

タンパク質・アミノ酸必要量の過去、現在、未来

名古屋学芸大学 教授 岸 恭一

何を、どれだけ食べればよいか、すなわち栄養素必要量の研究は、栄養学研究の基本的なテーマの一つである。必要量の算定には、食物成分と人体の相互作用に関する深く、幅広い知識が求められ、必要量の研究は単に数値を決めればよいというものではない。タンパク質必要量に関する研究は古く、19世紀末から行われてきたが、アミノ酸必要量については Rose WC らがラットを用いて 1930 年代に開始し、引き続き 1940 年代にはヒトの研究へと発展させた。

ここでは主に成人のタンパク質・アミノ酸必要量について、それらの概念、算定法、必要量の数値などの移り変わりの基本的な事項について述べ、また問題点、残された課題について話し、年齢、性別、状態別など個々の必要量については触れない。

1. タンパク質

タンパク質必要量の研究は最初健康な人の食事調査から始まり、成人のタンパク質摂取量は 118~125 g/kg/日と見積もられた。その後、窒素平衡を維持できる最低必要量が測定されるようになり、現在でも窒素出納法により求められた値がタンパク質必要量の基準となっている。窒素出納法には出納が正に傾きやすいという技術的な短所があるが、それに代わる特異的な、感度のよい方法が開発されていないので、現在でもその成績が必要量の算定に利用されている。

タンパク質必要量は、不可欠アミノ酸の必要量はもちろんのこと、条件的不可欠アミノ酸必要量および生理活性窒素化合物の合成に必要な窒素量(非特異的 N 必要量)を満たさなければならない。必要量は年齢、性、個人によって異なり、タンパク質源、エネルギー摂取量、ストレス、気候などによって影響される。

タンパク質必要量は正常な体組成と生理機能を維持できる量でなければならないが、その算定法は歴史的に幾多の変遷を経てきた(表 1)。

1957 年 FAO 報告： それまでに得られていた必須アミノ酸必要量の数値から、トリプトファンを 1 とした他の必須アミノ酸の比率を求め、牛乳タンパク質中のトリプトファン含量を基に各必須アミノ酸必要量を算定した。そのような必須アミノ酸組成をもつ架空のタンパク質を想定し、体内利用率が 100%の理想タンパク質と考えた。それを比較規準タンパク質(reference protein)と呼び、その必要量を 0.35 g/kg/日と見積もり、個人差を加味して 50%増しの 0.53 g/kg/日を安全量とした。食品タンパク質のタンパク質価は規準タンパク質のアミノ酸組成を基にして算定された。

表1 成人のタンパク質必要量の変遷

年	機関	必要量		個人差	安全量 (g/kg/d)	方法	タンパク質 源	備考
		窒素 (mg/kg/d)	タンパク質 (g/kg/d)					
1935	国際連盟				>1.0			
1957	FAO		0.35	+50%	0.53	窒素出納	規準 タンパク質	
1965	FAO/WHO	86 ($\times 1.1=95$)	0.59	+20%	0.71	要因加算法	規準 タンパク質	ストレスに +10%
1973	FAO/WHO	54 ($\times 1.3=70$)	0.44	+30%	0.57	FM+NB	良質 (卵・乳)	皮膚等 5mg/kg/d
1985	FAO/WHO/ UNU		0.6	+25%	0.75	窒素出納	良質 タンパク質	皮膚等 8mg/kg/d
2007	WHO/FAO/ UNU	105	0.66	+25%	0.83	窒素出納	単一 & 混合	19 研究 235 例 皮膚等 5mg/kg/d

1965年 FAO/WHO 報告： 要因加算法を導入した。内因性の窒素排泄量(mg/kg/日)を尿 46、糞 20、皮膚その他 20、計 86、ストレスに対して 10%加算し、タンパク質平均必要量 0.59 g/kg/日、個人差変動に 20%を加え、安全量は 0.71 g/kg/日と算定した。

1973年 FAO/WHO 報告： 要因加算法に用いる数値(mg/kg/日)を見直し、尿 37、糞 12、皮膚 3、その他 2、計 54 とした。この数値に、良質タンパク質を用いた窒素出納試験の成績から得られた利用率を加味して 1.3 倍し、タンパク質平均必要量 0.44 g/kg/日、個人差を補正して 1.3 倍の 0.57 g/kg/日を安全量とした。

1985年 FAO/WHO/UNU 報告： 良質タンパク質を用いた窒素出納の文献値を、皮膚などからの損失 N を 8 mg/kg/日と見なして再計算し、得られた平均値 0.6 g/kg/日を平均必要量、個人差変動を考慮して 25%増しの 0.75 g/kg/日を安全量と見積もった。

2007年 WHO/FAO/UNU 報告： 皮膚などからの窒素損失を 1973年報告と同様 5 mg/kg/日として、種々のタンパク質源を用いた 235 例の窒素出納成績を解析し、平均必要量 0.66 g/kg/日、個人差変動の 25%を補正し安全量を 0.83 g/kg/日とした。

以上のように、成人のタンパク質必要量は近年やや増加傾向にあるが、Pencharzらは ^{13}C 標識指標アミノ酸法でタンパク質必要量を測定し、平均 0.93 g/kg/日、安全量 1.2 g/kg/日と、現行の値よりもさらに高い値を得ている。窒素出納法には短所も多く、窒素出納法で算定されたタンパク質必要量が最適であるという証拠はない。定量性に欠けるが、筋機能、筋力、免疫能、創傷治癒、血圧、骨密度、神経機能、心血管機能など、生理機能を指標にしたタンパク質必要量の検討も必要であろう。さらに、

増加傾向にある生活習慣病の予防の観点からタンパク質必要量を見直すことが求められている。

2. アミノ酸

アミノ酸必要量は Rose らの先駆的研究以来、主に窒素出納法により求められ、1985年 FAO/WHO/UNU 報告まで、Rose らの成績を基に算定されてきた。その他、幼若動物では体重を指標にして測定された。また成人では、血漿アミノ酸濃度を指標にする方法も試みられたことがある。

窒素出納法で測定された成人の必須アミノ酸必要量は幼児の 1/3～1/2 に過ぎなかった。1980年代から Young VR らは ^{13}C -標識アミノ酸を用いたトレーサー法により、窒素出納法にとってかわる新しい必要量の数値を提案した。2007年 WHO/FAO/UNU 報告ならびに 2005 年米国科学アカデミー報告ではトレーサー法の成績が採用された(表 2)。トレーサー法には、直接アミノ酸酸化法、指標アミノ酸酸化法、アミノ酸炭素バランス法などがあるが、いずれもアミノ酸酸化量を呼気への $^{13}\text{CO}_2$ 排泄量から測定している。

	FAO/WHO (1973) NB 法	FAO/WHO/UNU (1985) NB 法	WHO/FAO/UNU (2007) 主に AA 酸化	US DRI (2005) 主に AA 酸化
His	0	8-12	10	11
Ile	10	10	20	15
Leu	14	14	39	34
Lys	12	12	30	31
SAA	13	13	15	15
AAA	14	14	25	27
Thr	7	7	15	16
Trp	3.5	3.5	4	4
Val	10	10	26	19

アミノ酸必要量は基礎食に用いるアミノ酸混合の組成、総窒素摂取量などにより影響され、絶対値(mg/kg/日)と同様に各アミノ酸の相互比率(アミノ酸パターン)が重要である。アミノ酸必要量に残された課題は多く、条件的必須アミノ酸必要量、可欠アミノ酸必要量、個々のアミノ酸代謝特性にもとづいた必要量などは明らかにされていない。

表3 アミノ酸評点パターンの算定法

年	機関	名称	算定の基礎	基準アミノ酸パターン
1957	FAO	蛋白価	A/T 比	NB 法による AA req の比率と牛乳中の Trp 量から
1965	FAO/WHO	化学価 (卵価・人乳価)	A/E 比	基準タンパク質として鶏卵
1973	FAO/WHO	アミノ酸スコア	A/T 比	各アミノ酸必要量/タンパク質必要量 評点パターン
1985	FAO/WHO/UNU	アミノ酸スコア	A/T 比	各アミノ酸必要量/タンパク質必要量(年齢別)
1999	FAO	PDCAAS		就学前児童の各アミノ酸必要量/タンパク質必要量
2007	FAO/WHO/UNU	アミノ酸スコア	A/T 比	各アミノ酸必要量/タンパク質必要量(年齢別)

3. 食品タンパク質の質の化学的評価法

質の評価は直接ヒトに与えて測定するのが望ましいが、労力、費用、時間などを要する。そこで、食品タンパク質の必須アミノ酸組成と基準アミノ酸パターンから算定する化学価が広く用いられている(表3)。基準アミノ酸パターンとして、良質タンパク質の鶏卵(卵価)や人乳(人乳価)のアミノ酸組成による算定法があり、近年はアミノ酸必要量から算定したアミノ酸スコアが使われている。

1991年FAOは、タンパク質消化率を加味したタンパク質消化率補正アミノ酸スコア(protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS)を推奨している。アミノ酸評点パターンは、アミノ酸平均必要量(mg/kg/日)をタンパク質平均必要量(g/kg/日)で除して算出されるので、たとえアミノ酸必要量の数値が一定でも、タンパク質必要量の変化につれて変化する。アミノ酸評点パターンとして、1957年FAOは暫定的規準パターン、1965年FAO/WHOは鶏卵のA/E比を採用、1973年FAO/WHOは乳児以外の全年齢に適用する暫定的アミノ酸評点パターンを提示した。1985年と2007年には幼児、学童、成人の各年齢毎の評点パターンを求めた。これまでの評点パターンの変遷を表4にまとめた。

4. タンパク質・アミノ酸の許容上限摂取量

欧米諸国や我が国ではタンパク質摂取量の平均値は十分に必要量を超えており、スポーツ選手等ではタンパク質必要量の2~3倍摂取している人も少なくない。タンパク質の許容上限摂取量は明らかにされていないが、1989年米国RDAはタンパク質安全摂取量の2倍程度というおおまかな目標を示唆した。アミノ酸の許容上限摂取量についての系統的な研究はない。過剰量を実験的に測定するのは倫理的に問題があるの

で、その代わりとして Pencharz らは、¹³C-標識アミノ酸を投与し呼気 ¹³CO₂ への排出量から各必須アミノ酸の最大酸化速度を測定している。

表 4 アミノ酸評点パターン

(mg/g タンパク質)

	FAO 1957	FAO/WHO 1965 (卵パターン)	FAO/WHO 1973	FAO/WHO/ UNU 1985 (就学前児童)	WHO/FAO/ UNU 2007 (1-2 歳児)	US DRI 1-3 歳	US DRI 成人	(牛乳)	(鶏卵)
His				19		18	17	28	24
Ile	42	66	40	28	31	25	23	60	63
Leu	48	88	70	66	63	55	52	98	88
Lys	42	64	55	58	52	51	47	79	70
SAA	56	100	35	25	26	25	23	34	56
AAA	42	55	60	63	46	47	41	96	98
Thr	28	51	40	34	27	27	24	45	49
Trp	14	16	10	11	7.4	7	6	14	16
Val	42	73	50	35	42	32	29	67	72