

Keywords 【車いすバスケットボール：wheelchair basketball、競技の要求：competition demands、パフォーマンス：performance、障害：disability、パラリンピック競技：paralympic sport】

エリートレベルの車いすバスケットボールにおける身体特性と競技の要求

Physical Characteristics and Competition Demands of Elite Wheelchair Basketball

Leanne Snyder,^{1,2} MS, CSCS Paul S.R. Goods,^{1,2,3} PhD Peter Peeling,^{1,4} PhD Martyn Binnie,¹ PhD
Jeremiah J. Peiffer,^{2,3} PhD Aaron Balloch,^{1,5} PhD Brendan R. Scott,^{2,3} PhD

¹ Western Australian Institute of Sport, Perth, Western Australia, Australia

² Murdoch Applied Sports Science Laboratory, Murdoch University, Perth, Western Australia, Australia

³ Centre for Healthy Aging, Health Futures Institute, Murdoch University, Perth, Western Australia, Australia

⁴ School of Human Sciences, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia

⁵ School of Medical and Health Sciences, Edith Cowan University, Perth, Western Australia, Australia

要約

車いすバスケットボール(WCB)は、障害のあるアスリートに最も人気の高いスポーツのひとつである。多様な障害のある選手が競技に参加するため、非常に包摂的(様々な要素を一定の範囲に包み込むこと)なスポーツである一方、パフォーマンスサポートの様々な側面に固有の課題がある。本レビューは、エリートレベルのWCB選手における身体特性と競技の要求に関する先行研究を概観し、パフォーマンスを向上させるための身体的準備におけるベストプラクティスを専門職に提供することを目的とする。多くの身体特性および能力がパフォーマンス向上に寄与することが報告されており、パフォーマンスのベンチマーク設定に役立つ。WCB選手におけるこれらの能力の評価には、個人における障害の影響や、選手と車いすの相互作用を踏まえた特別な考慮が必要である。また、WCB選手のプロファイリングには、非障害者のバスケットボールとは異なる競技の要求があることを理解する必要がある。本レビューでは、試合中における動作の追跡に関して、様々なトラッキングデバイスをを用いて試合中の動作を追跡した先行研究を取り上げており、近年の研究から、慣性センサが、精度が高く実用的な選択肢であることが明らかになっている。競技の要求に対する選手の内的反応は、障害、特に脊髄損傷に伴う障害によって異なるため、内的負荷のモニタリングには、個別のモニタリング方法を実施するなど、特別な考慮を要する。

はじめに

車いすバスケットボール(WCB)は、1960年の第1回パラリンピックに採用されて以降、身体障害のあるアスリートにおいて、最も人気が高く、包摂的な障害者チームスポーツのひとつとなっている。WCBは、車いすの操作とボールハンドリングを伴う間欠的な高強度運動を特徴とする。主要なルールのは大半は、非障害者のバスケットボールと同じであるが、選手の障害と、コート上を車いすで移動する点を考慮して、いくつかの調整が施されている。試合は同じ28.7×15.2mのコートで行なわれ、両端に高さ3mのバスケットゴールがある。1チーム5名の選手が同時にコート上でプレーし、試合は10分間のピリオド4回からなる。WCBの国際試合への出場資格は、筋力低下、他動関節可動域障害、四肢欠損、脚長差、神経機能障害のいずれかがあることである(40)。これらの障害がある選手は、国際クラシファイア(競技のクラス分けを担う有資格者)が評価する最小障害基準を満たさなければならない(40)。国際車いすバスケットボール連盟(IWBF)は、様々な障害がある選手の間で公正かつ公平な競技を提供するために、国際試合に出場するすべての選手に対してクラス分けのプロセスを導入している(40)。

パラリンピック競技への関心が高まっているにもかかわらず、WCBのパフォーマンスを裏づけるエビデンスはいまだ蓄積の途上にある。WCB選手の身体特性に関する先行研究のほとんどは、男性(3)、または男女を合わせた集団(7)を対象としたものに限られる。加えて、ほとんどのWCB研究は、多

様な障害をひとつの集団にまとめており(5)、様々な障害に伴う個々の能力の違いを区別していない。WCBにおける競技の要求を調査した研究はわずかであるが(5,13,70,89)、それでもこの分野の知識を増やすことで、競技に的を絞った準備が飛躍的に向上するであろう。本レビューは、エリートレベルのWCB選手における身体特性と競技の要求に関する先行研究を概観し、パフォーマンスを向上させるための身体的準備におけるベストプラクティスを専門職に提供することを目的とする。

身体特性

WCBにおけるパフォーマンスは、選手の身体特性と車いすをひとつの機能単位とする“車いすユーザーインターフェース”(61)と呼ばれるものに左右される。これには、各選手の身体的ニーズに合わせた特注の車いすが含まれる。国際試合への出場資格には様々な身体障害が含まれ、コーチやサポートスタッフが身体パフォーマンスのベンチマークについて検討する際に、固有の課題がある(61)。この集団においては、個人の障害が、トレーニング可能な身体能力(61)と、その選手が競技で担う役割を大きく左右する。そこで以下に、障害の特性、形態学的特性、身体および生理学的能力など、WCB選手の身体パフォーマンスに寄与する要因について論じる。

クラス分けと障害

IWBFが確立したクラス分けのプロセスでは、トレーニングと試合中に様々な競技特異的動作を実施する選手の能力を、国際クラシファイアのグループによる観察に基づいて評価する(39,40)。これらの動作は、選手における体幹の可動性と安定性、車いすを押ししたりターンさせたりする能力、ならびに、ドリブル、シュート、パスなどのバスケットボールのスキルを実施する能力を示す。クラシファイアは、これらの動作を実施する能力に基づいて、1.0点(最小)から4.5点(最大)のクラス分け持ち点を選手に付与する。選手が連続する2つのクラスの特徴を示す場合には、0.5点(1.5点、2.5点、3.5点、4.5点)が追加される。この持ち点から、WCBでは『ローポインター』(1.0~2.0)、『ミドルポインター』(2.5~3.5)、『ハイポインター』(4.0~4.5)という用語を用いて、選手を機能的能力に基づいたグループに分類している(20)。競技のバランスをとるため、各チームのコート上にいる選手のクラス分け持ち点の合計は、常に14点以内でなくてはならない。同じようなクラス分けの選手でも、試合中にこなせる具体的なタスクにはかなりのばらつきがある。したがって、コーチや専門職は、試合における役割やトレーニング介入が、その選手固有の能力に適したものとなるように、個人の障害特性を考慮

しなければならない。

WCBにおいて最も一般的な障害は、脊髄損傷(SCI)に伴う障害であり、それらは運動機能、感覚機能、および自律神経機能に影響を及ぼす(77)。SCIは、先天性奇形(二分脊椎など)、疾患(ポリオや腫瘍など)、あるいは傷害(自動車事故、高所からの落下、ダイビングなど)によって起こる(77)。SCIが起こると、脳と脊髄の接続が失われ、損傷部より下の機能喪失を引き起こす(1,77)。SCIの結果として生じる障害は人によって異なるため、WCB選手のトレーニング処方を個別化することはきわめて重要である(77)。

国際的なWCB競技会への出場資格は、四肢切断、先天性の関節異常(股関節形成不全、脊柱側弯症、内反足など)、股関節または膝関節置換、脚長差など、様々な筋骨格系の状態にある選手に与えられる(39,40)。これらの状態にある選手は、一般的に心臓血管系は障害のない選手と変わらないが(58)、可動性に様々な制限を有しており、障害の特性や重症度に基づいて個別にWCBへの出場資格が検討される。

形態学的特性

非障害者のバスケットボールにおいては、選手の体格が個人とチームのパフォーマンスに重要な役割を果たし(18)、競技レベルや成績に関連している(34)。一方で、WCB選手の形態学的特性に関するデータは少ない(7,8,86)。WCBの形態学的研究においては、座位での身長と上肢長が主な分析項目に含まれるが、それは、これらの測定値が選手と車いすを合わせたサイズを最もよく表しているからである(61)。WCB選手における形態学的特性の分析は、勝率を高めるための選手選抜やタレント発掘におけるコーチの重要な関心事となる。

利き腕の肩峰から中指の上端までを測定した上肢長(86)が長いことは、非障害者バスケットボールの試合における1分当たりの得点やリバウンド数と、正の相関関係にある(23)。上肢長の長さは、WCBのパフォーマンスにも有利である可能性が高いにもかかわらず、これを裏づける研究は少ない。1件の研究は、上肢長が1試合当たりの平均アシスト数の分散における16%を占めていたと報告している(86)。したがって、上肢長の長さは、WCBのパフォーマンスに有効にはたらくと考えられる。

身長は、長年にわたり、非障害者バスケットボールにおいてパフォーマンスの潜在能力を示す重要な指標のひとつであり(11)、リバウンド、シュート、パス、相手に対するディフェンスなどのタスクを有利にすると考えられている。WCBの場合、選手の身長は、背の高さと車いすに座る姿勢の両方によって決まり、頭頂から床面までの垂直距離である座位身長で表される(8)。WCB選手は、試合でジャンプすることができないため、座位身長と上肢長は、特にパフォーマンスに

関連していると考えられる。これらの測定値は、選手がコート上で対戦相手の頭越しにリバウンドやパス、シュートを行なうために手を伸ばすことのできる最大範囲を表しているからである。障害が重度であるほど体幹を安定させる能力が低下するため、選手の障害も座位身長を左右する。このような選手は、特注のバスケットボール用車いすに深く座ることで安定性を獲得する場合があり、それによって座位身長が低くなる(84)。したがって、座位身長の低いローポインターは、コート上でガードの役割を担い、ペリメーター周辺でのボールハンドリングやピックプレーに関与することが多い傾向にある。これに対し、座位身長の高いハイポインターは、対戦相手の頭越しにリバウンドやシュートを行なうのに適しているため、バスケットゴールの下でセンターの役割を担う傾向にある。

非障害者バスケットボールにおける身長とは異なり、座位身長は性差よりも個人の障害や車いすでの座位に影響されるため、男女のWCB選手間に有意な差はみられない(8)。座位身長と試合における総得点($r=0.34$)およびフィールドゴール数($r=0.38$)の間には、中程度の正の相関が観察されることから(7)、座位身長の高さは競技パフォーマンスに有効にはたらく可能性がある。また、高い競技レベル(1部リーグのチーム)でプレーする選手は、低い競技レベル(3部リーグのチーム)でプレーする選手に比べて座位身長が5.82cm高い(30)。さらに、選手の座位身長と上肢長を合わせた測定値として、座位リーチ高という別の形態学的変数が用いられている。腕を頭上に伸ばした状態で、車いすの底部から中指の上端までを測定するものである(7)。座位リーチ高は、試合での総得点およびフィールドゴール数と強い正の相関を示し($r=0.60\sim0.63$)、また、スポットシュートの成功率、パスの精度と距離、3ポイントラインからの一定時間内におけるレイアップシュート、5mおよび20mプッシュ(車いすを漕ぐ動作)テストとシャトルテストのタイムからなるフィールドテストの結果と、中程度から強い相関を示したことから($r=0.41\sim0.69$)、パフォーマンスに最も関連する指標であることが明らかになった(7)。座位リーチ高は、タレント発掘において重要な形態学的特性であると考えられる。座位身長と上肢長の身体的優位性を組み合わせた指標であり、WCBのフィールドテストおよび競技パフォーマンスと関連している。

身体能力

筋力およびパワー

筋力は、筋が発揮する最大の力と定義され(42)、競技パフォーマンスを向上させ、傷害発生率を低減する上で非常に重要である(71)。WCB選手における上肢の筋力は、一般的にベンチプレスを用いて測定される(46,76)。WCBのパフォー

マンスは、上肢を使って力を発揮する能力に依存し(76)、この能力は、コーチが1~10の尺度で評価する競技パフォーマンス($r=0.55$)(86)、反復的方向転換(COD)のTテスト($r=0.69$)(35)、ならびに20mプッシュテスト($r=0.51\sim0.77$)のタイム(36,46)と関連している。

パワーは、力(筋力)と速度(スピード)の積と定義され(2)、同じく競技パフォーマンスを成功させるための重要な要因と認識されている(47)。WCBのパフォーマンスの特徴は、静止状態からの加速に大きく依存することであり(79)、そのためには、上肢を使って素早く力を生み出す必要がある。上肢のパワーは、WCBにおいては一般的にベンチスロー(4,49)または最大パステスト(パスの最大距離)(7,24)を用いて測定される。機能によるクラス分けの持ち点すべてと最大パステストにおける距離の間には、強い正の相関が認められた($r=0.67$)(24)。さらに、WCB選手におけるベンチプレス($r=0.65\sim0.77$)、ショルダープレス($r=0.57\sim0.68$)、およびベンチプル($r=0.62\sim0.72$)エクササイズにおける平均推進パワー(測定された加速度が重力加速度を上回る短縮性局面より算出)と、20mプッシュテストのスピードおよび加速度との間には、中程度から強い正の相関が報告されている(46)。

SCIのある車いすアスリートが、高強度のレジスタンストレーニングによって得られる上肢の筋力およびパワーの向上は、障害のない被験者と同等である(76)。したがって、上肢の筋力とパワーはトレーニング可能な能力であり、WCBにおけるパフォーマンス指標のいくつかを改善できることから、エリートレベルのWCB選手におけるプロファイリングにおいて考慮すべき要素である(7,41,46,75,86)。

スピード、加速度、方向転換

スピード、加速度、およびCODは、WCBにおける重要パフォーマンス評価指標であることが明らかになっている(55)。競技パフォーマンスを発揮する選手の能力を評価するためには、これらの指標を測定することが不可欠である(57)。さらに、スピード、加速度、およびCODのパフォーマンスに寄与するものとして、選手の身体パフォーマンスと車いすの構成(材質、座面の位置、車輪のサイズ、タイヤの空気圧など)に関する要因を考慮することが重要である。

WCBにおけるスピードは、車いすでの移動が、走る場合のように能動的な推進を常に必要としない点で、非障害者のバスケットボールとは異なる。WCB選手は、事前のプッシュで得た勢いを利用して、プッシュ後に車いすで他動的に滑走することができ、試合時間の約24%がボールを持った状態での滑走に費やされる(5)。WCB競技における最大速度は、約4m/秒と報告されている(12,62)。WCBのスピードを向上させる要因には、上半身の筋力とパワー(41,46)、車いすに浅く

座る姿勢(股関節から膝の角度が45~90°など)(84)、高圧タイヤ(54)、車いすのプッシュテクニック(79,82)など、様々なものがある。また、スポーツや車いすの経験も考慮しなければならない。車いすのプッシュ経験が豊富な選手ほど、プッシュ速度を高める効率的なプッシュテクニックを身につけているからである(32,44,63,79)。WCBにおけるスピードの評価には、一般的に20mプッシュテストのタイムが用いられており(29,84,90)、そのデータから、クラス分け持ち点の高い選手(≥ 3.0)は、低い選手(≤ 2.5)に比べて、約19.3%速いことが示されている($p=0.008$)(59)。エリートレベルの男子WCB選手は、20mプッシュテストのタイムが 5.65 ± 0.46 秒であるのに対し(24)、サブエリートレベルの女子WCB選手における中央値は7.70秒と報告されている(8)。なお、エリートレベルの女子選手におけるデータを報告した先行研究はない。

選手は1試合に約 242 ± 80 回の加速/減速を求められるため、加速、減速、およびCODの能力は、WCBに不可欠なパフォーマンススキルであると考えられる(70)。また車いすの構成は、キャンバー角(正面から見た車輪の角度)を大きくすることで車幅が広がり、回転速度の増加(21)と側方安定性の増大(74)に繋がるため、CODパフォーマンスに寄与すると報告されている。それにもかかわらず、WCBにおけるこれらの重要なスキルに関する研究は不足しており、妥当性と信頼性を伴うCODの評価方法は、WCB研究に一貫して用いられていない。先行研究では、車いすイリノイアジリティテスト(60)やTテスト(10,90)などのフィールドテストを用いてCODパフォーマンスを測定しており、TテストはWCB選手において信頼性を有することが明らかになっている(級内相関係数[ICC]=0.74)(90)。非障害者スポーツから採用されたテストは、回転運動と滑走に大きく依存するWCBには、そのまま適用できない可能性がある。したがって、WCB向けに妥当性と信頼性を伴うCODテストを確立する必要がある。

WCBにおける加速度に関する研究も限られている。Vanlandewijckら(84)は、車いすに深く座る選手は、静止状態からの加速能力が低いと報告しており、これはクラス分け持ち点の低い選手ほど加速能力が低い可能性を示唆している。5m、10m、20m地点にタイミングゲートを設置した20mプッシュテストでは、機能によるクラス分け持ち点の高い選手(3.0~4.5)が、持ち点の低い選手(1.0~2.5)に比べて、テストの5m地点で14%速いパフォーマンスを示したが($p=0.004$)、テストの10mおよび20m地点で有意差は認められなかった($p=0.06 \sim 0.25$)(52)。この結果から、選手の加速能力は、クラス分け持ち点の違いを区別する要因であり、競技パフォーマンスに寄与する特性である可能性が示唆される。

生理学的能力

WCBでは40分間の試合中、高強度運動が短い回復時間を挟んで繰り返される(13,59)。その間欠的な性質から、WCBにおいては、有酸素性と無酸素性の両エネルギー供給機構に要求が課せられる(3,5)。研究では、WCB選手の有酸素性能力と無酸素性能力の両方を評価する必要性を強調している(31,81)。WCBにおける障害の多様性により、選手の生理学的能力や身体活動に対する反応也多岐にわたるため(29)、選手の障害を考慮することは不可欠である。例えば、機能によるクラス分けの持ち点が高い選手(3.0~4.5)は、持ち点の低い選手(1.0~2.5)に比べて、有酸素性能力(トレッドミルを用いたラング負荷テスト)($p<0.001$)および無酸素性能力(エルゴメータを用いた30秒ウィングートテスト)($p<0.001$)が有意に高いことが示されている(52,69)。さらに、SCIのある人は、損傷部の位置や損傷の完全性によって、生理学的能力が低下する可能性があることを考慮しなければならない(61)。

WCB選手における有酸素性能力は、車いすエルゴメータ(5)またはトレッドミル(56)を用いたラボテストによって評価されている。エリートレベルのWCB選手においては、最高酸素摂取量($\dot{V}O_{2peak}$)が絶対値で $1.5 \sim 2.7$ L/分(5,14,45,83)、相対値で $26.3 \sim 39.8$ mL/kg/分(5,14,45)と報告されている。WCB選手における有酸素性能力のフィールドテストでは、 $\dot{V}O_{2peak}$ の代理指標として、コート上での12分(19,22)、6分(16)、または4分のタイムトライアルにおける移動距離(88)、スクリメージ(3)、または間欠的シャトルテスト(27,78,87)を測定している。これらのフィールドテストは、エルゴメータおよびトレッドミルを用いたラボテストの結果と、中程度から強い正の相関を示している($r=0.46 \sim 0.96$)(19,22,27,80)。

ウィングートテストは、研究において最も一般的な無酸素性能力のラボテストであり、男女のクラス分け持ち点の低い選手(1.0~2.5)は、高い選手(3.0~4.5)に比べて、ピークパワーが低いという測定結果が出ている(前者は約317W、後者は約524W、 $p<0.001$)(69)。フィールドテストでも無酸素性能力が測定され、コート上での30秒タイムトライアルにおける移動距離(52,80)や反復スプリント(26,52)などが用いられている。コート上での30秒シャトルタイムトライアルでは、国内および国際レベルのWCB選手が移動距離83~119mを記録したことが報告されている(52,73,80)。最後に、男子WCB選手を対象とした研究において、30秒タイムトライアルでの移動距離(90 ± 6.7 m)によって評価した無酸素性能力は、ラボテストである30秒ウィングートテストにおける平均パワー(852.1 ± 234.9 W)とほぼ完全に近い相関を示したと報告されている($r=0.93$)(80)。

WCB選手の生理学的能力を評価するために、ラボテストとフィールドテストの両方が用いられているが、専門職は、こ

これらのアプローチの利点と欠点も考慮しなければならない。WCB選手の生理学的能力を評価するために、ラボテストとして様々な生理学的テストが実施されているが(5,28,43,80)、これらのテストは、選手の競技用車いすを使用してWCBの競技サーフェス上で実施されるフィールドテストの生態学的妥当性を欠いている(3)。加えて、車いす推進の運動力学は、床上での推進時と、エルゴメータやトレッドミル上での同等の速度による推進時で有意に異なる(53)。フィールドテストに関しては、最適でない車いすの構成や、車いすの操作スキルと経験の不足が、テスト結果に有意に影響を及ぼす可能性も考慮しなければならない(61)。また、フィールドテストは回帰式に基づく推定に依存するため、生理学的能力を直接測定する能力には限界がある。このため、ラボテストとフィールドテストは、いずれも様々な状況において有用な情報を提供することから、WCBにおける生理学的能力を評価するためのテストバッテリーは、状況や利用可能なリソースに基づいて決定すべきである。有酸素性能力と無酸素性能力は、エリートレベルのWCB選手におけるプロファイリングにおいて報告すべき重要な要素である(5)。しかし先行研究では、これらの生理学的能力と競技におけるパフォーマンス変数との関係性を分析しておらず、パフォーマンステストにおけるプロトコルの妥当性を検証するためには、そのような分析が必要である。

競技の要求

競技の要求を知ることは、コーチや専門職にとって、パフォーマンス向上を目的とした個別のかつ競技特異的なトレーニングプログラムを作成するための基本的な要件である。Time-Motion分析は、競技動作を定量化し、競技の要求を把握するために、チームスポーツにおいて広く用いられている(9)。このような評価の一要素として、全地球測位システム(GPS)が、競技における動作要求を定量化する最も実用的な方法として登場した(15)。ただし屋内では、衛星との接続が失われるため、GPSの使用は屋外スポーツに限られる。WCBにおける動作の定量化には、車いすの車輪に取り付けるリードスイッチ装置(13,70)、慣性センサ(56,67)、ローカル測位システム(LPS)(62)など、GPS以外のトラッキングデバイスが使用されており、表にそのような研究をまとめた。車輪に取り付けるリードスイッチ装置は、2.5m/秒を超える速度では信頼性に欠けるが(変動係数[CV]=4.4~19.9%)(65)、エリートレベルのWCB選手の速度は通常、競技においてこれを上回る(62)。したがって、LPSと慣性センサが、WCBの動作を測定するためのより適切な方法と考えられる。

Time-Motion分析では、移動距離やスピードといった外的負荷の指標を通じて、WCBにおける競技の要求が定量化されている(5,13,66,70,89)。また、回転運動の変数を含めることの重要性も強調されている(68,89)。これらの指標は、選手の内的な生理学的反応、すなわち心拍数(HR)や主観的運動強

表 車いすバスケットボール競技のTime-Motion分析

著者	収集されたデータ	選手	デバイス	主な結果
Bloxham ら (5)	フルゲーム1試合	n=6の男性 カナダ代表チーム	ビデオ分析	試合の35.9%がベンチでの休息、23.5%が滑走、18.2%がボール争奪、12.4%がコート上での休息、8.9%がスプリント、0.6%がボールを保持してのスプリント、0.3%がシュートに費やされていた
Coutts (13)	1試合中の6分	n=2 女性1名、男性1名	磁気リードスイッチ	平均速度=1.98~1.99m/秒、最大速度=4.03~4.07m/秒、総移動距離の予測値=4,752~4,776m、推進運動に費やした推定試合時間=63.5~64.4%、制動運動に費やした推定試合時間=35.6~36.5%
de Witte ら (89)	国内レベルのフルゲーム4試合、国際レベルのフルゲーム5試合	n=56の男性 国内レベル27名、国際レベル29名	ビデオ分析	国際レベルの選手は試合の34~37%を前方へのプッシュ、29~35%を静止、26~30%を回転運動、1~2%を後方へのプッシュ、1~2%を制動に費やしていた
Sporner ら (70)	フルゲーム2試合	n=20 女性1名、男性19名 名の退役軍人	小型データロガー	平均速度=1.48m/秒、総移動距離=2697.52m、240回の間欠的運動
van der Slikke ら (66)	フルゲーム11試合	n=29 女性9名、男性20名 1部リーグ12名、国際レベル17名	選手1名につき3個の慣性センサ	平均速度=1.22m/秒、平均回転速度=47.3°/秒 持ち点>2.5の選手は≤2.5の選手に比べて、一定の移動距離(2、4、6m)および回転角度(0°~90°または135°)への到達が有意に速かった

度(RPE)などを用いた強度の指標と併せて考慮することが重要である(37,50)。外的負荷と内的負荷の指標を組み合わせることは、WCB選手がトレーニングと競技を通じて経験する総合的な要求と、それに彼らの身体がどのように反応するかを、特に一部の障害が運動に対する生理学的反応を変化させることが知られている集団において理解するために重要である(80)。そこで以下に、WCBにおいて使用されるトラッキングデバイスと、それを用いて測定した外的負荷によってWCBの動作要求を記述した研究、ならびに内的負荷のデータを通じて、エリートレベルのWCBにおける生理学的および精神生理学的要求を記述した研究について論じる。

トラッキングデバイス

慣性センサ(17,64)とLPS(62)は、車いすのコートスポーツにおいて、競技の要求を正確に測定する方法として研究されている。近年の研究では、車いすの動作変数を測定するために、慣性センサを車輪に1個ずつと、車いすのフレーム中央部に1個取り付け、3センサ構成が用いられた(67)。3個のセンサにおけるデータを組み合わせることで、車輪速度(車輪の角速度)とフレーム回転速度(フレームの角速度)が得られる。この測定では、横滑り(車輪の回転を伴わない車いすフレームの変位)が主な誤差の原因であることが明らかになっており、センサの重複情報がエラーデータの置換に用いられた。この方法による車いすの速度測定は、ゴールドスタンダードであるモーションキャプチャシステムと比較して強い妥当性を示したが($ICC>0.90$)(67)、このような分析(選手1人当たり3個の慣性センサ)を実施するために必要なリソースは、広く利用可能なものではないと考えられる。そのため、1個の慣性センサを車輪のハブに取り付ける代替的な方法が考案された。この方法は、3センサ構成との間に一致が認められ、連続的な車輪速度(平均平方二乗誤差[RMSE]<0.15m/秒、 $R^2>0.99$)および連続的な回転速度(RMSE<11°/秒、 $R^2>0.97$)における誤差の程度が低いことが報告されている(64)。さらに、最大線速度($ICC>0.86$)およびフレームの回転速度($ICC>0.94$)においては、良好から優れた信頼性が観察された。総じて、1個の慣性センサは、WCBにおける動作を測定するための利用しやすく妥当性のある方法であり、トレーニングと競技におけるWCBの動作要求を評価するために自信をもって使用することができる。

WCB選手のモニタリング用に慣性センサの配置を決定する際、車いすユーザーインターフェースに固有の留意点がある。WCBの先行研究では、慣性センサは主に車いすのフレーム(17,66,67)または車輪(17,64,66,67)に取り付けられてきた。車いすに取り付けたセンサは、より安定した位置にあるため、選手に取り付けたセンサに比べて信頼性の高いこと

が期待されるが、一方で、車いすに取り付けたセンサは、選手が行なう一部の動作、例えば試合中における車いす上での体幹の動作などを捉えられない可能性がある。いずれにせよ、WCBの試合中に選手に取り付けたセンサから得られるデータを用いて、選手と車いすの動きを統合することができ、その結果、体幹の動作が総合的な動作要求にどの程度寄与しているかについて、調査を深めることが可能になると考えられる。さらなる研究によって、このようなアプローチの可能性を探る必要がある。

そのほかにWCBで用いられているトラッキングデバイスは、LPSである。LPSは、試合におけるスピード($CV=1.6\%$ 、相対誤差<2%)と移動距離($CV=0.2\%$ 、相対誤差<1%)の要求を定量化する方法として、信頼性と妥当性を有する(62)。先行研究において、LPSは、約4m/秒の最大速度($CV=1.6\%$)ならびにCODを含む連続動作($CV=0.2\%$)においても信頼性を有すると報告されている(62)。他のトラッキングデバイスと比較したLPSの利点は、屋内での変位測定が可能であること(慣性センサでは不可能)、ならびに高速および非線形動作の測定における信頼性が報告されていることである(62)。しかし、LPSは一般的に持ち運びができず、高価で大がかりな設定が必要なため、ほとんどのスポーツチームにおいて利用可能ではない(61)。したがって、より利用しやすい代替手段として、慣性センサのWCBに特化したさらなる妥当性の検証が推奨される(56,62)。

外的負荷

コーチは、選手が経験するトレーニングの身体的負荷を測定するために、様々なモニタリング方法(ビデオ分析、慣性計測装置、GPS、およびLPS)を用いる。一般的に、トレーニングは外的負荷の測定に基づいて処方され、量または強度によって変動させることができる。外的負荷は、選手がこなした仕事を、内的反応とは別に測定したものと定義される(85)。外的負荷は多くの場合、移動距離、スピード、および加速度(33)や、滑走、プッシュ、休息、シュート、ボールを保持してのプッシュなど、様々な競技関連課題の実施時間などの代理指標によって表される(5)。エリートレベルのWCBにおける競技の要求に関する客観的なエビデンスは限られており、表にそれらをまとめた。コーチはこれを利用して、競技の要求を再現した、意識的かつ的を絞ったトレーニングを選手に提供することができる。

WCBの外的負荷に関する既存の知見には、エリートレベルの男子WCBにおける自動ビデオトラッキングを用いたTime-Motion分析が含まれる(5)。この研究から、選手は試合における活動時間の最も多くを滑走(24%)に費やし、次いでボールの争奪(18%)と能動的なプッシュ(9%)に費やしてい

ることが明らかになった(5)。なお、個々の選手における外的負荷の測定値には大きな差がみられたが、これは、身体能力やクラス分けに伴うコート上での役割の違いに起因している可能性がある(参加した選手6名の持ち点は1.0~4.5)。このような結果は、より多くの選手を対象に客観的なトレーニング負荷のモニタリングを実施することで、試合における動作要求への理解を深め、クラス分けのグループ別や個人レベルでトレーニングを処方する必要性を強調している。

ビデオ分析はそのほかにも、WCBの9試合において、ガード、フォワード、センターのポジション別にグループ分けした国際および国内レベルの選手を対象に実施されている(89)。国際レベルの全選手が、試合時間の最も多くを前方へのプッシュ(34~37%)、静止(29~35%)、および回転運動(26~30%)に費やし、次いで後方へのプッシュ(1~2%)と制動(1~2%)に費やしていた(89)。この研究では、ガード、フォワード、センターの各ポジション間で試合中の活動に顕著な違いはみられなかった。国内レベルの選手は、国際レベルの選手に比べて前方へのプッシュ動作に費やす時間が長いのに対し($p<0.01$)、国際レベルの選手は、国内レベルの選手に比べて回転運動に費やす試合時間が長く($p<0.01$)、このことから、回転運動は、エリートレベルのWCB選手におけるパフォーマンス指標である可能性が示唆される(89)。

そのほか、慣性センサを用いてWCBにおける競技の要求を分析し、試合中の標準的なパフォーマンス特性を推定する研究が行なわれている(67)。参加した選手は、クラス分け持ち点の高い選手(>2.5)と低い選手(≤ 2.5)、ならびに国内レベルと国際レベルの2通りにグループ分けされた(66)。この研究では、平均速度は1.2m/秒、平均回転速度は47.3°/秒と報告されており、クラス分けおよび競技レベル別グループ間の平均値に有意差はなかった。しかし、グループごとの試合におけるスプリントと回転速度の測定値における上位10件を分析すると、クラス分け持ち点の高い選手は低い選手に比べて、静止状態からの一定の移動距離(2、4、6m)および回転角度(0°~90°または135°)への到達速度が有意に高かった(66)。加えて、国際レベルの選手は国内レベルの選手に比べて、静止状態から一定の回転角度(0°~90°または135°)に到達する速度が有意に高かったことから、回転速度がWCBにおける競技パフォーマンスの有用な指標である可能性が示唆された(66)。これは先に挙げたビデオ分析(89)の知見とも一致する。

エリートレベルのWCBにおける競技の要求は、まだ十分に解明されていないが、クラス分けはWCBにおける競技パフォーマンスの最も強い指標である(25)。したがって、より包括的なTime-Motion分析を行なって、クラス分けのカテゴリー別、ならびに男女別に選手の動作要求を定量化し、専門

職がそれぞれの集団に特異的な競技の要求に対して適切な準備を施せるようにする必要がある。

内的負荷

外的負荷は、競技の要求を理解する上で重要であるが、一方の内的負荷は、それに関連して選手に課される生理学的、心理学的ストレスを表す(33)。競技の要求に対する選手の反応を定量化する方法として、WCBにおいてはHRが広く用いられている(37)。しかし、WCBにおいてHRをモニタリングするには、障害とそれに伴う心臓血管系における機能の違いから、個別化の視点が重要であることが強調されている(14,38)。この限界を認識した上で、エリートレベルのWCBの試合における全選手の平均HRは、実際のプレー時間中は 163 ± 11 拍/分(bpm)となり、試合時間の82%において $\dot{V}O_{2peak}$ に関連するHRを上回り(14)、最高HRの80~100%であったこと(50)が報告されている。しかし、このような集団の測定値は、SCIやほかの交絡因子が、これらの平均的な反応にどのような影響を及ぼすかについての背景情報に欠ける。したがって、WCBにおける反応のモニタリングにHRデータを使用するには、注意が必要である。SCIのある選手は、多くの場合、自律神経機能に障害があり、身体活動中のHRを制御する能力が低下しているためである(72)。

様々な障害がHRに及ぼす影響への理解を深めるために、WCB選手を障害またはクラス分けによって分類した研究がいくつかある(38,50,51)。うち2件の研究において、クラス分け持ち点の低い選手(≤ 2.5 、平均HRの絶対値= 121 ± 4 bpm、平均HRの相対値= $67.2 \pm 3.3\%$)は、高い選手(>2.5 、 136 ± 8 bpm、 $74.7 \pm 5.4\%$)に比べて試合中の運動強度が低いことが明らかになり(51)、また、持ち点の低い選手が最高HRの90~100%で過ごす時間は、高い選手に比べて12.1%短かった(50)。さらに、少人数ゲームにおいて、SCIのない選手が到達するHRの絶対値(ピーク値= 171 ± 8 bpm、平均値= 157 ± 9 bpm)は、SCIのある選手(ピーク値= 161 ± 15 bpm、平均値= 149 ± 15 bpm)に比べて高いことが示されたが、HRの相対値は、SCIのある選手とそうでない選手で同程度であった(38)。この結果から、HRは、個別的な強度の閾値に基づいてモニタリングする必要性が考えられ、WCBの、特にSCIのある選手に対しては、HRの相対値の測定を適用すべきであることが示唆される。

選手の努力感と労作感の測定値であるRPEは、0~10のカテゴリー比スケール(6)を用いた評価により、多くの非障害者スポーツ(48)において一貫してHRとの相関を示している。しかし、WCB選手における内的要求はほとんど報告されていない(37)。限られた研究のうち、エリートレベルの男子WCB選手10名のチームを対象とした研究では、16試合におけるセッ

ションRPEと平均HRの間に強い相関関係($r=0.63\sim0.67$)が観察されたが、個人レベルでは、相関の幅がはるかに広く、ばらつきがみられた($r=0.36\sim0.98$) (37)。この結果は、SCIのある選手において感覚、運動、および自律神経機能が失われ、HR反応に影響が及ぶことが明らかになっていることから(77)、標本集団内における障害や身体能力の違いに起因している可能性が考えられる。この相関関係を、SCIのある選手でさらに検討したところ、HRとRPEの相関($r=0.36\sim0.71$)は、SCIのない選手($r=0.48\sim0.98$)に比べて弱いことが明らかになった(37)。このような結果は、SCIのある選手に対する個別的なモニタリングの必要性を強調している。

現場への応用とまとめ

選手の体格は、WCBという競技において固有の重要性をもつ。コート上でより広い空間を占める(座位身長が高く上肢長が長い)選手は、試合において有利になる可能性が明らかになっているためである。したがって、WCB選手のタレント発掘においては、座位リーチ高を考慮すべきである。さらに、上肢の筋力とパワー、スピード、加速度、COD、有酸素性および無酸素性能力などのトレーニング可能な能力は、パフォーマンスを向上させることが明らかになっているため、身体的準備において重点を置くべきである。今後の優先課題は、これらの身体能力を測定する妥当性と信頼性の高いフィールドテストを確立し、テストに競技の要求を確実に反映させることである。

エリートレベルのWCBは、競技の要求に関する情報に乏しく、今後はエリートレベル競技の包括的なTime-Motion分析を実施して、よりの絞った身体的準備を提供できるようにする必要がある。既存の知見によると、WCB競技は、減速、加速、COD、および回転運動に大きく依存しているため、これらをトレーニング環境に導入すべきである。これらの動作要求に関する先行研究の分析では、静止状態からのより素早い加速と回転がパフォーマンスの指標として報告されており、ドリルやトレーニング計画の焦点とすべきである。

データの正確性と機器の利用しやすさを考慮すると、慣性センサは、エリートレベルのWCBにおける動作要求のモニタリングに最適な方法である。慣性センサは、トレーニングおよび競技環境において妥当性と信頼性を有し、持ち運びが可能であることが明らかになっている。障害の多様さと、SCIのある選手における生理学的反応の変化を考慮すると、内的負荷反応(HRとRPE)の使用には注意が必要である。SCIのある選手のHR反応は異なるため、HRは絶対値より相対値でモニタリングすることが推奨される。選手の障害と、それらがトレーニングや競技の負荷に対する反応に及ぼす影響への理解を深めるため、この集団においては個別的なモニタリングを

実施する必要がある。本レビューが提示した情報は、エリートレベルのWCB選手とエリートレベルの競技要求に関連する特性を明らかにするものであり、エリートレベルのWCBにおけるタレント発掘、パフォーマンスのベンチマークの設定、ならびに、よりの絞ったトレーニングの実践に役立てることができる。◆

From Strength and Conditioning Journal
Volume 46, Number 2, pages 125-134.

REFERENCES

1. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic spinal cord injury: An overview of pathophysiology, models and acute injury mechanisms. *Front Neurol* 10: 282, 2019.
2. Baker D, Nance S. The relation between strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 13: 224-229, 1999.
3. Bernardi M, Guerra E, Di Giacinto B, et al. Field evaluation of paralympic athletes in selected sports: Implications for training. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1200-1208, 2010.
4. Bevan HR, Bunce PJ, Owen NJ, et al. Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 24: 43-47, 2010.
5. Bloxham LA, Bell GJ, Bhambhani Y, Steadward RD. Time motion analysis and physiological profile of Canadian World Cup wheelchair basketball players. *Sports Med Train Rehabil* 10: 183-198, 2001.
6. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381, 1982.
7. Cavedon V, Zancanaro C, Milanese C. Physique and performance of young wheelchair basketball players in relation with classification. *PLoS One* 10: e0143621, 2015.
8. Cavedon V, Zancanaro C, Milanese C. Anthropometry, body composition, and performance in sport-specific field test in female wheelchair basketball players. *Front Physiol* 9: 568, 2018.
9. Chandler PT, Pinder SJ, Curran JD, Gabbett TJ. Physical demands of training and competition in collegiate netball players. *J Strength Cond Res* 28: 2732-2737, 2014.
10. Chapman D, Fulton S, Gough C. Anthropometric and physical performance characteristics of elite male wheelchair basketball athletes. *J Strength Cond Res* 24: 1, 2010.
11. Cormery B, Marcil M, Bouvard M. Rule change incidence on physiological characteristics of elite basketball players: A 10-year-period investigation. *Br J Sports Med* 42: 25-30, 2007.
12. Coutts AJ, Crowcroft S, Kempton T. Developing athlete monitoring systems: Theoretical basis and practical applications. In: *Sport, Recovery, and Performance: Interdisciplinary Insights*. Kellman M and Beckmann J, eds. London, UK: Taylor and Francis Group, 2018. pp: 19-32.
13. Coutts KD. Dynamics of wheelchair basketball. *Med Sci Sports Exerc* 24: 231-234, 1992.
14. Croft L, Dybrus S, Lenton J, Goosey-Tolfrey V. A comparison of the physiological demands of wheelchair basketball and wheelchair tennis. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 301-315, 2010.
15. Cummins C, Orr R, O' Connor H, West C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: A systematic review. *Sports Med* 43: 1025-1042, 2013.
16. Damen KMS, Takken T, de Groot JF, et al. 6- minute push test

- in youth who have spina bifida and who self-propel a wheelchair: Reliability and physiologic response. *Phys Ther* 100: 1852–1861, 2020.
17. van Dijk MP, van der Slikke RMA, Rupf R, Hoozemans MJ, Berger MAM, Veeger DHEJ. Obtaining wheelchair kinematics with one sensor only? The trade-off between number of inertial sensors and accuracy for measuring wheelchair mobility performance in sports. *J Biomech* 130: 110879, 2022.
 18. Drinkwater EJ, Pyne DB, McKenna MJ. Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Med* 38: 565–578, 2008.
 19. Dwyer GB, Davis RW. The relationship between a twelve minute wheelchair push test and VO₂ peak in women wheelchair athletes. *Sports Med Train Rehabil* 8: 1–11, 1998.
 20. Ettridge B, Haynes M. *Coaching Wheelchair Basketball*. Basketball Australia, 2017.
 21. Faupin A, Campillo P, Weissland T, Gorce P, Thevenon A. The effects of rear-wheel camber on the mechanical parameters produced during the wheelchair sprinting of handibasketball athletes. *J Rehabil Res Dev* 41: 421–428, 2004.
 22. Franklin BA, Swantek KI, Grais SL, Johnstone KS, Gordon S, Timmis GC. Field test estimation of maximal oxygen consumption in wheelchair users. *Arch Phys Med Rehabil* 71: 574–578, 1990.
 23. Garcia-Gil M, Torres-Unda J, Esain I, et al. Anthropometric parameters, age, and agility as performance predictors in elite female basketball players. *J Strength Cond Res* 32: 1723–1730, 2018.
 24. Gil SM, Yanci J, Otero M, et al. The functional classification and field test performance in wheelchair basketball players. *J Hum Kinetics* 46: 219–230, 2015.
 25. Gómez MÁ, Pérez J, Molik B, Szyman RJ, Sampaio J, Gó mez MÁ. Performance analysis of elite men's and women's wheelchair basketball teams. *J Sports Sci* 32: 1066–1075, 2014.
 26. Goosey-Tolfrey V, Foden E, Perret C, Degens H. Effects of inspiratory muscle training on respiratory function and repetitive sprint performance in wheelchair basketball players. *Br J Sports Med* 44: 665–668, 2010.
 27. Goosey-Tolfrey VL, Tolfrey K. The multi-stage fitness test as a predictor of endurance fitness in wheelchair athletes. *J Sports Sci* 26: 511–517, 2008.
 28. Goosey-Tolfrey VL. Physiological profiles of elite wheelchair basketball players in preparation for the 2000 Paralympic games. *Adapt Phys Activ Q* 22: 57–66, 2005.
 29. Goosey-Tolfrey VL, Leicht CA. Field-based physiological testing of wheelchair athletes. *Sports Med* 43: 77–91, 2013.
 30. Granados C, Yanci J, Badiola A, et al. Anthropometry and performance in wheelchair basketball. *J Strength Cond Res* 29: 1812–1820, 2015.
 31. de Groot S, Balvers IJM, Kouwenhoven SM, Janssen TWJ. Validity and reliability of tests determining performance-related components of wheelchair basketball. *J Sports Sci* 30: 879–887, 2012.
 32. de Groot S, Veeger DHEJ, Hollander AP, V Van Der Woude LH. Wheelchair propulsion technique and mechanical efficiency after 3 wk of practice. *Med Sci Sports Exerc* 34: 756–766, 2002.
 33. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med* 44: 139–147, 2014.
 34. Hoare DG. Predicting success in junior elite basketball players - the contribution of anthropometric and physiological attributes. *J Sci Med Sport* 3: 391–405, 2000.
 35. Iturricastillo A, Garcia-Tabar I, Reina R, et al. Influence of upper-limb muscle strength on the repeated change of direction ability in international-level wheelchair basketball players. *Res Sports Med* 30: 383–399, 2022.
 36. Iturricastillo A, Granados C, Reina R, Sarabia JM, Romarate A, Yanci J. Velocity and power-load association of bench-press exercise in wheelchair basketball players and their relationships with field-test performance. *Int J Sports Physiol Perform* 14: 880–886, 2019.
 37. Iturricastillo A, Yanci J, Granados C, Goosey-Tolfrey V. Quantifying wheelchair basketball match load: A comparison of heart-rate and perceived-exertion methods. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 508–514, 2016.
 38. Iturricastillo A, Yanci J, Los Arcos A, Granados C. Physiological responses between players with and without spinal cord injury in wheelchair basketball small-sided games. *Spinal Cord* 54: 1152–1157, 2016.
 39. IWBf Executive Council. 2021 IWBf player classification manual. Mies, Switzerland: International Wheelchair Basketball Federation, 2021. pp: 15–69.
 40. IWBf Executive Council. 2021 IWBf player classification rules. Mies, Switzerland: International Wheelchair Basketball Federation, 2021. pp: 12–105.
 41. Janssen TWJ, Van Oers CAJM, Hollander AP, Veeger HEJDS, Van Der Woude LH. Isometric strength, sprint power, and aerobic power in individuals with a spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc* 25: 863–870, 1993.
 42. Knuttgen HG, Kraemer WJ. Terminology and measurement in exercise performance. *J Strength Cond Res* 1: 1, 1987.
 43. Leicht CA, Tolfrey K, Lenton JP, Bishop NC, Goosey-Tolfrey VL. The verification phase and reliability of physiological parameters in peak testing of elite wheelchair athletes. *Eur J Appl Physiol* 113: 337–345, 2013.
 44. Lenton JP, Fowler NE, van der Woude L, Goosey-Tolfrey VL. Wheelchair propulsion: Effects of experience and push strategy on efficiency and perceived exertion. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 870–879, 2008.
 45. De Lira CAB, Vancini RL, Minozzo FC, et al. Relationship between aerobic and anaerobic parameters and functional classification in wheelchair basketball players. *Scand J Med Sci Sports* 20: 638–643, 2010.
 46. Loturco I, McGuigan MR, Reis VP, et al. Relationship between power output and speed-related performance in Brazilian wheelchair basketball players. *Adapt Phys Activity Q* 37: 508–517, 2020.
 47. Loturco I, Suchomel T, Bishop C, Kobal R, Pereira LA, McGuigan M. One-repetition-maximum measures or maximum bar-power output: Which is more related to sport performance? *Int J Sports Physiol Perform* 14: 33–37, 2019.
 48. Lupo C, Capranica L, Tessitore A. The validity of the session-RPE method for quantifying training load in water polo. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 656–660, 2014.
 49. Mangine GT, Ratamess NA, Hoffman JR, Faigenbaum AD, Kang J, Chilakos A. The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 22: 132–139, 2008.
 50. Marszałek J, Gryko K, Kosmol A, Morgulec-Adamowicz N, Mróz A, Molik B. Wheelchair basketball competition heart rate profile according to players' functional classification, tournament level, game type, game quarter and playing time. *Front Psychol* 10: 773, 2019.
 51. Marszałek J, Gryko K, Prokopowicz G, et al. The physiological response of athletes with impairments in wheelchair basketball game. *Hum Movement* 20: 1–7, 2019.

52. Marszałek J, Kosmol A, Morgulec-Adamowicz N, et al. Laboratory and non-laboratory assessment of anaerobic performance of elite male wheelchair basketball athletes. *Front Psychol* 10: 514, 2019.
53. Mason B, Lenton J, Leicht C, Goosey-Tolfrey V. A physiological and biomechanical comparison of over-ground, treadmill and ergometer wheelchair propulsion. *J Sports Sci* 32: 78–91, 2013.
54. Mason BS, Lemstra M, van der Woude LHV, Vegter R, Goosey-Tolfrey VL. Influence of wheel configuration on wheelchair basketball performance: Wheel stiffness, tyre type and tyre orientation. *Med Eng Phys* 37: 392–399, 2015.
55. Mason BS, Porcellato L, van der Woude LHV, Goosey-Tolfrey VL. A qualitative examination of wheelchair configuration for optimal mobility performance in wheelchair sports: A pilot study. *J Rehabil Med* 42: 141–149, 2010.
56. Mason BS, Rhodes JM, Goosey-Tolfrey VL. Validity and reliability of an inertial sensor for wheelchair court sports performance. *J Appl Biomech* 30: 326–331, 2014.
57. Mason BS, van der Woude LHV, Goosey-Tolfrey VL. The ergonomics of wheelchair configuration for optimal performance in the wheelchair court sports. *Sports Med* 43: 23–38, 2013.
58. Miller MD, Thompson SR. *Orthopaedic Sports Medicine*. Philadelphia, PA: Elsevier, 2020. p: 316.
59. Molik B, Laskin JJ, Kosmol A, Skucas K, Bida U. Relationship between functional classification levels and anaerobic performance of wheelchair basketball athletes. *Res Q Exerc Sport* 81: 69–73, 2010.
60. Ozmen T, Yuktasir B, Yildirim NU, Yalcin B, Willems MET. Explosive strength training improves speed and agility in wheelchair basketball athletes. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 20: 97–100, 2014.
61. Paulson T, Goosey-Tolfrey V. Current perspectives on profiling and enhancing wheelchair court sport performance. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 275–286, 2017.
62. Rhodes J, Mason B, Perrat B, Smith M, Goosey-Tolfrey V. The validity and reliability of a novel indoor player tracking system for use within wheelchair court sports. *J Sports Sci* 32: 1639–1647, 2014.
63. Rice I, Gagnon D, Gallagher J, Boninger M, Rice L. Hand rim wheelchair propulsion training using biomechanical real-time visual feedback based on Motor Learning Theory principles. *J Spinal Cord Med* 33: 33–42, 2010.
64. Rupf R, Tsai MC, Thomas SG, Klimstra M. Original article: Validity of measuring wheelchair kinematics using one inertial measurement unit during commonly used testing protocols in elite wheelchair court sports. *J Biomech* 127: 110654, 2021.
65. Sindall P, Lenton JP, Whytock K, et al. Criterion validity and accuracy of global positioning satellite and data logging devices for wheelchair tennis court movement. *J Spinal Cord Med* 36: 383–393, 2013.
66. van der Slikke R, Berger M, Bregman D, Veeger D. Estimated Athlete's Basketball Match Performance Based on Measurement of Wheelchair Kinematics Using Inertial Sensors. Glasgow, UK: Congress of the International Society of Biomechanics, 2015. pp: 106–108.
67. van der Slikke RMA, Berger MAM, Bregman DJJ, Lagerberg AH, Veeger HEJ. Opportunities for measuring wheelchair kinematics in match settings; reliability of a three inertial sensor configuration. *J Biomech* 48: 3398–3405, 2015.
68. van der Slikke RMA, Berger MAM, Bregman DJJ, Veeger HEJ. From big data to rich data: The key features of athlete wheelchair mobility performance. *J Biomech* 49: 3340–3346, 2016.
69. Soyulu Ç, Yıldırım NÜ, Akalan C, Akinoglu B, Kocahan T. The relationship between athletic performance and physiological characteristics in wheelchair basketball athletes. *Res Q Exerc Sport* 92: 639–650, 2021.
70. Spörner ML, Grindle GG, Kelleher A, Teodorski EE, Cooper R, Cooper RA. Quantification of activity during wheelchair basketball and rugby at the national Veterans wheelchair games: A pilot study. *Prosthetics Orthotics Int* 33: 210–217, 2009.
71. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med* 46: 1419–1449, 2016.
72. Theisen D. Cardiovascular determinants of exercise capacity in the Paralympic athlete with spinal cord injury. *Exp Physiol* 97: 319–324, 2012.
73. Traballese M, Averna T, Delussu A, et al. Improvement in metabolic parameters and specific skills in an elite wheelchair basketball team: A pilot study. *Med Sport* 62: 1–16, 2009.
74. Trudel G, Kirby RL, Ackroyd-Stolarz SA, Kirkland S. Effects of rear-wheel camber on wheelchair stability. *Arch Phys Med Rehabil* 78: 78–81, 1997.
75. Tupling SJ, Davis GM, Pierrynowski MR, Shephard RJ. Arm strength and impulse generation: Initiation of wheelchair movement by the physically disabled. *Ergonomics* 29: 303–311, 1986.
76. Turbanski S, Schmidtbleicher D. Effects of heavy resistance training on strength and power in upper extremities in wheelchair athletes. *J Strength Cond Res* 24: 8–16, 2010.
77. Tweedy S, Diaper N. Introduction to wheelchair sport. In: *Wheelchair Sport: A Complete Guide for Athletes, Coaches, and Teachers*. Tolfrey-Goosey V, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2010. pp: 3–27.
78. Vanderthommen M, Francaux M, Colinet C, et al. A multistage field test of wheelchair users for evaluation of fitness and prediction of peak oxygen consumption. *J Rehabil Res Dev* 39: 685–692, 2002.
79. Vanlandewijck Y, Theisen D, Daly D. Wheelchair propulsion biomechanics: Implications for wheelchair sports. *Sports Med* 31: 339–367, 2001.
80. Vanlandewijck YC, Daly DJ, Theisen DM. Field test evaluation of aerobic, anaerobic, and wheelchair basketball skill performances. *Int J Sports Med* 20: 548–554, 1999.
81. Vanlandewijck YC, Evaggelidou C, Daly DJ, et al. The relationship between functional potential and field performance in elite female wheelchair basketball players. *J Sports Sci* 22: 668–675, 2004.
82. Vanlandewijck YC, Spaepen AJ, Lysens RJ. Wheelchair propulsion efficiency: Movement pattern adaptations to speed changes. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1373–1381, 1994.
83. Vanlandewijck YC, Spaepen AJ, Lysens RJ. Relationship between the level of physical impairment and sports performance in elite wheelchair basketball athletes. *Adapt Phys Activ Q* 12: 139–150, 1995.
84. Vanlandewijck YC, Verellen J, Tweedy S. Towards evidence-based classification in wheelchair sports: Impact of seating position on wheelchair acceleration. *J Sports Sci* 29: 1089–1096, 2011.
85. Wallace LK, Slattery KM, Coutts AJ. The ecological validity and application of the session-rpe method for quantifying training loads in swimming. *J Strength Cond Res* 23: 33–38, 2009.
86. Wang YT, Chen S, Limroongreungrat W, Change LS. Contributions of selected fundamental factors to wheelchair basketball performance. *Med Sci Sports Exerc* 37: 130–137, 2005.
87. Weissland T, Faupin A, Borel B, Leprêtre PM. Comparison between 30-15 intermittent fitness test and multistage field test on physiological responses in wheelchair basketball players. *Front*

Physiol 6: 380, 2015.

88. West CR, Romer LM, Krassioukov A. Autonomic function and exercise performance in elite athletes with cervical spinal cord injury. Med Sci Sports Exerc 45: 261–267, 2013.

89. de Witte AMH, Hoozemans MJM, Berger MAM, van der Woude LHV, Veeger DHEJ. Do field position and playing standard influence athlete performance in wheelchair basketball? J Sports Sci 34: 811–820, 2016.

90. Yanci J, Granados C, Otero M, et al. Sprint, agility, strength and endurance capacity in wheelchair basketball players. Biol Sport 32: 71–78, 2015.

著者紹介



Leanne Snyder :

西オーストラリアスポーツ研究所および Murdoch University の博士号候補。



Brendan R. Scott :

Murdoch University シニアリサーチフェロー。



Paul S.R. Goods :

Murdoch University 講師。



Peter Peeling :

University of Western Australia 教授で、西オーストラリアスポーツ研究所ハイパフォーマンススポーツ研究センター所長。



Martyn J. Binnie :

西オーストラリアスポーツ研究所のパフォーマンス科学者。



Jeremiah J. Peiffer :

Murdoch University 大学院学部長で准教授。



Aaron S. Balloch :

西オーストラリアスポーツ研究所の技術的パフォーマンススペシャリスト。