況であった。そこで、いずれの療養環境においても活用できる測定条件の設定が求められることになった。そこで、①午前、午後のいずれの時間帯においても食後 90 分以上経過後、②姿勢は、仰臥位、座位いずれでもよく、安静 30 分以上経過後、3 分間測定、③呼吸流量 (VE) 2.8l/min 以下を棄却するという条件が作成されることになった。

1996 年には細谷を座長とする安静時エネルギー代謝研究会が発足し、調査検討委員会が設置され、上記の測定条件に基づいて研修を受けた調査員によって全国から携帯式を用いた大量データが性別、年齢別に収集された(23)。

携帯式に関する検証成果を総合的に検討した結果、このような携帯式の測定に際しての条件設定は妥当であることが明らかになった。ただし、田村らの開発した比較検査機器を用いた検証から±10%の誤差範囲では換気量 (VE) 3.0l/min 以下の REE 値は棄却できることが明らかになった。それゆえ、携帯式が、呼吸流量の少ないケア対象の高齢者に用いられ、500kcal を下回るような REE 値が算出された場合には取扱いが問題となっていたが、この田村の棄却条件によって、より適正なデータの選択ができるようになった。また、この±10%は、一見大きい誤差のように見受けられるが、加藤らが観察しているように個人内変動が 10%前後あることを考え合わせれば許容範囲と考えられる。

一方、既存の報告成果を検証した結果、若年者ならびに高齢者の各集団において、携帯式を用いて算出された REE 値の平均値、標準偏差は、ダグラスバック法、キャノピー式、ベンチマーク式などの機器と殆ど差異のない値であることが確認された。また、若年者での個人間誤差は 10%前後、高齢者では 20~30%と増大するが、このような個人間誤差の大きさも携帯式と他の手法間に殆ど差異がないことが確認された。

E 結 論

携帯用簡易熱量計は、今回確認された一定の測定条件、データの棄却条件のもとに、保健・医療の栄養ケア・マネジメントにおいて従来どおり活用することができることが明らかになった。さらに、これらの確認された条件のもとに、既存の細谷らが収集した携帯式による日本人の性別、年齢別 REE 値の平均値、標準偏差などを再計することができたので、保健・医療サービスにおける活用が期待できる。

F 研究発表

1.論文発表

Hosya N., Mitsuhashi F., Sugiyama M., : Resting energy expenditure among Japanese. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001 (accept for publication).

G 謝 辞

ご教示、ご助言頂きました以下の各位に心より謝意を表します。東京大学名誉教授

細谷憲政、京都大学大学院人間・環境学研究室教授 家森幸男、空閑佐智子、日本体育大学健康管理学研究室教授 井川正治、坂牧美歌子、国立療養所中部病院長寿医療センター、老人支援機器開発部部長 田村俊世、一関紀子、大妻女子大学家政学部部長 橋本勲、鳥羽市民病院内科 加藤昌彦、岐阜大学第一内科教授 森脇久隆、聖マリアンナ医科大学栄養部部長 中村丁次

H 文献

- 1) 厚生省：「第六次改定 日本人の栄養所要量」、第一出版、1999:9-12、31-47.
- 2) 細谷憲政：序章 今なぜエネルギー代謝か - 生活習慣病予防のために -、第一出版、東京 p1-12,2000.
- 3) 鳥井嘉彦：携帯式、今なぜエネルギー代謝か - 生活習慣病予防のために -、第一出版、東京、p83-95、2000.
- 4) 坂牧美歌子、鳥井嘉彦、井川正治：携帯型カロリーメーターの開発における信頼性の検討、第20回人間生活環境系シンポジウム、福岡、1996.
- 5) 厚生省老人保健事業推進等補助金研究「高齢者の栄養管理サービスに関する研究」研究報告書（主任研究者 松田朗）、1996、1997、1998.
- 6) 杉山みち子、斉藤正身、加藤隆正、加藤泰功、木下毅、石川真、田中正樹、小山秀夫：高齢者のエネルギー代謝ならびに低栄養状態の評価、栄養 - 評価と治療、13、389-395、1996.
- 7) 三橋扶佐子、杉山みち子他：高齢患者の安静時エネルギーの携帯式を用いた検討、栄養 - 評価と治療、14、347-353、1997.
- 8) 秋吉美穂子、大輪陽子、杉山みち子、尾林聡、麻生武志：更年期女性の安静時エネルギー代謝の検討、更年期医学会雑誌、6、192-202、1998.
- 9) 討論集会：「エネルギー消費量の測定装置」、「臨床領域におけるエネルギー消費量の測定」、第2回栄養管理研究会、東京、1999.6月18日.
- 10) 空閑佐智子、野口孝則、Marina Njelakela、神田知、家森正志、佐藤利昭、三木知博、池田克己、奈良安雄、Jacob Metbaji、家森幸男：タンザニアにおける高血圧の危険因子、Therapeutic Research、21：20-24、2000.
- 11) Sachiko Kuga, Marina Njelekela, Tamanori Noguchi, Tomo Kanda, Masashi Yamori, Toshiaki Sato, Tomohiro Miki, Katsumi Ikeda, Yasuo Nara, Jacob Mtabaji, Yukio Yamori : Prevalence of overweight and hypertension in Tanzania: Special emphasis on resting energy expenditure and leptin. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001.(accept for publication)
- 12) Teruyoshi Amagai, Shoji Igawa, Rhoji Watanabe. : Is There Racial Difference in Resting Energy Expenditure in Childhood. - Measurement by Indirect Calorimetry of Metavine - Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001.(accept for publication)
- 13) 石川和子：基礎代謝及び安静時代謝の測定条件の検討、厚生科学研究費「栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値作成に関する研究」報告書（主任研究者 澤宏樹）、2000.
- 14) 加藤昌彦、冨近正洋、森脇久隆、武藤泰敏、杉山みち子、服部福德：高齢者のエネルギー代謝測定のための携帯式の妥当性の検討 - 平成7年度老人保健事業推進費等補助金在宅老人患者の栄養管理に関する研究報告書（主任研究者 松田朗）、p40-50、1995.
- 15) 田近正洋、加藤昌彦、毛利泰実、井田英里架、三輪佳行、武藤泰敏、森脇久隆：携帯式(METAVINE)の測定限界に対する検討 - 間

- 接熱量計との比較一、第 20 回日本臨床栄養学会総会、東京、1998. 11 月 5 日
- 16) Masahiko Kato, Masahiro Tajima, Yoshiyuki Miwa, Hisataka Moriwaki, Validation of portable indirect calorimeter (Metavine) for measuring energy expenditure in elderly population., Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001.(accept for publication)
- 17) 中野博子、石田裕美、上西弘、鈴木久乃、細谷憲政：携帯式の妥当性、信頼性の検討、第 19 回日本栄養アセスメント研究会、久留米、1997,5,24.
- 18) 中野博子、細谷憲政：携帯式の有効性について、第 50 回日本栄養食糧学会、1997.4.26
- 19) 坂牧美歌子、鳥井正彦、井川正治：携帯用カロリメーターの安静時エネルギー代謝の測定について、第 37 回生理人類学会、1997.5.31.
- 20) Mikako Sakamaki, Masami Miyazaki and Shoji Igawa :Examination of Portable Calorimeter Reliability. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001 (accept for publication).
- 21) 田村俊世：エネルギー代謝の測定機器、今なぜエネルギー代謝か、第一出版、東京 p53-82, 2000.
- 22) Tamura T, Ichinoseki N, Yoshimura T, Torii Y, Yamori Y. : Development and evaluation of a simple calorimeter for the measurement of resting metabolism. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001 (accept for publication).
- 23) Hosoya N., Mitsuhashi F., Sugiyama M., : Resting energy expenditure among Japanese. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2001 (accept for publication).
- 24) Kinney JM, Morgan AP, Domingues FJ, Gildner KJ. : A method for continuous measurement of gas exchange and expired radioactivity in acutely ill patients. Metabolism. 13:205-11, 1964.
- 25) Kinney JM, Long LL, Gump FE et al. : Tissue Composition of weight loss in surgical patients. Ann Surg. 168:459-74. 1968.
- 26) Sato N, Kusamae A, Ohkawa A, Koyama Y, Oyamatsu M, Kayama S, Yoshikawa K, Tanaka O, Muto T. : Resting energy expenditure in patient undergoing transhiatal or transthoracic oesophagectomy for carcinoma of the thoracic oesophagus. Br J Surg. 80:1413-5, 1993.
- 27) Wilmore DW. : Energy and energy balance. In: Wilmore DW (ed). Management of the Critical Ill. Plenum, New York. 1-50, 1977..
- 28) Carol S, Ireton-Jones, James DJ. : Should predictive equations or indirect calorimetry be used to design nutrition support regimens? Nutr Clin Pract. 13:141-45, 1998.
- 29) 山本茂、小松龍史、池本真二：日本人の栄養所要量に用いられている基礎代謝量（資料）の評価、厚生科学研究費「栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値作成に関する研究」(主任研究者 澤宏紀)、2001.
- 30) Dubois D, Dubois EF. Clinical calorimetry. X A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch. Inter. Med. 17: 863-71. 1916.

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

分担研究報告書

栄養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究
早朝仰臥安静時の消費エネルギー測定

分担研究者 西牟田 守 国立健康・栄養研究所

研究要旨 大学生女子 12 名を対象に、計算上摂取エネルギー 1900kcal/日の食事で 15 日間生活させ、異なる条件で各被験者毎に 3 回、早朝仰臥安静時の消費エネルギーを測定した。その結果、基礎代謝条件では酸素消費量平均 3.11、前日にストレスを与えた場合は平均 3.15、仰臥前に 30 分歩行した場合には平均 3.11（いずれも仰臥後 50-60 分の値、単位 ml/kg/min）であった。この値を仰臥開始 10-20 分に測定した酸素消費量と比較すると、仰臥前に 30 分歩行した場合を除き、平均値では高いものの有意差は検出されなかった。体重当たりの酸素消費量（仰臥後 50-60 分）と体格指数（BMI）との間には相関があり、相関係数は基礎代謝条件で測定した値が最も高かった（ $r=0.705$ ）。

A. 研究目的

エネルギー所要量の策定に当たっては消費エネルギーを実測するなどの科学的根拠が求められる。第五次改定日本人の栄養所要量では消費エネルギーの算定根拠としては、基礎代謝の測定条件を満たした基礎代謝基準値（昭和 44 年）、特異動的作用、RMRなどを用いており、睡眠時の消費エネルギーは基礎代謝の 0.9 とされていた。しかし、第六次改定日本人の栄養所要量では安静時消費エネルギー、Afを用いており、睡眠時と安静時の消費エネルギーはいずれもAfを1と定めている。両者の方法により算定さ

れた消費エネルギーは有意に異なること予測され、また、Afを直接計測したデータの集積も不十分であること、近年食生活の変化などにより体脂肪率が変化したことなどを考慮すると、消費エネルギーの算定方法に関しては、改めて実験的にデータを集積し、科学的根拠をもとに検討する必要がある。そこで、基礎代謝測定条件等の条件で仰臥位安静時の酸素消費量を測定し、従来用いられていた基礎代謝基準値と比較し、今後のエネルギー所要量策定に資するデータを蓄積することを目的として実施した。

B. 研究方法

あらかじめ実験内容などを説明し、文書により被験者として実験に参加することを希望した大学生女子 12 名を対象とした(表 1)。実験は平成 12 年 7 月から 8 月にかけて 16 日間、被験者を国立健康・栄養研究所被験者実験施設に宿泊させ実施した(表 2)。早朝仰臥安静時の消費エネルギー測定は被験者毎に実験期間中に 3 回実施した。被験者は早朝空腹時に仰臥し、呼気ガスは仰臥後 10-20 分、30-40 分、50-60 分の 3 回ダグラスバックを用いて採取し、仰臥後の計事変下についてもた。分析には乾式ガスメータと質量分析計を用いた。3 回の測定条件は 1) 前日は安静を保ち、基礎代謝の測定条件とし、覚醒後排尿排便し、体重(感量 10g)及び身長を測定した後に、仰臥位をとる条件(基礎代謝測定条件)、2) 前日にストレスとして寒冷暴露 5 時間、単純計算 6 時間または拘束 6 時間を負荷し、その他は 1) と同一の条件(前日ストレス負荷)、3) 前日は安静を保つが、起床後 30 分歩行しその後仰臥位をとる条件(早朝 30 分歩行後仰臥)とした。食事は、摂取エネルギー 1900kcal/日とした。

C. 研究結果

早朝安静仰臥位の酸素摂取量を a. 基礎代謝測定条件、b. 前日にストレスを負荷した場合、仰臥前に 30 分歩行した場合について体重当たりで図 1 に示す。基礎代謝測定条件では仰臥後平均では 3.015、3.021、

3.107(ml/kg/min)と酸素摂取量は上昇したが有意な変化ではなかった。前日ストレス負荷では仰臥後平均では 3.031、3.130、3.152(ml/kg/min)と酸素摂取量は上昇したが有意な変化ではなかった。また、平均値では a. 基礎代謝測定条件での測定値より各測定時間帯で高値であったが、有意差は検出されなかった。早朝 30 分歩行後仰臥位になった場合は仰臥後平均では 3.095、3.058、3.099(ml/kg/min)と酸素摂取量は一定の変化を示さず、有意な変化ではなかった。また、平均値では仰臥後 10-20 分の値は 3 条件で最も高く、50-60 分の値は最も低い値であったが、いずれの比較に置いても有意差は検出されなかった。

体重当たりの仰臥安静時酸素摂取量と体格指数(BMI)との関係を図 2 に示す。

検討した 3 条件のいずれでも有意なふおの相関を認めるが、最も相関係数が高い条件は基礎代謝測定条件であった。

D. 考察

第六次改定日本人の栄養所要量では、睡眠時、仰臥位および座位安静時の消費エネルギーの動作強度を 1.0 としている。本研究では、仰臥安静時の消費エネルギーを各種条件下に測定したが、仰臥開始 50-60 分後の値に 3 条件で有意差はないが、平均値は条件により約 1%変動した。今後も従来通り基礎代謝条件の仰臥安静時の酸素摂取量を基準として、座位および睡眠

時の酸素摂取量を測定し、第六次改定日本人の栄養所要量方式の消費エネルギー判定法について評価をする必要があるだろう。

本実験で基礎代謝条件の仰臥安静時の酸素摂取量 3.107 (ml/kg/min) は基礎代謝基準値に換算すると 21.9 (kcal/kg/日) となり、18~29 歳女の基準値 23.6 (kcal/kg/日) に比較すると低値である。小数例での検討であるために今後例数を増やし検討する必要があるが、図 2 で示されるように、体重当たりで評価した基礎代謝条件の仰臥安静時の酸素摂取量は体格指数と有意な負の相関があることや、その平均値が 30~49 歳女の基準値 21.7 (kcal/kg/日) に近いことから、除脂肪体重当たりの体重で評価した酸素摂取量には個体差が少ないとされる従来の報告を支持したデータかもしれない。いずれにせよ、条件設定を厳密にした条件で今後例数を増やしエネルギー代謝基準値を策定する必要があるだろう。

E. 結論

摂取エネルギーを含め設定条件を規定した条件で早朝仰臥位の酸素摂取量を測定し、基礎代謝条件での測定が有用であると示唆された。

F. 研究発表

なし

表 1. 被験者の身体組成

ID	年齢	性	身長 (cm)	体重 (kg)	血圧 (mmHg)		皮下脂肪厚(mm)		
					収縮期	拡張期	上腕背部	肩甲骨下部	合計
a	21	f	170.9	57.68	98	54	19.0	25.0	44.0
b	19	f	151.4	52.11	100	66	23.0	24.5	47.5
c	20	f	158.6	41.89	92	50	11.0	10.5	21.5
d	21	f	162.9	52.52	106	64	14.5	16.5	31.0
e	19	f	161.5	56.68	104	60	14.5	26.0	40.5
f	20	f	156.1	44.71	106	54	11.0	11.0	22.0
g	20	f	163.1	50.77	92	54	19.0	8.0	27.0
h	21	f	156.8	48.90	98	50	17.5	13.0	30.5
i	18	f	156.4	53.40	110	70	18.0	20.5	38.5
j	18	f	168.3	60.55	96	64	20.0	14.0	34.0
k	22	f	163.1	50.82	92	56	14.0	14.0	28.0
l	19	f	158.0	49.29	112	68	19.5	18.0	37.5
平均	19.8		160.6	51.61	101	59	16.8	16.8	33.5
標準偏差	1.3		5.5	5.25	7	7	3.7	6.1	8.31

表2. 実験のプロトコル

実験日	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Subjects A (n=6) 安静時代謝	献立		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
	安静期間		安静期間				ストレス 負荷				安静期間				Post			
Subjects B (n=6) 安静時代謝	●						○				◎							
	安静期間		安静期間				安静期間				ストレス 負荷				Post			
		●				◎				○								

- 早朝30分歩行 後
- 前日ストレス負荷
- ◎ 無負荷 (基礎代謝条件)

早朝空腹時酸素摂取量(ml/kg/min: mean+s.d.)

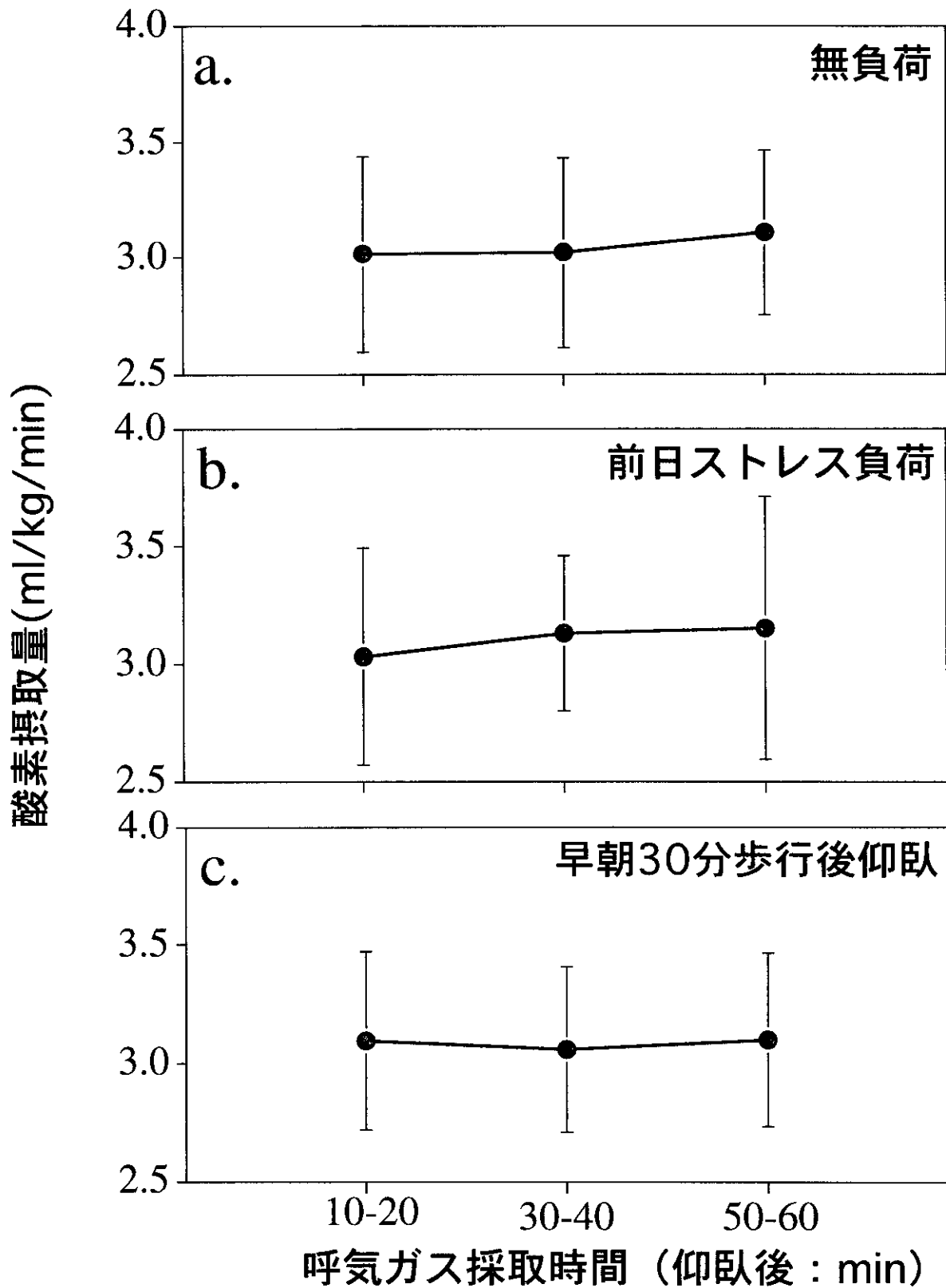


図1. 早朝安静仰臥位の酸素摂取量

a.基礎代謝測定条件、b.前日にストレスを負荷した場合
c.仰臥前に30分歩行した場合。いずれも有意差なし。

早朝仰臥位安静時酸素摂取量とBMIとの関係

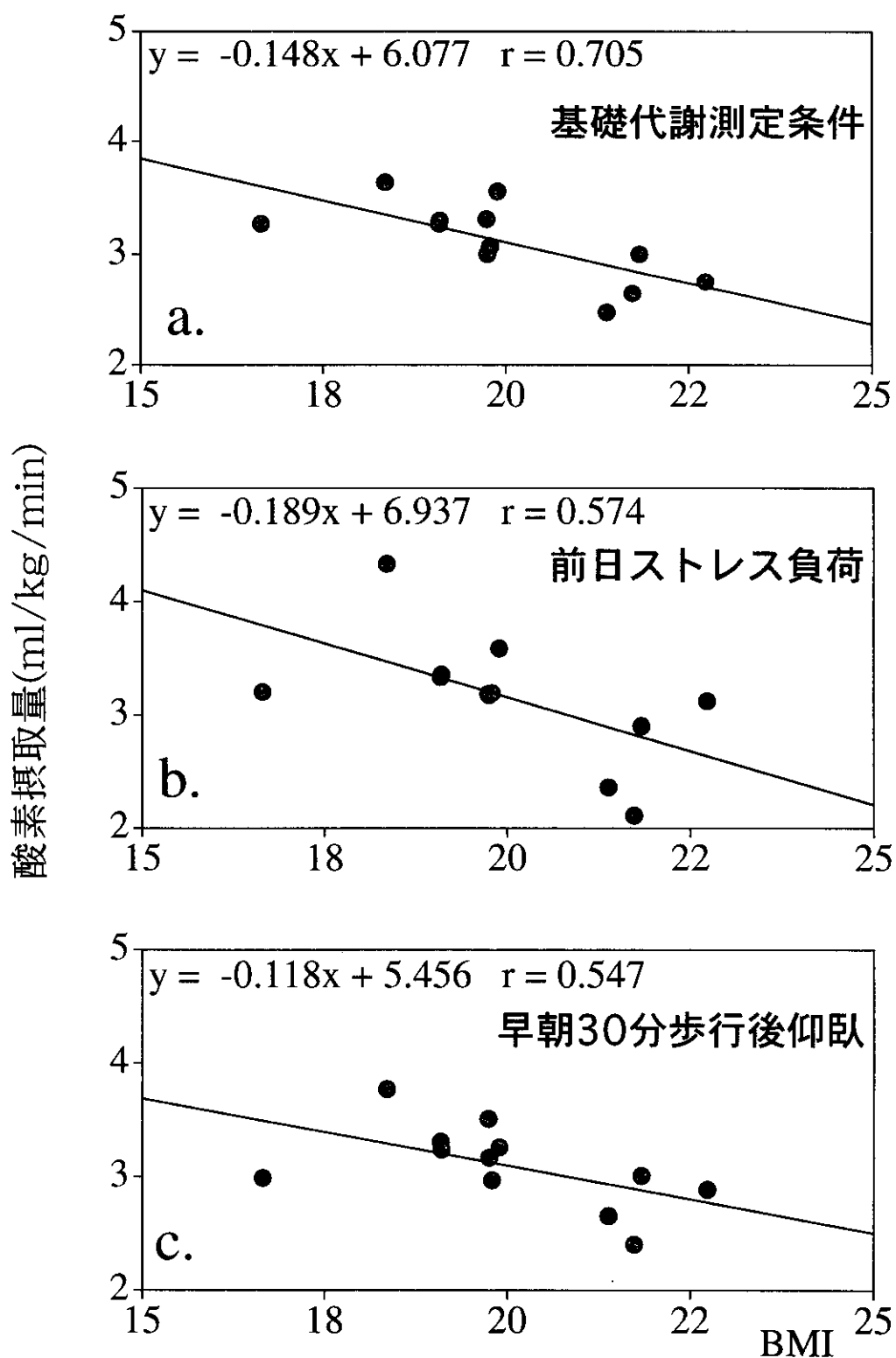


図2. 早朝仰臥位安静時酸素摂取量と体格指数(BMI)との関係
 体重当たりの酸素摂取量とBMIとは負の相関を認めるが、基礎代謝測定条件での相関係数が最も高い。

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
分担研究報告書

基礎代謝量およびエネルギー消費量に影響する食物摂取に関する基礎的研究

分担研究者 笠岡宜代（独立行政法人国立健康・栄養研究所 臨床栄養部 研究員）

研究要旨

肥満を予防する作用が知られている食事成分（共役リノール酸）をマウスに摂取させ、実験動物用メタボリックチャンバーを用いてエネルギー消費量を測定した。共役リノール酸をマウスに摂取させると脂肪組織でのエネルギー消費を高めると同時に、アポトーシスを誘導する事で脂肪細胞を減少させている事が明らかとなった。

A. 研究目的

実験動物用メタボリックチャンバーを用いてマウスの酸素消費量を測定し、ヒューマンメタボリックチャンバーの調整における基礎データの収集を目的とした。また、エネルギー消費を高める食事成分を探索した。

B. 研究方法

共役リノール酸（Conjugated linoleic acid, CLA）はリノール酸の異性体であり、体脂肪を減少させることが知られている。そこで、7週齢の C57BL/6 マウスに 1%の CLA を添加した食事を摂取させ、実験動物用メタボリックチャンバーを用いて酸素消費量を測定した。また、インスリン負荷試験、ノーザンブロット法により TNF- α 、UCPs、GLUT4 mRNA 発現量を測定した。アポトーシスは TUNEL 法および DNA ラダー法により検出した。

C. 研究結果

CLA 添加群ではコントロール群に比較して、8%の酸素消費量の増大が認められた（ $p < 0.05$ ）。白色脂肪組織（WAT）、褐色脂肪組織（BAT）重量も有意に減少した。熱産生に関与している UCP2 の mRNA 発現量は WAT および BAT で劇的に増加していた。さらに、CLA の摂取は脂肪組織のアポトーシスを惹起していた。アポトーシスとの関与が示唆されている TNF- α の mRNA 発現量は CLA 添加群の WAT および BAT で劇的に増加していた。

しかし、CLA 添加により極端に脂肪組織が減少した事から、著しい肝臓肥大およびインスリン抵抗性も認められた。血中レプチンレベル、WAT および BAT の GLUT4 mRNA レベルも減少していた。

D. 考察

CLA 摂取による脂肪組織の減少はエネルギー消費亢進とアポトーシスによるものであり、UCP2 や TNF- α の関与が示唆された。また、WAT および BAT の著明な減少

は、脂肪萎縮性糖尿病を惹起する可能性が示唆された。今後、ヒトに CLA を摂取させ、ヒューマンメタボリックチャンバーを用いてエネルギー消費を測定する予定である。

E. 結論

実験動物用メタボリックチャンバーを用いて酸素消費量を測定したところ、共役リノール酸の摂取はエネルギー消費を高め、肥満を予防することが明かとなった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka, Mayumi Takahashi, Kentaro Tanemura, Hyoun-ju Kim, Tsuyoshi Tange, Hitoshi Okuyama, Masaaki Kasai, Shinji Ikemoto and Osamu Ezaki (2000) Conjugated linoleic acid supplementation reduced adipose tissues by apoptosis and developed lipodystrophy in mice. *Diabetes* 49, 1534-1542.

Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka and Osamu Ezaki (2000) Mitochondrial uncoupling protein 3 (UCP3) in skeletal muscle. *Frontiers in Bioscience*, D57 0-574.

2. 学会発表

笠岡 (坪山) 宜代, 高橋真由美, 笠井正章, 奥山齊, 池本真二 and 江崎治 (2000) 共役リノール酸 (CLA) による体脂肪減少メカニズム... TNF- α , UCP2 の Up-regulation によるアポトーシスの誘導. 第 54 回日本栄養・食糧学会, 愛媛, 5 月.

笠岡 (坪山) 宜代, 高橋真由美, 池本真二 and 江崎治 (2000) 共役リノール酸 (CLA) による脂肪細胞のアポトーシス誘導... TNF- α , UCP2 の Up-regulation... 第 5 回アディポサイエンス研究会, 大阪, 8 月.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
分担研究報告書

栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値作成に関する研究

諸外国におけるヒューマンカロリメータ運用に関する情報収集と日本の現状の報告
—国際学会に出席して—

分担研究者 岡 純 国立健康・栄養研究所老人健康・栄養部 室長

研究要旨 平成 12 年度厚生科学研究費「栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値作成に関する研究」より要する費用を支給され、平成 12 年 10 月 29 日から 11 月 9 日までヨーロッパ 3 カ国に出張した。諸外国のヒューマンカロリメータを用いたエネルギー代謝とそれに関連する研究の状況を視察するとともに、11 月 2 日から 4 日までオランダ・マーストリヒト、マーストリヒト大学内で開催された Symposium on energy regulation research に出席し、日本のヒューマンカロリメータ設置の状況の報告と諸外国の情報収集および意見交換を行った。

A. 研究目的

厚生省（現・厚生労働省）が策定する「日本人の栄養所要量」は少子高齢社会にあって国民の健康増進、生活習慣病予防を意図したものである。とりわけ、エネルギー所要量はすべての栄養素の所要量の基礎となるものである。欧米諸国ではエネルギー代謝に関する研究は、ヒューマンカロリメータなどその手法の著しい進歩に伴い、多くのデータの蓄積がある。しかし、わが国においては、人のエネルギー代謝に関する資料が不足している。

この度、国立健康・栄養研究所にわが国ではじめて設置されることとなったヒューマンカロリメータ（メタボリックチャンバー）を用いて人を対象としたエネルギー代謝の研究を遂行するために、伝統のあるヨーロッパの 3 研究施設を視察し、また Symposium on energy regulation research に出席して、日本のヒューマンカロリメータ設置の状況の報告を行うと共に諸外国の運用に関する情報収集、意見交換を行った。

C. 研究結果

ここでは、とりわけ Symposium on energy regulation research の概要を報告する。

まず、本研究所からは“Respiratory Chamber for Measuring Human Energy Expenditure in Japan”という演題で、岡が「日本人の栄養所要量」策定における基礎代謝基準値の設定の背景を簡単に紹介し、日本においてもヒューマンカロリメータ設置の機運が盛り上がって来たこと、次いで、現在本研究所において建設中のヒューマンカロリメータの特性に触れた。発表の最後には、今後このヒューマンカロリメータ活用による日本のエネルギー代謝研究の進展の期待を述べた。

さらに、本シンポジウムの演題内訳を概略述べ、世界のチャンバー研究の動向を紹介する。このシンポジウムではチャンバーと全く関連しない発表演題が 1 題あったものの、他の 21 題はチャンバーに何らかの関連のある発表演題であった。

本研究所からの発表の他は以下のようにまとめられた。

1)チャンバーを研究に利用するについての総論的な話題 2題(データ無し)

①genetic obesityのphenotypesをチャンバーのデータ上で明らかにするためにどのような測定項目が必要か?

②microdialysisの技術をチャンバー利用の研究と結びつけたい。

2)チャンバーを研究に利用するについてのalgorithmの話題 4題

①ヒト用 3題

a.24-h EEを初期データから推定

b.急激な活動量の変化と実測する酸素消費量の変化に関するalgorithm

c.呼吸ガス測定に関わる方程式

②動物用 1題

a.急激な活動量の変化と実測する酸素消費量の変化に関するalgorithm

3)実際にチャンバーを利用したデータに基づいた発表演題 15題

①2施設間でヒトに関する同様な測定を行った際のデータの比較 1題

②sleeping metabolic rateに関する演題 3題

a.obesityではSMR/RMRが低値である傾向がある。

b.46-h fastingでは夜間のenergy conservationは認められない。

c.加齢によりSMRとBMRの差が縮小する。

③ヒトの生体応答

a.環境の温度変化に対するエネルギー消費の変化 3題

b.高脂肪食に対する応答をRQの変化から観察 3題

(内、動物を用いて 1題)

c.食欲について 1題

④薬理学的反応 2題

a.カフェイン

b.ヒドロキシクエン酸

⑤臨床的応用 1題

a.肥満治療:外科手術とLCD手術群でDITが上昇。

D.考察

本シンポジウムは、15年の歴史をもち、今回で第4回目の開催となる。51名の出席者は事前登録制で、その内訳を出身国別で見ると、米国8名(発表7題)、オランダ16名(発表8題)、イギリス5名(発表2題)、デンマーク4名(発表1題)、スイス4名(発表1題)、ドイツ1名、イタリア1名(発表1題)、スペイン1名、日本3名(発表1題)、マレーシア1名(発表1題)、オーストラリア4名、南アフリカ2名、チリ1名であり、欧米諸国にヒューマンカロリメータに関わる多くのデータの蓄積があることを窺わせる分布であった。

現時点で、チャンバーの設置されていない南アフリカやチリに建設の動きがあることが紹介されたが、既にマレーシアに設置されているチャンバーは、しかしながら、消費酸素量の測定のみを行うものでエネルギー代謝研究にとっては不完全なもののように思われた。従って、現在本研究所に建設中のヒューマンカロリメータはアジア人種を対象としたエネルギー代謝関連のデータ収集については世界で唯一のものとなると思われる。

マーストリヒト大学のSchoffelenは、その発表の中でチャンバーを利用する研究の測定対象は以下のようにevolutionを遂げつつあると解説した。

24-h EE → 3h SMR → 0.5-1h RMR
→ 5-15' exercise

すなわち、今後本研究所のチャンバーの特性を生かし、チャンバー内での急激な活動量の変化に対応して実測する酸素消費量の変化をリアルタイムに近似的確に

とらえる algorithm の確立が必須となる
ことと示していると思われた。

F.健康危険情報

なし

G.研究発表

2.学会発表

1) Yoshitake, Y., Oka, J., Hirota, K.,
Tsuboyama-Kasaoka, N., Takimoto, H.,

Ishikawa, K., Ikemoto, S., Sugiyama, M.,
Matsumura, Y., Nishimuta, M., Higuchi, M.,
Sawa, H., Respiratory Chamber for
Measuring Human Energy Expenditure in
Japan: Symposium on energy regulation
research, Nov. 3, 2000, Maastricht, The
Netherlands

H.知的財産権の出願・登録状況
(予定を含む。)

なし

厚生科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)
分担研究報告書

ヒューマンカロリメータの調節と管理

分担研究者 廣田 晃一 母子健康・栄養部発育期健康・栄養研究室長

研究要旨:諸外国に既存のヒューマンカロリメータの比較を行い報告者らのヒューマンカロリメータの改良に寄与するための参考にしつつ実地に若干の検討を行った。

A.研究目的

ヒトのエネルギー代謝測定において Respiratory Chamber(以下 RC)は極めて有用な装置であり、既に欧米各国においては70年代半ばより20台近い装置が開発、稼動し栄養学研究の発展に寄与してきた。わが国においては、国立健康・栄養研究所のものがヒト用としては唯一のものである。平成11年に装置の設備は一応の完成をみたが、測定が安定して行えるようにするために数年の期間を必要とすることはいくつかの文献から明らかであり、またそのためには先行する欧米の技術を積極的に取り入れることも必要である。

本年度はカロリメータ装置の建築と時期的に重なったことから、カロリメータの設計及び分析技術の両面にわたって、欧米の先行技術と独自技術の比較検討を行い、長期にわたって安定して使用しうるカロリメータの基盤となる装置の確立を試みた。

B.研究方法

主としてカロリメータを保有する各国の研究室に赴き、実地に検分するとともに担当者に長時間にわたるインタビューを行いその

結果を分析することによってカロリメータに重要な点を明確にしようとした。さらにそこで得られた種々の検討点から我々のカロリメータに適用できる点について若干の検討を行った。

C.研究結果

まず、デンマーク(コペンハーゲンとオーデンセ)およびオランダ(マーストリヒト)のヒューマンカロリメータについて参考になると思われた点を以下に列挙する。また参考のために、必要な場合にはベルギーのロイベン大学にある鶏用チャンバーにも若干触れる。

1. チャンバーの内装(居住性)

オーデンセのチャンバーは内壁が剥き出しで、空気を通すプラスチックパイプが壁の上中下に一本ずつ走っていた。また機械的な部分も剥き出しになっており、居住性はまったく考慮されていなかった。窓がひとつあるのみでベッドもトイレもなかった。

これに対して、コペンハーゲンとマーストリヒトのものは、居住性第一に考えられており、内壁もきちんと塗装されていた。どちらも剥き出しのパイプのようなもの

なく給排気設備は被検者が特に意識しなければ気が付かないように配慮されていた。また、窓にカーテンがあるのはもちろん、コペンハーゲンでは洗面設備とトイレの前にもカーテンが引けるなどの配慮もされていた。

マーストリヒトでは、ドアにも窓がつけられており、これはプラスチックのカバーで完全に覆えるようになっていたが、このドアの窓から測定室の機器類が見えることで、測定を行っていることが実感でき、またそこには測定者が頻繁に出入りすることから、孤独感を低減する効果もあると思われた。窓のすぐ外に建物の窓があり、直接建物の外が展望できて、被検者に閉じ込められたという気持ちを与えにくいようになっていた。また、チャンパー間にも窓がつけてあり、被検者同士が互いを見ながら自由に会話(インターホンで)を交わせるようにして、孤立による不安感を除去できるように考慮されていた。他にもテレビ、ラジオ、コンピュータ(インターネット接続済み)、電話と、通常の生活にある娯楽用あるいは連絡用の機器がそろえられていた。ベッドはきちんとしたもののように見え、跳ね上げ式で壁に畳み掛けて片付けられるようになっていた。トイレは、水洗ではないが、中が冷凍庫になっており、そのままフリーズされるようになっていた。窓が多く、しかも外部に面したものもあることから、採光が極めてよく、明るい室内環境になっていた。

コペンハーゲンでも窓から、テクニシャンのいる測定室の窓が見え、測定機器も見えることから、マーストリヒトと同様の配慮がなされていると思われた。ただ、チャンパー間に窓はなく、ひとつある窓も外の窓からは少し離れているので、昼間でも電燈をつけないと暗かった。娯楽および連絡の機器はコンピ

ュータがない以外はマーストリヒトと同様であった。ベッドは、やはり跳ね上げ式でたためるようになっていただけでなく、木製のボックスに完全にしまいこまれて、存在がわからないようになっていた。トイレと洗面設備にもカーテンがついているのは前述のとおりである。トイレは、やはり水洗ではなく、冷凍庫にもなっていなかったが、大便と小便を分別して採取できるように仕切りがつけられてあり、外から引き出してすぐに冷凍庫に保管できるようになっていた。

いずれのものもドアは気密性は高く作られていたが、鍵はなく、被検者がいつでも内側から開けて外へ出られるようになっていた。マーストリヒトでは、船の船室のドアをそのまま利用しているとのこと。また、ドアの部分の密閉のためのゴムのシーリングは、他の部分よりもやわらかいゴムで作ってあり、力の弱い女性でも容易に空けられるようにしてあるとのことであった(コペンハーゲンではやはりドアは容易に開けられるとのことであった)。

コペンハーゲンのものはホテルのシングルルームの雰囲気であったが、マーストリヒトのものはホテルというより通常の居室の雰囲気、特に窓が多いことと採光が良いことで、極めて居住性のよい環境が実現されていると思われた。

今回見学したチャンパーには長いす(ソファ)はおかれてなかった。またたんすのような内部に空気の停滞が起こるような設備は不可であるとのことだった。

まとめ：室内の居住性は良いか。72時間の滞在にも耐えるものであるか。被検者は通常とは違う環境に置かれるので、特に孤独感、疎外感、不安感、閉所恐怖感をいか

に排除し、同時にプライバシーも最大限守られるように設計される必要があるが、その際空気の滞留がおこらないようしなければならぬので、そのための配慮はどうなっているか。

2. チャンバーの気密性

食事やそれ以外のものを受け渡すための出し入れ口が、オーデンセ以外の2ヶ所には付けられていた(オーデンセではドアを開けるという)。コペンハーゲンでは便利のためからか、机のすぐ上にあり、また前述のようにトイレも外へ引き出せるように作られていた。しかし、マーストリヒトでは、トイレはそのまま凍結(尿はボトルに採取して外へ手渡し)であり、食事等の出し入れ口と空気の出し口は全てドアとその横の壁に作られていた。製作者の話から、意識的にドアに近づけたことがわかった。これはチャンバーへの外気の流入(陰圧なので)が全てドア近辺で起こるようにすることで、計算を容易にするとのことだった。コペンハーゲンではそのような配慮は特になされているように見えなかった。これは、空気全体が全て外のパイプを循環するので、チャンバー自体の空気の吸い込み口の場所はあまり重要でないからだと思われた(しかし、室内空気の吸い込み口はやはりドアに近い場所にあった)。マーストリヒトでは気密性を保持するために特に床板を一枚の継ぎ目のないものにし、壁もかなり厚くして、しかも継ぎ目をできるだけ少なくし、その上、空気の出口を全てドア近辺にもってくるなど、かなり気をつけているとの説明があった。3ヶ所とも陰圧のシステムであり、これは外気(CO₂およびO₂濃度が正確に把握できる)の流入は計算が容易であるが、内気の流出は事実上計算不能だから(内部で変化したC

O₂およびO₂濃度の外気へのコンタミをを考慮しないといけないので)とのことであった。この点はロイベンの鶏のシステムでも確認し、陰圧の利点を説明された。

フェニックスのシステムは昔は陽圧だったはずであり、注意が必要との意見もあった。また陰圧にすることのもう一つの利点として、気密性が陽圧よりも容易に実現できるからとのことであった。しかしそのためにドアが開かなくなると閉じ込められたという感覚が強くなるので、そのあたりの配慮も必要と思われる。見学中には気が付かなかったが、ドアの開く方向も重要であると思われる。

まとめ：気密性は正確な測定にもっとも重要なものであり、これを実現するためには、陰圧システムがより容易であること。空気の給排気部分ではできる限り小さくすること。全体の造りも可能な限りシンプルにし、部屋に穴を開けるときはドアの近くにすること。水道電気配線等も一箇所にして、とにかく気密性に問題が起こったときに点検しなければならぬ場所を最小にすることで解決を容易にする造りにすること。

3. 空気の取り入れ、排気および攪拌方法

いずれも外気は建物の外側の新鮮な空気を取り入れていた。

オーデンセの場合は、前述のように壁伝いにぐるりをめぐらされたパイプで行っていた。取り入れ前に冷却して同時に乾燥させ、つぎに適当な温度に暖めて部屋に入るようになっていた。空気の攪拌は、チャンバー内部に剥き出しでおかれた機械で行っていた。排気も含め、全ての空気の流れがこの3本の壁伝いのパイプを通して行われていた。フェニックスのシステムも論文の写真から、同様であると考えられる(ただし15年近く前のものな

ので、現在は不明)。

マーストリヒトでは、ドアと反対側の窓の天井裏に外気取り入れパイプがきており(気密性確保のため同じ場所から水道も電線も入っていた)、エアーコンディショニングして、噴出しは天井全体の細かい穴から出していた。内部での空気の攪拌は窓のところの穴が取り入れ口になって、先の外気と混ぜて天井全体から噴出すようになっていた。またドアのそばの排気口から排気し分析にまわるようになっていた。

これに対して、コペンハーゲンでは、ドアのそばの洗面設備の天井部分から空気を取り入れ、そのある部分を分析用に分枝させた配管に導き、残りの大部分を天井のほかの部分(ドアから離れた)から噴出して室内に戻すという仕組みになっていた(これは明らかにマーストリヒトとは逆である。マーストリヒトでは吸い込むのがドアから一番はなれた場所で、噴出しは天井全体のどちらかといえばドア側である)。噴出しが天井のほかの部分といっても、実際には天井に覆いがしてあって、壁際からだけ吹き降ろすようになっていた(被検者に風が当たらないための配慮。しかもそのために特に机の前と後ろの部分からは風が来ないようにしており、主としてドアから一番離れた窓際で一番噴出するようになっていた)。

このシステムは、他の2者が空気の大部分を室内(および天井)でまわしているのとは異なり、全ての空気が室内から外へパイプで導かれ、冷却されてまたパイプを伝って戻ってくるようになっていた。攪拌の効率という点からも、給排気装置を部屋から離せるという点(騒音も減る)からも優れていると思われるが、全ての空気がいったん外へ出ることは、

気密性の保持には不利ではないかとも思われた。被検者が喫煙する場合パイプが詰まりやすいのでフィルターをつけてあると言っていたが、これも全ての空気が常に外部のパイプの中をまわっているせいではないかと思われた。

まとめ：空気は主として室内だけで循環するのであるか。その場合はベンチレーションの騒音等に問題はないか、循環がうまくいくための工夫は何か。それとも全ての空気が外部へ流れてまた戻ってくるのか。その場合は外部へ流れることによる気密性の問題はないのか。空気の温度コントロール湿度コントロールはどのようにしているか。喫煙は認めているのか。それに関する問題はないのか。

4. 分析法

分析については、どこもハフマン&ブラウン社の分析計を使用しており、特にコペンハーゲンではメタンも分析していた。フェニックスの論文でも同様であった。しかし、O₂分析器については、既に製造中止ということであり、現在入手可能で最良のものを知る必要があると思われた。

マーストリヒトでは、分析器は二組あり、故障に備えていた。

O₂ガス分析については、パラマグネチック法が最良と思われるとのことであった。他の方法の問題点は、通常の大気に含まれる20%近いバックグラウンドの上で、0.01%を測定する必要があることから誤差が大きくなりやすいこと。パラマグネチック法はコントロールと試料の差異を検出するので、こういうバックグラウンドは問題にならないとのことだった。しかし、リニアリティには問題があること、コントロールのガスをどうやって正確に定量(あるいは購入。0.001%までの

正確さが必要だが、ともすると業者はそこまで正確な測定をしていないかあるいは信頼できない可能性がある) するかという問題もあるということだった。さらに、O₂の分析は試料の乾燥度に影響を受けることと、温度、流速にも敏感であるということから、細心の注意が必要であるとのことだった。ロイベン は鶏のチャンバーであったが、正確な測定のためにフローコントロールを分析器のすぐ前とすぐ後ろの2ヶ所につけて流量をコントロールしており、乾燥度については、ペルティエエレメントで電子的に実現しているとのことであった。コペンハーゲンではカルシウムクロライドによって乾燥していたが、特にそれ以上の注意は払っていないようであった。マーストリヒトでは、全ての分析試料が(コントロールの大気も含めて)、おなじ圧力になるようにバブリングするシステムを開発しており、また試料をパーマピュアのメンブランで乾燥させるだけでなく、全ての分析試料が見かけ上同じ乾燥度になるように測定の切替え装置も工夫しているとのことであった。

オーデンセは特に空気の乾燥に注意を払っており、外気はまずシリカゲルで乾燥され、この乾燥された外気をパーマピュアのメンブランシステムの外相に用いることで、試料の完全な乾燥を実現していた。

CO₂の分析にはいずれの研究所でも特に問題はないとのことだった。

流量の測定は、やはり湿度等から種々の影響を受けることから、注意が必要とのことであった。

コペンハーゲンでは、H₂の分析を室内の壁に取り付けた分析系で行っていた。おそらく他のガスの分析のために試料を乾燥させてしまうので、このようにしたのだと思われた。

他のシステムではH₂の測定は特に説明がなく、存在していないように見えた。

マーストリヒトでは室内の大気圧を測定していた。他のシステムでは未確認。

まとめ：O₂ガスの分析計は何を用いているか。コントロールのガスを何種類用いて、そのガスの濃度の下3桁までの正確な値はどのように測定しているのか。ガスの乾燥にはどのようなシステムを用いているか。全ての分析試料が同じ乾燥度になっていることはどのように明らかにされるのか。分析計への流量(圧力と流速)を制御する方法はどのようなものか。チャンバー全体の流量計の補正はどのように行うのか。

5. システム制御法

システムを自動で運用していくには、コンピュータ(あるいはマイクロチップ)による制御が不可欠と思われる。

コペンハーゲンでは、流量、分析のタイミング、コンピュータへのデータの蓄積・保存のコントロールを業者との共同開発のマイコン・ボードによって一括管理するシステムを実現しており、必要な計算も全てコンピュータ(アクセスというマイクロソフト社のデータベースソフトを利用して)で自動的に算出されるようになっていた。したがって、実験が終われば、必要な計算も全て終わっている仕組みになっており、データを実際を利用する側としては、システムへの(プログラマー的な)理解がなくても極めて容易に使えるシステムになっていた。

オーデンセでは、それぞれの機器の制御を、アナログデジタルコンバータを通して、パソコン上のソフトで行っていた。ソフトは最初は独自開発のもの。最近ではヒューレットパッカードの市販の汎用制御ソ