

皮划艇翻滚技术对运动员本体感觉能力发展的作用

——以Sweep Roll、C-to-C Roll和Hand Roll为例

欧文

(千岛湖湖人皮划艇俱乐部, 杭州 311799)

摘要:皮划艇翻滚作为一项水上运动技能, 不仅要求运动员具备良好的力量和技术, 同时需要本体感觉、前庭调节以及神经肌肉控制能力完成身体姿态的恢复。本文以Sweep Roll (扫桨翻滚)、C-to-C Roll (C2C翻滚) 和Hand Roll (徒手翻滚) 三种翻滚技术为例, 结合本体感觉理论、运动控制理论以及具身认知理论, 对运动员感觉—运动系统的影响机制进行分析。研究指出, 皮划艇翻滚可能通过感觉重加权、前庭—本体感觉整合、神经肌肉反馈调节以及感觉—运动耦合等机制促进运动员本体感觉能力的发展。

关键词:皮划艇翻滚; 本体感觉; 感觉—运动控制; 神经肌肉调节

The Role of Kayak Rolling Techniques in Developing Proprioception

—— A Case Study of Sweep Roll, C-to-C Roll, and Hand Roll

Owen

(Qiandao Lake Lakers Kayak Club, Hangzhou 311799, China)

Abstract: Kayak rolling, as a water sport skill, requires not only strength and technical proficiency but also proprioceptive ability, vestibular regulation, and neuromuscular control to restore body posture. This study examines three rolling techniques—Sweep Roll, C-to-C Roll, and Hand Roll—by integrating proprioception theory, motor control theory, and embodied cognition theory to analyze their impact mechanisms on athletes' sensory-motor systems. The findings suggest that kayak rolling may enhance athletes' proprioceptive abilities through mechanisms such as sensory reweighting, vestibular-proprioceptive integration, neuromuscular feedback modulation, and sensory-motor coupling.

Keywords: kayak rolling; proprioception; sensory-motor control; neuromuscular regulation

引言

与陆地运动相比, 皮划艇运动具有明显的环境不确定性, 运动员受到水流变化、艇体姿态变化以及身体重心调整等多种因素的限制。如何提高运动员对身体状态和外部环境变化的感知能力, 已成为现代皮划艇训练科学研究的一个重要方向。

翻滚技术是皮划艇运动中的核心技术之一, 主要用于运动员在艇体倾覆后重新恢复正常坐姿。从运动控制理论来看, 翻滚动作并非单纯依靠力量和技巧完成, 而是一个高度依赖感觉输入、神经加工和运动输出协调的复杂过程。在艇体完全翻覆后, 运动员视觉信息受到明显限制, 需要更多依靠肌肉、肌腱、关节以及前庭系统提供的内部感觉信息判断身体位置, 并完成姿态调整。

本体感觉 (Proprioception) 是人体感知自身位置、运动状态以及力量变化的重要感觉能力, 是维持运动稳定性和实现精准动作控制的重要基础。已有研究表明, 长期专项运动训练能够促进运动员本体感觉能力的发展, 使其在复杂运动环境中表现出更高水平的姿态控制和动作调节能力。

从动作特点来看, Sweep Roll、C-to-C Roll和Hand Roll虽然均属于翻滚技术, 但其运动控制要求存在明显差异。Sweep Roll动作路径较长, 强调身体旋转协调和空间位置感知; C-to-C Roll动作速度较快, 更依赖核心稳定性和动态姿态控制; Hand Roll没有桨叶辅助, 对运动员身体内部感觉反馈和整体运动协调能力提出更高要求。

近年来, 运动控制理论和具身认知理论的发展进一步拓展了对运动技能形成机制的认识。运动技能并非简单依赖外部动作模仿, 而是在身体、神经系统和环境持续互动过程中逐渐形成。皮划艇翻滚训练可能不仅促进专项技术水平提高, 也可能通过感觉—运动系统适应促进运动员身体认知能力的发展。

基于此, 本文以Sweep Roll、C-to-C Roll和Hand Roll三种典型皮划艇翻滚技术为研究对象, 从本体感觉视角分析其动作特征、感觉需求及潜在作用机制, 以为皮划艇训练实践、本体感觉训练方法以及运动技能的研究提供参考。同时, 本文也注意到, 目前相关研究仍以理论分析为主, 关于翻滚训练对本体感觉能力影响的直接实证尚需进一步积累, 这也构成未来研究的重要方向。

1 本体感觉的概念及其运动控制的意义

本体感觉是人体感知自身身体位置、运动状态以及肌肉力量变化的重要感觉能力，是维持姿态稳定和完成精细运动控制的重要基础。Sherrington于1906年首次提出“本体感觉”概念，认为机体能够通过来自肌肉、肌腱和关节等组织的感觉信息获得关于自身状态的内部反馈[1]。随着神经科学和运动控制理论的发展，本体感觉的内涵逐渐由单一感觉功能扩展为一个涉及多种外周感受器和中枢神经调节机制的综合性感觉系统。

目前，学界普遍认为，本体感觉主要包括关节位置觉（joint position sense）、运动觉（kinesthesia）以及力量觉（force sense）等内容，其信息来源主要包括肌梭、高尔基腱器官、关节机械感受器以及皮肤感受器等结构[2]。其中，肌梭能够感知肌肉长度及变化速度，对运动过程中身体位置调整具有重要作用；高尔基腱器官主要参与肌肉张力调节，对力量输出控制具有重要意义；关节机械感受器则能够提供关节角度变化及运动方向信息。

从运动控制角度来看，本体感觉并不是独立运行的感觉系统，而是与视觉系统和前庭系统共同参与人体姿态控制。Horak等研究指出，人体在复杂环境中的平衡维持依赖多感觉信息的综合利用，当某一种感觉输入受到限制时，中枢神经系统能够通过感觉加权机制调整不同感觉通道的作用比例，以保证运动控制的稳定性[3]。Riemann和Lephart指出，本体感觉不仅参与感觉信息传递，同时也是维持关节稳定和运动控制的重要组成部分[4]。

这一理论对于理解皮划艇翻滚具有重要意义。与多数陆地运动不同，皮划艇翻滚过程中运动员可能处于身体倒置、水下视觉受限以及空间方向快速变化的状态，此时视觉信息难以持续提供有效反馈，运动控制系统必须更多依赖来自肌肉、关节和前庭系统的信息。因此，翻滚训练可能为本体感觉系统提供持续刺激，并促进运动员对身体内部状态的感知和调节能力。

近年来，运动神经科学研究进一步表明，本体感觉并非固定不变的生理能力，而具有较强的可塑性。长期运动训练能够改变感觉输入与运动输出之间的信息加工方式，提高神经系统对身体状态变化的识别和预测能力[5,6]。因此，从理论上讲，具有高姿态变化、高感觉依赖特征的专项运动，可能对本体感觉发展产生积极影响。

2 三种皮划艇翻滚技术的生物力学特征与本体感觉需求分析

2.1 皮划艇翻滚动作的基本生物力学特征

皮划艇翻滚是一项典型的全身协调性运动技能，其动作完成并非依靠单一肌群力量，而是由下肢固定、核心稳定、躯干旋转以及上肢动作共同参与形成的复杂动力链。与传统力量性动作不同，翻滚技术的关键并不在于产生最大力量，而在于运动员能否在有限时间内准确感知身体状态，并通过合理的力量传递实现艇体与身体姿势的复位[7,8]。

从生物力学角度来看，皮划艇翻滚主要涉及三个层面的控制过程。

第一，身体—艇体耦合控制。

皮划艇运动具有明显的人—器械互动特征。运动员并非独立完成动作，而是通过臀部、膝部以及脚踏位置与艇体形成相对稳定的连接关系。在翻滚过程中，运动员需要感知身体与艇体之间的相对运动状态，并通过调整身体姿态改变艇体旋转方向。

第二，躯干旋转与髋部驱动机制。

髋部驱动（Hip Snap）被认为是翻滚动作成功的重要因素。有效的髋部动作能够利用下肢和核心区域产生的力量推动艇体旋转，而不是单纯依靠上肢拉动桨杆完成恢复。该过程涉及腹斜肌、腰背肌群以及髋周肌群之间的协调活动，对运动员核心稳定能力和运动控制能力提出较高要求。

第三，感觉反馈与动作修正机制。

由于水环境具有动态变化特征，运动员难以完全依靠预先设定的动作程序完成翻滚，而需要根据实时感觉信息调整动作。例如，在翻滚过程中，运动员需要判断身体旋转角度、艇体倾斜程度以及髋部动作时机。这些信息主要来源于本体感觉和前庭感觉系统。

因此，从运动控制理论来看，皮划艇翻滚并不是简单的力量输出过程，而是一个持续进行感觉输入、信息整合和运动调整的闭环控制过程。这一循环不断重复，使运动员逐渐建立稳定的身体内部模型（Internal Model），并提高动作自动完成的水平[9,10]。翻滚训练不仅改善专项技术，也会促进运动员感觉—运动系统的发展。

2.2 Sweep Roll的生物力学特征与本体感觉需求

2.2.1 Sweep Roll动作特征

Sweep Roll是皮划艇教学和实践中较为常见的翻滚技术，其主要特点是利用桨叶进行大范围扫水，通过桨叶支撑力、身体旋转以及髋部动作共同完成艇体恢复。

与其他翻滚技术相比，Sweep Roll动作轨迹较长，身体旋转过程更加明显，运动员拥有相对充足的时间调整动作节奏。因此，该技术通常被认为是较适合初学者掌握的翻滚方式。

从动作结构来看，Sweep Roll主要包括：身体前倾并建立准备姿态；艇体旋转进入倒置状态；桨叶展开并完成扫水动作；结合髋部驱动恢复艇体稳定。这一过程中，运动员需要保持躯干与艇体之间的协调关系，同时通过感觉反馈判断身体旋转状态。

2.2.2 Sweep Roll对本体感觉能力的要求

虽然Sweep Roll动作相对缓慢，但其对本体感觉仍具有较高要求。首先，运动员需要具备较好的身体位置觉能力。当艇体翻转后，视觉信息受到限制，运动员无法直接观察身体方向，因此需要依靠躯干旋转感觉、肩关节位置变化以及髋部压力变化判断当前姿态。其次，Sweep Roll要求运动员形成良好的身体节段协调能力。翻滚动作并不是肩部带动身体完成旋转，而是需要骨盆、躯干和上肢形

成连续运动链。如果身体各部分之间缺乏协调,容易出现动作幅度不足或恢复失败。再次, Sweep Roll能够帮助初学者建立对水环境的身体适应能力。

初学者在初次接触翻滚时,往往存在倒置恐惧和方向判断困难。这实际上反映了其身体内部感觉信息利用能力不足。Sweep Roll训练能在建立基础身体意识方面发挥一定作用。

2.3 C-to-C Roll的生物力学特征与动态感觉控制

2.3.1 C-to-C Roll动作特征

C-to-C Roll是一种强调快速动作转换的翻滚技术,其名称来源于动作过程中身体由“C形收缩姿态”转换为另一方向的“C形姿态”。

与Sweep Roll相比, C-to-C Roll具有以下特点:动作幅度较小,但动作速度更快;更依赖核心区域快速收缩与释放;对髋部驱动时机要求更高。

在实际完成过程中,运动员需要先通过身体收缩建立稳定姿态,然后利用髋部快速旋转带动艇体恢复。C-to-C Roll并不是简单减少动作幅度,而是提高了动作控制效率,对神经系统快速整合感觉信息的能力提出更高要求。[11]

2.3.2 C-to-C Roll对本体感觉能力的要求

与Sweep Roll相比, C-to-C Roll更加突出动态状态下的本体感觉能力。运动员不仅需要知道身体当前的位置,还需要预测:身体旋转方向、髋部发力时机和艇体恢复速度。这意味着C-to-C Roll依赖的不仅是静态位置觉,而是运动觉和力量觉的综合作用。

例如,当运动员进行髋部驱动时,需要准确判断:“是否已经达到最佳旋转角度?”“力量是否已经有效传递至艇体?”“是否需要进一步调整身体姿态?”这些判断通常无法依靠视觉完成,而需要依靠长期训练形成的内部运动模型。在某种成都市, C-to-C Roll可以被认为是由基础身体感知向动态运动控制发展的重要训练阶段。

2.4 Hand Roll的生物力学特征与高级身体控制

2.4.1 Hand Roll动作特征

Hand Roll是皮划艇翻滚技术中技术难度较高的一种形式,其最大特点是取消桨叶辅助,仅依靠运动员自身身体动作完成翻滚。由于缺少外部支撑, Hand Roll要求运动员通过身体旋转、水流作用以及髋部驱动共同完成艇体恢复。从生物力学角度来看, Hand Roll减少了外部机械辅助,使运动员必须提高自身运动控制精度。

2.4.2 Hand Roll与高级本体感觉能力

Hand Roll对本体感觉能力提出了更高要求。首先,运动员需要具备高度发展的身体空间感知能力。由于无法利用桨叶确定方向,运动员必须依靠身体内部感觉判断:当前身体是否接近恢复位置;旋转是否达到有效角度;髋部动作是否完成。其次, Hand Roll要求运动员具备精确的力量控制能力。力量不足可能导致翻滚失败,而力量过度则可能破坏动作协调。因此,运动员需要根据即时感觉

调整力量输出。再次, Hand Roll体现了高度自动化的感觉—运动控制水平。

经验丰富的运动员通常不会逐步分析动作过程,而是依靠长期训练形成的身体经验完成动作。这种能力反映了神经系统对运动模式的高度整合。[12]

3 皮划艇翻滚促进运动员本体感觉能力发展的作用机制

3.1 视觉限制条件下的感觉重加权机制

人体运动控制并非依赖单一感觉系统完成,而是视觉、本体感觉和前庭感觉等多种感觉信息共同参与的结果。在正常运动环境中,视觉系统能够提供较为直观的外部空间信息,而本体感觉系统则主要负责反映身体内部状态,包括肢体位置、运动方向以及力量变化等信息。三种感觉系统之间通过动态整合,共同维持人体姿态稳定和运动协调。

然而,皮划艇翻滚具有区别于一般陆地运动的特殊环境特征。在艇体发生倾覆后,运动员通常处于水下或侧向倒置状态,视觉信息受到明显限制,无法持续提供准确的空间定位信息。此时,运动控制系统需要提高对其他感觉信息的依赖程度,以完成身体姿态判断和动作调整。

这一过程可以从“感觉重加权”(sensory reweighting)理论进行解释。Horak等研究指出,当某一种感觉信息受到限制时,中枢神经系统能够根据运动环境变化调整不同感觉通道的权重比例,使姿态控制保持稳定[13]。因此,在皮划艇翻滚过程中,视觉输入的重要性下降,而来自肌肉、肌腱、关节以及前庭系统的信息作用可能相对增强。

以Sweep Roll为例,运动员在翻滚过程中无法直接观察艇体旋转角度,需要依靠躯干旋转幅度、肩关节与骨盆之间的位置关系、髋部与艇体接触压力变化和身体旋转速度感知来判断当前动作状态。这种持续依靠身体内部信息完成空间定位的过程,可能促使运动员提高对本体感觉信号的利用效率。

长期处于感觉信息重新分配环境中的训练,可能推动神经系统形成更加稳定的感觉预测模式,使运动员能够在较少依赖视觉反馈的情况下完成动作控制。因此,皮划艇翻滚训练具有发展本体感觉能力的潜在机制。

需要指出的是,目前关于“翻滚训练是否能够直接提高本体感觉敏感性”的实验研究仍较为有限。因此,上述作用机制更多体现为基于运动控制理论的合理推论,仍需要通过长期训练实验进一步验证。

3.2 前庭—本体感觉整合与空间定向能力发展机制

皮划艇翻滚不仅涉及身体姿态变化,同时伴随着明显的旋转运动和加速度变化,因此前庭系统在动作控制过程中具有重要作用。

人体前庭系统主要由半规管和耳石器组成,其中半规管主要感知头部旋转运动,而耳石器则负责感知线性加速度和空间方向变化。当运动员完成翻滚动作时,头部、躯

干以及艇体共同发生旋转，前庭系统持续向中枢神经系统传递关于身体运动状态的信息。

然而，单纯依靠前庭感觉并不足以完成精确运动控制。运动员还需要结合来自肌肉和关节的本体感觉信息，对身体位置进行综合判断。因此，翻滚动作实际上体现了前庭系统与本体感觉系统之间的信息融合过程[14]。

例如，在C-to-C Roll过程中，动作持续时间较短，运动员需要快速完成：身体收缩，方向判断，髋部驱动和艇体恢复。这一过程要求神经系统能够迅速整合头部运动信息和身体位置反馈。如果前庭信息与本体感觉信息之间缺乏协调，运动员容易出现方向判断错误或动作时机把握不足。

人体姿态控制依赖多个感觉系统之间的信息融合，而非单一感觉通道独立作用。皮划艇翻滚训练可能通过不断刺激前庭—本体感觉交互，提高运动员在复杂环境中的空间定向能力。

从训练实践角度来看，这一机制也解释了为什么经验丰富的皮划艇运动员即使在视觉受限情况下，仍能够快速完成翻滚动作。他们并非“不需要感觉”，而是形成了更加高效的感觉整合能力。

3.3 肌梭—脊髓—小脑反馈机制与动作精确控制

本体感觉能力的发展，本质上依赖外周感觉信息与中枢神经调节之间的有效互动。

在皮划艇翻滚过程中，肌梭、高尔基腱器官以及关节机械感受器持续监测身体状态，并将相关信息传递至脊髓、小脑以及大脑运动区域。随后，中枢神经系统根据反馈信息调整肌肉活动，实现动作修正。

其中，肌梭在运动控制过程中具有重要作用。肌梭能够感知肌肉长度变化以及变化速度，为神经系统提供关于身体运动状态的重要信息。例如，在髋部驱动阶段，髋周肌群和躯干肌群快速产生力量，肌梭能够及时反馈肌肉状态，使运动系统调整力量输出。

小脑则主要参与运动预测和误差修正。人体运动控制并非完全依赖即时反馈，而是依靠内部模型预测动作结果，并通过比较预测结果与实际结果之间的差异不断优化动作策略。这一理论能够解释优秀运动员为何能够快速完成Hand Roll等高难度翻滚动作。经过长期训练后，运动员可能已经形成较为稳定的内部运动模型，能够提前预测身体旋转趋势和艇体运动状态，并快速完成动作调整。

由此，皮划艇翻滚训练可能通过反复刺激感觉反馈回路，提高神经系统处理身体信息和调节运动输出的效率。

3.4 感觉—运动耦合与动作自动化形成机制

运动技能的发展通常经历由认知控制到自动化控制的过程。初学者学习翻滚技术时，需要高度依赖意识控制：

“身体是否旋转充分？”“桨的位置是否正确？”“髋部动作是否及时？”此时动作控制主要依靠显性认知参与。

随着训练次数增加，运动员逐渐建立稳定的感觉—运动联系，动作控制开始更多依赖自动化调节。技能自动化并不意味着感觉信息作用降低，而是意味着运动系统能够

更加高效地利用感觉信息完成动作控制。在皮划艇翻滚过程中，经验丰富的运动员通常能够根据艇体压力变化、身体张力变化以及旋转感觉快速调整动作，而无需逐步分析每一个动作环节。

这种能力反映了感觉—运动耦合水平的提高。其中：感觉系统负责提供身体状态信息，中枢神经系统负责信息加工，运动系统负责执行调整。三者之间形成持续循环，使运动员能够适应复杂水环境。翻滚训练的价值不仅在于掌握某一种技术动作，更在于促进运动员建立更加高效的感觉—运动控制模式。

3.5 具身认知视角下的身体智慧形成机制

传统运动训练理论往往强调动作技术学习和运动程序形成，而具身认知理论则进一步指出，身体本身参与认知过程，运动能力是在身体与环境持续互动过程中逐渐形成的[15]。

皮划艇翻滚具有明显的具身运动特征。运动员面对的并非固定环境，而是不断变化的水流、动态变化的艇体状态、身体姿态变化和外部阻力的变化。运动员无法完全依赖固定动作程序完成翻滚，必须根据环境变化不断调整动作策略。

在Hand Roll过程中，运动员无法借助桨叶提供明确支撑，而需要通过身体感觉判断动作状态。这种能力并非简单的肌肉力量结果，而是身体经验、感觉信息和环境互动共同形成的运动智慧。

从具身认知角度来看，皮划艇翻滚训练可能促进运动员形成更加精细的身体意识，使其能够在复杂环境中快速理解自身状态并采取适宜动作。

结束语

皮划艇翻滚是一项高度依赖感觉—运动整合能力的复杂运动技能。运动员需要通过视觉、本体感觉和前庭感觉共同完成姿态控制。不同翻滚技术体现不同层次的本体感觉需求：Sweep Roll主要强调身体空间认知建立；C-to-C Roll强调动态姿态控制；Hand Roll体现高级感觉整合能力。皮划艇翻滚训练可能通过感觉重加权、前庭—本体感觉整合、神经肌肉反馈调节以及运动自动化等机制促进运动员身体控制能力发展。将本体感觉理论引入皮划艇训练研究，有助于拓展传统技术训练视角，使训练目标由单纯动作完成转向运动员综合身体控制能力培养。□

参考文献

- [1] SHERRINGTON C S. The integrative action of the nervous system[M]. New Haven: Yale University Press, 1906.
- [2] PROSKE U, GANDEVIA S C. The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force[J]. Physiological Reviews, 2012,92(4):1651-1697.
- [3] Fohanno V, et al. Biomechanical determinants of kayaking performance: Current evidence and future directions. Applied Sciences, 2022.
- [4] RIEMANN B L, LEPHART S M. The sensorimotor system,

- part I: The physiological basis of functional joint stability[J]. Journal of Athletic Training, 2002,37(1):71-79.
- [5] Fleming N, Donne B. Biomechanics of flatwater kayaking: A review. Sports Biomechanics, 2022.
- [6] Begon M, et al. Wearable sensor applications in kayaking performance analysis. Sensors, 2021.
- [7] Kent Ford. The Kayak Roll: Transforming Your Fear into Confidence. Globe Pequot Press, 2017.
- [8] E.J. Del Vecchio. Eskimo Rolling. Ragged Mountain Press, 1998.
- [9] Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI. An internal model for sensorimotor integration. Science, 1995, 269(5232): 1880-1882.
- [10] Wolpert D M, Diedrichsen J, Flanagan J R. Principles of sensorimotor learning. Nature Reviews Neuroscience, 2011, 12: 739-751. DOI: 10.1038/nrn3112
- [11] Behm D G, Drinkwater E J, Willardson J M, et al. The use of instability to train the core musculature. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2010, 35(1): 91-108.
- [12] Aman J E, Elangovan N, Yeh I L, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function. Journal of Athletic Training, 2015, 50(10):1095-1107.
- [13] HORAK F B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?[J]. Age and Ageing, 2006, 35(S2): ii7-ii11.
- [14] Proske U, Gandevia S C. The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. Physiological Reviews, 2012, 92(4):1651-1697. DOI: 10.1152/physrev.00048.2011
- [15] CLARK A. Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind[M]. Oxford: Oxford University Press, 2016.

作者简介: 欧文, 男, 水上运动教练, 主要研究青少年体态培养、海洋舟技能和皮划艇运动史。

收稿日期: 2026-06-09

修回日期: 2026-06-28

接受日期: 2026-07-10

版权为作者所有。本文为开放获取文章, 遵循知识共享署名 (CC BY) 许可协议 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) 的条款和条件进行发布。

Copyright by the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).