スクーバ・ダイバーの栄養学

関 邦博

神奈川大学理学部

Dietetics of SCUBA Diver

Kunihiro SEKI

Faculty of Science, Kanagawa University

1 ダイバーの健康とは

ダイビングをする場合、自分の健康状態を常に把握して置かなければならない。健康とは、「単に病気や欠陥がないというだけでなく、身体的にも、精神的にも、社会的にも、完全に快適な状態」をいうと世界保健機構では定義している。

健康を客観的に判断する場合、二つの方法がある。医者健康を診断してもらう「①一時的な健康状態」と自分自身で健康を管理する「②継続的な健康状態」がある。

具体的に述べてみると一時的な健康とは、医学上の記録である。ダイバーが受ける医学的検査がどんなに詳細に実施されても、それはダイバーの日常生活の中ではほんの瞬間のデータでしかない。この意味するところは、その検査時点においてのみダイバーが医学上ダイビングに適していることをさしているに過ぎないからである。例えば、あるダイバーが（年齢30歳、スポーツマンであり、健康な男性）が深度30m（この深度での無減圧潜水停留時間は25分間）に10分間潜水の後、半身不随と言う減圧障害に罹患（病気になること）した。このダイバーは、インストラクターと終始バディを組み、ダイビング・マニュアル通りの潜水を実施していた。にもかかわらず何故このような潜水障害に罹患したのだろうか。ここで問題となるのがそのときのダイバーの健康状態である。このダイバーは、一週間にわたるダイビングの講習による疲労に加えて、自宅では毎日夜は室内のペンキ塗りなどの作業を行ってお

り疲労の蓄積があった。このような背景があるにもかかわらず、このダイバーは、自己の肉体的な抵抗力を過信し、潜水に対する適性、すなわち継続的な健康管理を故意に無視していたのである。この時点では、もはや医者、インストラクター、友人らの問題でもない。責任は、ダイバー自身にある。ダイバーは、自分自身の健康状態を知り、自分自身で診断を下しその結果が悪ければダイビングを中止する決断を下す勇氣が必要なのである。

ダイバーは、医者による一時的健康診断書を毎年積み重ねる必要がある。この記録簿は、ある時、自分にとって重大な疾患が発現しダイビングを実施するのに不適性になったことを知らせてくれる警報の役目をしてくれることになる。またダイバーは、継続的に健康を保ち自分自身の身体を過信しないように努め、自分自身の責任において身体を守って行くと言うことを理解しておくことが必要である。自分自身の健康状態を常に厳しく評価することによってのみダイバー自身の生命を守ることができるのである。

2 ダイバーの栄養素の摂取

栄養とは、食物を通して健康を維持増進することという。人間は、常に適当なものを外部から取り入れ、代謝によってこれを利用し、さらに身体に必要な微量成分を補充しなければならない。そのため人間は、食糧を原料として加工、調理したものを食物として摂取し、同化していわゆる「血となし、肉となし」ている。

また、食物の成分を異化しエネルギーを出して「生きる力、働く力」にしている。この一連の現象を栄養という。栄養素とは、食物の成分のことであり、栄養素を含み、食糧にしてきたのが食品である。一般に食糧によって一日に必要なエネルギーが補給され代謝によってエネルギーが消費されこのエネルギーの出納が平衡に保たれていると体重に変動がない。起床時の排便後の基礎体重は、水分の摂取量や発汗などによって200g前後の変動はみられることもあるがほぼ定常値を示す。摂取と消費のエネルギーの平衡が乱されて過食すると体重が増大し、不足は体重の減少をまねくことになる。健康なダイバーは、空腹感に応じて自由に摂食し、食欲にしたがって無意識に摂食してもエネルギー出納の平衡は正常に保たれる。

(1) 水中環境と栄養

ダイバーは、潜水することによって気体と液体の環境を往復することになる。海水は、空気と比較して1000倍の密度、熱伝導率が25倍もある。ヒトが大気圧の空気環境で暑くも寒くもなく快適に感じる温度は、28から32℃であるが水中では33℃である。人体から水に伝わり失われる熱の速度は $Q \text{ (kcal/hr)} = KA (Tb - Tw) / t$ で表わせる。K：定数(熱伝導率)、A：体表面積、Tb：体温、Tw：水温、t：時間。

海水温が、通常20℃以下になるとダイバーは保温または加温機能のついた潜水服が必要となり、裸体のまま潜水すると体温が低下し始め、ふるえ、触覚の鈍麻、巧緻性の低下、さらには思考力の低下といった生理的变化をきたす。水温が5℃以下の海中に裸体でダイバーが潜水すると1時間以内に死亡するといわれている。

海水が20℃以下の環境で潜水する場合、ダイバーは潜水用呼吸ガス、潜水深度、潜水回数、潜水中の移動速度、潜水服の保温性等によっても異なるが熱喪失が飛躍的に増大するため摂取エネルギーを通常よりも数十パーセントから数倍余計に取らなければならない。

(2) 摂取と消費エネルギー

生命の維持と活動に必要なエネルギーは、おもに食物中の熱源栄養素「糖質、脂質、タンパク質」から供給される。エネルギーの単位1kcalとは1kgの水を14.5℃から15.5℃に1℃だけ温度を上昇させるのに必要な熱量のことである。また国際的にはjoule (1kcal=4.184 k joule)を使用することもある。

人間が、一日に必要なエネルギー摂取量をエネルギー所要量という。日本人のエネルギー所要量を表1に示す。この摂取エネルギーは、どのように消費しているのか分類すると以下のようになる。

基礎代謝量、安静代謝量、特異動的作用、活動代謝量となる。これらのエネルギー代謝の総和が人体の消費エネルギーである。

表1は、日本人の平均的なものを示し、一つの基準として見る事ができる。最近、心拍数を測定し、エネルギー消費量との関係から一日の総エネルギー消費量を求める方法も開発されている。

レジャー・ダイバーの活動エネルギーを正確に測定した記録は未だないが、ダイビングをする海中の温度、行動力、潜水時間、潜水深度等によってエネルギー消費量は変化する。レジャー・ダイバーが経験する心拍数の変動から推定しても2000から3000kcal程度のエネルギー消費量と思われる。特にレジャー・ダイバーが気を付けなければならない点は、日常生活において活動的でない人が週末ダイビングという運動をした場合、過食になり消費エネルギーより摂取エネルギーが多くなり肥満になりがちなため注意する必要がある。

反面、過酷な環境で活躍する深海ダイバーや飽和潜水のダイバーは、摂取エネルギー量を最低3000から6000kcal以上取らなければならない。この高い摂取エネルギー量を確保しなければ、ダイバーの体重は、減少し、疲労は蓄積し、作業能率は低下し、事故頻度の増大などにつながる危険性がある。

ダイバーは、その生活条件、環境条件などを考慮して、栄養素の必要量を算定しなければならない。個々のダイバーは、一日の身体活動に要するエネルギー消費量を正確に把握し、摂取エネルギーとのバランスを考慮にいった活動をする必要がある。その上で毎日摂取すべき栄養素(タンパク質、脂質、糖質{炭水化物}、ビタミン、ミネラル)と食品(肉、魚介、豆、油、いも、砂糖、野菜、牛肉、海藻)のバランスよい組み合わせを考える必要がある。

(3) 糖質(炭水化物)と脂質(脂肪)の摂取

糖質、脂質、タンパク質の3大栄養素は、体内で酸化すると1g当たりそれぞれ4kcal、9kcal、4kcalのエネルギーを発生する。糖質は、酸化の過程が簡単で完全燃焼して水と二酸化炭素に分解される。しかし、脂質やタンパク質は分解過程における化学反応が複雑

表1 日本人のエネルギー所要量

年齢 (歳)	男					女				
	基礎代謝基準値 (kcal/kg/日)	体重推計基準値 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)	エネルギー所要量 (kcal/日)	体重当たりエネルギー所要量 (kcal/kg/日)	基礎代謝基準値 (kcal/kg/日)	体重推計基準値 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)	エネルギー所要量 (kcal/日)	体重当たりエネルギー所要量 (kcal/kg/日)
0 ~ (月)					120					120
0 { 2 ~ (月)					110					110
6 ~ (月)					100					100
1 ~	60.2	11.17	672	970	87	60.3	10.61	640	920	87
2 ~	59.5	13.07	778	1,200	92	59.5	12.53	746	1,150	92
3 ~	57.7	15.00	865	1,400	93	57.0	14.45	823	1,350	93
4 ~	54.4	16.94	922	1,550	91	52.8	16.37	864	1,450	89
5 ~	50.8	18.94	963	1,600	84	48.4	18.34	887	1,500	82
6 ~	48.5	21.11	1,023	1,700	81	45.9	20.44	939	1,550	76
7 ~	45.5	23.55	1,071	1,800	76	42.9	22.83	979	1,650	72
8 ~	42.5	26.27	1,116	1,850	70	40.2	25.67	1,032	1,700	66
9 ~	39.6	29.25	1,158	1,950	67	37.5	29.12	1,092	1,800	62
10 ~	37.2	32.64	1,215	2,000	61	35.4	33.22	1,177	1,950	59
11 ~	35.2	36.75	1,293	2,150	59	33.2	37.73	1,253	2,100	56
12 ~	33.2	41.74	1,386	2,300	55	31.3	42.14	1,318	2,220	52
13 ~	31.2	47.30	1,474	2,450	52	29.6	45.85	1,357	2,250	49
14 ~	29.5	52.59	1,549	2,600	49	27.9	48.66	1,356	2,250	46
15 ~	28.0	56.79	1,592	2,650	47	26.2	50.55	1,325	2,200	44
16 ~	27.1	59.41	1,611	2,700	45	25.1	51.64	1,297	2,150	42
17 ~	26.4	60.97	1,608	2,700	44	24.4	52.11	1,271	2,100	40
18 ~	25.7	61.93	1,593	2,650	43	24.1	52.10	1,256	2,100	40
19 ~	25.1	62.52	1,567	2,600	42	23.8	51.83	1,236	2,050	40
20 ~	24.2	62.63	1,513	2,500	40	23.2	52.14	1,210	2,000	38
30 ~	23.1	63.46	1,469	2,450	39	22.0	52.93	1,167	1,950	37
40 ~	22.5	62.96	1,416	2,350	37	21.1	54.44	1,150	1,900	35
50 ~	22.4	59.66	1,334	2,200	37	20.9	52.92	1,105	1,850	35
60 ~	22.0	56.81	1,251	2,000	35	20.9	50.43	1,052	1,700	34
70 ~	21.6	53.53	1,156	1,800	34	20.8	47.99	998	1,550	32
80 ~	20.9	50.94	1,065	1,600	31	20.8	44.06	916	1,350	31

[厚生省保健医療健康増進栄養課編 (1985) : 日本人の栄養所要量, 第一出版]

で酸化しにくい。糖質や脂質がエネルギー源として体内に存在するときは、タンパク質はほとんど利用されない。筋運動には、糖質がまず酸化してエネルギー源になる。過激な運動時には血糖値が一時的に低下する。持続運動をすると血糖値は、安静値より増大してくるがしばらくすると徐々に低下し、脂質がエネルギー源として利用されるようになる。このころから疲労感や空腹感を覚え、筋力が低下し運動の効率が悪くなる。タンパク質は、糖質や脂質の消耗が著しいとき、初めてエネルギー源として利用される。

高糖質食は、高脂質食や高タンパク質食より筋作業の効率がよいといわれている。

非常に寒くしかも激しい作業を行う潜水では、高糖質（炭水化物）が含まれた「ご飯、パン、麺、砂糖、いも類」などを摂取する必要がある。

脂質は、食物の容積が少なくてすみ胃腸の負担をかるくする。脂質は、消化が遅くて胃内の停留時間が長いので持続的な筋を使う作業には向いている。脂質は、水に不溶性であるため体内では単一では存在しない。タンパク質やリン脂質などと複合体をつくり水に可溶

化されている。摂取された脂質は、体内で消化、吸収されリンパ管から血管へカイロミクロンとして輸送され代謝される。脂質の栄養学的特徴は、高エネルギー源、貯蔵エネルギー源となることである。心筋のエネルギー源の1/3は脂肪酸で占められており、脂質の摂取は心筋の代謝に大きな影響を与える。

レジャー・ダイビングのように比較的体力を必要としない、しかも短時間しか水に暴露されないような潜水では持続的なエネルギーを必要とする。この場合は、脂質が高単位のエネルギー源となる。

(4) 栄養素のエネルギー変換

人間は、生活活動に必要なエネルギーを通常食事によって取り入れ利用している。生体の内と外の間や生体内でのエネルギーの移動が起こる。これをエネルギー代謝という。エネルギー代謝は、生体内での物質の化学変化によって起こる。生活活動には、ATP(アデノシン三リン酸)と呼ばれる化合物のもっている化学エネルギーが使われる。ATPの分解によって得られるエネルギー量は、約ATP 1 mol 当たり7から10 kcalである。人間は、他の生物が作りだしたタンパク質・糖質(炭水化物)・脂質(脂肪)などを栄養素として取りこんで利用している。タンパク質は、消化管ですみやかに分解作用をもつ酵素によりアミノ酸になり、小腸壁の吸収細胞によって吸収される。炭水化物や脂肪も同じように酵素により分解を受けそれぞれ単糖やグリセリン・脂肪酸となって吸収される。生体に吸収された化学物質は、細胞内で有機物の分解によってエネルギーが生まれる。エネルギーの主な材料になるのがブドウ糖である。これが細胞内で複雑な過程を経て分解されその結果ATPが生成される。人間は、必要な酸素を空気呼吸によって取り入れ、呼吸の結果生じた二酸化炭素を外界に放出する。

ブドウ糖 1 mol (180g) が完全分解されると解放されるエネルギーは688kcalとなるが、酸素呼吸では、複雑な何段階もの反応によって少しずつエネルギーを解放し、なるべく熱にしないで、ATPの化学エネルギーに変換する。生成されるATPは、38molとなる。これを酸素呼吸系代謝という。酸素呼吸によって調達されるATPのエネルギー効率は、44%となる。

人間は、酸素のない状態でも解糖系の経路でブドウ糖(1 mol)をピルビン酸に分解しエネルギーを解放させてATP(2 mol)を作ることができる。これを無気

呼吸系代謝という。酸素呼吸の場合の19分の1の効率しか達成できない。人間は、栄養を食物から摂取して複雑な化学反応によって必要なエネルギーを調達している。

素潜りのように常に酸素を補給できない潜水では、エネルギーが連続的に作れないため数十秒間しか潜水できない。反面、人間と比較して無気呼吸系の発達や低酸素への耐性などによりクジラ、イルカ、オットセイ等の海洋性ほ乳類は、数分から一時間以上もの素潜り(環境圧潜水)ができる。人間も、1982年に深度105 mの素潜りに成功したマイヨールや1991年10月22日に深度118mの素潜りに成功したイタリアのウムベルト・ペリザリ等が新しい訓練や最近の潜水生理学の発達と研究成果によって毎年のように潜水時間と潜水深度の素潜り潜水記録を塗り変えている。

3 ダイバーの潜水障害の予防と栄養素

(1) 水の摂取

水のないところに生命は存在しない。水は、生命維持のために最も必要な栄養素である。水さえ飲んでいれば、他の栄養素をとらなくてもかなり長期間生きて行ける。水を断つとまもなく死をむかえる。水ほど多くの物質を溶かす液体はなく、血液中に溶解している物質は40数種類に達する。生体内での物質の反応は水溶液の状態で行われる。体内の生じた老廃物は、水を溶媒として体外に排出される。このように水は、物質代謝に必要不可欠なものである。

ヒトの胎児では、その98%が水であって、成長と共に減少し成人でも65%の水を含有している。成長の初期において水分が多いのは物質代謝が著しく、物質代謝の場となる水が大量に必要なためであると解釈されている。

通常、人間は一日当たり飲料と食物から3000ccの水を摂取している。水摂取は、唯一つ経口的にとるのであるが、代謝水(吸収された栄養素が体内で酸化されて生じる水)も300cc生産される。水の排泄経路は幾つかある。水を体外に排泄する経路の中で、消化管(排便)から一日100cc、不感蒸泄で800cc(呼吸蒸泄で300cc、皮膚蒸泄で500cc)、排尿で1400cc合計2300ccある。このような水代謝によって人間は健康体を保持することができる。

潜水中ダイバーの体内に溶解した窒素ガスは、減圧

中に体内で微小気泡になり、この微小気泡を体外に排出するため代謝が亢進する。そのため大量の水が必要となる。それを裏付けるものとして、フランスの深海ダイバーは減圧中深度 6 m から 0 m にかけて約 1 リットル以上のミネラル・ウォーターを摂取し減圧障害からの予防に役立っている。減圧中、水が摂取できない場合、痒みや極度の疲労感が発現するという。減圧障害に罹患したダイバーの治療には、大量の輸液剤を投与し回復させていることから水が必要なことを裏付けている。日本のプロ・ダイバーには、水よりも緑茶が飲料水として好まれ減圧障害の予防に利用されてきた。緑茶には、疲労や眠気を防ぐカフェインのほかストレスの予防に効果のあるビタミン C、ビタミン E、カロチノイド、さらにポリフェノール類が豊富にふくまれている。最近のレジャー・ダイバーは、ポカリスエットに代表されるスポーツ・ドリンクを減圧障害の予防に利用している。スポーツ・ドリンクは、仕事、運動、遊びなどによって失われた水分や電解質をスムーズに補給する飲料水である。飲み易く体液に近い組成の電解質溶液のため、天然水より早く体内に吸収される。

水の摂取は、渇き感によってなされる。ダイバーは、渇き感が生じたら水分の補給を行う必要がある。生体内の水の量と減圧障害との関係は深いつながりがあり、ダイバーは、渇き感の生じない食生活をとることが安全なダイビングをすることに通じることになる。

(2) タンパク質の摂取

タンパク質は、われわれの身体にとって最も重要な栄養素である。構成アミノ酸は 20 種類あり、高分子有機化合物である。タンパク質は、通常エネルギー源となることはないが、非常に激しい運動では燃焼して 1 g 当たり 4 kcal のエネルギーを供給することができる。タンパク質は、体内で絶えず代謝され、分解合成が繰り返されている。タンパク質は、他の物質で代替することができず同量のエネルギーを消費してアミノ酸から自己の身体に必要なタンパク質を合成している。通常、タンパク質は化学感覚として味の感覚はない。摂取されたタンパク質は、消化、吸収のまゝに体温を上昇させる。これをタンパク質の特異的作用として知られている。タンパク質が体内に入ると一種のシグナルとしてホルモン系に作動し、グルコース代謝の促進や消化酵素の分泌を誘導する。タンパク質の摂取

量が少ないと赤血球や血色素濃度、血清タンパク質濃度の低下し、栄養不良による貧血症をおこす。このことは、過激な身体運動によって産出する乳酸の中和能力を低下し、酸素負債能を減退させ、耐久力も低下させる。減圧障害や低体温症などの予防のために高タンパク質の「卵、魚、肉、豆腐、ハム、ちくわ類」を潜水前後に摂取するとよいといわれている。

(3) ビタミンの摂取

ビタミンは、炭素原子を持つ有機物で生体内の物質代謝にさいして、ある種の酵素の補酵素として触媒的な作用をつかさどり生理機能を調整する役をもっている微量栄養素である。しかも、生体内で合成されない物質であるから食物から摂取しなければならない。そのため、ある種のビタミンのわずかな不足によって物質代謝の停滞をきたし、生体の活動力が弱まったり、抵抗力がなくなったりして倦怠感を覚え、食欲不振、頭痛、不眠、便秘、注意散漫、あるいは疲れ易くなったり、怒りっぽくなったりする。ビタミン A、B₁、B₂、C、D、E、などは身体運動と比較的關係が強い。

ビタミン A は、肉体労働や低温環境下での熱喪失の激しいとき需要が高まる。ビタミン A の欠乏は、皮膚や末梢神経の障害をまねく。

ビタミン B₁ は、糖質の分解過程において触媒として働き、欠乏すると中間代謝産物として焦性ブドウ酸が産出する。そのため消費エネルギー量が増大すればするほど必要量も増大する。

ビタミン B₂ は、組織内で糖質の酸化を助けてエネルギーの産出に関与し、不足した場合疲労を早めて持久力を低下させる。

ビタミン C は、糖質、脂質、タンパク質の酸化過程に関与し、数種類のホルモンの合成を助け、酵素の活動を向上させる。筋活動の持久力を高め、疲労の回復を早める働きをもっている。生体は、ストレスを受けると脳下垂体、副腎皮質系ホルモンが動員されるがその時ビタミン C が必要となる。ダイバーは、水中でのストレスに曝されるためビタミン C を通常よりも多く摂取する必要があると示唆される。

ビタミン D は、体内のリン、カルシウムの代謝に関係しており、副甲状腺ホルモンと密接に関わり骨の形成、再生に関与している。

ビタミン E には、抗凝固、抗酸化作用がある。血小板の抗凝固剤として減圧障害の予防に使用されてい

る。

ダイバーは、ビタミン摂取の不足に陥らないように心がけて食事をする必要がある。

4 結 論

ダイバーは、通常の生活において無意識に糖質、脂質、タンパク質、ビタミン類、水分等を摂取している。ダイバーは、長い間の食習慣や、経験的に感じる空腹感や渇き感によって各栄養素を摂取しているのである。ダイバーは、栄養状態を把握するためには、身体的状態、食生活の実態、生活一般の状態、食歴などを分析する必要がある。これらの状態を把握したうえで、現在の栄養状態が診断、評価される。ダイバー自身が栄養状態を診断、評価する場合、先ず「からだの調子がおかしい」という主観的な自覚感があらわれる。続いて体重の増減によって客観的に判断がなされる。

ダイバーにとっての栄養素の必要量は、性、年齢、労働、生活習慣、体格、体組成など個人差があるが、ダイバー個々においては、各種栄養素の必要量を把握しておかなければならない。

ダイバーは、食事中の栄養素の過不足、アンバランスについては無自覚のうちに兆候が出現するが、今まで述べたことを参考にして健全な食生活を送っていた

だきたい。そして、健康で安全なダイビングを行っていただくことを最後に述べておく。

引用文献

- 栄養学ハンドブック編集委員会編, 1985: 栄養学ハンドブック, 技報堂, 1-1727
- 菊池 安行, 関 邦博 編, 1987: 現代生活の生理人類学, 垣内出版, 1-263
- 小宮 秀一, 1988: 栄養処方 (九州大学健康科学センター編: 健康科学), 学術図書出版社, 224-251
- Mazzei S, 1992: Pelizzari roi des abysses., Apnea, 58-60, Jan.-Fev.,
- 三浦 豊彦 ほか編, 1988: 現代労働衛生ハンドブック, (財)労働科学研究所出版部, 1-1823
- 関 邦博 訳, 1982: 潜水学, マリン企画, 1-323
- 関 邦博, 坂本 和義, 山崎 昌廣 編, 1988: 高圧生理学, 朝倉書店, 1-234
- 関 邦博, 坂本 和義, 山崎 昌廣 編, 1990: 人間の許容限界ハンドブック, 朝倉書店, 1-528
- Shilling W.C., M.F. Wert, N.R. Schandelmeier, 1976: The Underwater Handbook., Prenum Press, 1-912 (1992年1月30日受付)

関 邦博
Kunihiro SEKI

〒259 平塚市土屋 神奈川県大学理学部
Faculty of Science, Kanagawa University
Tsuchiya, Hiratsukashi, 259 Japan