

原著論文

パラスポーツにおける座位競技選手と立位競技選手の腸内細菌特性
Characteristics of gut microbiome between sitting and standing classes in para-sport

赤澤暢彦^{1),2)}, 中村真理子¹⁾, 谷村祐子¹⁾, 小島千尋^{1),3)},
元永恵子¹⁾, 袴田智子¹⁾, 清水和弘¹⁾
Nobuhiko Akazawa^{1),2)}, Mariko Nakamura¹⁾, Yuko Tanimura¹⁾, Chihiro Kojima^{1),3)},
Keiko Motonaga¹⁾, Noriko Hakamada¹⁾, Kazuhiro Shimizu¹⁾

Abstract : Deterioration of physical condition causes not only decreased physical fitness but also immunodeficiency, digestive dysfunction, and gastrointestinal complaints (abdominal pain, diarrhea, constipation, etc.). Patients with abnormalities in lower leg have been in trouble about defecation and gut dysbiosis, which related to some symptom such as fatigability, mood disturbance, and metabolic disorder. However, it is not understood the gastrointestinal condition and gut microbiome in the sitting category para-athlete. The aim of the present study was to investigate the stool status and microbiome in the sitting category para-athlete. Eighteen para-athletes were participated in the study and were divided to the performing with wheelchair sitting category group and without wheelchair standing category group. The participants were evaluated their stool status and gut microbiome. Principal component analysis and dendrogram analysis revealed the sitting group have a specific cluster of gut microbiomes. Especially, the abundance of *Bacteroides* genes was significantly higher and *Prevotella* genus was significantly lower in the sitting group than that of the standing group. The diversity of gut microbiome was correlated with immune function and diarrhea pattern. These findings suggested that sitting category para-athlete have a specific gut microbiome composition and diversity related to stool pattern. Therefore, gastrointestinal status may be important factor for maintaining physical condition in sitting category with wheelchair para-athletes.

Key words : Paralympic, wheelchair, gastrointestinal condition, gut flora, defecation

キーワード : パラリンピック, 車いす競技, 胃腸コンディション, 腸内フローラ, 排便

¹⁾国立スポーツ科学センター, ²⁾鹿屋体育大学, ³⁾立命館大学

¹⁾Japan Institutes of Sports Sciences, ²⁾National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, ³⁾Ritsumeikan University

E-mail : akazawa@nifs-k.ac.jp

I. 諸言

アスリートは身体パフォーマンスを向上させるために強度の高いトレーニングが必要となる。ただし、高強度トレーニングによる身体への負担はアスリートのコンディションを悪化させる可能性がある²¹⁾。高強度トレーニングによるコンディションの悪化は、内分泌応答や自律神経活動を介した心血管系・消化器系を含む全身の機能低下によって引き起こされ、フィットネス低下だけでなく、免疫機能低下や胃腸障害などの症状が認められる。胃腸障害については、先行研究によると、30-50%のアスリートがトレーニング期間中に腹痛や下痢などの症状を訴えていることが報告されている¹⁰⁾。ヒトの腸内には1000種類以上もの細菌が生息しており、宿主が摂取した栄養素をエネルギー源とし、宿主が消化できなかった食物繊維を分解し、宿主に有益な短鎖脂肪酸の産生やビタミンの合成など生体の恒常性に関与している¹¹⁾。腸内細菌は複雑な生態系を形成して、集合体としての腸内細菌叢の構成プロファイルや多様性が宿主の健康状態を反映しており、腸内細菌叢の偏倚(dysbiosis)により代謝異常や免疫低下につながる一方、加齢や運動不足により腸内細菌叢もそれに応じて変化する^{5),27)}。すなわち、高強度トレーニングによるコンディション低下と腸内環境の悪化は関連し、アスリートのコンディション向上には腸内環境の維持が重要になることが示唆されている¹⁾。

パラアスリートにおいても健常アスリートと同様にトレーニングやコンディショニングに励んでいるが、腸内環境に関する研究報告は皆無に等しい。パラリンピックに出場したパラアスリートを対象にした疾病に関する調査研究では、内科的疾患として胃腸障害の割合が高く、とりわけ車いす競技選手では35%もの選手が胃腸障害を有していることが示されている^{16),30)}。競技用車いすを使用して座位姿勢で競技を行う日本人選手では下肢の切断・欠損や脊髄損傷の者が多いが²²⁾、彼らは自律神経機能障害を罹患するリスクが高いとされている¹⁵⁾。これらのことから、脊髄損傷者

では胃腸障害に起因する便秘や便失禁が発生しやすいとされており³¹⁾、このことが座位競技選手における練習や大会へのピーキングを困難にする可能性がある。また、脊髄損傷者では排便困難のために下剤、座薬、摘便、浣腸といった手法を用いて排便コントロールを行う者もいるが、採用している手法が個人の障害状況や腸内環境に適しているかどうかの判断が難しい問題がある^{2),7)}。これらのことから、座位競技選手の排便に関する問題を把握して、解決していくことが求められている。近年、脊髄損傷者には免疫不全、易疲労性、精神障害、代謝異常などの症状も認められ、これらは腸内細菌叢の偏倚が関連することが示唆された¹⁷⁾。またAkazawaら¹⁾は、健常アスリートを対象としているが、便の硬さなど排便状態と腸内細菌叢の構成プロファイルはフィットネスと関連することを報告している。しかし、腸内細菌叢の偏倚が座位競技選手においても特異的なものか、さらに排便と関連するかどうかは全く不明である。そこで本研究では、トレーニングなどの身体活動が同様の立位姿勢で競技を行う選手を対象に、座位姿勢で競技する選手の排便状態を調査するとともに、腸内細菌叢の特性を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

本研究では、2021年10月から2022年3月までに国立スポーツ科学センターに来所したエリートパラアスリート18名(35±8歳)を対象とした。対象者は、パラアルペンスキー(n=11)、パラノルディックスキー(n=5)、車いすテニス(n=2)を専門競技にするパラリンピック強化指定選手であった。日常の練習時間を考えると、歩行時間は健常者よりも短いと考えられるため、本研究では競技クラスで群を分け、パラスキーのLW10～LW12のクラスと車いすテニスの男子オープンの選手を座位姿勢で競技を行うクラス(座位群)(n=11、男性8名：女性3名)(36±8歳、63±11kg)とし、対照としてパラスキーのLW1～LW9

と B1 ~ B3 のクラスを立位姿勢で競技を行うクラス（立位群）（ $n=7$ 、男性 6 名：女性 1 名）（ 34 ± 10 歳、 69 ± 8 kg）とした。また、研究に先立ち、研究の目的、内容、手順を説明し、書面にて本人から参加の同意を得た。なお、本研究は国立スポーツ科学センター倫理審査委員会の承認を得て（049-01）、ヘルシンキ宣言を遵守して実施された。

2. 測定項目

1) 排便状態

直近 1 ヶ月間の排便状態について質問紙により記録した。排便方法（自然排便（自力）、自然排便（腹圧）、肛門刺激、下剤、座薬、摘便、浣腸、洗腸）、服薬状況（経口薬、座薬、なし）、使用可能トイレ（和式可、和式不可（洋式なら可）、補助ありのみ可）、排便頻度（週 2 回～週 7 回以上の 6 段階）、下痢、便秘、腹痛それぞれの胃腸に関する不定愁訴（ほぼ毎回、よくある、たまにある、ほぼない）、を回答してもらうことにより、それぞれの排便状態を評価した。

2) 腸内細菌叢

対象者が自己採取した糞便サンプルを株式会社テクノスルガラボ（静岡市、静岡）に委託し、腸内細菌叢を解析した。サンプルより糞便に含まれる DNA を抽出した後、細菌の 16S rRNA における V3-V4 領域を PCR 法にて増幅し、次世代シーケンス解析にて塩基配列が決定された³³⁾。得られたシーケンスリードを Greengenes database ver13.8 より、Quantitative Insight Into Microbial Ecology 2 (QIIME2) を使用して、腸内細菌の属レベルの占有率、 α 多様性 (Evenness)、 β 多様性、クラスター成分を解析した³⁾。

3) 食事調査およびトレーニング調査

食物摂取頻度調査票（エクセル栄養君 食物摂取頻度調査 新 FFQg Ver6、建帛社、東京）を用いて、普段（直近 1 ヶ月間）における 1 週間あたりの食事調査を行い、エネルギー、たんぱく質、脂質、炭水化物、および食物繊維総量の 1 日の総摂取量を推定した³²⁾。また、直近 1 ヶ月間におけるトレーニング量（時間および頻度）およびピ

リオダイゼーションについて質問紙にて評価した。

4) 唾液指標

唾液中の分泌型免疫グロブリン A (Secretary Immunoglobulin A: SIgA) およびコルチゾールを測定した。唾液採取の前に、水 30 ml で口腔内を 30 秒間十分にゆすいだ。これを 3 回繰り返し、5 分間の座位安静後、口腔内の唾液を採取した。唾液採取は、唾液採取の滅菌綿を、1 秒間に 1 回のペースで 1 分間咀嚼させ、唾液を含んだ綿を専用チューブに吐き出させ、3000 rpm で 15 分間遠心分離した。採取した唾液は測定まで -80°C で保存した。唾液中 SIgA 濃度およびコルチゾール濃度は、EIA (Enzyme Immunoassay) 法により測定した (Salimetric 社製、PA、USA)。なお、本研究では、1 分間あたりの唾液採取量を唾液分泌速度 (ml/min) とし、SIgA 分泌速度 ($\mu\text{g}/\text{min}$) を唾液分泌量と唾液中 SIgA 濃度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$) との積から求めた。

3. 統計処理

本研究で解析された腸内細菌について、163 の属に分類された細菌が検出され、占有率が高かった上位 25 の属の細菌を分析対象とした。 β 多様性の群集解析には QIIME2 を用いて UniFrac 距離に基づく順列多変量分散分析 (Permutational Analysis of Variance: PERMANOVA) を行い、主座標分析 (Principal Coordinate Analysis: PCoA) により可視化した。また、その他の統計解析には統計ソフト SPSS を用いて、それぞれの項目について座位群と立位群の違いを比較するために連続変数を Mann-Whitney U 検定、名義尺度を χ^2 検定により解析した。さらに、 α 多様性 (Evenness) について、競技クラス、排便状態、各栄養摂取量、唾液指標を共変量とした強制投入法による重回帰分析を行った。なお、有意水準を 5% 未満とした。

Ⅲ. 結果

各選手の身体特性を Table 1 に示す。障がいの種類および病因の割合には群間差がなく、日常生

Table 1. The characteristics of the subjects.

	Sitting	Standing	<i>P</i> value
n (men:women)	11 (8:3)	7 (6:1)	0.518
Years of sport, yrs	12 ± 11	15 ± 11	0.286
Years of disabilities, yrs	26 ± 11	25 ± 8	0.368
Nature of disabilities, n (%)			0.109
Cervical spinal cord injury	0 (0)	1 (14)	
Thoracic spinal cord injury	2 (18)	1 (14)	
Lumber spinal cord injury	1 (9)	0 (0)	
Spina bifida	3 (27)	0 (0)	
Lower bilateral amputation/defect	4 (36)	0 (0)	
Lower unilateral amputation/defect	1 (9)	1 (14)	
Upper unilateral amputation/defect	0 (0)	2 (29)	
Cerebral palsy	0 (0)	1 (14)	
Visually impaired	0 (0)	1 (14)	
Locomotion in daily life, n (%)			< 0.001
Walking by myself	0 (0)	6 (86)	
Walking with prosthesis	3 (27)	1 (14)	
Wheelchair	8 (73)	0 (0)	
Pathogenesis, n (%)			0.684
Injury	5 (45)	3 (43)	
Disease	1 (9)	0 (0)	
Congenita	5 (45)	4 (57)	

Data are expressed as means ± SD or number (percentage).

活における移動に関して自立歩行、義足歩行、車いす利用の割合に有意な差が認められた (Table 1)。エネルギーおよび栄養素摂取量、トレーニング量、トレーニング頻度、ピリオダイゼーション、唾液中 SIgA 分泌速度、および唾液中コルチゾール濃度の有意な群間の差は認められなかった (Table 2)。また、排便状態に関して統計学的に有意な群間差は認められなかったものの、座位群で

は自然排便できない選手が約半分を占めていた (Table 3)。

各群における選手の個人レベルの腸内細菌叢の属レベルの占有率を Figure 1A に示した。群内では類似したクラスターを形成しており (Figure 1B)、立位群に比べて座位群の α 多様性は有意に低い値を示した (Figure 1C、 $P < 0.05$)。腸内細菌叢の主座標分析では、座位群と立位群において有

Table2. The macronutrients, training volume, and saliva parameters in the sitting and the standing groups.

	Sitting		Standing		P value
Total intake per body weight					
Energy, kcal/kg	35.1 ± 10.9	[58.1-17.9]	29.5 ± 10.6	[47.9-13.2]	0.151
Protein, g/kg	1.4 ± 0.5	[0.6-2.5]	1.3 ± 0.6	[0.6-2.1]	0.296
Fat, g/kg	1.2 ± 0.4	[0.8-2.3]	1.1 ± 0.5	[0.5-2.1]	0.238
Carbohydrate, g/kg	4.4 ± 1.7	[1.9-8.6]	3.6 ± 1.4	[1.4-5.2]	0.165
Total fiber, g/kg	0.2 ± 0.1	[0.1-0.3]	0.3 ± 0.2	[0.1-0.5]	0.326
Training periodization, n (%) ^a					
Transition period	3 (27)		1 (14)		0.136
Preparatory period	4 (36)		6 (86)		
Competitive period	3 (27)		0 (0)		
Specific sport training					
Duration, min	199 ± 127	[0-480]	200 ± 35	[0-240]	0.494
Frequency, day/wks	5 ± 2	[0-7]	5 ± 2	[0-6]	0.472
Aerobic training					
Duration, min	63 ± 26	[30-120]	91 ± 72	[30-240]	0.138
Frequency, day/wks	3 ± 2	[1-6]	4 ± 2	[1-6]	0.211
Resistance training					
Frequency, day/wks	3 ± 1	[2-5]	4 ± 1	[1-4]	0.184
Saliva parameters					
SIgA, µg/min	171 ± 105	[99-412]	161 ± 75	[86-291]	0.421
Cortisol, µg/dL	12 ± 8	[7-31]	14 ± 8	[7-31]	0.382

Data are expressed as means ± SD [min-max]. SIgA; secretory immunoglobulin A. ^a one subject missed an answer the training periodization form (n = 17).

意に異なるクラスターが観察された (Figure 2、 $P < 0.05$)。座位群の *Bacteroides* 属および *Blautia* 属の占有率は立位群に比べて有意に高く、*Prevotella* 属および *Ruminococcus* 属の占有率は有意に低い値を示した (Figure 3、 $P < 0.05$)。さらに、 α 多様性には、唾液中 SIgA 濃度、座位・立位のクラス、下痢の頻度が有意に関連することが認められた (Table 4、 $P < 0.05$)。

IV. 考察

本研究では、座位姿勢で競技する選手と立位姿勢で競技する選手における排便状態および腸内細菌について検討した。座位群と立位群の腸内細菌叢プロファイルが大きく異なること、座位群は立位群に比べて α 多様性が低いこと、さらに *Bacteroides* 属、*Blautia* 属、および *Parabacteroides* 属の占有率が高く、*Prevotella* 属の占有率が低いことが明らかになった。また、パラスポーツの選手における腸内細菌叢の α 多様性には、SIgA や

Table3. The defecation status and stool condition in the sitting and standing group.

	Sitting		Standing		P value
Main technique for defecation, n (%)					0.493
1.Normal	6	(55)	7	(100)	
2.Abdominal pressure	1	(9)	0	(0)	
3.Disimpaction	1	(9)	0	(0)	
4.Enema	1	(9)	0	(0)	
5.Intestinal lavage	1	(9)	0	(0)	
6.Laxative	1	(9)	0	(0)	
Medication, n (%)					0.44
1.None	7	(64)	6	(86)	
2.Oral	2	(18)	1	(14)	
3.Suppository	2	(18)	0	(0)	
Toilet style, n (%)					0.168
1.Japanese	3	(27)	5	(45)	
2.Western	7	(64)	2	(18)	
3.Accessible	1	(9)	0	(0)	
Defecation frequency, times/week	6 ± 2		6 ± 2		0.428
Gastrointestinal complaints					
Diarrhea, n (%)					0.566
1.Always (>5 times/week)	1	(9)	1	(14)	
2.Often (2-4 times/week)	3	(27)	1	(14)	
3.Sometimes (1-4 times/mo)	7	(64)	4	(57)	
4.Seldom (<1 times/mo)	0	(0)	1	(14)	
Constipation, n (%)					0.76
1.Always (>5 times/week)	2	(18)	1	(14)	
2.Often (2-4 times/week)	1	(9)	2	(29)	
3.Sometimes (1-4 times/mo)	2	(18)	1	(14)	
4.Seldom (<1 times/mo)	6	(55)	3	(43)	
Abdominal pain, n (%)					0.812
1.Always (>5 times/week)	0	(0)	0	(0)	
2.Often (2-4 times/week)	3	(27)	1	(14)	
3.Sometimes (1-4 times/mo)	4	(36)	3	(43)	
4.Seldom (<1 times/mo)	4	(36)	3	(43)	

Data are expressed as means ± SD or number (percentage).

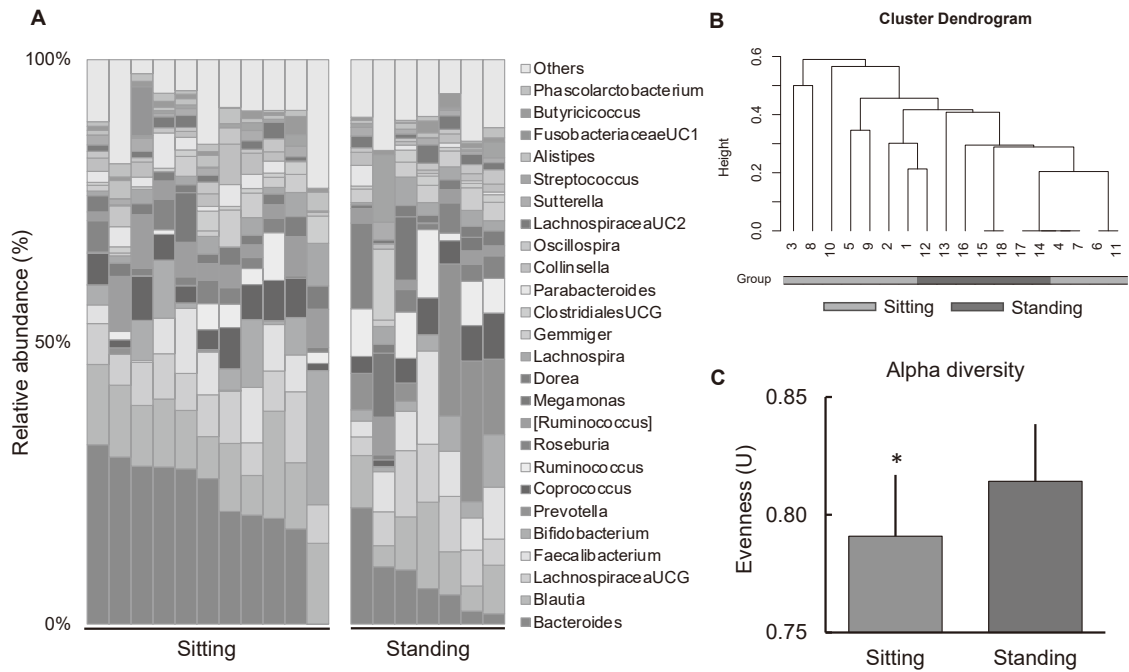


Figure 1. The compositional and diversity of gut microbiome. (A) Individual relative abundance of gut microbiome at genus level, (B) cluster dendrogram, and (C) alpha diversity (evenness) between the sitting and standing groups. * $P < 0.05$ vs Standing group.

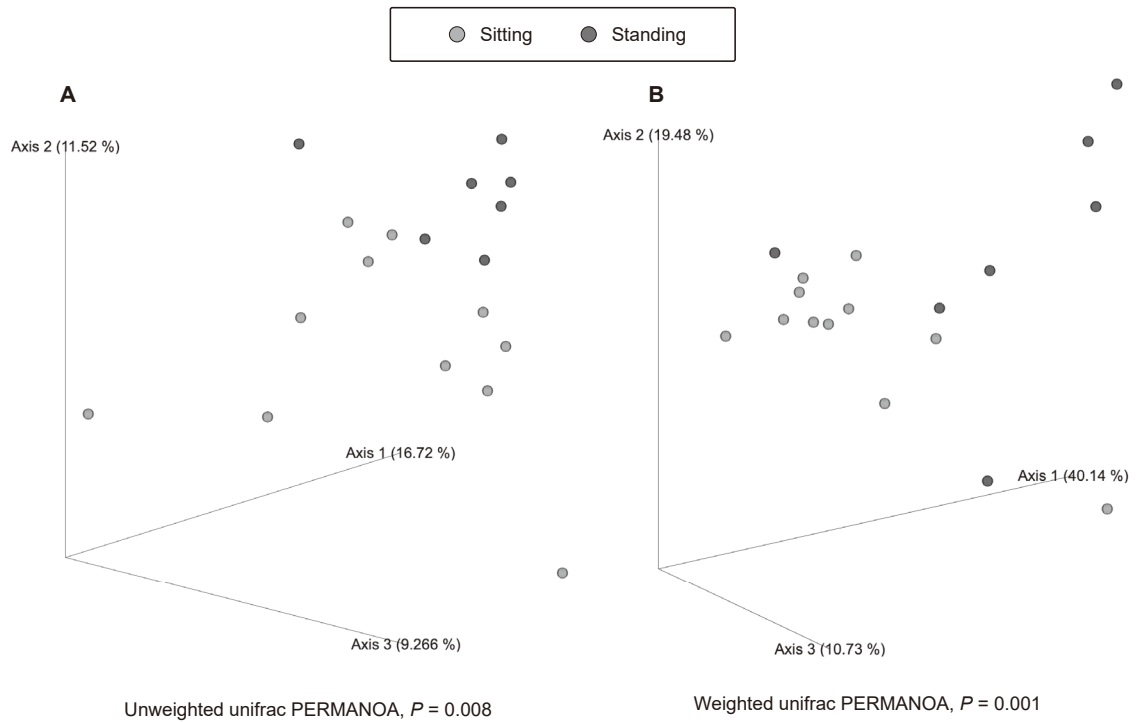


Figure 2. PCoA (principal coordinate analysis) based on unweighted (A) and weighted (B) UniFrac distance from the gut microbiome.

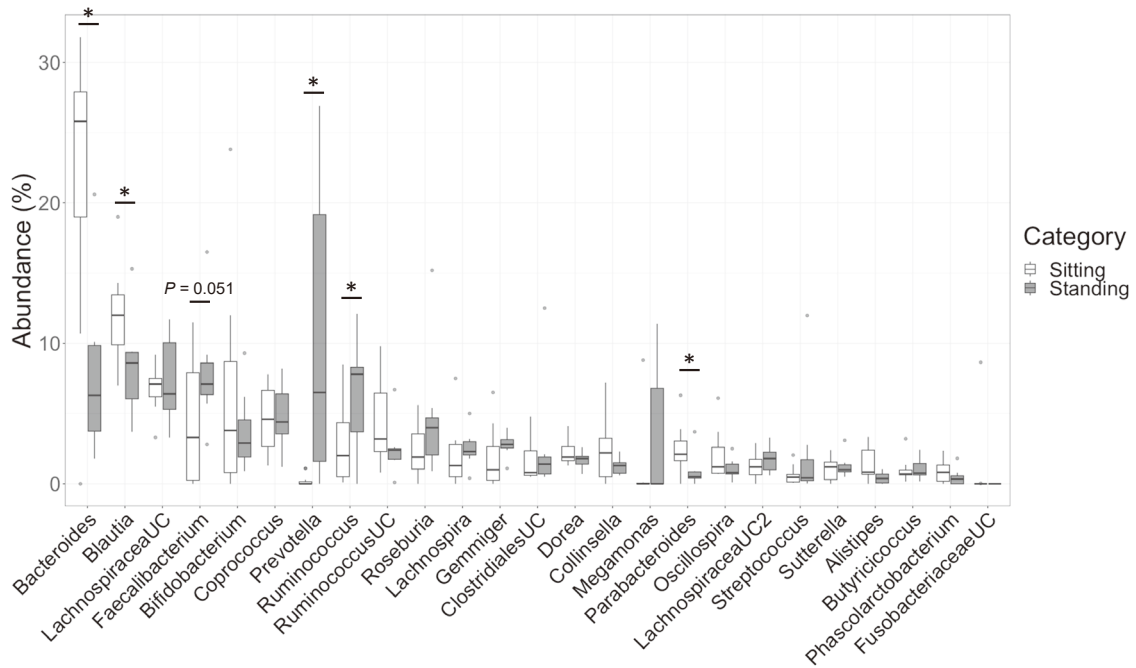


Figure 3. Boxplot with the median and interquartile range of the gut microbiome relative abundance at the genus level in the sitting and standing groups. * indicates a significant difference ($P < 0.05$) between the sitting and standing groups.

Table 4. Multiple regression on alpha diversity

		β	P	95% CI	
				Lower	Upper
Model 1	$R^2 = 0.357$ ($P = 0.015$)				
	SIgA	0.597	0.015	0.00004	0.00034
Model 2	$R^2 = 0.562$ ($P = 0.005$)				
	SIgA	0.622	0.005	0.00007	0.00033
	Class	0.454	0.028	0.00323	0.04798
Model 3	$R^2 = 0.691$ ($P = 0.002$)				
	SIgA	0.664	0.001	0.00010	0.00033
	Class	0.493	0.010	0.00795	0.04764
	Diarrhea	-0.363	0.045	-0.02568	-0.00034

SIgA; secretory immunoglobulin A

下痢の頻度が関係することも認められた。これらのことから、座位競技選手の腸内細菌叢はコンディションや排便状態と関連することが示唆された。

本研究では、座位競技選手における *Bacteroides* 属および *Blautia* 属の占有率は立位選手に比べて有意に高く、*Prevotella* 属および *Ruminococcus* 属の占有率は有意に低かった。これまでに、車いすを使用して座位姿勢で日常を生活している脊髄損傷者の腸内細菌叢に関する報告がいくつかある³⁴⁾。Gungor ら¹³⁾ は、受傷後1年のトルコ人脊髄損傷者における *Dialister* 属、*Megamonas* 属、および *Roseburia* 属の占有率はトルコ人の健常者に比べて有意に低いことを報告している。一方で、Zhang ら³⁶⁾ は、受傷後6年の中国人脊髄損傷者の α 多様性および β 多様性は中国人健常者と有意に異なり、脊髄損傷者における *Bacteroides* 属および *Blautia* 属の占有率は有意に高く、*Prevotella* 属、*Feecalibacterium* 属、および *Megamonas* 属の占有率は有意に低いことを報告している。この研究結果は、本研究の結果と同様であった。これまでに、腸内細菌叢の適応には、一般的に人種、遺伝、居住地域、年齢などが影響することが明らかにされている。本研究は、人種や居住地域が近い中国人の研究と近い結果になったものと考えられる。腸内細菌は、運動習慣や脊髄損傷を受傷してからの期間によっても適応が異なってくる²⁰⁾。本研究では、日常より高いレベルでのトレーニングを行っていることに加えて、受傷より20年以上経っていることなどが、先行研究と必ずしも一致しない要因になると考えられた。

健常のラグビー選手を対象にした研究では、一般健常者と比べて *Bacteroides* 属の占有率が低かったことが報告されている⁶⁾。*Bacteroides* 属は有機酸、胆汁酸、たんぱく質を代謝し宿主のエネルギーホメオスタシスの調節機能を有している¹⁸⁾。ただし、たんぱく質が過剰摂取されると、腸での *Bacteroides* によるアミノ酸の発酵が促進されて、アンモニア、硫化水素、インドールなどの毒性をもつ副産物が蓄積される⁹⁾。Akazawa ら¹⁾ は、障

がいのない健常アスリートにおいてトレーニングピリオダイゼーションによる *Bacteroides* 属の増加は全身持久力の低下と関係することを示している。本研究では、トレーニング量やピリオダイゼーションには群間の差は認められなかったことから、座位競技選手における過剰な *Bacteroides* の上昇は、トレーニング以外の要因が関与しているものと考えられた。

Prevotella 属の細菌は食物繊維を多く摂取している人の腸内で増殖が促進されることが確認され、アジア人の *Prevotella* 占有率は高いことも報告されている²³⁾。健常の自転車競技長距離選手を対象とした研究によると、トレーニング量の多い選手は *Prevotella* 属の占有率が高いことが示されている²⁶⁾。*Prevotella* は短鎖脂肪酸のコハク酸を生成し、エネルギーのホメオスタシス、特に糖代謝に関連している。また、*Prevotella* には、*Bacteroides* による耐糖能異常を保護するはたらきを有している²⁴⁾。本研究において座位競技選手の腸内は *Prevotella* 属が少なく、*Bacteroides* 属が多かった。なお、食物摂取頻度調査では、両群における炭水化物や食物繊維などの摂取量の差は認められなかった。座位競技選手では、立位競技選手と比べて同程度の食物繊維を摂取していたのにも関わらず *Prevotella* 属を全く保有していない選手も存在していた。先行研究においても、大腸機能が低下している脊髄損傷者の *Prevotella* 属は顕著に低いことが報告されている³⁶⁾。本研究の座位競技選手には、脊髄損傷だけでなく両足切断・欠損の座位競技選手も含まれており、日常生活やトレーニングも含めて座位姿勢で活動・運動することが腸内細菌叢の構成プロファイルに影響しているのかもしれない。

腸内環境の恒常性には、腸内細菌のムチン層や上皮細胞との結合、栄養利用能などが重要となり、代謝に変化が生じると恒常性が乱れ、宿主の健康に悪影響を及ぼすような状態となる¹⁴⁾。この腸内細菌の偏倚では、いわゆる善玉菌の減少および悪玉菌の増加や、菌叢の多様性低下がみられる。Claesson ら⁴⁾ は、*Bacteroides* 属占有率が高い腸内

細菌叢のエンテロタイプの者は菌叢の多様性が低く、*Prevotella* 占有率が高い腸内細菌叢のエンテロタイプの者は菌叢の多様性が高いことを報告しており、本研究とも一致する結果である。これまでも、腸内細菌叢の多様性低下は肥満、慢性炎症、糖尿病の病因となることが示されており、宿主の健康状態の指標になると考えられている²⁸⁾。さらに、菌叢の多様性の低下は、腸粘膜の浸透性増加や過剰な粘膜免疫応答につながり、過敏性腸症候群などの胃腸障害の要因にもなる。本研究では、腸内細菌叢の多様性は、競技クラス、SIgA、下痢症状の頻度と関連するものであった。これらのことから、腸内コンディションは、特に座位競技選手において、免疫機能や排便状態が重要になることが示唆された。

腸内細菌叢の構成プロファイルや多様性は、食事（栄養摂取状態）にも左右されるものである⁸⁾。日本障がい者スポーツ協会がまとめた報告書「障がいのあるスポーツ選手を対象としたエネルギーおよび栄養素摂取、生活習慣および食生活に関する報告」²⁵⁾によると、パラアスリートは健常者に比べてエネルギー摂取量が低いこと、座位で競技を行う選手の方が立位で競技を行う選手に比べてエネルギー摂取量が低いことがまとめられている。本研究では、体重あたりのたんぱく質、脂質、炭水化物、食物繊維総量においても、座位群と立位群の間に有意な差は認められなかった（それぞれ、 $P=0.358$ 、 $P=0.296$ 、 $P=0.238$ 、 $P=0.163$ 、および $P=0.326$ ）。さらに、重回帰分析にエネルギー摂取量および栄養素摂取量いずれも共変量として投入したところ、腸内細菌叢の多様性と有意に関連したものはSIgA、競技クラス、下痢の頻度であった。これらのことから、本研究において、腸内細菌叢の群間差には食事が影響している可能性は低いと考えられた。

一方で、腸内環境を維持するものとしてプロバイオティクス、プレバイオティクス、シンバイオテックスなどのサプリメントが注目されている。これらのサプリメントは障がいのない健常アスリートにおいて、試合や高強度トレーニング後に

低下する免疫機能や消化機能を保護することが期待されている¹²⁾。一方で、アスリートではない一般健常者においては、これらのサプリメントが腸内細菌叢に及ぼす影響に関するエビデンスは不十分で認められていないのが現状である¹⁹⁾。その理由の一つに、腸内細菌叢の個人差が大きいことが示唆されている。近年、肥満者を対象にした研究において、エンテロタイプの違いによりプロバイオティクス (*Lactobacillus plantarum*、*Bifidobacterium breve*、フラクトオリゴ糖、ステアリン酸マグネシウムの混合サプリメント) 摂取の有効性が異なることが指摘されている²⁹⁾。ただし、この先行研究では、12週間のプロバイオティクス摂取により *Prevotella* 属の占有率が高いエンテロタイプの者が *Bacteroides* 属の占有率が高いエンテロタイプの者より内臓脂肪の減少の程度が大きいことが明らかになったが、腸内細菌叢の構成プロファイルや多様性の変化までは認められていない。一方、脊髄損傷者ではプロバイオティクスの摂取が抗生物質治療後の腸内細菌叢の変化を抑制することが期待されている²⁾。本研究でも、座位競技選手の腸内細菌叢の構成プロファイルは立位競技選手と分かれてクラスタリングされており群内での個人差は比較的小さくなっていることを考慮すると、プロバイオティクス、プレバイオティクス、シンバイオティクスにより腸内細菌叢が改善する可能性が考えられるが、パラアスリートにおけるサプリメントの効果については今後の研究が必要である。

本研究にはいくつかの限界がある。本研究では、サンプルサイズが比較的少なく、障がいの病因（先天性か後天性か）やピリオダイゼーションを統制することができなかった。これまでに外傷性の脊髄損傷者は健常者と比べて、腸内細菌叢の構成プロファイルが異なり、*Bacteroides* 属や *Prevotella* 属などに影響することが示されている³⁵⁾。また、受傷後の経過年数も腸内細菌叢の構成プロファイルに影響し、 α 多様性および β 多様性に有意差があることが報告されている²⁰⁾。しかし、先天性の脊髄損傷者のみを対象に腸内細菌を検討してい

る報告はなく、先天性と後天性の障がいの違いが腸内環境や身体の適応にどのように影響するかは興味深い課題である。また、ピリオダイゼーションは腸内細菌叢に影響し、オフシーズンの移行期とトレーニングシーズンの準備期では *Prevotella* 属の占有率やエンテロタイプの分布が異なることが示されている¹⁾。本研究では、病因やピリオダイゼーションについては、群間差はなく、重回帰分析においても除外された因子であるが、対象者数を増やしてこれらを検討することは今後の検討課題になると考えられる。さらに、なぜ腸内細菌叢の構成プロファイルが多様性に群間差が認められたのか、その機序までは明らかにすることはできなかった。今後は、対象者を増やし、座位競技選手で *Prevotella* 属の細菌が生息できにくい機序とともに、フィットネスおよびコンディションとの関連性を検討して行くことが必要である。

V. 結論

本研究において対象とした座位競技選手は立位競技選手に比べて、腸内細菌叢の構成プロファイルが異なり、多様性が低いこと、*Bacteroides* 属の占有率が高く、*Prevotella* 属の占有率が低いことが明らかになった。また、これらの選手における菌叢の多様性には、SlgA や下痢状態などが関連することが明らかになった。これらのことから、座位姿勢で競技するパラアスリートは、立位姿勢で競技するパラアスリートとは異なる腸内細菌叢を持ち、腸内環境の維持には免疫機能や下痢状態が重要になることが示唆された。

謝辞

本研究の遂行にあたり、研究に参加ご協力いただきました選手の皆様ならびにスタッフの皆様へ深く感謝申し上げます。また、本研究は国立スポーツ科学センター、スポーツ医・科学研究事業によって実施されました。厚く御礼申し上げます。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反関連事項

はない

文献

- 1) Akazawa N, Nakamura M, Eda N, Murakami H, Nakagata T, Nanri H, Park J, Hosomi K, Mizuguchi K, Kunisawa J, Miyachi M, Hoshikawa M. Gut microbiota alternation with training periodization and physical fitness in Japanese elite athletes. *Front Sports Act Living*, 5: 1219345, 2023.
- 2) Bernardi M, Fedullo AL, Bernardi E, Munzi D, Peluso I, Myers J, Lista FR, Sciarra T. Diet in neurogenic bowel management: A viewpoint on spinal cord injury. *World J Gastroenterol*, 26(20): 2479-2497, 2020.
- 3) Bolyen E, Rideout JR, Dillon MR, Bokulich NA, Abnet CC, Al-Ghalith GA, Alexander H, Alm EJ, Arumugam M, Asnicar F, Bai Y, Bisanz JE, Bittinger K, Brejnrod A, Brislawn CJ, Brown CT, Callahan BJ, Caraballo-Rodríguez AM, Chase J, Cope EK, Da Silva R, Diener C, Dorrestein PC, Douglas GM, Durall DM, Duvallet C, Edwardson CF, Ernst M, Estaki M, Fouquier J, Gauglitz JM, Gibbons SM, Gibson DL, Gonzalez A, Gorlick K, Guo J, Hillmann B, Holmes S, Holste H, Huttenhower C, Huttley GA, Janssen S, Jarmusch AK, Jiang L, Kaehler BD, Kang KB, Keefe CR, Keim P, Kelley ST, Knights D, Koester I, Kosciolk T, Kreps J, Langille MGI, Lee J, Ley R, Liu YX, Loftfield E, Lozupone C, Maher M, Marotz C, Martin BD, McDonald D, McIver LJ, Melnik AV, Metcalf JL, Morgan SC, Morton JT, Naimey AT, Navas-Molina JA, Nothias LF, Orchanian SB, Pearson T, Peoples SL, Petras D, Preuss ML, Pruesse E, Rasmussen LB, Rivers A, Robeson MS, Rosenthal P, Segata N, Shaffer M, Shiffer A, Sinha R, Song SJ, Spear JR, Swafford AD, Thompson LR, Torres PJ, Trinh P, Tripathi A, Turnbaugh PJ, Ul-Hasan S, van der Hooft JJJ, Vargas F, Vázquez-Baeza Y, Vogtmann E, von

- Hippel M, Walters W, Wan Y, Wang M, Warren J, Weber KC, Williamson CHD, Willis AD, Xu ZZ, Zaneveld JR, Zhang Y, Zhu Q, Knight R, Caporaso JG. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nat Biotechnol*, 37(8): 852–857, 2019.
- 4) Claesson MJ, Jeffery IB, Conde S, Power SE, O' Connor EM, Cusack S, Harris HM, Coakley M, Lakshminarayanan B, O' Sullivan O, Fitzgerald GF, Deane J, O' Connor M, Harnedy N, O' Connor K, O' Mahony D, van Sinderen D, Wallace M, Brennan L, Stanton C, Marchesi JR, Fitzgerald AP, Shanahan F, Hill C, Ross RP, O' Toole PW. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. *Nature*, 488(7410): 178–184, 2012.
- 5) Clark A, Mach N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. *J Int Soc Sports Nutr*, 13: 43, 2016.
- 6) Clarke SF, Murphy EF, O' Sullivan O, Lucey AJ, Humphreys M, Hogan A, Hayes P, O' Reilly M, Jeffery IB, Wood-Martin R, Kerins DM, Quigley E, Ross RP, O' Toole PW, Molloy MG, Falvey E, Shanahan F, Cotter PD. Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*, 63(12): 1913–1920, 2014.
- 7) Coggrave M, Norton C, Cody JD. Management of faecal incontinence and constipation in adults with central neurological diseases. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014(1): CD002115, 2014
- 8) De Filippo C, Cavalieri D, Di Paola M, Ramazzotti M, Poullet JB, Massart S, Collini S, Pieraccini G, Lionetti P. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(33): 14691–14696, 2010.
- 9) den Besten G, van Eunen K, Groen AK, Venema K, Reijngoud DJ, Bakker BM. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *J Lipid Res*, 54(9): 2325–2340, 2013.
- 10) Diduch BK. Gastrointestinal conditions in the female athlete. *Clin Sports Med*, 36(4): 655–669, 2017.
- 11) Flint HJ, Duncan SH, Scott KP, Louis P. Links between diet, gut microbiota composition and gut metabolism. *Proc Nutr Soc*, 74(1): 13–22, 2015.
- 12) Gleeson M, Bishop NC, Oliveira M, Tauler P. Daily probiotic' s (Lactobacillus casei Shirota) reduction of infection incidence in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 21(1): 55–64, 2011.
- 13) Gungor B, Adiguzel E, Gursel I, Yilmaz B, Gursel M. Intestinal microbiota in patients with spinal cord injury. *PLoS One*, 11(1): e0145878, 2016.
- 14) Holzapfel WH, Haberer P, Snel J, Schillinger U, Huis in' t Veld JH. Overview of gut flora and probiotics. *Int J Food Microbiol*, 41(2): 85–101, 1998.
- 15) Janse Van Rensburg DC, Schweltnus M, Derman W, Webborn N. Illness among Paralympic athletes: Epidemiology, risk markers, and preventative strategies. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 29(2): 185–203, 2018.
- 16) Kasitnon D, Royston A, Wernet L, Garner D, Richard J, Argo LR. Health-related incidents among intercollegiate wheelchair basketball players. *PM R*, 13(7): 746–755, 2021.
- 17) Kigerl KA, Zane K, Adams K, Sullivan MB, Popovich PG. The spinal cord-gut-immune axis as a master regulator of health and neurological function after spinal cord injury. *Exp Neurol*, 323: 113085, 2020.
- 18) Kovatcheva-Datchary P, Nilsson A, Akrami R, Lee YS, De Vadder F, Arora T, Hallen A, Martens E, Björck I, Bäckhed F. Dietary fiber-induced improvement in glucose metabolism is associated with increased abundance of Prevotella. *Cell Metab*, 22(6): 971–982, 2015.
- 19) Kristensen NB, Bryrup T, Allin KH, Nielsen T,

- Hansen TH, Pedersen O. Alterations in fecal microbiota composition by probiotic supplementation in healthy adults: a systematic review of randomized controlled trials. *Genome Med*, 8(1): 52, 2016.
- 20) Li J, Van Der Pol W, Eraslan M, McLain A, Cetin H, Cetin B, Morrow C, Carson T, Yazar-Fisher C. Comparison of the gut microbiome composition among individuals with acute or long-standing spinal cord injury vs. able-bodied controls. *J Spinal Cord Med*, 45(1): 91-99, 2022.
- 21) MacKinnon LT. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: over-training effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol*, 78(5): 502-509, 2000.
- 22) 元永恵子, 袴田智子. パラアスリートの身体組成とエネルギー必要量: 特に肢体不自由のあるアスリートの場合. *体育の科学*, 71(8): 571-577, 2021.
- 23) Nakayama J, Watanabe K, Jiang J, Matsuda K, Chao SH, Haryono P, La-Ongkham O, Sarwoko MA, Sujaya IN, Zhao L, Chen KT, Chen YP, Chiu HH, Hidaka T, Huang NX, Kiyohara C, Kurakawa T, Sakamoto N, Sonomoto K, Tashiro K, Tsuji H, Chen MJ, Leelavatcharamas V, Liao CC, Nitisingprasert S, Rahayu ES, Ren FZ, Tsai YC, Lee YK. Diversity in gut bacterial community of school-age children in Asia. *Sci Rep*, 5: 8397, 2015.
- 24) Nicholson JK, Holmes E, Kinross J, Burcelin R, Gibson G, Jia W, Pettersson S. Host-gut microbiota metabolic interactions. *Science*, 336(6086): 1262-1267, 2012.
- 25) 日本障がい者スポーツ協会. 障がいのあるスポーツ選手を対象としたエネルギーおよび栄養素摂取、生活習慣および食生活に関する報告. [https://www.parasports.or.jp/about/reference_room_data/basic-survey\[nutrition\]report.pdf](https://www.parasports.or.jp/about/reference_room_data/basic-survey[nutrition]report.pdf) (2024年5月24日)
- 26) Petersen LM, Bautista EJ, Nguyen H, Hanson BM, Chen L, Lek SH, Sodergren E, Weinstock GM. Community characteristics of the gut microbiomes of competitive cyclists. *Microbiome*, 5(1): 98, 2017.
- 27) Qin J, Li Y, Cai Z, Li S, Zhu J, Zhang F, Liang S, Zhang W, Guan Y, Shen D, Peng Y, Zhang D, Jie Z, Wu W, Qin Y, Xue W, Li J, Han L, Lu D, Wu P, Dai Y, Sun X, Li Z, Tang A, Zhong S, Li X, Chen W, Xu R, Wang M, Feng Q, Gong M, Yu J, Zhang Y, Zhang M, Hansen T, Sanchez G, Raes J, Falony G, Okuda S, Almeida M, LeChatelier E, Renault P, Pons N, Batto JM, Zhang Z, Chen H, Yang R, Zheng W, Yang H, Wang J, Ehrlich SD, Nielsen R, Pedersen O, Kristiansen K. A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes. *Nature*, 490(7418): 55-60, 2012.
- 28) Shanahan F. Probiotics in perspective. *Gastroenterology*, 139(6): 1808-1812, 2010.
- 29) Song EJ, Han K, Lim TJ, Lim S, Chung MJ, Nam MH, Kim H, Nam YD. Effect of probiotics on obesity-related markers per enterotype: a double-blind, placebo-controlled, randomized clinical trial. *EPMA J*, 11(1): 31-51, 2020.
- 30) Steffen K, Clarsen B, Gjelsvik H, Haugvad L, Koivisto-Mørk A, Bahr R, Berge HM. Illness and injury among Norwegian Para athletes over five consecutive Paralympic Summer and Winter Games cycles: prevailing high illness burden on the road from 2012 to 2020. *Br J Sports Med*, 56(4): 204-212, 2022.
- 31) Stiens SA, Bergman SB, Goetz LL. Neurogenic bowel dysfunction after spinal cord injury: clinical evaluation and rehabilitative management. *Arch Phys Med Rehabil*, 78(3 Suppl): S86-102, 1997.
- 32) 高橋啓子, 吉村幸雄, 開元多恵, 國井大輔, 小松龍志, 山本茂. 栄養素および食品群別摂取量推定のための食神群をベースとした食物摂取頻度調査票の作成および妥当性. *栄養学*

- 雑誌, 59(5): 221–232, 2001.
- 33) Takahashi S, Tomita J, Nishioka K, Hisada T, Nishijima M. Development of a prokaryotic universal primer for simultaneous analysis of Bacteria and Archaea using next-generation sequencing. *PLoS One*, 9(8): e105592, 2014.
- 34) Valido E, Bertolo A, Fränkl GP, Itodo OA, Pinheiro T, Pannek J, Kopp-Heim D, Glisic M, Stoyanov J. Systematic review of the changes in the microbiome following spinal cord injury: animal and human evidence. *Spinal Cord*, 60(4): 288–300, 2022.
- 35) Zhang C, Jing Y, Zhang W, Zhang J, Yang M, Du L, Jia Y, Chen L, Gong H, Li J, Gao F, Liu H, Qin C, Liu C, Wang Y, Shi W, Zhou H, Liu Z, Yang D. Dysbiosis of gut microbiota is associated with serum lipid profiles in male patients with chronic traumatic cervical spinal cord injury. *Am J Transl Res*, 11(8): 4817–4834, 2019.
- 36) Zhang C, Zhang W, Zhang J, Jing Y, Yang M, Du L, Gao F, Gong H, Chen L, Li J, Liu H, Qin C, Jia Y, Qiao J, Wei B, Yu Y, Zhou H, Liu Z, Yang D, Li. Gut microbiota dysbiosis in male patients with chronic traumatic complete spinal cord injury. *J Transl Med*, 16(1): 353, 2018.